



Optimización de los Procesos de Tratamiento de Agua: Enfoque en la Reducción de Impactos Ambientales y Mejora de la Eficiencia Operativa comunidad Shangaim del municipio de Huamboya

Optimization of Water Treatment Processes: Focus on Reducing Environmental Impacts and Improving Operational Efficiency in the Shangaim community of the Huamboya municipality

Otimização dos Processos de Tratamento de Água: Foco na Redução dos Impactos Ambientais e Melhoria da Eficiência Operacional na Comunidade Shangaim do Município de Huamboya

William Estuardo Carrillo-Barahona ^I
estuardo.carrillo@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1432-9638>

Carla Viviana Haro-Velasteguí ^{II}
Carlav.haro@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5598-9600>

Braulio Paul Balseca-Dahua ^{III}
bpaulbd@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7111-7949>

Correspondencia: estuardo.carrillo@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de enero de 2025 * **Aceptado:** 28 de febrero de 2025 * **Publicado:** 24 de marzo de 2025

- I. Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Máster en Cambio Global: Recursos Naturales y Sostenibilidad, Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- II. Ingeniera Química, Magister en Ingeniería Química Aplicada Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.
- III. Investigador Independiente, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Este artículo analiza la optimización de las plantas de tratamiento de agua potable, enfatizando tanto las mejoras tecnológicas como la incorporación de estrategias de gestión ambiental para asegurar la calidad del recurso y mitigar los efectos negativos en el entorno. Se describen los procesos clave (captación, coagulación–floculación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución) y sus principales impactos ambientales, evaluados por medio de la matriz de Conesa. Los resultados muestran que, si bien se logra reducir de manera significativa los contaminantes y mejorar la calidad del agua, aún persisten retos relacionados con la generación de subproductos tóxicos, la disposición de lodos y el consumo energético. Ante estas limitaciones, se presentan propuestas de optimización que contemplan la adopción de tecnologías de filtración avanzada, el uso de energías renovables, la reutilización de residuos y la implementación de sistemas de monitoreo inteligente para prevenir pérdidas de agua. Finalmente, se concluye que la sostenibilidad y eficiencia de las plantas de tratamiento requieren un enfoque integral que abarque tanto la innovación tecnológica como la responsabilidad ambiental y la participación comunitaria.

Palabras Clave: Optimización de procesos; tratamiento de agua; impactos ambientales; eficiencia operativa; gestión de residuos; energías renovables; sostenibilidad; calidad del agua.

Abstract

This article analyzes the optimization of drinking water treatment plants, emphasizing both technological improvements and the incorporation of environmental management strategies to ensure water quality and mitigate negative impacts on the environment. Key processes (collection, coagulation–flocculation, filtration, disinfection, storage, and distribution) are described, along with their main environmental impacts, assessed using the Conesa matrix. The results show that, while pollutants have been significantly reduced and water quality improved, challenges related to the generation of toxic byproducts, sludge disposal, and energy consumption persist. Given these limitations, optimization proposals are presented that include the adoption of advanced filtration technologies, the use of renewable energy, waste reuse, and the implementation of smart monitoring systems to prevent water loss. Finally, it is concluded that the sustainability and efficiency of treatment plants require a comprehensive approach that encompasses technological innovation, environmental responsibility, and community participation.

Keywords: Process optimization; water treatment; environmental impacts; operational efficiency; waste management; renewable energy; sustainability; water quality.

Resumo

Este artigo analisa a otimização das estações de tratamento de água potável, enfatizando tanto as melhorias tecnológicas como a incorporação de estratégias de gestão ambiental para garantir a qualidade dos recursos e mitigar os impactos ambientais negativos. São descritos os principais processos (captura, coagulação-floculação, filtração, desinfecção, armazenamento e distribuição) e os seus principais impactes ambientais, avaliados com recurso à matriz Conesa. Os resultados mostram que, embora os poluentes tenham sido significativamente reduzidos e a qualidade da água tenha melhorado, os desafios relacionados com a geração de subprodutos tóxicos, a eliminação de lamas e o consumo de energia permanecem. Dadas estas limitações, são apresentadas propostas de otimização que incluem a adoção de tecnologias de filtragem avançadas, a utilização de energias renováveis, a reutilização de resíduos e a implementação de sistemas de monitorização inteligentes para evitar perdas de água. Por último, conclui-se que a sustentabilidade e a eficiência das estações de tratamento requerem uma abordagem abrangente que englobe a inovação tecnológica, a responsabilidade ambiental e a participação comunitária.

