

## Estudio de impactos ambientales sobre alternativas de sistemas de saneamiento para la solución de vertimientos en la zona costera del distrito de Riohacha, en La Guajira, Colombia

Environmental impact study on alternative sanitation systems for the solution of wastewater discharges in the coastal area of the district of Riohacha, in La Guajira, Colombia.

MSc. Yamileth Patricia Herrera Campuzano<sup>1</sup>, PhD. Carlos Albeiro Pacheco Bustos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IDEHA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-5650-9706>, Email: [campuzanoy@uinorte.edu.co](mailto:campuzanoy@uinorte.edu.co)

<sup>2</sup> IDEHA, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5198-8122>, Email: [cbustosa@uinorte.edu.co](mailto:cbustosa@uinorte.edu.co)

Cómo citar: Y. P. Herrera-Campuzano y C. A. Pacheco-Bustos, "Estudio de impactos ambientales sobre alternativas de sistemas de saneamiento para la solución de vertimientos en la zona costera del distrito de Riohacha, en la Guajira, Colombia", *Rev. Ingenio*, vol. 21, n°1 pp. 21-28, 2024, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.4275>

Fecha de recibido: 25 de julio de 2023  
Fecha aprobación: 12 de diciembre de 2023

### RESUMEN

#### Palabras clave:

Aguas residuales, Análisis de alternativas, Biorreactor, Emisario, Energía renovable, Estudio de impacto ambiental, Lodo activado, Matriz de Leopold.

Esta investigación resalta la urgencia de abordar la contaminación en las aguas marinas y la zona costera del distrito de Riohacha, agravada por la descarga de aguas residuales municipales sin tratar. La carencia de un sistema eficiente de tratamiento ha causado daños al suelo, destrucción de la fauna y flora marina, impactos en la salud local y la disminución del turismo, vital para los ingresos regionales. Para resolver esto, se proponen tres alternativas de saneamiento básico: planta de tratamiento convencional, biorreactor de membrana sumergida y emisario submarino. La evaluación del impacto ambiental mediante la matriz de Leopold es esencial para comprender y comparar los posibles efectos de estas alternativas. La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) ofrece datos cruciales para identificar los impactos ambientales de cada opción, facilitando la toma de decisiones sostenibles. Este enfoque demuestra un compromiso con la protección del entorno local. La participación comunitaria y de otras partes complementará este enfoque, y se espera con interés conocer los resultados de la EIA y su influencia en la elección de la alternativa más adecuada.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Wastewater, Alternatives analysis, Bioreactor, Outfall, Renewable energy, Environmental impact study, Environmental impact study, Activated sludge, Leopold matrix.

This research highlights the urgency of addressing pollution in the marine waters and coastal zone of the Riohacha district, aggravated by the discharge of untreated municipal wastewater. The lack of an efficient treatment system has caused soil damage, destruction of marine fauna and flora, impacts on local health, and a decrease in tourism, which is vital for regional income. To solve this problem, three basic sanitation alternatives are proposed: conventional treatment plant, submersible membrane bioreactor and submarine outfall. The environmental impact assessment using the Leopold matrix is essential to understand and compare the possible effects of these alternatives. The Environmental Impact Assessment (EIA) provides crucial data to identify the environmental impacts of each option, facilitating sustainable decision making. This approach demonstrates a commitment to protecting the local environment. Community and other stakeholder involvement will complement this approach, and the results of the EIA and its influence on the choice of the most appropriate alternative are eagerly awaited.

### 1. Introducción

El Distrito de Riohacha enfrenta la problemática de la ausencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que resulta en la descarga directa de estas aguas sin tratar en la zona costera. Los impactos negativos, evidenciados por malos olores y alteraciones en el ecosistema costero, son palpables en la cercanía a la costa [1].

en la zona costera, se planea implementar alternativas eco amigables para el tratamiento y disposición final o reutilización de las aguas residuales, conforme a la resolución 1207 de 2014. La selección de la opción más eficiente se llevará a cabo mediante la identificación y evaluación de los posibles impactos ambientales a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Para abordar esta situación y reducir la contaminación

El EIA se basará en la matriz de Leopold, un método que

#### Autor para correspondencia

Correo electrónico: [campuzanoy@uinorte.edu.co](mailto:campuzanoy@uinorte.edu.co) (Yamileth Patricia Herrera Campuzano)

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña  
Artículo bajo la licencia CC BY-NC (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>)



sistematiza la relación entre las acciones a implementar y sus posibles efectos sobre los factores ambientales. Este enfoque permitirá analizar en detalle las diversas alternativas de saneamiento básico, asegurando la elección de una solución que minimice los impactos ambientales y promueva la sostenibilidad en la región.

