

Impactos ambientales asociados al vertido de aguas residuales sobre corrientes hídricas. Caso de estudio Santander Colombia

Environmental impacts associated with the discharge of wastewater into water flows. Santander Colombia case study

Nelson Andrey Navas Gallo,* Daniel Antonio Martínez Dueñas** y Claudia Milena Urrea López***

* Magíster en Riesgos Laborales (UCJC). Ingeniero ambiental. Investigador de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa Ingeniería Ambiental, Unidades Tecnológicas de Santander, Colombia (UTS).
✉ ingnavasg14@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0310-0683>

** Ingeniero ambiental (UTS). Tecnólogo en Recursos Ambientales, Grupo de Investigación en Ingeniería Verde GRIIV, UTS.
✉ daniel6906801@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-3412-5119>

*** Ingeniera ambiental (UTS). Tecnólogo en Recursos Ambientales, Grupo de Investigación en Ingeniería Verde GRIIV, UTS.
✉ ing.cmilenaurrea@outlook.com
<https://orcid.org/0009-0003-1056-9567>

Resumen

Los impactos ambientales son una de las grandes problemáticas que afectan a todos los países, por cuanto contribuyen al deterioro de los recursos naturales, principalmente el agua, y alteran tanto el medio biótico como abiótico, además de causar problemas de salud por el incremento de residuos sólidos, la generación de olores ofensivos y la proliferación de vectores y roedores. Con esta investigación se busca crear conciencia mediante la adquisición de hábitos ambientales que contribuyen a disminuir las alteraciones ocasionadas al medio ambiente. El estudio identifica y evalúa las principales actividades antrópicas generadoras de aguas residuales de un municipio de Colombia, que concibe una afectación directa al cuerpo hídrico ciénaga Yarirí. Se identificaron y evaluaron los impactos y se determinó que el vertido está generando alteraciones severas al cuerpo hídrico, al no cumplir con los valores máximos permisibles para aguas residuales. El aumento de la carga de contaminantes y el consiguiente deterioro del ecosistema preocupan a los habitantes de la zona que se abastecen de este cuerpo hídrico, y son una señal de alarma para las autoridades ambientales y municipales.

Palabras clave: efectos de las actividades humanas, contaminación, agua residual, Colombia.

RECIBIDO: 21.3.2023

ACEPTADO: 8.5.2023

Abstract

Environmental impacts are one of the major problems that affect all countries, as they contribute to the deterioration of natural resources, mainly water, and alter both the biotic and abiotic environment, in addition to causing health problems due to the increase in solid waste, the generation of offensive odors and the proliferation of vectors and rodents. This research seeks to raise awareness through the acquisition of environmental habits that contribute to reducing the alterations caused to the environment. The study identifies and evaluates the main anthropic activities that generate wastewater (AR) of a municipality in Colombia, which conceives a direct affectation to the *ciénaga Yarirí* water body. The impacts were identified and evaluated, and it was determined that the discharge is generating severe alterations to the water body, by not complying with the maximum permissible values for wastewater. The increase in the load of pollutants and the consequent deterioration of the ecosystem worry the inhabitants of the area who are supplied with this body of water and sound an alarm to environmental and municipal authorities.

Keywords: human activities effects, pollution, wastewater, Colombia.

Introducción

Colombia se considera un país con gran oferta hídrica llegando a ocupar el sexto lugar a nivel mundial, el recurso no se encuentra distribuido de forma homogénea, por lo que se encuentran regiones con alta disponibilidad, como en la Amazonía, y regiones donde la disponibilidad del recurso es baja, como en la zona norte y centro del país. En materia de demanda hídrica, el principal consumidor es el sector agrícola, con un estimado de 16.067 millones de m³ al año, donde el área hidrográfica con mayor consumo en todos los sectores se concentra en el Magdalena-Cauca, con 25.766,5 millones de m³ al año (Parra, 2021).