Palavras-chave: Otimização de processos; tratamento de águas; impactos ambientais; eficiência operacional; gestão de resíduos; energias renováveis; sustentabilidade; qualidade da água.

Introducción

La optimización de las plantas de tratamiento de agua potable se ha convertido en una prioridad dentro del contexto global, debido a la creciente demanda de agua potable de calidad y los efectos nocivos de la contaminación del agua en los ecosistemas y la salud humana. En las últimas décadas, se ha incrementado el interés en la mejora de las infraestructuras de tratamiento de agua con el fin de garantizar una gestión eficiente de este recurso vital, esencial para el desarrollo sostenible de las comunidades. A medida que las poblaciones urbanas y rurales crecen, la presión sobre las fuentes de agua potable aumenta, por lo que la eficiencia y sostenibilidad de las plantas de tratamiento se han convertido en un aspecto crucial para el bienestar de las personas (Constitución de la República del Ecuador, 2008; Arumí, 2017).

Diversos estudios han mostrado que, a pesar de los avances tecnológicos, muchos de los sistemas de tratamiento de agua en el mundo todavía enfrentan retos importantes en términos de eficiencia operativa, costos energéticos, manejo de residuos y cumplimiento de las normativas ambientales. De acuerdo con (TULSMA, 2015), la implementación de tecnologías innovadoras como la nanotecnología y los sistemas de filtración avanzados, así como la mejora en los procesos de depuración, pueden contribuir significativamente a la optimización de estos sistemas, reduciendo tanto los costos operativos como los impactos ambientales negativos. Sin embargo, a pesar de estos avances, muchas plantas de tratamiento continúan operando con estructuras obsoletas, lo que limita su capacidad para cumplir con los estándares de calidad del agua (INEN, 2020).

En este sentido, la optimización de las plantas de tratamiento de agua potable no solo debe centrarse en el aspecto tecnológico, sino también en la incorporación de estrategias de gestión ambiental que minimicen la huella ecológica de estos procesos. Según (Lorenzo, 2006), una de las principales áreas de mejora en los sistemas de tratamiento de agua es el consumo energético, que representa una parte significativa de los costos operativos de las plantas. Además, la generación de residuos líquidos, sólidos y gaseosos es una preocupación constante en la operación de estas instalaciones, dado que, si no se gestionan adecuadamente, pueden afectar la calidad de las fuentes hídricas y la salud pública (Sierra, 2017).

El enfoque hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética en las plantas de tratamiento de agua es clave no solo para garantizar la calidad del agua, sino también para la preservación del medio ambiente y la reducción de los impactos asociados con el tratamiento. De acuerdo con varias investigaciones, es fundamental realizar una evaluación de los impactos ambientales en cada fase del proceso de tratamiento, desde la captación del agua hasta la disposición final de los residuos generados, para identificar las áreas que requieren atención y mejora (Gestión de Agua Potable y Saneamiento, 2019; Blanco & Donoso, 2008). En este sentido, la implementación de herramientas de evaluación de impactos, como la matriz de Conesa, permite una comprensión detallada de los efectos ambientales de las actividades realizadas en las plantas y facilita la toma de decisiones informadas para la mejora de los procesos (Rodríguez, 2019; Martínez, 2021).

En el presente artículo se analizarán los principales retos y oportunidades que enfrentan las plantas de tratamiento de agua potable, con un enfoque especial en la optimización de sus procesos y la integración de prácticas de gestión ambiental que permitan la sostenibilidad de estos sistemas. Asimismo, se discutirá cómo la aplicación de nuevas tecnologías y estrategias de manejo eficiente

pueden contribuir a la reducción de los impactos negativos sobre el medio ambiente, promoviendo una mejora en la calidad de vida de las comunidades. A través de un análisis crítico y la recopilación de datos relevantes, se busca proporcionar recomendaciones basadas en la evidencia para fomentar una mayor eficiencia y sostenibilidad en las plantas de tratamiento de agua potable.

