

Propuestas para minimizar el impacto ambiental de dos industrias en la bahía de Santiago de Cuba

Proposals to minimize the environmental impact of two industries in
Santiago de Cuba's bay

Dunia Rodriguez-Heredia^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4676-7314>

Henry Bory-Prevez² <https://orcid.org/0000-0001-5508-0501>

Telvia Arias-Lafargue¹ <https://orcid.org/0000-0003-2610-1451>

Valdivina Córdova-Rodríguez³ <https://orcid.org/0000-0002-6192-9898>

Taimi Bessy-Horruitiner¹ <https://orcid.org/0000-0001-7595-5547>

¹Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

²Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba

³Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

*Autor para la correspondencia: correo electrónico: duniarh@uo.edu.cu

RESUMEN

La bahía de Santiago de Cuba recibe el aporte contaminante de varias industrias, dentro de las que se encuentran la Procesadora de Soya (PDS) y la Refinadora de aceites ERASOL. En trabajos previos de los autores se ha visto que ambas contribuyen con la contaminación orgánica que llega a la bahía, por lo que el objetivo del trabajo es realizar propuestas que en su conjunto contribuyan a

minimizar el impacto negativo de estas industrias al ecosistema. Se revisaron trabajos realizados por otros autores para determinar los impactos que provocan estas industrias en la bahía. Se presenta una revisión de los principales impactos negativos que generan debidos al vertimiento de sus residuales. Se proponen tecnologías de tratamiento que permitan, según la naturaleza de sus residuales, minimizar el daño al ecosistema bahía, además de un plan de acciones con metas y acciones de monitoreo, de investigación y de educación ambiental, que en su conjunto logren minimizar la carga orgánica que llega a la bahía proveniente de estas dos industrias de alimentos.

Palabras claves: agua residual; procesadora de soya; refinadora de aceites; bahía de Santiago de Cuba.

ABSTRACT

Santiago de Cuba's bay receives the polluting contribution of several industries, among which are the Soybean Processor and the ERASOL Oil Refiner. In previous works by the authors, it has been seen that both contribute to the organic pollution that reaches the Bay, so the objective of the work is to make proposals that as a whole contribute to minimizing the negative impact of these industries on the ecosystem. Works carried out by other authors were reviewed to determine the impacts caused by these industries in the Bay. A review of the main impacts that they generate due to the dumping of their wastes is presented. Treatment technologies are proposed that allow, depending on the nature of its wastes, to minimize the damage to the Bahía ecosystem, in addition to an action plan with goals and actions for monitoring, research and environmental education, which together can minimize the burden. organic that comes to the bay from these two food industries.

Key words: waste water; soybean processor; oil refiner; Santiago de Cuba's bay.

Recibido: 15/12/2021

Introducción

La Empresa Procesadora de Soya (PDS) y la Refinadora de aceites ERASOL de Santiago de Cuba son dos de las fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba, aportando en su conjunto, residuales de origen orgánico, lo cual está sustentado en la naturaleza de sus producciones, pues ambas son industrias de alimentos.^(1,2)

Los reportes del CITMA ⁽³⁾ y algunos autores, ⁽⁴⁾ refieren que estas industrias tienen la prioridad para ser tratadas y minimizar el impacto contaminante de sus residuales líquidos sobre el ecosistema bahía, estando entre las de mayor importancia del total de industrias e instalaciones que afectan al mismo. Estos residuales tienen un componente orgánico medianamente biodegradable.^(1,2)

Todo lo expuesto argumenta la necesidad de emprender acciones que minimicen en su conjunto, la carga orgánica proveniente de estas instalaciones industriales, por lo que el objetivo del trabajo es realizar propuestas para minimizar el impacto ambiental de las empresas PDS y ERASOL sobre la bahía de Santiago de Cuba.

Fundamentación teórica

Las industrias de alimentos descargan a los ecosistemas residuales líquidos de origen orgánico, lo cual se sustenta en que tanto materias primas como productos y en general, los procesos que se llevan a cabo, son de naturaleza orgánica.