Los ecosistemas acuáticos presentan características que les permiten tener mayor firmeza al cambio, renovándose, pero si la alteración supera su capacidad de resiliencia, por sí mismo, no podrá regresar a su estado inicial. La contaminación producto de actividades antrópicas, especialmente vertimientos de los diferentes sectores, ocasiona el deterioro de la calidad del agua, trayendo consigo el aumento de problemas sociales y de salubridad pública; de igual modo, limita el acceso de los recursos necesarios para la subsistencia y la generación de ingresos (Álvarez, 2005).

El sector industrial en Colombia es el mayor contribuyente de carga orgánica neta vertida en los cuerpos hídricos, con el 51% de DBO (demanda biológica de oxígeno) a nivel nacional y el 62% de DQO (demanda química de oxígeno). Sin embargo, el mayor aportante de Sólidos Suspendedos es el sector doméstico con el 80% (World Bank Group, 2020).

Como se ha mencionado, Colombia posee gran diversidad de recursos naturales, pero por las diferentes actividades antrópicas se están generando alteraciones relevantes, principalmente por la ausencia de hábitos ambientales y/o ecológicos, al igual que por la falta de participación de las autoridades ambientales y municipales; si bien no todas las problemáticas son por la ausencia de una educación ambiental, gran porcentaje de los impactos se presentan por el uso exagerado de los diferentes recursos, principalmente el agua: al consumir este recurso en una forma excesiva los metros cúbicos de AR aumentarán generando problemas a los mismos habitantes, los cuales se abastecen de la fuente hídrica que ha sido impactada por el vertido y llega a generarles enfermedades infecciosas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

Es importante realizar evaluaciones de impacto ambiental (EIA), al ser una herramienta de gestión de carácter preventivo, cuyo principal objetivo es integrar consideraciones ambientales en los diversos procesos y actividades que acompañan el desarrollo económico de un país. De igual modo, busca detener la pérdida de los recursos naturales, generada por actividades humanas y el cambio climático, creando una percepción del estado actual de los factores bióticos, abióticos y sociales (Carter Gamberini et al., 2019).

Con base en lo anteriormente descrito, en el presente documento se desarrolla la EIA generados por el vertimiento de AR en la Ciénaga Yarirí, en el sector norte del casco urbano del municipio de Puerto Wilches, Santander, municipio que según el Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano (INCA) presenta un IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua) de 38,5% y un nivel de riesgo alto, presentando los valores más altos en el departamento de Santander (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020). La evaluación de impacto se realizó por medio del método de Conesa simplificado, que permite la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos; de igual manera se plantean estrategias ambientales para prevenir, minimizar y/o compensar las alteraciones tanto a los ecosistemas como a las personas que se benefician de este cuerpo de agua. Este estudio se realizó durante el segundo semestre del año 2022.

Materiales y metodología

La metodología implementada en este estudio fue de tipo descriptivo y exploratorio. A través de información primaria y secundaria se logró evaluar la situación actual de la zona de influencia al vertimiento, de igual forma con el componente social se recolectó información de tipo cuantitativo y cualitativo.