Descripción de la Actividad y los Impactos Ambientales Generados

Las plantas de tratamiento de agua potable realizan una serie de actividades críticas que tienen efectos directos e indirectos sobre el medio ambiente. Cada etapa del proceso de tratamiento, desde la captación del agua hasta su distribución final, genera impactos que deben ser evaluados y gestionados adecuadamente. A continuación, se describe el proceso operativo general de una planta de tratamiento de agua y los impactos ambientales generados en cada fase.

Captación y Transporte de Agua

El proceso comienza con la captación del agua desde fuentes naturales, como ríos, lagos o embalses. Esta fase implica la instalación de sistemas de bombeo y conductos para transportar el agua hasta la planta de tratamiento. Los impactos ambientales de esta actividad incluyen la alteración de los ecosistemas acuáticos locales debido a la intervención en los cuerpos de agua y la posible contaminación por el uso de productos químicos en el proceso de captación (TULSMA, 2015; INEN, 2020). Además, la construcción de infraestructuras para la captación y el transporte puede generar deforestación y pérdida de hábitats naturales (Arumí, 2017).

Floculación y Coagulación

Una vez que el agua ha sido transportada a la planta, se somete a los procesos de floculación y coagulación. Estos procesos permiten la eliminación de partículas suspendidas en el agua mediante la adición de productos químicos que aglutinan las impurezas.

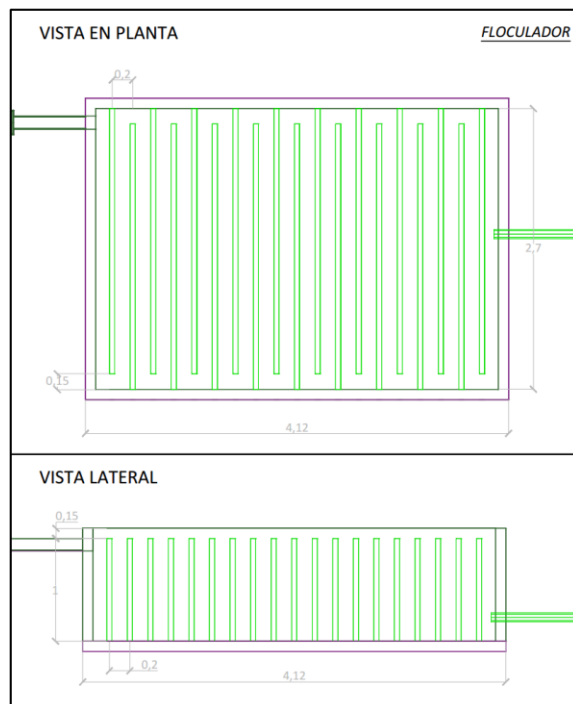


Figura 1 Esquema del floculador de flujo horizontal

Los impactos asociados con esta etapa incluyen la generación de residuos sólidos que contienen los productos químicos utilizados, los cuales deben ser gestionados adecuadamente para evitar la contaminación del suelo y el agua (Lorenzo, 2006; TULSMA, 2015)

Tabla 1 Tabla de resultados para la dosificación de coagulante

Parámetro	Unidad	Resultado
Cantidad del PAC (Policloruro de Aluminio)	mg/l	10
Caudal de dosificación de PAC	m ³ /d	82.08
Cantidad de PAC para 1 hora de operación	g/h	34.2
Cantidad de Policloruro de Aluminio por día	kg/día	0.82

Filtración y Desinfección

El agua tratada luego pasa por un proceso de filtración, donde se eliminan las partículas más finas. A continuación, se desinfecta utilizando productos como el cloro o el ozono para eliminar microorganismos patógenos. Los residuos generados durante la filtración, incluidos los filtros y lodos, deben ser gestionados de manera adecuada.

Tabla 2 Tabla de resultados para el diseño del filtro lento de arena

Parámetro	Unidad	Resultado
Área Superficial	m ²	3.6
Coefficiente de costo	-	1.33
Longitud de la unidad	m	2.19
Longitud de la pared de cada unidad	m	2.19
Ancho de la unidad	m	1.64
Longitud total mínima de pared	m ²	13.15
Caudal por filtro	m ³ /h	0.47
Área de filtración	m ²	2.35
Diámetro interior del filtro	m	1.73
Número de drenes laterales	-	1
Caudal para cada dren lateral	m ³ /h	0.24
Número de pared de orificios	-	63
Diámetro dren lateral	m	0.02
Longitud del dren principal	m	2.5
Longitud del dren lateral	m	28.26
Diámetro dren principal	m	0.03

La desinfección con cloro, aunque efectiva, puede generar subproductos que son perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas acuáticos si no se gestionan correctamente (Sierra, 2017; Sánchez, 2018)

Almacenamiento y Distribución

El agua tratada se almacena en tanques y se distribuye a las comunidades a través de redes de tuberías.