## 2. Antecedentes

En 2003, Dixon, Simon y Burkitt publicaron el artículo "Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach" [2].

Posteriormente, en el trabajo "Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant" [3], evaluaron la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales, así como el inventario de todas las entradas y salidas de una Planta de Tratamiento de Aguas Residual (PTAR), obteniendo como resultado un inventario exhaustivo de datos empíricos de flujos de agua, lodos y gases durante los años 2000 y 2001. De acuerdo con lo anterior, surgen dos categorías de impacto por su importancia: la eutrofización y la ecotoxicidad terrestre. En consecuencia, los aspectos que deben minimizarse para reducir el impacto ambiental del sistema son la carga contaminante en la descarga del curso de agua y las emisiones al suelo cuando los lodos se utilizan para su aplicación agrícola.

En 2012, en Suecia, publicaron un artículo sobre Systems analysis for environmental assessment of urban water and wastewater systems, en el que se evaluaban dos sistemas de aguas residuales urbanas fundamentalmente diferentes desde la perspectiva del impacto medioambiental [4]. Un sistema representa una estructura centralizada, de alta tecnología y de final de tubería, mientras que el segundo sistema se basa principalmente en estrategias de separación en origen.

Llegaron a la conclusión de que, según las simulaciones, ambos sistemas muestran un buen rendimiento en comparación con la mayoría de los sistemas tradicionales de aguas urbanas.

En 2014, publicaron una investigación acerca de Evaluación Ambiental de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para el Proyecto Old Rustamiya, en Bagdad, donde midieron parámetros como el pH, el Total de Sólidos Suspendidos y los parámetros biológicos Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) concluyendo que la eliminación de DBO es la más alta durante todo el año ya que la eficiencia de las PTAR oscila entre 92,21% y 92,95% en todo el periodo de estudio [5].

En Rumanía, publicaron un artículo titulado Environmental assessment of municipal wastewater

discharges: a comparative study of evaluation methods donde evaluaron tres métodos: Evaluación del ciclo de vida (ACV), Cuantificación del impacto ambiental (EIQ) y Huella hídrica (HH), son presentados, implementados y analizados críticamente en base a un conjunto unitario de datos relativos a la PTAR de la ciudad de Iasi [6]. Los resultados han mostrado que la mayoría de los impactos inducidos en las aguas superficiales vienen dados por los nutrientes (compuestos de nitrógeno y fósforo), que podrían inducir un impacto de eutrofización, y en menor medida por los contaminantes responsables de impactos de toxicidad.

En el 2022, se encontró una investigación sobre el Desarrollo de un sistema de monitoreo para las variables de temperatura, presión y pH en un biodigestor anaeróbico en donde se centra en la elaboración de un sistema de supervisión el cual permite analizar mediante un instrumento virtual las variables de temperatura, presión y pH involucradas en la adquisición de datos del sistema de biodigestor, con el fin de nivelar las carga orgánica generada por los componente de origen agropecuario, la cual generalmente se vierte de forma directa a los causes de agua y en campos a cielo abierto [7].

En el estudio para la generación de energía por un sistema con paneles solares y baterías, este estudió el comportamiento de un sistema para la generación de energía eléctrica a través de una matriz de paneles solares y un banco de baterías. El estudio se fundamenta en la simulación de los modelos matemáticos definidos en la literatura para la generación de energía por medio de paneles solares fotovoltaicos y del estado de carga y suministro de energía en el banco de baterías [8]. Esta investigación es de gran interés para este estudio ya que las alternativas a analizar contemplaran su funcionamiento con energía solar por la deficiencia en el sistema eléctrico del Distrito de Riohacha.

## 3. Metodología

Las matrices son un método cualitativo idóneo para evaluar diversas alternativas en un proyecto, siendo aplicables en distintos sectores como minería, agricultura y construcción [9], [10]. La matriz de Leopold, creada en 1971 para evaluar impactos ambientales, garantiza la consideración adecuada de estos impactos en todas las fases del proyecto [11].