En la literatura, ⁽⁵⁾ aparece que las vinazas de destilería son los efluentes líquidos que se derivan de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar y constituyen un problema ambiental, con valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de hasta 100 000 mg/L. Por otra parte, en el trabajo investigativo de Cabrera y colaboradores ⁽⁶⁾ se evidenció que los residuales procedentes del

procesamiento de pescado tienen una elevada Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) debido a la presencia de sangre, tejidos y proteínas disueltas y un elevado contenido de nitrógeno y fósforo.

Un trabajo relacionado con las aguas residuales provenientes del proceso de beneficio del café revela que las operaciones de beneficio húmedo del café, incluyen las tareas de despulpado, fermentación, lavado y secado; y es en el proceso de lavado donde se generan los mayores aportes de carga contaminante. De la operación de remoción de mucílago mediante lavado, se generan aguas residuales y lixiviados que pueden aportar carga orgánica, en términos de la DBO₅, que superan los 6 000 mg O₂/L. Además de elevados valores de DBO₅, se encontraron valores considerablemente altos de sólidos suspendidos.⁽⁷⁾

Otros ejemplos lo constituyen las aguas residuales de plantas de beneficio de aceite de palma, efluente que genera alta carga orgánica y elevados valores de sólidos suspendidos ⁽⁸⁾ y los residuales de fábricas de aceite de oliva, igualmente, con un componente orgánico elevado, evaluado mediante la DBO₅ y DQO.⁽⁹⁾

Estos residuales de industrias de alimentos generan una carga orgánica que va a los destinos finales en cada caso; en Santiago de Cuba, se vierte en la Bahía.

La bahía de Santiago de Cuba presenta un deterioro en su calidad, debido, en parte a los problemas que existen en las más de 20 fuentes que la contaminan: ⁽³⁾

- Sistemas de tratamiento de residuales líquidos sin rehabilitar.
- Manejo inadecuado de los residuales líquidos.

Para mejorar esta situación, se estableció un orden de prioridad para el manejo de los desechos, a partir de ser evaluadas las capacidades de manejo de los desechos de cada fuente contaminante. Dentro de las industrias que tienen la prioridad uno se encuentran la Empresa Procesadora de Soya de Santiago de Cuba y la Empresa Refinadora de aceites ERASOL, ^(3,4) sus residuales contienen como componente importante la lecitina de soya y el jaboncillo, respectivamente, ambos constituyentes de naturaleza orgánica, y más específicamente, lipídica.

En trabajos investigativos realizados en estas industrias, se encuentren elevados valores de DBO₅, DQO, grasas y aceites, entre otros.^(1,2,10,11)

Materiales y métodos

Se revisaron artículos científicos realizados en la PDS y en la empresa ERASOL de Santiago de Cuba, así como otros documentos relacionados con los procesos que se llevan a cabo en estas industrias, para identificar algunos de los indicadores de contaminación presentes en sus residuales y así conocer hacia dónde dirigir las acciones propuestas.

Resultados y discusión

En la tabla 1 se presentan los principales contaminantes identificados en los vertidos de estas industrias. Como se aprecia, en general, contaminantes de naturaleza orgánica, que en su conjunto elevan la DBO₅ y la DQO.

Tabla 1. Principales indicadores de contaminación presentes en los residuales de la PDS y la empresa ERASOL de Santiago de Cuba.^(1, 2, 10, 11, 12,13)

Industria	Indicadores de contaminación presentes en sus residuales	Fuente bibliográfica
Empresa Procesadora de Soya	Grasas y aceites	(Rodríguez <i>et al.</i> , 2020)
	DQO	(Dinza <i>et al.</i> , 2015), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2020)
	DBO ₅	(Dinza <i>et al.</i> , 2015), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2020)
	Sólidos suspendidos	(Dinza <i>et al.</i> , 2015)
Empresa Refinadora de Aceites ERASOL	Grasas y aceites	(Ábalos <i>et al.</i> , 2007), (Mesa, 2010), (Sánchez y Arias, 2018), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)
	DQO	(Ábalos <i>et al.</i> , 2007), (Mesa, 2010), (Dinza <i>et al.</i> , 2015), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)
	DBO ₅	(Ábalos <i>et al.</i> , 2007), (Mesa, 2010), (Dinza <i>et al.</i> , 2015), (Sánchez y Arias, 2018), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)
	Sólidos suspendidos	(Mesa, 2010), (Dinza <i>et al.</i> , 2015), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)
	Fósforo total	(Ábalos <i>et al.</i> , 2007), (Sánchez y Arias, 2018), (Rodríguez <i>et al.</i> , 2021)