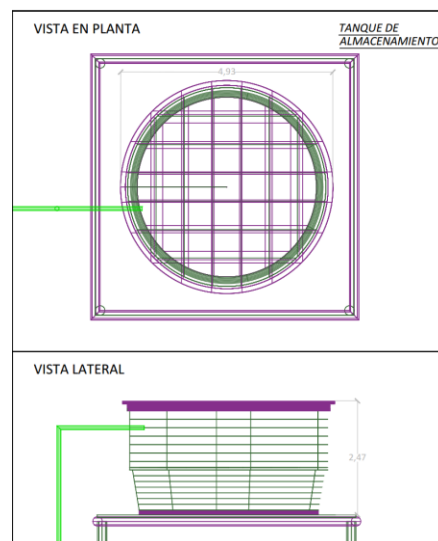


Figura 2 Esquema del tanque de almacenamiento

En esta fase, los principales impactos ambientales incluyen el consumo de energía para el bombeo y la distribución del agua, así como las pérdidas de agua debido a fugas en las redes. La energía utilizada en esta etapa contribuye al consumo de recursos no renovables, y las fugas en las tuberías pueden resultar en la pérdida de agua potable y el aumento del uso de energía para mantener la presión en las redes (Sierra, 2017).

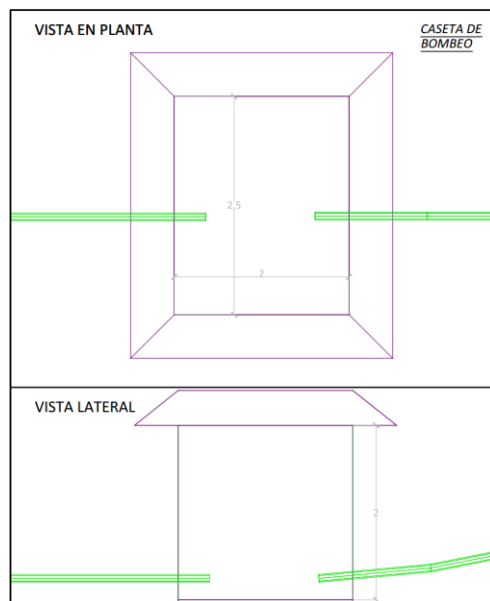


Figura 3 Esquema de la caseta de bombeo

Generación de Residuos y Efluentes

Durante todo el proceso de tratamiento, se generan residuos en forma de lodos, aguas residuales y subproductos químicos. Estos residuos pueden tener efectos negativos en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. Los lodos generados en la fase de floculación y coagulación deben ser tratados y eliminados de manera que no contaminen el suelo ni las fuentes de agua. De igual manera, los efluentes de las plantas de tratamiento deben cumplir con las normativas de calidad antes de ser vertidos en los cuerpos de agua (Gestión de Agua Potable y Saneamiento, 2019).

Evaluación de Impactos Ambientales

La evaluación de los impactos ambientales es crucial para entender los efectos que las actividades realizadas en las plantas de tratamiento de agua tienen sobre el entorno. En este estudio, se utilizó la matriz de Conesa como herramienta principal para la evaluación de los impactos generados en

cada fase del proceso de tratamiento de agua. Esta matriz permite clasificar los impactos de acuerdo con su intensidad, área de influencia, permanencia y otros criterios, facilitando una evaluación detallada y estructurada de los efectos ambientales.

Matriz de Conesa

La matriz de Conesa es una herramienta cualitativa y cuantitativa ampliamente utilizada en la evaluación de impactos ambientales en proyectos industriales. Esta metodología clasifica los impactos de acuerdo con su naturaleza (positivo o negativo), intensidad (baja, media, alta), periodicidad (frecuente, ocasional), momento (inmediato, a largo plazo), y otros parámetros específicos. Se considera un enfoque sistemático que facilita la identificación de los impactos más significativos y permite priorizar las acciones correctivas y preventivas.