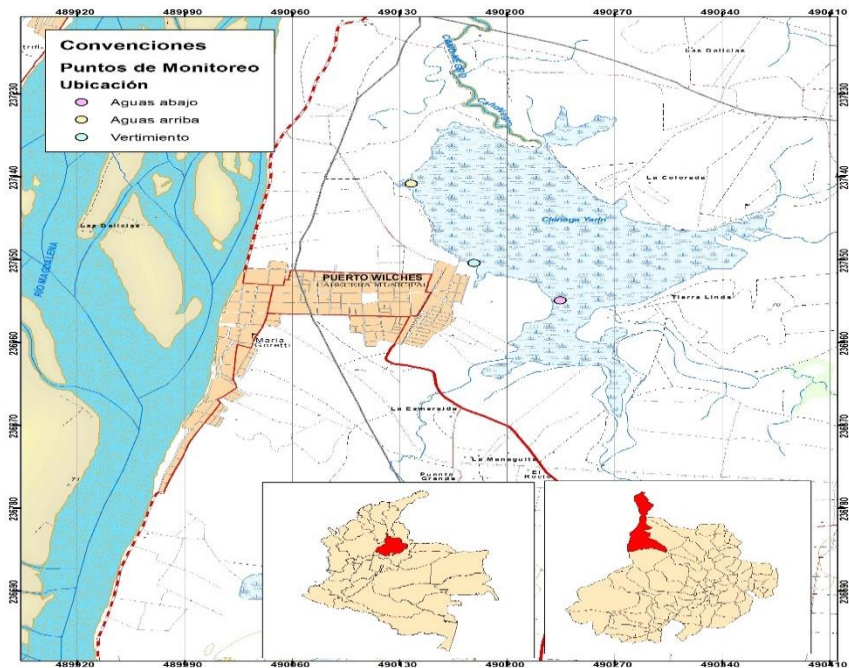
La zona del estudio se ubica en el municipio de Puerto Wilches en el departamento de Santander, Colombia, el cual hace parte del territorio de Yariguíes ubicado en la margen derecha del Río Magdalena (Martínez y Gallardo, 2022).

La figura 1 y tabla 1 plasman y señalan la posición geográfica del municipio estudiado junto a los puntos del monitoreo ubicados en la Ciénaga Yarirí.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos y parámetros analizados, Ciénaga Yarirí

Punto del monitoreo	Latitud	Longitud	Altitud	Parámetros analizados
Aguas arriba	7°21'15.07" N	73°53'32.49" E	30 metros	DBO5, DQO, pH, temperatura
Aguas abajo	7°21'25.59" N	73°53'32.13" E	30 metros	DBO5, DQO, pH, temperatura
Punto de vertimiento	7°21'25.50" N	73°53'7.98" E	30 metros	DBO5, DQO, sólidos totales, coliformes, grasas y aceites, pH, temperatura

Figura 1. Municipio de Puerto Wilches/ Ciénaga Yarirí, puntos del monitoreo



La caracterización de la fuente hídrica Ciénaga Yarirí se desarrolló en la periferia del casco urbano, en dos puntos ubicados estratégicamente que se situaron 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo del punto de vertido principal ubicado en el Barrio Díaz, de acuerdo a los lineamientos establecidos por la Resolución 0631 de 2015. Se analizaron los parámetros de DBO₅, DQO, pH y temperatura tanto aguas arriba como aguas debajo del vertido. En el punto del vertido se analizaron los parámetros de DBO₅, DQO, pH, sólidos totales, grasas, aceites coliformes totales, temperatura y caudal. Para el desarrollo y guía del monitoreo compuesto se basó con la información del instructivo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) «instructivo para la toma de muestras de aguas residuales» (IDEAM, 2007). Los métodos y referencias para el análisis de datos establecido por el IDEAM fueron los siguientes:

- a. DBO₅: Incubación 5 días, electrodo óptico / SM 5210
- b. pH: Electrométrico / S.M. 4500-H+ B
- c. DQO: Reflujo cerrado y volumétrico / SM 5220 C
- d. Grasas y aceites: Standard Methods 5520-B ED. 23
- e. Sólidos totales: Gravimétrica / SM 5520 B
- f. Coliformes termotolerantes: SM 9221 E

Identificación y evaluación de impactos ambientales

Para la realización de la identificación y evaluación de impactos ambientales se implementó como herramienta principal la metodología de Vicente Conesa, guiada por el manual de Jorge Arboleda «Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras y/o actividades» (Arboleda, 2008). Mediante el análisis de los datos e información recolectada en el Plan de Desarrollo del Municipio y visitas técnicas, se encontraron y se verificaron las actividades productoras de AR que vierten sus descargas directamente a la fuente hídrica. A continuación, se enlistan las principales actividades antrópicas generadoras de impactos:

- a. Actividades de turismo y recreación
- b. Agricultura
- c. Generación de Aguas residuales de tipo domesticas
- d. Avicultura
- e. Ganadería
- f. Lavado de vehículos
- g. Palmicultura
- h. Crianza de cerdos
- i. Remoción de la cobertura vegetal

Con base en la información suministrada, se desarrolló la matriz de evaluación de impactos ambientales utilizando el método Conesa para la valoración de los impactos generados por las actividades anteriormente descritas, las cuales se compararon con la tabla 2.