Efectos de los indicadores de contaminación encontrados en los residuales industriales de la PDS y ERASOL

A continuación, en la tabla 2, se presentan los efectos de los indicadores de contaminación reportados en los residuales de estas dos industrias de alimentos. Teniendo en cuenta los principales contaminantes detectados en estos residuales y su efecto, la ubicación geográfica de estas industrias, cuyos residuales afectan al Refugio de Fauna “San Miguel de Parada” y llegan a la bahía de Santiago de Cuba, impactando negativamente el ecosistema, se presentan propuestas que permitirán minimizar el impacto negativo de estos residuales industriales en la bahía.

Tabla 2. Efectos de indicadores de contaminación presentes en estas industrias.⁽¹⁴⁻¹⁷⁾

Indicador	Efectos sobre los ecosistemas
Grasas y aceites	Un aumento en las grasas y aceites provoca que el agua se enturbie e impida la entrada de los rayos solares a las capas interiores de la misma, afectando a los organismos fotosintéticos. Al ser menos densos que el agua e inmiscibles en esta, permanecen en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Su presencia puede interferir con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, ya que impiden el libre paso de oxígeno hacia el agua y la salida de CO ₂ de esta última hacia la atmosfera. Lo anterior conduce como a la muerte irremediable de los organismos acuáticos.
DQO	Cantidad de oxígeno disuelto que consumen en la oxidación química de toda la materia oxidable de una muestra. Bajo tales condiciones se oxida toda la materia oxidable presente en la muestra, incluso aquella que los microorganismos no son capaces de degradar. Es un indicador de la contaminación orgánica de los vertidos, tanto la materia biodegradable, como la que no lo es.
DBO ₅	Cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica de una muestra. Es un indicador de la contaminación orgánica de los vertidos. Permite prever cuánto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas y comprobar la eficacia del tratamiento depurador de esas aguas.
Sólidos suspendidos	Es la cantidad de sólidos no filtrables que tiene una muestra. Por su propia naturaleza, son de composición altamente heterogénea. Estos hacen referencia al material que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua. Son los principales responsables de la turbiedad del agua. Su presencia en las corrientes indica modificación de las condiciones hidrológicas.
Fósforo total	La concentración de fósforo total es uno de los indicadores de eutrofización más robustos y estudiados. El fósforo presente en las aguas residuales urbanas, procede principalmente de materia fecal humana (50-65%), de los vertidos de residuos alimenticios y de los compuestos de fosfatos inorgánicos contenidos en los detergentes y productos de limpieza. Los fosfatos PO ₄ ³⁻ son la forma más común en la que llega el fósforo a las aguas residuales. Los sistemas vivos requieren de nitrógeno y fósforo para desarrollarse, de ahí que se conozcan como nutrientes. El fósforo se requiere a nivel celular para el transporte de energía. Por lo que un aumento de este en los residuales provoca eutrofización. El aporte en exceso de fósforo produce una proliferación de algas fitoplanctónicas, lo que trae consigo efectos adversos en las masas de aguas afectadas.