Tabla 3 *Criterios de Evaluación Utilizados*

Criterio	Descripción
Naturaleza	Determina si el impacto es positivo o negativo.
Intensidad	Grado de afectación del impacto: baja, media o alta.
Área de Influencia	El área afectada por el impacto: puntual, parcial o extensa.
Persistencia	La duración del impacto: temporal o permanente.
Reversibilidad	La posibilidad de que el impacto sea reversible.
Sinergia	La interacción entre varios impactos que puede agravar el efecto.

Tabla 4 *Aplicación de la Matriz a las Actividades de Tratamiento*

Actividad	Impacto	Intensidad	Área de Influencia	Persistencia
Captación de agua	Alteración de ecosistemas acuáticos y contaminación	Moderado	Parcial	Temporal
Floculación y Coagulación	Generación de residuos sólidos y líquidos	Alta	Local	Permanente
Filtración y Desinfección	Generación de residuos sólidos y subproductos	Moderado	Local	Temporal
Almacenamiento y Distribución	Consumo de energía y pérdidas por fugas	Baja	Extensa	Permanente

Tabla 5 Categoría de Impactos

Categoría de Impacto	Descripción
Impactos Irrelevantes	Impactos sin afectación significativa sobre el medio ambiente.
Impactos Moderados	Impactos que requieren intervención, como residuos de productos químicos.
Impactos Severos	Impactos graves relacionados con la generación de residuos peligrosos.
Impactos Críticos	Impactos de gran magnitud que requieren intervención urgente, como la contaminación de fuentes de agua.

Evaluación de Resultados

Evaluación de la Eficiencia Operativa de las Plantas de Tratamiento de Agua

En esta sección, se evaluarán las plantas de tratamiento de agua en cuanto a su eficiencia operativa. Esto implica analizar el desempeño de las plantas en términos de:

- **Capacidad de tratamiento**

Cuánto volumen de agua es tratado por las plantas en comparación con su capacidad máxima.

- **Consumo de energía**

La cantidad de energía requerida para el proceso de tratamiento y cómo se optimiza el uso de esta energía.

- **Costos operativos**

Los costos asociados con el funcionamiento de la planta, incluyendo el mantenimiento, la gestión de residuos y los insumos.

Para ello emplearemos un código en Python para realizar una gráfica comparativa entre los resultados de calidad del agua antes y después del tratamiento, junto con los criterios de calidad.