El método Conesa relaciona las actividades con los componentes. Para determinar el valor de la evaluación, se asignaron valores numéricos a: naturaleza (NA), intensidad (IN), momento (MO), reversibilidad (RV), sinergia (SI) acumulación (AC), efecto (EF), probabilidad (PR), recuperabilidad (R), extensión (EX), persistencia (PE) e importancia (I), como se aprecia en la tabla 2 (Hidroar, 2015).

Tabla 2. Identificación y valoración de los impactos ambientales

Categoría	Identificación
Compatible	Inferiores a 25: irrelevantes o compatibles con el ambiente
Moderado	Entre 25 y 50
Severo	Entre 50 y 75
Crítico	Superiores a 75
Nulo	Impactos nulos

Fuente: Tomado de Conesa Fernández-Vítora (2011).

Encuesta y evaluación a los habitantes del municipio

Se realizó una encuesta a la población que reside en la zona de influencia de la investigación, con una muestra finita de 150 individuos, con la finalidad de conocer la percepción y grado de cultura sobre temáticas del cuidado del medio ambiente, enfocado en las consecuencias que originan las descargas de AR a los ecosistemas hídricos.

Resultados y conclusiones

Caracterización del vertido

Para la medición del caudal en el punto del vertimiento se aplicó el método del flotador; a continuación, en la tabla 3, se muestran el valor promedio del caudal hallado en el punto del vertimiento.

Tabla 3. Valor promedio del caudal, hallado en el punto del vertimiento

Punto de monitoreo	Caudal promedio	Método utilizado
Valor del caudal del vertimiento	0.059453 m ³ /s	Flotador

Los datos de las muestras analizadas en el punto del vertimiento fueron comparados con los valores máximos permisibles para vertimientos de AR establecidos en la Resolución 0631 del 2015, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de los parámetros fisicoquímicos del punto del vertimiento con la Resolución 0631 del 2015

Parámetros analizados	Valor Resolución 0631 del 2015	Punto de vertimiento	Cumple	No cumple
DQO mg/L O ₂	180	491		x
DBO ₅ mg/L O ₂	90	145		x
Sólidos totales mg/L	90	228		x
Grasas y Aceites mg/L	20	63		x
pH	6-9	7,5	x	
Coliformes	N/A	2.717.000		

Los valores obtenidos para DQO superan las concentraciones establecidas en la normatividad colombiana Resolución 631 del 2015, este valor de 491 mg/L O₂, se deriva de las actividades de palmicultura que se practican en el municipio, a consecuencia de la implementación de agroquímicos y pesticidas para el crecimiento y conservación de la palma de aceite africana. Por consiguiente, estos químicos son agentes importantes en el aumento de la demanda química de oxígeno en las aguas de tipo residual (Ávila, 2018).

El valor de 145 mg/L O₂ asociados a la DBO₅ que se expresan en la tabla 4 son el reflejo de la comercialización de alimentos, porcicultura y la crianza de aves de corral cerca al cuerpo de agua, AR de tipo domésticas, además es importante mencionar las plantas de sacrificio del municipio, lo cual provoca que las descargas presenten contenidos de residuos orgánicos como lo son la carne y sangre de los animales.

De igual forma los valores de sólidos totales, grasas y aceites obtenidos en la tabla 4 presentan una alta presencia en los resultados obtenidos, lo cual se asocia a otras actividades de tipo domésticas y agropecuarias las cuales aumentan considerablemente la carga de contaminantes que son descargados al recurso hídrico (ciénaga Yarirí).