Propuestas tecnológicas

Las propuestas que se presentan en este trabajo constituyen un análisis preliminar y tienen su base en la relación DQO/DBO₅, índice de biodegradabilidad (IB), según la ecuación (1): ⁽¹⁸⁾

$$IB = \frac{DQO}{DBO_5} \quad (1)$$

- IB= 1,00 – 2,50 Biodegradable
 IB= 2,50 – 5,00 Medianamente biodegradable
 IB= 5,00 Poco biodegradable

El cálculo del índice de biodegradabilidad se realizó con los datos provenientes de las evaluaciones de los residuales de ambas industrias (tabla 3), obtenidos en 2019 en la PDS y en 2020 en ERASOL.^(1,2)

Tabla 3. Resultados de las evaluaciones de los residuales de la PDS y de ERASOL

No.	Empresa Procesadora de Soya, 2019		Empresa ERASOL, 2020	
	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
1	121	337	7 451	22 400
2	44	132	8 108	24 400
3	17	60	7 986	24 000
4	32	105	7 859	23 600
5	17	58	2 128	6 400
6	27	90	1 861	5 600
7	22	72	221	672
8	19	63	10 645	32 000
9			1 591	4 800
10			1 191	3 600
11			8	30
12			1 061	3 200
13			660	2 000

Las figuras 1 y 2 muestran las gráficas de la relación DQO/DBO₅ encontradas en las industrias objeto de estudio.

De las figuras 1 y 2 se observa que el índice de biodegradabilidad, correspondiente a las pendientes de las rectas, en ambos casos está en el intervalo entre 2,5 y 5, siendo los residuales medianamente biodegradables.