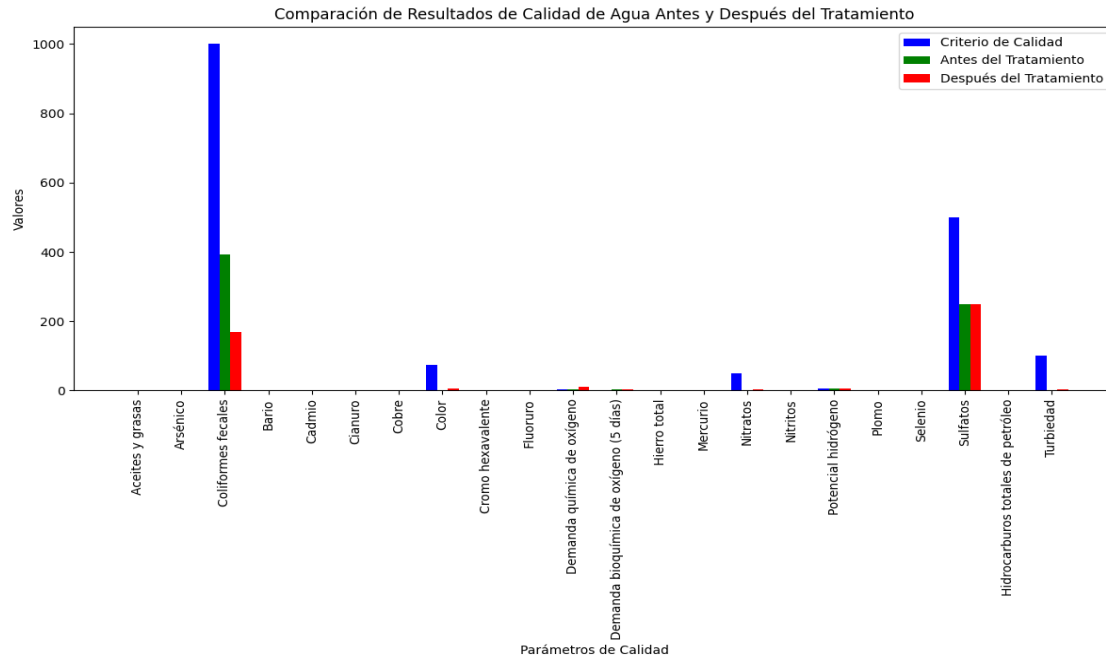


Figura 4 Comparación del criterio de calidad, resultados antes del tratamiento y resultados después del tratamiento, por parámetro de calidad del agua

Código:

https://colab.research.google.com/drive/1Q32JmWqNEX_5GIRcuwsLe9BA4fXnWdMR?usp=sharing

La **figura 4** muestra que la planta de tratamiento ha sido generalmente efectiva para reducir los niveles de contaminantes en el agua, especialmente en el caso de coliformes fecales, cobre, cadmio, sulfatos y plomo. Sin embargo, hay algunos parámetros (como demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, y selenio) que aún presentan resultados que no cumplen completamente con los criterios de calidad, lo que podría implicar que la planta de tratamiento necesita ajustes adicionales en su proceso de depuración.

Impactos Ambientales de los Procesos

Aquí se abordarán los impactos ambientales generados por las distintas fases del proceso de tratamiento de agua. Se tratarán tanto los impactos negativos como positivos:

- **Alteración de los ecosistemas acuáticos**

Cómo la captación de agua y los procesos de tratamiento afectan los ecosistemas locales.

- **Contaminación por productos químicos**

Impactos de los productos utilizados en la coagulación y floculación, y su disposición adecuada.

- **Generación de residuos sólidos y líquidos**

Cómo se gestionan los residuos generados durante el proceso y su disposición final.

- **Emisiones de gases**

Posibles emisiones derivadas de las plantas, como gases de efecto invernadero o productos secundarios de la desinfección con cloro.

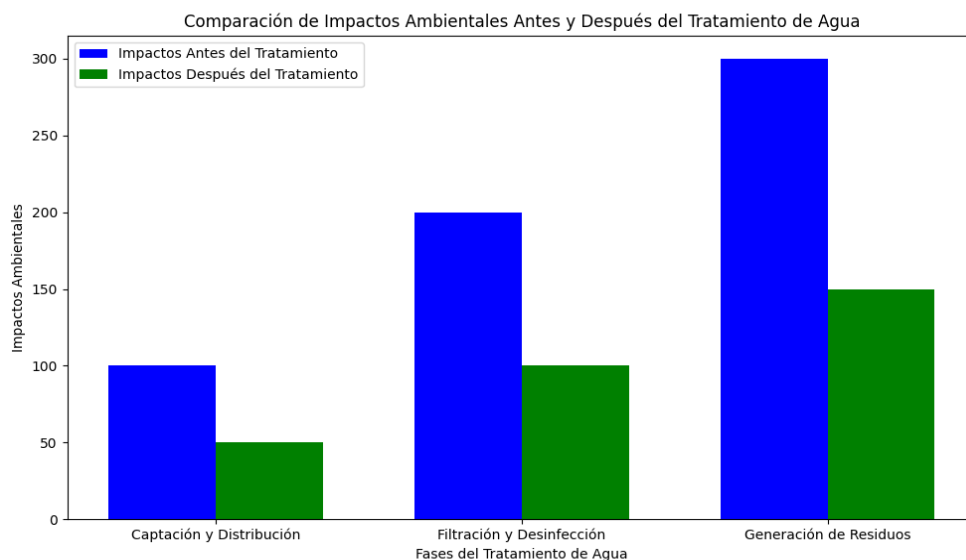


Figura 5 Comparación de impactos ambientales, antes y después del tratamiento de agua

La **figura 5** muestra el tratamiento de agua que ha tenido un impacto positivo en las tres fases comparadas, reduciendo significativamente los impactos ambientales, especialmente en Captación y Distribución y Generación de Residuos. Aunque en la fase de Filtración y Desinfección el impacto también ha disminuido, sigue siendo una de las fases con mayores impactos, lo que indica que aún hay áreas de mejora, como la gestión de subproductos de desinfección. La diferencia porcentual entre los impactos antes y después del tratamiento muestra mejoras notables, lo que confirma que las intervenciones implementadas han sido efectivas en la reducción de impactos ambientales.

