

# Tratamiento de la vinaza de una fábrica de ron, con el bioproducto Lebame®

Rocio Águila-Michelena<sup>1</sup>, Georgina Michelena-Álvarez<sup>1\*</sup>, Orly Mercedes López-Delgado<sup>1</sup>, Lizzie Lam-Cancio<sup>1</sup>, Lianys Ortega-Viera<sup>2</sup>

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

2. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)  
Calle 114, No. 11901, entre Ciclo Vía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba

\* [georgina.michelena@icidca.azcuba.cu](mailto:georgina.michelena@icidca.azcuba.cu)

## RESUMEN

Los Microorganismos eficientes han sido informados como una alternativa para solucionar los problemas de contaminación hídrica. Se trata de un conjunto probiótico natural, que incluye únicamente a microorganismos que existen en la naturaleza y no incluye microorganismos manipulados genéticamente. El Lebame® fue producido mediante un procedimiento tecnológico reproducible de cultivos puros conservados en un cepario de colección. En este estudio se ensayó el empleo del bioproducto Lebame®, con el objetivo de tratar la vinaza de la destilería de una fábrica de ron en Cuba. Para ello, se realizó la caracterización de la vinaza de la fábrica que indicó altos valores de la Demanda química de oxígeno, del pH y de la conductividad, todos ellos fuera de los límites permisibles en la normativa cubana. Se aplicó el bioproducto Lebame®, como tratamiento, a diferentes concentraciones y tiempos de retención y se obtuvieron reducciones de contaminación superiores al 30 % de la Demanda química de oxígeno inicial. No se alcanzó el límite de Demanda química de oxígeno permisible de la normativa cubana de vertimiento, por lo que se propuso un nuevo tratamiento, esta vez se hidrolizó la levadura presente en la vinaza para lograr un bioproducto que pueda ser utilizado como biofertilizante. La hidrólisis incrementó el contenido de nitrógeno amínico en aproximadamente 3 veces.

**Palabras clave:** vinaza, Microorganismos eficientes, ron, bioproductos, Lebame.

## ABSTRACT

Efficient microorganisms (EM) have been reported as an alternative to solve water pollution problems. It is a natural probiotic complex including only microorganisms being in nature and does not include genetically manipulated microorganisms. Lebame® was produced using a reproducible technological procedure from pure cultures preserved in a culture collection tank. In this study, use of bioproduct Lebame® was tested, with to treat stillage from a distillery of a rum factory in Cuba. Factory's vinasse was characterized, showing Chemical Oxygen Demand high values, also inadequate pH and conductivity, all of them outside permissible limits in Cuban regulations. Bioproduct Lebame® was applied as a treatment at different concentrations and retention times, obtaining pollution reductions greater than 30 % of the initial. Permissible Chemical Oxygen Demand limit of the Cuban dumping regulations was not reached, so a new treatment was proposed, this time hydrolyzing yeast present in vinasse achieving a bioproduct can be used as a biofertilizer. Hydrolysis increased amino nitrogen content by approximately 3-fold.

**Keywords:** vinasse, efficient microorganisms, rum, bioproducts, Lebame.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran variedad de métodos para la descontaminación de aguas y aguas residuales (AR), entre los que se encuentra la utilización de los microorganismos denomina-

dos eficientes (ME). Los Microorganismos eficientes son varios grupos de bacterias (actinomicetos, bacterias fototróficas y bacterias lácticas) y de hongos (filamentosos y levaduras), que incluyen un conjunto de especies que se consideran regeneradores aeróbicos o anaeróbicos de origen natural. Es un producto en forma líquida que consiste en una variedad de microorganismos no solo efectivos y benéficos, sino también no patógenos, con una coexistencia admirable entre los tipos de microorganismos aerobios y anaerobios (1).

Los residuales de la industria alcoholera presentan un notable impacto sobre el medioambiente, tanto por el volumen de aguas residuales que se generan como por su composición orgánica e inorgánica.

En el proceso de obtención industrial de alcohol etílico por fermentación, que usa 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. La vinaza constituye el principal residual de la industria alcoholera y se producen entre 10 y 16 litros por litro de etanol (2). Resultados investigativos realizados por el Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) (3), demuestran que estos efluentes presentan un alto poder contaminante, de ahí que sea denominado como uno de los residuales orgánicos de mayor efecto contaminante sobre la flora y fauna, ya que presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio; así como cantidades moderadas de dinitrógeno y fósforo (4). Además, presenta pH bajo (3, 4), sólidos suspendidos totales y elevada demanda química de oxígeno (DQO).