El método consiste en tres elementos básicos: la identificación de factores y efectos, asignación de puntuaciones de 1 a 10 para magnitud e importancia del impacto, y la evaluación de aproximadamente 8,800 interacciones posibles entre acciones y factores ambientales. Se destaca que no es necesario evaluar todas las interacciones, sino aquellas más relevantes para el proyecto.

Para optimizar la eficiencia y prevenir errores, se sugiere utilizar una lista de comprobación o cuadro de alcance que identifique los impactos positivos y negativos.

La evaluación de la matriz debe realizarse con un equipo de profesionales para garantizar objetividad y considerar diferentes perspectivas, evitando la subjetividad asociada a la evaluación individual [11].

El método matricial de Leopold propone tres elementos clave para una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA):

### 3.1 Identificación de Factores y Efectos

Se recopilan los factores y efectos de cada actividad del proyecto en una matriz.

Se marca una línea diagonal en casillas donde los impactos en el medio ambiente sean significativos.

Asignación de Puntuaciones:

Se otorgan puntuaciones del 1 al 10, indicando la magnitud del impacto de la acción sobre un aspecto ambiental específico. Estas puntuaciones se colocan en la esquina superior izquierda, pudiendo ser negativas o positivas.

### 3.2 Valoración de Importancia

Se realiza una valoración en la esquina inferior derecha, reflejando la importancia del impacto para el proyecto, utilizando el mismo sistema de puntuación.

La matriz de Leopold evalúa aproximadamente 8,800 interacciones posibles entre acciones y factores ambientales. Se destaca que no es necesario evaluar todas estas interacciones; se recomienda priorizar aquellas inherentes al proyecto que sean más relevantes en magnitud e importancia [11].

Para optimizar la eficiencia y evitar errores, se sugiere utilizar una lista de comprobación o cuadro de alcance que identifique los impactos positivos y negativos en el proyecto. La evaluación de la matriz debe realizarse con un equipo de profesionales para garantizar objetividad, evitando la subjetividad asociada a la evaluación individual. Además, se propone consultar Tabla 1 y 2 específicas para evaluar la importancia y magnitud de los impactos en el proyecto.

**Tabla 1.** Valores sugeridos de la Matriz de Leopold - Magnitud

Intensidad	Efecto	Cualificación
Bajo	Bajo	(+/-) 1
Bajo	Medio	(+/-) 2
Bajo	Alto	(+/-) 3
Medio	Bajo	(+/-) 4
Medio	Medio	(+/-) 5
Medio	Alto	(+/-) 6
Alto	Bajo	(+/-) 7
Alto	Medio	(+/-) 8

Alto	Alto	(+/-) 9
Muy alto	Alto	(+/-) 10

Fuente: [11].

**Tabla 2.** Valores sugeridos de la Matriz de Leopold - Importancia

Duración	Influencia	Cuantificación
Temporal	Puntual	1
Medio	Puntual	2
Permanente	Puntual	3
Temporal	Local	4
Medium	Local	5
Permanente	Local	6
Temporal	Regional	7
Medium	Regional	8
Permanente	Regional	9
Permanente	Nacional	10

Fuente: [11].

Para la evaluación final de la matriz de Leopold, se realiza la multiplicación de la importancia por la magnitud de cada casilla, obteniendo los valores de interacción. Se identifican cuántas actividades del proyecto afectan el entorno y qué elementos se ven alterados, clasificándolos en impactos positivos y negativos.

Luego, se realiza una suma algebraica de cada columna y fila para determinar los impactos generados por cada actividad. Se efectúa una suma total de columnas y filas, cuyos valores deben ser coherentes en función de los signos (positivos o negativos). Si la evaluación indica que el proyecto no es ambientalmente viable, se pueden diseñar estrategias de manejo ambiental, como medidas preventivas, correctivas o de mitigación, para garantizar la viabilidad ambiental de esa alternativa.

Al concluir el análisis de impacto ambiental mediante la matriz de Leopold, se determinará el sistema de tratamiento de aguas residuales más ambientalmente viable, basándose en los resultados obtenidos. Este enfoque integral permite tomar decisiones informadas y adoptar medidas adecuadas para mitigar los impactos ambientales del proyecto.