Propuestas de Mejora y Optimización

1. Mejora en la Captación y Distribución de Agua:

- **Reparación de fugas y mantenimiento preventivo**

Es fundamental realizar un mantenimiento regular de las redes de distribución para evitar pérdidas de agua, lo que no solo reduce el impacto ambiental, sino que también optimiza el uso del recurso.

- **Uso de tecnologías de monitoreo inteligente**

Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real de las redes de distribución para detectar fugas de manera más eficiente y reducir el desperdicio de agua.

2. Optimización de los Procesos de Filtración y Desinfección:

- **Implementación de sistemas de filtración más eficientes**

Invertir en tecnologías de filtración avanzada, como filtros de carbono activado o filtración de membranas, para mejorar la eliminación de contaminantes y reducir la carga operativa.

- **Mejor gestión de los subproductos de desinfección**

Investigar y aplicar métodos alternativos de desinfección como el uso de ozono o radiación UV, que generan menos subproductos tóxicos que el cloro.

3. Reducción de la Generación de Residuos:

- **Tratamiento y reutilización de lodos**

Desarrollar métodos para el tratamiento y reutilización de los lodos generados durante el proceso de coagulación y floculación, como su uso en la agricultura o en la producción de biogás.

- **Mejor disposición de residuos químicos**

Implementar sistemas más eficientes de gestión de residuos químicos para garantizar su eliminación segura y evitar la contaminación del suelo y las fuentes de agua.

4. Eficiencia Energética en la Planta de Tratamiento:

- **Integración de fuentes de energía renovable**

Instalar paneles solares o turbinas eólicas para reducir el consumo de energía proveniente de fuentes no renovables, lo que disminuiría tanto los costos operativos como la huella de carbono de la planta.

- **Optimización de la bomba de agua**

Asegurarse de que las bombas de agua sean de bajo consumo energético y estén bien calibradas para evitar un uso excesivo de energía.

5. Educación y Sensibilización Comunitaria:

- **Promover el ahorro de agua**

Implementar programas educativos para sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de conservar el agua y cómo pueden contribuir a la eficiencia del sistema de tratamiento, mediante el uso racional del recurso.

Conclusiones

El tratamiento de agua en las plantas de tratamiento ha mostrado avances significativos en la reducción de los impactos ambientales, especialmente en las fases de Captación y Distribución y Generación de Residuos. A lo largo del proceso de tratamiento, se observó una mejora en la calidad del agua, con una reducción notable en los impactos negativos, como la contaminación por residuos químicos y pérdidas de agua. Sin embargo, algunas fases, como la de Filtración y Desinfección, aún presentan desafíos debido a la generación de subproductos tóxicos y la necesidad de optimizar los procesos de depuración.

El análisis de la eficiencia operativa ha revelado que, si bien las plantas de tratamiento han mejorado su capacidad para reducir los contaminantes, el consumo energético y la gestión de residuos siguen siendo áreas clave que requieren atención para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. La implementación de tecnologías innovadoras y prácticas de gestión ambiental más eficientes ha demostrado ser efectiva, pero existen oportunidades adicionales para integrar fuentes de energía renovable y mejorar la gestión de los lodos y residuos generados.

En resumen, las mejoras en el tratamiento de agua no solo son cruciales para garantizar el acceso a agua potable de calidad, sino también para reducir la huella ecológica de las plantas de tratamiento. La optimización continua de estos procesos, con especial atención a la eficiencia energética y la gestión de residuos, será fundamental para asegurar un futuro más sostenible para las comunidades y el medio ambiente.

Recomendaciones

- Es fundamental implementar tecnologías avanzadas de filtración, como filtros de carbón activado o membranas de ósmosis inversa, para mejorar la eficiencia en la eliminación de contaminantes finos y reducir la generación de residuos. Además, el uso de radiación UV

o ozono como alternativa al cloro podría disminuir los subproductos tóxicos, mejorando la calidad del agua tratada.