El ICIDCA ha obtenido un bioproducto a base de Microorganismos eficientes de nombre comercial Lebame®, que se produce a partir de un inóculo de los microorganismos, con miel final de caña y sulfato de amonio, a través de un proceso fermentativo reproducible y controlado (5). El Lebame® es el primer bioproducto de ME que se realiza en Cuba, obtenido en el año 2017 a partir de un procedimiento tecnológico reproducible en una planta biotecnológica de cultivos puros, conservados en un cepario de colección. El bioproducto está constituido por los siguientes microorganismos de la colección de cultivos del ICIDCA: *Bacillus subtilis* B/23-45-10 Nato, *Lactobacillus bulgaricum* B/103-4-1 y *Saccharomyces cerevisiae* L-25-7-12. Este producto tiene estabilidad hasta seis meses y puede almacenarse a temperatura ambiente (6).

En una fábrica de ron de Cuba, la vinaza que resulta de la destilación del alcohol constituye un problema, por su volumen y carga contaminante. Este residual no cumple con las normas de vertimiento, por lo que deben diseñarse alternativas para su tratamiento, de ahí que se plantee como objetivo principal de este estudio disminuir la carga contaminante de la vinaza, mediante el empleo del bioproducto Lebame®.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización del residual se empleó la metodología para la caracterización de las aguas y aguas residuales de la industria azucarera y los procedimientos estandarizados (7-10). El estudio se realizó en el laboratorio de aguas y aguas residuales (LAGUAZUR) que forma parte del Centro Nacional de Gestión del Medio Ambiente (CENGMA), perteneciente al ICIDCA. Los métodos analíticos fueron:

- Demanda química de oxígeno, con el empleo de la modificación rápida del *Standard Methods*
- Demanda bioquímica de oxígeno, con el equipo Oxitop Box WTW
- pH y conductividad a partir de la medición con electrodos
- fósforo por determinación colorimétrica, después de la digestión en medio ácido
- nitrógeno por el método *Kjeldahl*
- aceites y grasas

A partir de las determinaciones analíticas realizadas de DQO se calcula el porcentaje de remoción a través de la ecuación 1:

$$\% \text{ de remoción de DQO} = \frac{DQO_{\text{inicial}} - DQO_{\text{final}}}{DQO_{\text{inicial}}} \quad \text{Ec. 1}$$

### Diseño experimental

Con el objetivo de evaluar el empleo de los Microorganismos eficientes en el tratamiento de este residual se decidió aplicar un diseño experimental factorial multinivel. Cada condición experimental se realizó por duplicado. Las tablas 1 y 2 muestran la matriz de diseño con las 9 condiciones experimentales, obtenidas mediante el empleo de la herramienta de *software Statgraphics Centurion XV* (2013). Se fijaron dos factores: tiempo de residencia y concentración y, como variable de respuesta, el porcentaje de remoción. Los niveles para los factores fueron los siguientes:

**Tabla 1.** Valores mínimo, central y máximo del diseño experimental

Factores	Niveles		
	Bajo (-1)	Intermedio (0)	Alto (1)
Tiempo de residencia (días)	10	20	30
Dosis de aplicación (L Lebame/ L vinaza)	0.0005	0.001	0.0015

**Tabla 2.** Matriz del diseño experimental para el tratamiento de la vinaza con bioproducto Lebame®

Experimento	Tiempo de residencia (días)	Dosis de aplicación, L/L
1	-1.0	-1
2	0.0	-1
3	1.0	-1
4	-1.0	0
5	0.0	0
6	1.0	0
7	-1.0	1
8	0.0	1
9	1.0	1

Las variables de las respuestas analizadas fueron la DQO y el pH. El resto de las variables se determinaron en el último tiempo del experimento. A partir de las determinaciones analíticas realizadas de DQO se calculó el porcentaje de remoción de DQO, mediante la ecuación 1.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los métodos de ensayo realizados permiten conocer el grado de contaminación que presenta la vinaza de la fábrica de ron. Los resultados obtenidos de la caracterización se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Caracterización de la muestra de vinaza de una fábrica de ron de Cuba

Método de ensayo	Unidad de medida	Muestra (promedio de dos valores)	Error estándar	Según NC 27:2012
DQO	mg/L	218 880	2 240	<700
DBO	mg/L	181 250	1 030	<300
pH	-	4.64	0.15	6-10
Temperatura de ensayo	°C	22.6		<50
Conductividad	μS/cm	39 100	100	<4 000
Fósforo	mg/L	0.72	0.02	<10
Nitrógeno	mg/L	0.22	0.02	<20
Aceites y grasas	mg/L	14.1	0.3	<50

Comparados con la NC 27:2012, los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, pH y conductividad requieren tratamientos adicionales, cuyos costos de inversión pueden resultar moderados o altos.