Monitoreo de la fuente hídrica receptora

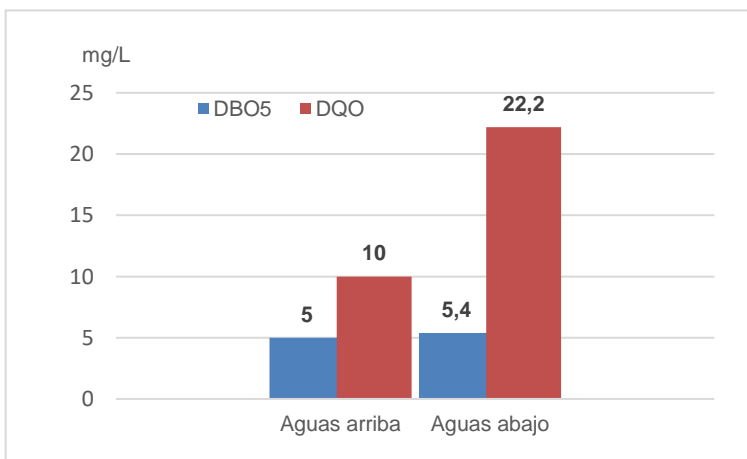
En el desarrollo y ejecución del proyecto, se realizó la toma de muestras 100 metros aguas arriba y 100 metros aguas abajo del punto del vertimiento objetivo del estudio, para llevar a cabo la comparación de los parámetros de DQO Y DBO5 en estos puntos, con el objetivo de analizar los niveles de absorción de la carga orgánica total que presenta la fuente hídrica, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Comparación y análisis de los parámetros obtenidos aguas arriba y aguas abajo

Parámetro	Aguas arriba	Aguas abajo
DBO5 (mg/L O ₂)	5	5,4
DQO (mg/L O ₂)	10	22,6
pH (unidades de pH)	7,0	7,2
T °	23,1	26,2

En la figura 5 se plasma la comparación de la DQO y DBO de los puntos analizados sobre la fuente hídrica respecto al vertido, se aprecia la alteración generada por las AR sobre el cuerpo hídrico, el aumento de la carga orgánica es considerable, por lo cual el grado de asimilación es bajo por parte de la corriente.

Figura 3. Comparación de los distintos parámetros aguas arriba y aguas abajo de la Ciénaga Yarirí



Índice de biodegradabilidad

El índice de la biodegradabilidad (IB) es una relación entre la DBO₅ y la DQO para conocer la capacidad de las sustancias en descomponerse en sustancias más simples y de esta forma conocer la asimilación del contaminante en los cuerpos hídricos. Para hallar el IB para cada uno de los puntos analizados del monitoreo se analizó la relación DBO₅/DQO (tabla 7), para posteriormente comparar con la tabla 6 y obtener el carácter.

Tabla 6. Índices de biodegradabilidad

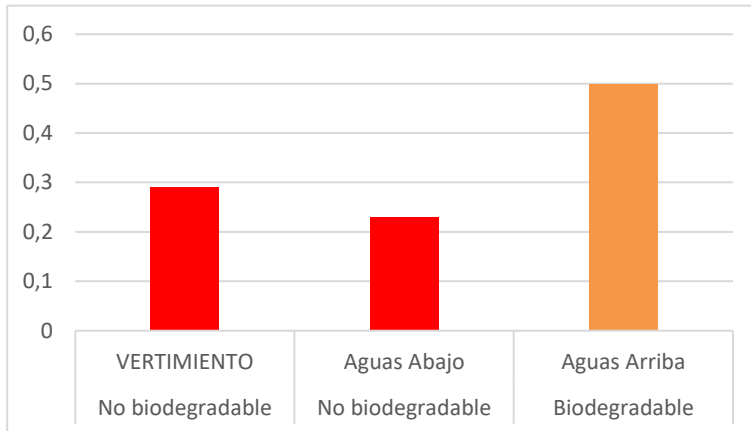
Relación DBO ₅ /DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 - 0.8	Biodegradable
0.3 - 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