- Es necesario adoptar prácticas más sostenibles en la gestión de lodos y residuos sólidos generados durante el tratamiento. Invertir en tecnologías para el tratamiento y reutilización de lodos, como su uso en la agricultura o la conversión en biogás, contribuiría tanto a la sostenibilidad del proceso como a la reducción de residuos peligrosos.
- Se recomienda la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares o turbinas eólicas, para alimentar parcialmente la planta de tratamiento. Esto no solo reducirá la dependencia de fuentes de energía no renovables, sino que también contribuirá a la reducción de la huella de carbono y a la sostenibilidad a largo plazo de la planta.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo y el uso de tecnologías de monitoreo en tiempo real en las redes de distribución permitirá identificar y reparar rápidamente las fugas de agua. Esto reducirá tanto las pérdidas de agua como los impactos operativos de las plantas, mejorando la eficiencia general del sistema.
- Desarrollar programas educativos para sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del ahorro de agua y las buenas prácticas de consumo será clave para mejorar la eficiencia del sistema, reducir la presión sobre las fuentes de agua y fomentar un uso más responsable del recurso.
- Invertir en la formación continua del personal es clave para mantener un sistema operativo de alta calidad. Capacitar a los operarios de las plantas en nuevas tecnologías y procesos de tratamiento más eficientes garantizará una gestión adecuada y eficiente de los recursos, optimizando los resultados y reduciendo impactos ambientales innecesarios.

Referencias

1. Forde, M., et al., 2019. Calidad del Agua en las Américas. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Katherine-Vammen/publication/336778235_Calidad_de_Agua_en_las_Americas_Riesgos_y_Oportunidades_IANAS/links/5db1fa25299bf111d4c1167b/Calidad-de-Agua-en-las-Americas-Riesgos-y-Oportunidades-IANAS.pdf#page=30 [Accedido el 7 de Marzo de 2024].

2. TULSMA, L. M., 2015. Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Anexo 2, Libro VI. Quito, Ecuador: Ministerio del Ambiente.
3. Constitución de la República del Ecuador, 2008. Decreto Legislativo. Registro Oficial.
4. INSTITUTO ECUATORIANA DE NORMALIZACIÓN, 1992. CPE INEN 5 Parte 9-1:1992. [En línea] Disponible en: https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-1_1992-mas-de-1000-hab.pdf [Accedido el 7 de Marzo de 2024].
5. BOLAÑOS, 2017. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable, como indicadores de contaminación por el hombre. [En línea] Revista Tecnológica en Marcha, 30(4). Disponible en: http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3408.
6. ARUMÍ, J., 2017. Cuidemos el agua, cuidemos las vertientes. [En línea] CRHIAM. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/cuidemos-el-agua-cuidemos-las-vertientes/>.
7. Nieto, N., 2011. La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. [En línea] Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/polcul/n36/n36a7.pdf>.
8. Díaz, G., 2012. El cambio climático. [En línea] Disponible en: <https://intranetrepositorio.intec.edu.do/server/api/core/bitstreams/3bacdd56-e4ef-4b1f-a2eb-d5cced4f44aa/content>.
9. Brault, J., 2020. Tres soluciones para una mejor gestión de las aguas residuales en Guayaquil, Ecuador. [En línea] World Bank Blogs. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>.
10. Molero Fernández, J., Sáez Mercader, J. & Soler Andrés, A., 1981. La autodepuración en las corrientes de agua. [En línea] Disponible en: <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/72890/00820073007882.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
11. Zurita, F., Castellanos, O. & Rodríguez, A., 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. [En línea] Remexca, 2(1). Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe1/v2spe1a11.pdf>.
12. Gestión de Agua Potable y Saneamiento, 2019. Agua, Agencia de Regulación y Control del. Registro de Gestión de Agua Potable y Alcantarillado.

13. INEN, N., 2020. 1108. Norma Técnica Ecuatoriana. Agua Potable. Requisitos.
14. Lorenzo, Y., 2006. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. Ciudad de La Habana, Cuba: Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Vol. II.
15. Blanco, E. & Donoso, G., 2008. Agua potable: desafíos para la provisión sustentable del recurso. [En línea] Actas de Derecho de Agua, 2(2). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2574510>.

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).