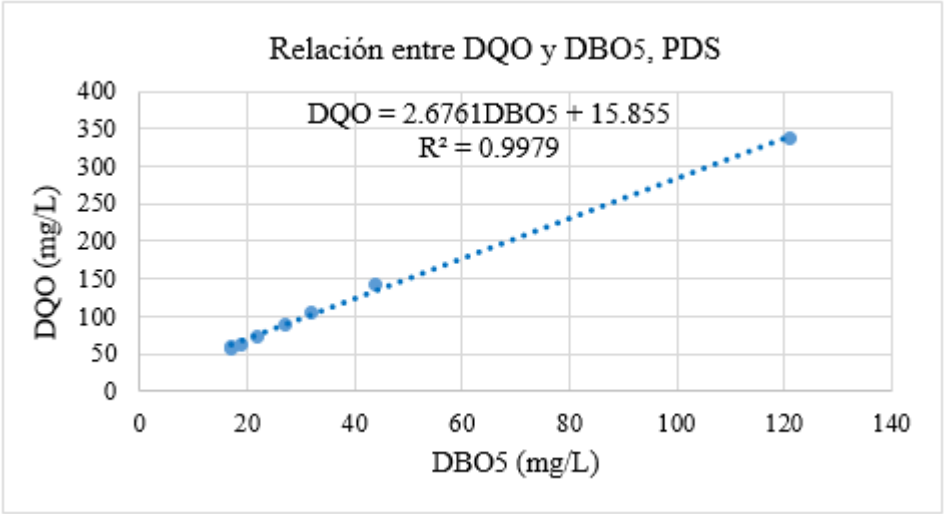


Fig. 1- Relación DQO/DBO₅ resultante de la evaluación de residuales en la PDS

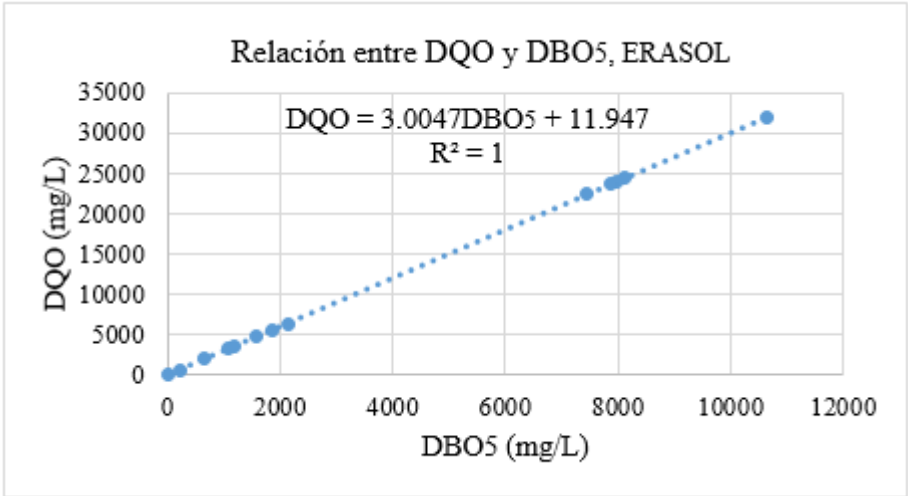


Fig. 2- Relación DQO/DBO₅ resultante de la evaluación de residuales en ERASOL

Propuesta tecnológica para tratar los residuales de la empresa

PDS

Las caracterizaciones de los residuales líquidos de la empresa demuestran una elevada concentración de aceites y grasas, ⁽¹⁾ incumpliendo lo establecido en la norma de vertimiento vigente. Otros parámetros fuera de norma son la DBO₅ y la DQO. Los elevados valores de grasas y aceites pudieran estar asociados a que se trata de residuales provenientes de una industria en la que se trabaja con sustancias de naturaleza lipídica, aunque también pudo haber ocurrido una falla durante el proceso, específicamente en el proceso de desgomado, donde se separa completamente el aceite desgomado y el agua, para así obtener la lecitina. Teniendo en cuenta la necesidad de minimizar estos parámetros en los residuales que se verterán a la zona costera se propone una tecnología que puede estar conformada por un sedimentador primario, un flotador y un filtro percolador. Estos equipos posibilitarán la reducción de las sustancias orgánicas que conforman el residual en cuestión.

Propuesta tecnológica para tratar los residuales de la empresa

ERASOL

Como se presentó en la tabla 1, diversas investigaciones han demostrado que son elevadas las concentraciones de sólidos suspendidos, aceites y grasas, DQO y DBO₅ en los residuales líquidos de esta empresa. A partir de los resultados de la caracterización de las aguas residuales de la refinería ERASOL se pudo categorizar a las mismas como poco agresivas según el pH, encontrándose los valores de pH dentro de lo normado, entre 5,5 y 9 unidades, siendo el valor medio de 6,92, cercano a la neutralidad, ⁽²⁾ y mixtas según su composición de acuerdo a la relación DQO/DBO₅, requiriéndose la utilización de un sistema de tratamiento basado en procesos físico-mecánicos, químicos y microbiológicos.

Con estos resultados se realizó la propuesta de mejoras en el sistema de tratamiento de residuales, el cual incluye un separador mecánico, tanque séptico, filtros percoladores o lecho bacterianos, lagunas anaerobia y aerobia.

Propuesta tecnológica para minimizar el impacto de los residuales de ambas industrias

Si se tiene en cuenta que las entidades objeto de análisis colindan y que los residuales de ambas se vierten al mismo sitio, no sería irrazonable pensar como mejor opción el que ambas empresas viertan sus residuales líquidos a una misma planta de tratamiento, con los consiguientes beneficios que ello representaría.

La propuesta tecnológica en este caso partiría de la instalación de un homogeneizador para la estabilización de los flujos de residuales a tratar. Normalmente, el flujo y composición de los residuos líquidos presenta variaciones durante la operación rutinaria de la planta, reflejando diferentes operaciones que tienen lugar durante el proceso. Ello puede presentar problemas, particularmente para las operaciones de tratamiento subsiguientes, que se caracterizan por ser procesos muy lentos, cuya eficiencia es muy sensible a las variaciones de flujo y concentración. Es por ello que resultaría conveniente, para el diseño del equipamiento, realizar un estudio de los flujos de aguas residuales que se generan en ambas industrias, así como la desagregación de corrientes para evitar que las aguas albañales se mezclen con las aguas residuales industriales.

Como los contaminantes generados en estas industrias son susceptibles a la degradación microbiana, el flujo de residual que sale del homogeneizador puede ser tratado en Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (UASB), por las ventajas que presenta y las utilidades económicas que brinda: producción de biogás para la generación de electricidad, el aprovechamiento de la biomasa resultante de la digestión como fertilizante o alimento animal, así como la posibilidad de sustituir el combustible por el biogás para minimizar la emanación de gases (CO_2 y SO_2) a la atmósfera.

Existen estudios que han demostrado la obtención de biogás a partir de los residuales de este tipo de industrias y en la misma industria ERASOL se han desarrollado pruebas de ello con buenos resultados.