Tabla 7. Índice de biodegradabilidad para cada punto

Punto de muestreo	Relación DBO ₅ /DQO	Índice de biodegradabilidad
Aguas arriba	5/10	0.5
Aguas abajo	5,4/22,6	0.23
Vertimiento	145/491	0.29

En la tabla 7 se plasma el análisis de los valores de las muestras recolectadas: 100 metros aguas arriba presenta un índice de poca biodegradabilidad a comparación de los resultados de las muestras 100 metros aguas abajo y el punto del vertimiento, las cuales presentan un índice de no biodegradables para cada uno de ellos, demostrando la necesidad urgente de realizar tratamientos previos al vertido (figura 4).

Figura 4. Índices de biodegradabilidad



Identificación y evaluación de impactos ambientales

La valoración de los 20 impactos más representativos por las actividades que se desarrollan en la zona de estudio se plasman en la tabla 8 y la figura 5.

En la figura 5 se aprecia la clasificación de los impactos ambientales: un 40% corresponde a moderados, un 20% a compatibles al igual que severos, 10% nulos y 10% críticos, que generan una alarma por las alteraciones provocadas debido a las actividades antrópicas que se desarrollan en la zona de estudio. De igual forma se evidencia la alteración principalmente del recurso hídrico. Considerando los resultados de análisis del laboratorio para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de agua resultantes de la caracterización del vertimiento ubicado en el barrio Díaz que drena sus aguas a la Ciénaga Yarirí, estos no cumplen con los valores permitidos para DBO₅, DQO, sólidos totales, grasas y aceites, establecidos en la normativa colombiana actual vigente para vertimiento de AR Resolución 0631 del 2015.

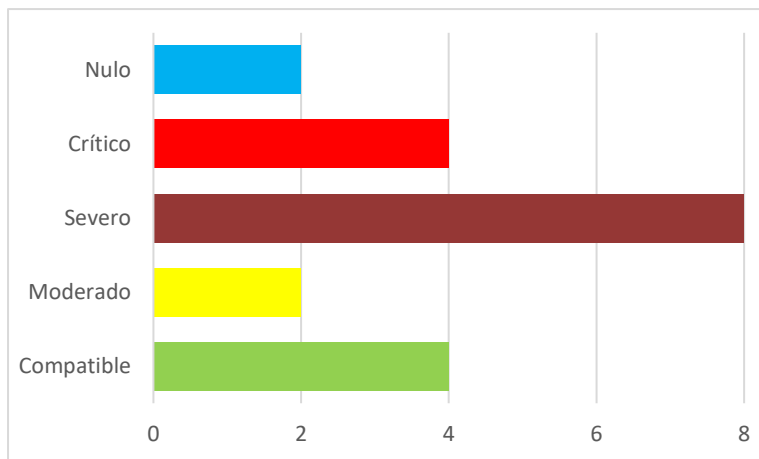
Además, mediante el desarrollo y análisis de la evaluación de impactos ambientales, se determinó que los factores ambientales que presentan mayor afectación por las actividades antrópicas del municipio (descarga de AR domésticas, AR no domésticas, disposición inadecuada de residuos sólidos, construcción de vías, recreación y turismo) están en el recurso hídrico, donde se encuentra inmerso el ecosistema acuático, el cual presenta cambios drásticos y significativos en la calidad del agua y fragmentación de la

biota acuática. Esto hace vulnerable a la ciénaga y limita su utilización como fuente de trabajo y alimento.