## 4. Resultados del análisis y discusión

La evaluación de las matrices de las alternativas se llevó a cabo considerando los criterios de diversos profesionales en áreas como ingeniería ambiental, biología, ingeniería civil e industrial. Estos expertos, con especializaciones en evaluación de impacto ambiental, ingeniería civil, industrial, química, y otros relacionados con la problemática, aportaron perspectivas diversas para analizar los posibles impactos

de cada alternativa. La inclusión de profesionales con conocimientos específicos garantiza la objetividad y la precisión en los resultados.

Los evaluadores, con el objetivo de obtener resultados veraces, examinaron detalladamente las actividades de cada alternativa desde diversas perspectivas. A continuación, se presentarán los resultados y discusiones de cada uno de los casos de estudio descritos en la investigación. Para la interpretación de los resultados de las matrices, se utilizará la Tabla 3 de evaluación de criterios que servirá como guía para la toma de decisiones y la selección de la alternativa más adecuada. Este enfoque multidisciplinario respalda la calidad y la integralidad de la evaluación, contribuyendo a la toma de decisiones informada y sostenible.

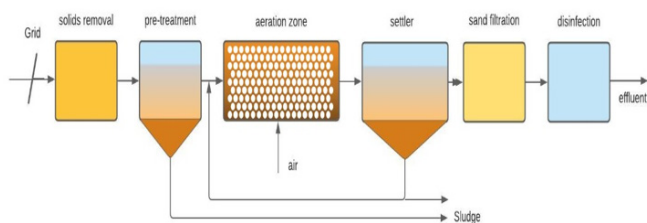
**Tabla 3.** Evaluación final de los impactos

Bajo impacto	1 - 30
Impacto medio	31 -61
Impacto severo	62-92
Impacto critico	>93

Fuente: [12]

4.1 Caso de estudio 1

Construcción de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales que funciona con paneles solares. La construcción de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales que opera con paneles solares representa una innovación sostenible en el manejo del agua. Este sistema incorpora la tecnología de fangos activos, un proceso que aprovecha el crecimiento fluido y mixto de microorganismos en condiciones aerobias. Este enfoque permite utilizar los materiales orgánicos presentes en las aguas residuales como sustratos, eliminándolos mediante procesos de respiración y síntesis microbiana [13]. En la Figura 1, se presenta un esquema de este sistema.



**Figura 1.** Esquema de PTAR de lodos activados.

En el caso de estudio 1, las actividades de mayor impacto ambiental incluyen la remoción de vegetación y escombros, la excavación profunda, y la construcción de diversas estructuras de tratamiento como canal de entrada, desarenador, sedimentador primario, tanque de aireación

y sedimentador secundario. Estas actividades conllevan la emisión de altas concentraciones de material particulado, gases y olores, así como la pérdida de la naturaleza del paisaje y afectación a la fauna local. La implementación de sistemas de este tipo ocupa extensas áreas de terreno y puede generar malos olores si no se cuenta con medidas de prevención y tecnología adecuada.

El valor medio total de las magnitudes de impacto previstas se sitúa dentro de los efectos críticos, según lo indicado en la tabla 4. Esto sugiere que las actividades mencionadas tienen el potencial de generar impactos ambientales significativos. La identificación y evaluación detallada de estos impactos son esenciales para diseñar estrategias efectivas de mitigación y minimización, garantizando la sostenibilidad y la reducción de posibles consecuencias adversas para el medio ambiente local.

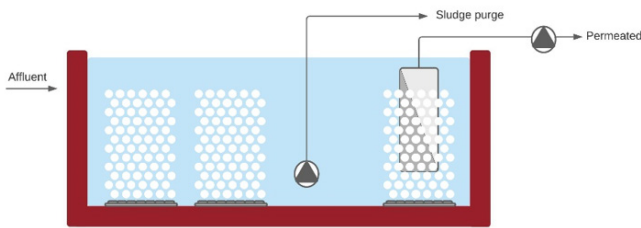
**Tabla 4.** Resultado del impacto - Construcción de una PTAR