La relación DBO<sub>5</sub>/DQO de la vinaza de destilería de una fábrica de ron de Cuba muestra un valor de 0.828 (superior a 0.5), lo cual indica el alto contenido de material biodegradable de la muestra y sugiere la posibilidad de emplear sistemas biológicos para su tratamiento.

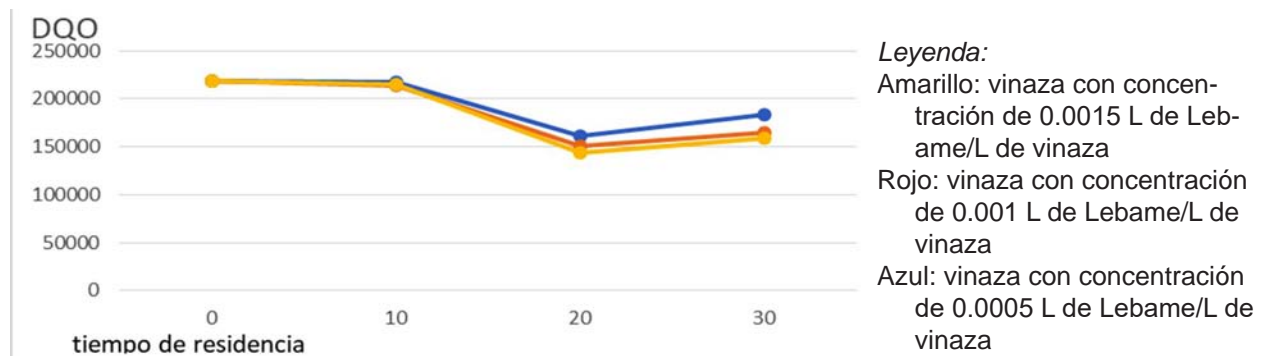
Los resultados de la caracterización de la muestra inicial y utilizada como testigo se muestran en la tabla 4; asimismo, los resultados del estudio de aplicación del Lebame® como método de tratamiento de la vinaza de destilería, según el diseño de experimentos, con el promedio de los valores de las dos réplicas, están indicados en la tabla 5.

**Tabla 4.** Resultados de la muestra inicial de la vinaza de la destilería tomada como testigo

Muestra	Tiempo de residencia (días)	DQO (mg/L)	Conductividad (mS/cm)	pH	% de remoción de DQO
Testigo	10	219 020	50.8	4.52	0
	20	225 230	51.9	4.52	0
	30	237 450	53.1	4.45	0

**Tabla 5.** Resultados según diseño de experimentos para el tratamiento de la vinaza de una fábrica de ron de Cuba con bioproducto Lebame®

No. de corrida	Tiempo (días)	Concentración (L de Lebame/ L de vinaza)	DQO (mg/L)	Conductividad (mS/cm)	pH	% de remoción de DQO
1	10	0.0005	217 650	50.3	4.54	0.56
2	20	0.0005	161 120	50.8	4.54	26.4
3	30	0.0005	183 670	51.9	4.46	16.1
4	10	0.001	214 030	50	4.53	2.2
5	20	0.001	150 880	50.8	4.54	31.1
6	30	0.001	165 240	51.4	4.47	24.5
7	10	0.0015	215 080	50	4.54	1.7
8	20	0.0015	143 200	50.8	4.54	34.6
9	30	0.0015	158 390	51.6	4.45	27.6



**Figura 1.** Variación de la DQO, en el tiempo, de la vinaza de una fábrica de ron.

### Efecto de los ME sobre la DQO

El valor inicial de la DQO en la vinaza de destilería es 218 000 mg/L como promedio. La aplicación de los ME provocaron una disminución de la DQO a través del tiempo de estudio, hasta el día 20. Los ensayos indicaron que la inoculación con ME, durante los primeros 20 días hizo disminuir la DQO en 34.6 %.

### Cambios en el pH

Los resultados del análisis de pH indican que, la vinaza de la destilería cuando es tratada con ME, el pH tiende a un ligero descenso. Este hallazgo coincide con los estudios de Mahmoud *et al.* (11), quien comparó residuales azucareros de un central de Egipto, tratados con ME y halló que luego de completar el ensayo, 20 días después, el pH tendió a disminuir ligeramente. El pH del bioproducto Lebame®, según los estándares de calidad declarados por el ICIDCA, es cercano a 4.