Plan de acciones para minimizar el impacto de estas dos industrias al ecosistema bahía de Santiago de Cuba

El plan de acciones que se presenta tiene su basamento en los resultados de las evaluaciones de los residuales industriales de estas industrias y en los resultados de un trabajo investigativo realizado en la empresa ERASOL ⁽¹⁹⁾ que arrojó que en la empresa no se contaba con un programa de capacitación ambiental, en su gran mayoría los trabajadores desconocían los aspectos e impactos ambientales asociados a las actividades de sus puestos de trabajo y sus responsabilidades en relación con la protección del medio ambiente, tratamiento eficaz de las aguas residuales, aplicación de las legislaciones y normativas ambientales y sanitarias, así como eliminación adecuada de los aceites usados y desechos peligrosos.

Con los resultados se demostró:

1. Insuficiente cultura ambiental, lo cual ocasiona falta de motivación para el emprendimiento en la mejora o el cambio.
2. Personal de la empresa insuficientemente preparado para enfrentar la gestión ambiental, lo que se manifiesta en el desconocimiento de los trabajadores de los aspectos e impactos ambientales vinculados a las funciones o actividades del puesto de trabajo que desempeñan.
3. Insuficientes conocimientos de los aspectos e impactos ambientales en que incurre la entidad en sus actividades, productos y/o servicios con enfoque de procesos.

PLAN DE ACCIONES

Investigación:

Asunto clave: Necesidad de investigar la temática de la contaminación de origen orgánico, para reducir sus efectos al medio ambiente y al hombre.

Objetivo: Promover investigaciones nuevas y continuar las investigaciones en curso para elevar el conocimiento de los efectos de la contaminación orgánica en la Bahía y en otros ecosistemas vulnerables como el Humedal de “San Miguel de Parada”, al cual descargan estos residuales.

Metas:

1. Aumentar el conocimiento de nuevos métodos y técnicas de determinación de indicadores de contaminación orgánica.
2. Realizar investigaciones más complejas y profundas que provean de un conocimiento abarcador acerca de la presencia de contaminantes orgánicos en la bahía de Santiago de Cuba.
3. Aumentar el conocimiento acerca de los métodos de tratamiento de residuales orgánicos más efectivos y asequibles para nuestro país.

Acciones:

1. Realizar un estudio de los flujos de aguas residuales que se generan en ambas industrias.
2. Realizar la determinación química de indicadores de contaminación orgánica en las zonas de la Bahía que reciben directamente estos residuales industriales, para investigar cómo se comporta la distribución de estos contaminantes orgánicos en el ecosistema.
3. Aumentar el periodo de muestreo y, de ser posible, realizarlo dos veces al año.
4. Determinar otros indicadores de contaminación orgánica.

Actores responsables: Universidad de Oriente, CNEA, CITMA, Empresa Geominera Oriente.

Monitoreo:

Asunto clave: Contaminación de las aguas terrestres y marinas por vertimiento de residuales industriales de naturaleza orgánica.

Objetivo: Minimizar los impactos negativos producidos por los residuales orgánicos vertidos por estas industrias en el ecosistema Bahía.

Meta: Realizar monitoreos sistemáticos para conocer el comportamiento de la contaminación orgánica en la Bahía, procedente de estas fuentes contaminantes, es decir, la tendencia a aumentar o a disminuir este tipo de contaminación.

Acciones:

1. Realizar determinaciones químicas de grasas y aceites, DBO₅, DQO, fósforo total y otros indicadores de contaminación orgánica al menos dos veces al año en cada punto contaminante de estas industrias.

Educación Ambiental:

Asunto clave: Insuficiente conocimiento acerca del daño que provocan los contaminantes orgánicos en los ecosistemas.

Objetivo: Contribuir a la formación de una cultura medioambiental en los trabajadores de estas empresas y en los usuarios de la zona costera que viven en las zonas aledañas.

Metas:

1. Formación ambiental de los trabajadores de estas industrias y de los habitantes de zonas aledañas a las mismas.

2. Aumentar el conocimiento en los trabajadores, gestores y habitantes de zonas aledañas a estas industrias, acerca de la contaminación de origen orgánico y sus efectos en los ecosistemas.