Actividades que causan más daño	Factores	Total de actividades	Total de los factores
Eliminación y remoción de cobertura vegetal	Concentración de partículas, gases y olores	-20	-146
	Pérdida de naturaleza paisajística	-30	
	Fauna	-20	
Excavaciones profundas > 3 m	Concentración de partículas, gases y olores	-30	-206
	Propiedades físicas y químicas del suelo	-42	
	Pérdida de naturaleza paisajística	-36	
Construcción Estructuras de tratamiento (canal de	Concentración de partículas, gases y olores	-35	-
	Propiedades	-	

entrada, desarenador, decantador primario, tanque de aireación, decantador secundario)	físicas y químicas del suelo	-36	-165
	Introducción de nuevas estructuras	-36	

#### 4.2 Caso de estudio 2

Construcción de un Biorreactor de Membrana Sumergida que funciona con paneles solares: El MBRs es un proceso muy novedoso del sistema de tratamiento de aguas residuales que incorpora el tratamiento biológico convencional, como los lodos activados, con una tecnología avanzada de separación por membranas. Utilizando la estructura de membranas micro - porosas para retener bacterias aerobias y anaerobias en el reactor, consiguiendo un aumento de la eficiencia de la degradación del material. [14]. En la Figura 2, se puede apreciar el esquema de este sistema de saneamiento.



**Figura 2.** Esquema del sistema con membranas sumergidas internas. Fuente: [15]

En la Tabla 5, se presenta la evaluación correspondiente al caso uno utilizando el método propuesto.

En el caso del estudio 2, actividades como la remoción de vegetación y escombros, excavación profunda y construcción de estructuras de tratamiento (canal de entrada, desarenador, sedimentador primario, tanque de aireación, sedimentador secundario) son las de mayor incidencia que afectan el medio ambiente, similar a la alternativa anterior. Estas actividades generan efectos como alta concentración de material particulado, emisión de gases y olores, pérdida de la naturaleza del paisaje y de la flora, así como cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Este sistema se distingue de los lodos activados en que solo requiere un tratamiento previo mediante un sistema de rejilla y posiblemente un equalizador, especialmente en casos de grandes caudales. Posterior al pretratamiento, se encuentra el biorreactor de membrana sumergida, que, gracias a la tecnología de membrana sumergida, reduce considerablemente el tamaño del tanque. Finalmente, hay un tanque de muestras o almacenamiento, que también puede

cumplir funciones de tanque de cloración para permitir la reutilización del agua, ya sea para el lavado de coches o para el riego, cumpliendo con la normativa vigente del país donde se aplique el proyecto. Este sistema requiere menos terreno que el anterior, contribuyendo a la reducción significativa del impacto negativo derivado de las actividades mencionadas.

A pesar de estas mejoras, el valor medio total de las magnitudes de impacto esperadas aún se encuentra dentro de los efectos críticos. Esto subraya la necesidad de analizar otras alternativas más amigables con el medio ambiente o diseñar un plan integral de estrategias de manejo ambiental que contemple medidas preventivas, correctivas y de mitigación para reducir los impactos negativos de manera efectiva.

**Tabla 5.** Resultado del impacto - Construcción de un MBRs

Actividades que causan más daño	Factors	Total de impactos por factor	Impactos totales por actividad
Eliminación y remoción de cobertura vegetal	Concentración de partículas, gases y olores	-20	-124
	Pérdida de naturaleza paisajística	-30	
	Propiedades físicas y químicas del suelo	-18	
Excavaciones profundas > 3 m	Concentración de partículas, gases y olores	-30	-200
	Pérdida de naturaleza paisajística	-40	
	Physical and chemical properties of soil	-45	
Construcción Estructuras de tratamiento (canal de entrada, desarenador, decantador primario, tanque de aireación, decantador secundario)	Concentración de partículas, gases y olores	-42	-147
	Propiedades físico químicas del suelo	-36	
	Flora	-18	

Un emisario submarino consiste en una larga tubería, implantada en el lecho marino, desde la que se vierten los efluentes a la región profunda permitiendo así una dilución eficaz [16]. En la Figura 3, se puede apreciar gráficamente el funcionamiento.