### Efecto de la aplicación de ME en aceites y grasas a los 20 días

El contenido de aceites y grasas (A y G) en este residual es debido al proceso industrial y en lo principal a los aceites minerales de los equipos. El estudio mostró disminuciones del 82.5 % por la aplicación del Lebame®. Este resultado es superior al de Mahmoud *et al.* (11), quien encontró remociones de A y G de 40 %.

### Resultados del nitrógeno amínico

Se ensayó la hidrólisis de la muestra resultante del tratamiento mediante calor. El pH fue ajustado a 3 y se experimentó con 40 minutos a 120 °C. Los resultados de la muestra inicial y después de la hidrólisis se muestran en la figura 2.



**Figura 2.** Nitrógeno amínico, al inicio y al final del tratamiento.

Como puede observarse el tratamiento promovió la concentración de nitrógeno amínico en casi 3 veces, lo cual apunta hacia el aprovechamiento de este residual, que aún no cumple con las normas de vertimiento, pero que puede ser utilizado en la producción de un bioestimulador para la agricultura.

### Propuesta para el tratamiento de la vinaza de una fábrica de ron en Cuba

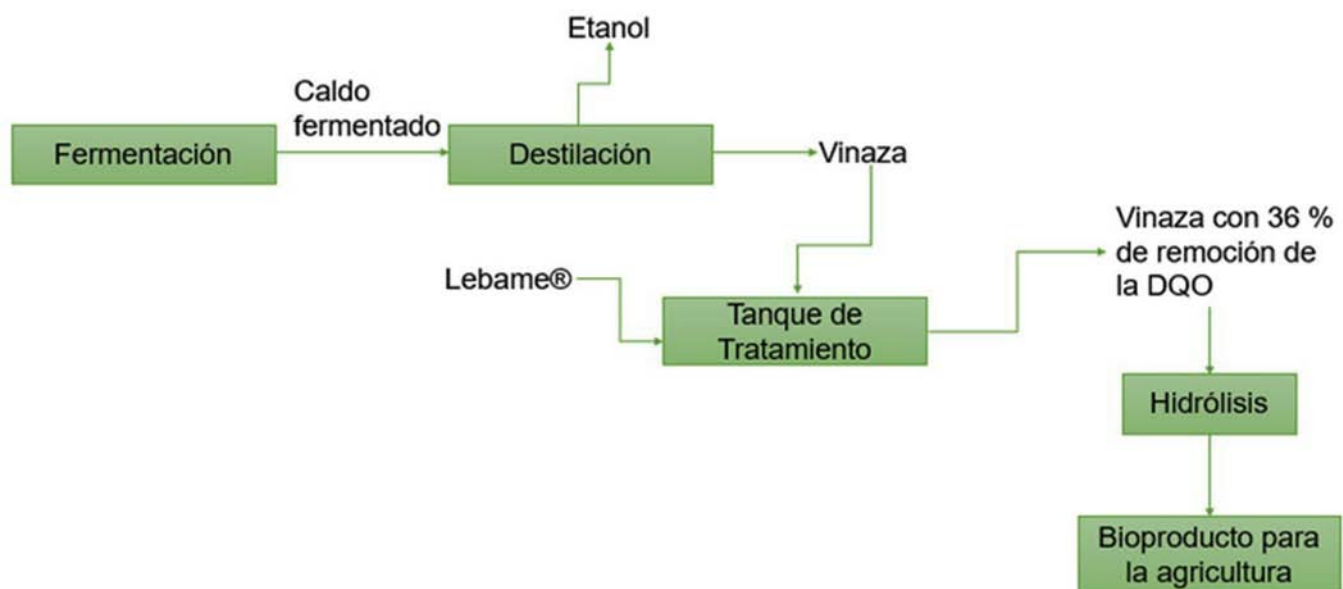
Se propone, para el tratamiento de la vinaza de la fábrica de ron, aplicar la mejor dosis obtenida en el diseño experimental y, en función de esta, determinar la concentración de Lebame® necesaria para tratar el volumen del depósito que contiene la vinaza. La mejor dosis se obtuvo para una concentración de 1.5 L de Lebame® por m<sup>3</sup> de vinaza, en un tiempo de 23 días.