Tabla 8. Matriz de identificación de impacto ambiental

Impacto	Nat												Valorización Impacto
	(+/-)	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPO	
Alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo.	(-)	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	48	Moderado
Contaminación del suelo	(-)	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	48	Moderado
Perdida de la capa vegetal del suelo	(-)	2	1	4	4	2	1	4	4	4	3	34	Moderado
Producción de residuos sólidos	(-)	8	4	4	4	2	2	4	4	2	4	58	Severo
Generación de olores ofensivos	(-)	4	4	4	4	2	4	4	4	4	2	48	Moderado
Deterioro de la calidad del paisaje	(-)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	52	Severo
Contaminación visual	(-)	2	2	2	2	2	4	1	1	1	1	24	Compatible
Incremento de sólidos en el agua	(-)	4	4	4	4	4	1	4	4	4	8	53	Severo
Generación de ingresos económicos	(+)	2	2	1	1	1	4	1	1	1	1	21	Nulo
Generación de conflictos en la comunidad	(-)	4	2	2	2	1	1	1	1	2	1	27	Moderado
Perturbación de la fauna acuática	(-)	8	4	4	4	2	4	4	4	2	4	60	Severo
Perturbación de la flora	(-)	4	2	2	2	4	2	4	4	2	4	40	Moderado
Producción y generación de empleos	(+)	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	18	Nulo
Fragmentación en la composición y estructura de la biota acuática	(-)	8	8	8	4	4	4	4	4	4	4	76	Crítico
Aparición de enfermedades	(-)	2	2	2	2	2	2	4	1	1	2	26	Moderado
Deterioro de la atmósfera	(-)	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	21	Compatible
Problemas a la salud pública	(-)	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	16	Compatible
Contaminación del aire	(-)	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	50	Moderado
Fragmentación en la composición y estructura de la biota terrestre	(-)	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	23	Compatible
Alteración de la calidad del agua	(-)	8	8	8	4	4	4	4	4	4	4	76	Crítico

Figura 5. Distribución de la categoría de los impactos



De igual forma se aprecia que las muestras tomadas 100 metros aguas arriba presenta un índice de poca biodegradabilidad, a comparación de los resultados de las muestras 100 metros aguas abajo y del vertimiento, las cuales presentan un índice de no biodegradabilidad, lo cual indica que estas aguas necesitan un tratamiento biológico para disminuir su carga contaminante y ayudar a disminuir el impacto que originan al ecosistema acuático.

La información de los resultados de las encuestas expresa el conocimiento y percepción de los ciudadanos del municipio de Puerto Wilches, Santander, referente al cuidado del medio ambiente, específicamente al recurso hídrico.

El 68% de la población estudiada manifiesta que la consecuencia de las problemáticas sobre el cuerpo hídrico se genera por la disposición de residuos sólidos y líquidos, los cuales generan olores ofensivos y contribuyen al aumento de roedores y vectores en la zona, de igual forma manifiesta un 62% conocer cómo se originan las AR, mientras un 38% desconoce este residuo y los tratamientos que se realizan para disminuir su impacto sobre los ecosistemas.

Respecto al interés de los habitantes estudiados sobre la importancia de realizar un uso eficiente y ahorro del agua en los hogares, el 76% manifestó que no sabe sobre el tema, el 14% que no presenta interés sobre el cuidado del agua y solo el 10% afirma el interés por el uso viable del recurso hídrico; lo cual refleja la ausencia de hábitos ecológicos en los habitantes del municipio, por lo que se demuestra la necesidad de fomentar allí la educación ambiental, especialmente en las escuelas y colegios, para que las personas puedan adquirir estos hábitos desde pequeños y de esta forma tener una perspectiva diferente sobre el cuidado del medio ambiente.

Recomendaciones

Implementar un sistema de tratamiento de acuerdo a la normativa vigente para las AR de tipo domésticas y no domésticas del municipio de Puerto Wilches, Santander, el cual debe comprender todos los vertidos con la finalidad de reducir las cargas contaminantes dispuestas en la Ciénaga Yairirí y el río Magdalena.