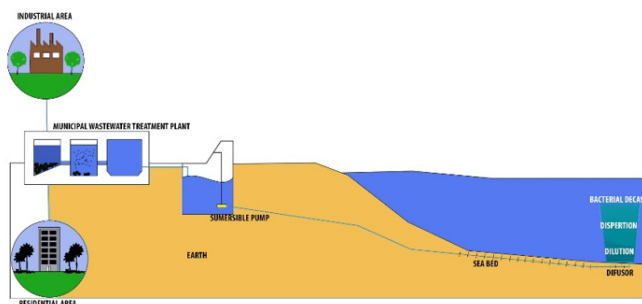


Figura 3. Sistema emisario submarine Fuente: [17]

En el caso de estudio 3, las actividades con mayor incidencia que afectan el medio ambiente son la excavación y perforación en el fondo marino, las excavaciones profundas para el pretratamiento y la remoción de vegetación, así como el descapote. Esta última actividad genera un impacto menor en comparación con los dos casos anteriores, dado que solo implica la remoción de una pequeña área destinada a la construcción del campamento y el pretratamiento. Estas actividades conllevan efectos adversos, como la afectación del bentos y la modificación del paisaje marino. En la Tabla 6, se presenta la evaluación correspondiente al caso tres utilizando el método propuesto.

Tabla 6. Resultado de impacto ambiental del emisario

Actividades que causan más daño	Factores	Total de actividad	Total de los factores
Eliminación y remoción de cobertura vegetal	Concentración de partículas, gases y olores	- 8	-69
	Afectación de la cubierta vegetal	-18	
	Pérdida de naturaleza paisajística	-18	
Excavaciones profundas > 3 m	Mayores niveles de ruido	-20	-82
	Geomorfología del suelo	-15	
	Propiedades físicas y químicas del suelo	-36	

Excavación y perforación en el fondo marino	Geomorfología del suelo	-42	-125
	Afección a hábitats o zonas de interés (corales, peces, microorganismos)	-24	
	Afecto a Benton	-32	

Según diversos estudios, al comparar los costos per cápita entre una planta de tratamiento de aguas residuales y un emisario submarino, se observa que los costos son inferiores en el caso de este último. Además, las ventajas asociadas a un emisario submarino son numerosas, incluyendo una alta eficacia en el tratamiento y eliminación de las aguas residuales, la ausencia de contaminación visual y de olores, el bajo consumo energético, las mínimas necesidades de mantenimiento y una menor ocupación del suelo [16].

Es relevante destacar que el valor medio total de las magnitudes de impacto previstas se encuentra dentro de los efectos medios, lo cual sugiere que esta opción presenta impactos ambientales moderados en comparación con otras alternativas. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficiencia del emisario submarino como una opción ambientalmente favorable para el tratamiento de aguas residuales.

En la Tabla 7, se presentan los resultados y valoraciones obtenidas de los estudios de impacto ambiental de cada alternativa evaluada.

Tabla 7. Resultados obtenidos

ALTERNATIVA	RESULTADO	VALORACIÓN
PTAR (Lodos activados)	-621.25	Critico
MBR	-280	Critico
Emisario	-47.5	Medio

### 5. Conclusión

La investigación se llevó a cabo con el propósito de ofrecer una solución eficaz y definitiva a la problemática del vertimiento de aguas residuales no tratadas en la zona costera de Riohacha, capital de La Guajira. Mediante la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), se examinaron los posibles efectos de distintos sistemas de tratamiento, desde opciones convencionales como los lodos activados hasta tecnologías avanzadas como los biorreactores con membranas sumergida, que generan agua tratada con menor carga contaminante y ocupan menos espacio durante la construcción. También se evaluó una alternativa más sencilla, como un emisario submarino. Este análisis orienta la planificación de acciones con el objetivo final de restaurar

el estado original de las aguas costeras y marítimas del Mar Caribe cerca de Riohacha, mejorando la calidad de vida de los habitantes y potenciando la economía local a través del turismo.

Los resultados del estudio de impacto ambiental, utilizando el método de la matriz de Leopold para las tres alternativas, revelaron los impactos ambientales en cada etapa del proyecto, evaluando cada elemento del medio ambiente y sus impactos globales. Esta evaluación contribuye a determinar la opción más sostenible desde el punto de vista ambiental.

Con base en este método, se concluye que la construcción de una depuradora convencional de lodos activados es el proyecto que genera mayores impactos negativos, requiriendo una gran superficie y siendo notoriamente perjudicial para la fauna y flora local. Por otro lado, la construcción de un emisario submarino se destaca como la alternativa más amigable con el medio ambiente, presentando impactos negativos de baja intensidad e importancia. Esta última opción se selecciona como la preferida, garantizando impactos negativos mínimos y mayores beneficios tanto para el medio ambiente como para la sociedad en general. Este estudio es replicable para cualquier zona.