Si se parte de la condición de mejor dosis, con el objetivo de reducir la carga contaminante de la vinaza de la fábrica, son necesarios 1 352 L de Lebame®, si se tiene en cuenta que el depósito tiene un volumen de 902 m<sup>3</sup> y se realiza una aplicación de choque. Luego, en correspondencia con el cambio de calidad del agua y las normativas de vertimiento, se propone realizar una aplicación de mantenimiento a los 20 días, con la misma concentración de Lebame®.

### Impacto social y medioambiental

En el estudio se propone una solución para la disminución de la carga contaminante de la vinaza de la fábrica de ron. Con los altos niveles de Demanda química de oxígeno (DQO), como resultado de la descarga de residuales ricos en materia orgánica, se llega al descenso del oxígeno disuelto y al desarrollo de condiciones sépticas; por lo cual, con el tratamiento propuesto se reducen las posibilidades de decrecimiento de oxígeno disuelto. La reducción de la contaminación disminuye las afectaciones al balance químico y ecológico de los cuerpos receptores; además, si se controla la acidez del residual se reducen las limitaciones en los posibles usos.

El aprovechamiento del residual con un tratamiento biológico que disminuye su contaminación y lo potencia como bioestimulante agrícola son principios inherentes del concepto de economía circular. La economía circular propone integrar los procesos biológicos, y maximizar el valor de los subproductos.



**Figura 3.** Economía circular aplicada al tratamiento de la vinaza de una fábrica de ron de Cuba, con el bioproducto Lebame®.

## CONCLUSIONES

1. La caracterización inicial de la vinaza, procedente del depósito de una fábrica de ron de Cuba, clasifica a la fábrica como una fuente contaminante, pues excede los valores vigentes en la NC:27-2012.
2. Las mayores remociones de DQO se obtuvieron para 0.0015 L / L vinaza, a los 23 días de tratamiento, con una reducción del 36 % de la DQO como indicador de la contaminación de la vinaza de destilería tratada, sus parámetros no cumplen con las normas de vertimiento, por lo que se propone un proceso de hidrólisis ácida.
3. La hidrólisis de la vinaza de destilería, con alto contenido de levadura, incrementó en tres la concentración de nitrógeno amínico, lo cual apunta hacia el aprovechamiento de este residual como un bioestimulador para la agricultura.
4. Se propone la aplicación de 1 352 L de Lebame®, en el depósito de almacenamiento de la vinaza y dejarlo en tratamiento por un tiempo de residencia de 23 días, a los 20 días puede repetirse la operación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Matta SMSaME. Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. Safwat and Matta Journal of Engineering and Applied Science. 2021.
2. Leidys Camacho-López MD-dIR, Indira Pérez-Bermúdez, Noylin Sánchez-García, Mauricio Ribas-García. Recuperación del potasio en vinazas de destilerías mediante su precipitación con sulfato de amonio. ICIDCA. 2016;50.
3. Pérez I. Concentración y desalinización de vinazas de destilerías. Seminario Científico, ICIDCA. In: ICIDCA, editor. 2012.
4. Roberto Ibarra-Camacho LL-D. Caracterización químico-física de vinazas de destilerías. Revista Cubana de Química. 2018;31.
5. Elein Terry-Alfonso JR-P, Yudines Carrillo-Sosa, Ma. Elena Díaz de Villegas-Díaz de Villegas, Grizel Delgado- Arrieta. Resultados del Lebame en cultivos hortícolas de interés económico. ICIDCA. 2016;50.
6. Rafael Gómez-Kosky AB-V, Carlos Fernando Reyes-Esquirol, Dunia Núñez -Jaramillo, Miodala Bermúdez-Calimano, Yamilet Cardenas-Cuellar, Pablo Machado-Armas, Ramiro Castillo-León. Efecto de los microorganismos eficientes Lebame, en la aclimatización ex vitro de caña de azúcar (*Saccharum. spp.*) cultivar C87-51. ICIDCA. 2019;53.
7. López OM. Manual de procedimientos. Demanda Bioquímica de Oxígeno. 2019.
8. López OM. Manual de procedimientos. Nitrógeno Método Kjeldahl. In: ICIDCA, editor. 2019.
9. ICIDCA. Manual de procedimientos. Fósforo método colorimétrico. Febrero 2019.
10. ICIDCA. Manual de procedimientos. Demanda Química de Oxígeno. Febrero 2019.
11. Mahmoud A. Ghandour MA-KM, Mohamed Hemida Abd-Alla, and Nader S. Doas Evaluating the treatment of sugar industry wastewater using the effective microorganism formulation Running title: Biotreatment of sugar industry effluent 2. 2017.