Acciones:

1. Realizar cursos de capacitación acerca de los impactos en los ecosistemas de los contaminantes orgánicos.
2. Realizar cursos de capacitación acerca de la legislación ambiental relacionada con el tema.
3. Realizar cursos de capacitación acerca de los indicadores de contaminación orgánica más importantes y métodos de tratamiento de residuales orgánicos.

Conclusiones

Debido a que las industrias PDS y ERASOL de Santiago de Cuba impactan negativamente el ecosistema bahía de Santiago de Cuba, se realizaron propuestas para minimizar este impacto. Estas fueron:

1. Propuestas tecnológicas para tratar los residuales de ambas industrias, tomando en consideración la naturaleza orgánica de los mismos.
2. Plan de acciones con metas y acciones de investigación, monitoreo y educación ambiental, que en su conjunto logren minimizar la carga orgánica que llega a la bahía proveniente de estas dos industrias de alimentos.

Es necesario emprender estas acciones para minimizar la contaminación que afecta a la bahía de Santiago de Cuba.

Agradecimientos

Agradecemos las sugerencias del Dr. Carlos Menéndez Gutiérrez, de la Universidad Tecnológica de La Habana.

Referencias bibliográficas

1. RODRÍGUEZ-HEREDIA, D., *et al.* Evaluación de la calidad de las aguas residuales de la Empresa Procesadora de Soya de Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química* [en línea]. 2020, septiembre-diciembre, **40** (3). 598-610. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 2224-6185. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300598
2. RODRÍGUEZ-HEREDIA, D., *et al.* Evaluación de los residuales de la Empresa Refinadora de Aceites ERASOL de Santiago de Cuba. Resultado del Proyecto “Contribución a la conservación de la Bahía de Santiago de Cuba”. 2019-2021. Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.
3. CITMA. Bahía de Santiago de Cuba: situación ambiental, diagnóstico y propuestas. Delegación Territorial. Unidad de Medio Ambiente Santiago de Cuba, 2018.
4. PÉREZ-HERNÁNDEZ, M., VALDÉS-MARTÍNEZ, M., PEÑA-COSSÍO, R., Resumen ejecutivo del Proyecto “Monitoreo de la Calidad Ambiental del ecosistema de la bahía de Santiago de Cuba”. Cimab, 2017.
5. CHANFÓN-CURBELO, J., LORENZO-ACOSTA, Y. Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. *Revista Centro Azúcar* [en línea]. 2014, abril-junio, 41. 56-67. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 2223- 4861. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/255
6. CABRERA-ESTADA, I., *et al.* Diseño de un sistema de tratamiento de los residuales líquidos de la Empresa Pesquera Induvilla de Santa Clara. *Revista*

Centro Azúcar [en línea]. 2019, octubre-diciembre, **46**. 28-38. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 2223- 4861.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612019000400028

7. GUTIÉRREZ-GUZMÁN, N., *et al.* Eficiencia de remoción de DBO₅ y SS en sedimentador y lecho filtrante para el tratamiento de aguas residuales del beneficio de café (*Coffea arabica*). *Colombia Forestal* [en línea]. 2014, julio-diciembre, **17** (2). 151-159. [Consultado 10 enero 2021]. e-ISSN: 2256-201X. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/article/view/5407>

8. ALTHAUSEN, M. Tratamiento de Efluentes de la Planta de Beneficio-Convertir un residuo en un recurso. *Revista Palmas* [en línea]. 2016, (37) (número especial). 31-37. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 0121-2923. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11918>

9. ARMANDO-NAVARRO, Ml., *et al.* Caracteres físico-químicos de efluentes de fábricas de aceite de oliva. MENDOZA (ARGENTINA). *Rev. FCA UNCuyo* [en línea]. 2006. **XXXVIII** (1). 87-97. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN on-line: 1853-8665. <http://bdigital.uncu.edu.ar/769>