Generar hábitos ecológicos y/o ambientales que tengan en cuenta la importancia de cuidar la riqueza ambiental que posee el municipio, así como su preservación, a través de programas de educación ambiental en los cuales se dé a conocer a la población los afluentes del municipio, sus funciones, la diversidad de los ecosistemas, los puntos de vertimiento y consecuencias de verter AR sin tratamientos.

Fortalecer los procesos de control de vertimientos de los diferentes sectores económicos, por medio de la socialización de la legislación colombiana vigente y de la aplicación de sanciones en caso de incumplimiento.

Evitar el consumo directo de este cuerpo hídrico para abastecimiento humano por la concentración de contaminantes especialmente por las actividades agrícolas y las sustancias propias de las AR.

Crear estrategias de control y recolección de los diferentes tipos de plantas macrófitas presentes en la ciénaga para evitar su proliferación y procesos de eutrofización, por el aumento de nutrientes presentes en los vertidos.

Es imprescindible lograr que la Educación Ambiental se convierta en una disciplina integral para la vida, que preserve la identidad ecológica, histórica y cultural. Para ello es preciso desarrollar valores que contribuyan a elevar la calidad de vida de la población y permitan avanzar hacia un desarrollo sustentable.

Es necesario realizar este tipo de análisis al vertimiento y al cuerpo hídrico receptor, en otra época del año, para tener información y realizar una comparación.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, M. (2005). Impactos sobre los ecosistemas acuáticos continentales. En J. Moreno (Dir.), *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente. <https://core.ac.uk/download/pdf/36028862.pdf>
- Arboleda, J. (2008). *Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades*. <https://pdfslide.net/documents/manual-eia-jorge-arboleda.html?page=2>

- Arias, A. N., Calle, J. R., Villaseñor, E. A., y Hernández, J. A. (2022). Remoción fotocatalítica de DQO, DBO5 y COT de efluentes de la industria farmacéutica. *Revista Politécnica*, 8(15), 9-17. <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/316>
- Ávila-Romero, A., y Albuquerque, J. (2018). Impactos socioambientales del cultivo de palma africana: Los casos mexicano y brasileño. *Economía y Sociedad*, 23(53), 62-83. <https://dx.doi.org/10.15359/eyes.23-53.4>
- Carter Gamberini, V., Henríquez, C., y Bruna Morales, C. (2019). Aportes y desafíos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a la conservación de la biodiversidad en Chile. *Investigaciones Geográficas*, (72), 9-29. <https://www.redalyc.org/journal/176/17664428005/html/>
- Conesa Fernández-Vítora, V. (2011). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4.ª ed.). Mundi-Prensa. <https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Hidroar. (2015). *Metodología para el cálculo de las matrices ambientales*. <https://www.ambiente.chubut.gov.ar/wp-content/uploads/2015/01/Metodolog%C3%ADa-para-el-Calculo-de-las-Matrices-Ambientales.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). *Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*. http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428
- Martínez, A., y Gallardo, L. J. (2022). *Determinación de la vulnerabilidad por riesgo de contaminación de aguas subterráneas por el método de extracción de petróleo fracking en la ciénega de Yarirí Santander, Colombia* [Trabajo final de grado, Universidad Católica de Colombia]. RIUCac. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/a417fe29-9c82-4103-9a47-4c9c199ba26d/content>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano 2020*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Agua: Desafíos globales*. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Parra, M. (2021). *Análisis de políticas públicas y mecanismos de mercado que inciden en la gestión corporativa del agua en Colombia: Informe final*. Confederación Suiza. <https://www.cooperacionsuiza.pe/wp-content/uploads/2021/06/COLOMBIA-Analisis-Policas-e-instrumentos-Agua-comprimido.pdf>
- World Bank Group. (2020). *Colombia: Un cambio de rumbo. Seguridad hídrica para la recuperación y crecimiento sostenible*. <https://www.asocapitales.co/nueva/wp-content/uploads/2020/06/Colombia-Turning-the-Tide-Water-Security-for-Recovery-and-Sustainable-Growth-Policy-Brief-sumSP.pdf>