## 6. Agradecimientos

Esta investigación sale de la tesis investigativa que lleva como título “Estudio de factibilidad para el diseño e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales operada por energía solar para el distrito de Riohacha, La Guajira.” Y se le agradece al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia y el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías en el marco de la beca nacional 810 de 2018 regional La Guajira. Por financiar el estudio original.

## 7. Datos complementarios

Los datos de entrada asociados a esta contribución pueden consultarse en: <https://data.mendeley.com/datasets/4hk72jxx32/1>

## 8. Referencias

- [1] Y. Mendoza, F. Castro y J. Marin, "Eichhornia crassipes como Tratamiento Biológico de aguas residuales. Fitorremediación con plantas acuáticas como alternativa de tratamiento para aguas domésticas," 2019.
- [2] T. Burkitt, A. Dixon y M. Simon, "Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment: comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach," *Ecological Engineering*, pp. Volume 20, Issue 4, 2003.
- [3] A. Hospido, M. T. Moreira, M. Fernandez y G. Feijoo, "Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, pp. 9,261–271 , 2004.
- [4] U. Jeppsson y D. Hellstrom, "Systems analysis for environmental assessment of urban water and wastewater systems," *Water Science & Technology*, pp. 46(6-7):121-9, 2012.
- [5] E. Awad, A. Jawad y H. AlMendilawi, "Environmental Assessment of Wastewater Treatment Plants (WWTPs) for Old Rustamiya Project," 2014.
- [6] C. Teodosiu, G. Barjoveanu and B. Sluser, "Environmental Assessment of Municipal Wastewater Discharges: A Comparative Study of Evaluation Methods," *The International Journal of Life Cycle Assessment* , p. 21, n°3, 2016.
- [7] J. Gomez Camperos, F. Regino Ubarnes y H. Y. Jaramillo, "Desarrollo de un sistema de supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biogestor Anaeróbico," *Rev. Ingenio*, vol. 19, n°1, pp. 22 - 27, 2022, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.3035>
- [8] E. Espinel Blanco, E. Florez Solano y J. Barbosa Jaimes, "Estudio para la generación de energía por un sistema con paneles solares y baterías," *Rev. Ingenio*, vol. 17, n°1, pp. 9 - 14, 2020, doi: <https://doi.org/10.22463/2011642X.2392>
- [9] F. Sánchez, "Identificación y Evaluación de Impactos Ambientales," 2008. [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.esap.edu.co/portal/filebase/m%C3%B3dulos\\_pregrado/tecnolog%C3%ADa\\_en\\_gesti%C3%B3n\\_p%C3%BAblica\\_ambiental/semestre\\_iv/4\\_identificacion\\_y\\_eva\\_impactos\\_amb.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.esap.edu.co/portal/filebase/m%C3%B3dulos_pregrado/tecnolog%C3%ADa_en_gesti%C3%B3n_p%C3%BAblica_ambiental/semestre_iv/4_identificacion_y_eva_impactos_amb.pdf)
- [10] Lifader, "Matriz de Leopold: para qué sirve, ventajas, ejemplos," 2019.
- [11] L. Leopold, F. Clarke, B. Hanshaw and J. Balsley, "A procedure for evaluating environmental impact," Washington, 1971.
- [12] V. Conesa, *Guía metodológica para la evaluación de impactos ambientales*, 4° ed., Mexico: Mundi-Prensa, 2011.
- [13] T. Reynolds and P. Richards, "Activated Sludge," in *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, 1982, pp. 411 - 489.
- [14] S. Judd, *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*, 2006.
- [15] Inditex, "BIOIORREACTORES DE MEMBRANA (FT-BIO-010)," 2016. [Online]. Available: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/>

Biorreactores+de+membrana+%28BRM%29.pdf/5eaf2ead-d155-2a7f-d72a-63ff5548ba5f. [Accessed 01 Abril 2020].

- [16] J. Harari, P. Galluzzi , T. Cortez and S. Hora Yang, "A Study about Submarine Sewage Outfalls in the Coastal Regional of the State of Paraná- Brazil," Internationa Journal of Environmental Sciences and Natural Resources , 2019.
- [17] Elinsubca C.A, "Debugging system for outfall (SIDES)," 2015.