10. DINZA-TEJERA, D., *et al.* Aprovechamiento energético del biogás a partir de los residuales de la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba “ERASOL”. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas* [en línea]. 2015, septiembre-diciembre, **46**. 324-331. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 0253-5688. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181259521025>

11. SÁNCHEZ-RIVERA, W., ARIAS-LAFARGUE, T., Propuestas de mejora en sistemas de tratamiento de residuales en la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago de Cuba. *Revista Tecnología Química* [en línea]. 2018, enero-abril, **38** (1). 103-120. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 2224-6185. <https://tecnologiaquimica.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/3223>

12. MESA-MESA, L. La gestión ambiental empresarial con un basamento del MIZC para la prevención, el control y la mitigación de los impactos causados por la Refinería de aceites ERASOL. Centro de Estudios Multidisciplinarios de

Zonas Costeras. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba. 2010. Disponible en: <https://aquadocs.org/handle/1834/3637>. [Consultado 10 enero 2021].

13. ÁBALOS, A., *et al.* Caracterización de las aguas residuales de la planta refinadora de aceites comestibles ERASOL. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas* [en línea]. 2007, septiembre-diciembre, **38** (3). 220-223. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN: 0253-5688.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181221643008>

14. TORRES, A. Análisis de aguas residuales. laboratorio medio ambiente diputación provincial de Granada. [Consultado 25 marzo 2021]. Disponible en: http://a21-granada.org/red-gramas/images/Presentacion_ANTONIO.pdf

15. AUBRIOT, L., *et al.* Evolución de la eutrofización en el Río Santa Lucía: influencia de la intensificación productiva y perspectivas. *INNOTECH: Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay* [en línea]. 2017, (14). 7-16. [Consultado 25 marzo 2021]. ISSN 1688-6593. DOI: <https://doi.org/10.26461/14.04>.

16. CUERO-CAICEDO, LV. Diseño de un sistema para el tratamiento de aguas residuales fundamentado en procesos de rizofiltración y lechos orgánicos filtrantes capaces de disminuir el contenido de grasas y aceites presentes en una muestra de agua residual procedente de una sucursal de la empresa MIMOS S.A. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad de Ciencias y Educación. Proyecto Curricular de Licenciatura en Química. Bogotá D.C. 2019. [Consultado 25 marzo 2021]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23257/CueroLuisaVannessa2019.pdf?sequence=1>.

17. MENÉNDEZ-GUTIÉRREZ, C., DUEÑAS-MORENO, J. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [en línea]. 2018, septiembre-diciembre, XXXIX (3). [Consultado 14 mayo 2021]. ISSN: 1680-

0338. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1680-03382018000300097&lng=es&nrm=iso

18. DE JESÚS-ROMERO, T., *et al.* Caracterización de las aguas residuales generadas en una industria textil cubana. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [en línea]. 2016, septiembre-diciembre, XXXVII (3). 46-58. [Consultado 14 mayo 2021]. ISSN: 1680-0338. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382016000300004)

03382016000300004

19. SUÁREZ-CAIMARY, IL., *et al.* Programa para la Capacitación y Desarrollo ambiental de los trabajadores de la Empresa Refinadora de Aceite de Santiago De Cuba. *Ciencia en su PC* [en línea]. 2018, enero-marzo, (1). 96-106. [Consultado 14 mayo 2021]. ISSN: 1027-2887. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181358269012/html/>

Conflicto de interés

Los autores declaran que no hay conflictos de intereses

Contribución de los autores

Dunia Rodríguez Heredia: concibió la idea del artículo, investigó en las industrias, investigó los fundamentos teóricos, trabajó en las otras partes del artículo y redactó el informe final.

Henry Bory Prevez: trabajó en el procesamiento de los datos experimentales, haciendo contribuciones en su análisis y presentación. Colaboró con los resultados y su discusión y en la redacción del informe final.

Telvia Arias Lafargue: investigó en las industrias y realizó las propuestas tecnológicas.

Valdovina Córdova Rodríguez: investigó en las industrias y colaboró con los resultados y su discusión.

Taimi Bessy Horruitiner: colaboró con el plan de acciones y revisión del informe.