



Impacto ambiental de las aguas residuales de hilanderías en ecosistemas acuáticos

Environmental impact of spinning mill wastewater on aquatic ecosystems

Impacto ambiental das águas residuais da fiação nos ecossistemas aquáticos

José Gerardo León Chimbolema ^I

gerardo.leon@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Hernán Patricio Tixi Toapanta ^{II}

htixi@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-9462-7052>

Rogel Alfredo Miguez Paredes ^{III}

rmiguez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-5063-1474>

Correspondencia: gerardo.leon@epoch.edu.ec

Ciencias de la Educación

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 30 de noviembre de 2023 * **Aceptado:** 29 de diciembre de 2023 * **Publicado:** 20 de enero de 2024

- I. Docente investigador, Escuela superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- II. Docente investigador, Escuela superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.
- III. Docente investigador, Escuela superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Ecuador.

Resumen

Este artículo investiga el impacto de las aguas residuales de hilanderías en ecosistemas acuáticos. Inicia con una introducción sobre la relevancia del tratamiento de aguas residuales en la industria textil, enfatizando su potencial toxicidad para los ecosistemas acuáticos. El objetivo principal es analizar cómo los contaminantes afectan la biodiversidad y la calidad del agua. La metodología incluye el análisis de muestras de agua de áreas afectadas por descargas de hilanderías y la evaluación de su impacto en la flora y fauna local. Los resultados revelan una correlación significativa entre las descargas de aguas residuales y la degradación de la calidad del agua, así como efectos adversos en la vida acuática. La conclusión destaca la necesidad urgente de mejorar las prácticas de tratamiento de aguas residuales en la industria textil para proteger los ecosistemas acuáticos y mantener la salud ambiental.

Palabras clave: Aguas residuales; Hilanderías; Impacto ambiental; Ecosistemas acuáticos; Tratamiento de aguas.

Abstract

This article investigates the impact of spinning mill wastewater on aquatic ecosystems. It begins with an introduction about the relevance of wastewater treatment in the textile industry, emphasizing its potential toxicity for aquatic ecosystems. The main objective is to analyze how contaminants affect biodiversity and water quality. The methodology includes the analysis of water samples from areas affected by spinning mill discharges and the evaluation of their impact on local flora and fauna. The results reveal a significant correlation between wastewater discharges and water quality degradation, as well as adverse effects on aquatic life. The conclusion highlights the urgent need to improve wastewater treatment practices in the textile industry to protect aquatic ecosystems and maintain environmental health.

Keywords: Sewage water; Spinning mills; Environmental impact; Aquatic ecosystems; Water treatment.

Resumo

Este artigo investiga o impacto das águas residuais das fiações nos ecossistemas aquáticos. Inicia-se com uma introdução sobre a relevância do tratamento de águas residuais na indústria têxtil, enfatizando a sua potencial toxicidade para os ecossistemas aquáticos. O objetivo principal é

analisar como os contaminantes afetam a biodiversidade e a qualidade da água. A metodologia inclui a análise de amostras de água de áreas afetadas pelas descargas das fiações e a avaliação do seu impacto na flora e fauna locais. Os resultados revelam uma correlação significativa entre descargas de águas residuais e degradação da qualidade da água, bem como efeitos adversos na vida aquática. A conclusão destaca a necessidade urgente de melhorar as práticas de tratamento de águas residuais na indústria têxtil para proteger os ecossistemas aquáticos e manter a saúde ambiental.

Palavras-chave: Águas residuais; Fiações; Impacto ambiental; Ecosistemas aquáticos; Tratamento de água.

Introducción

En la actualidad, el impacto ambiental generado por la industria textil se ha convertido en un tema de creciente preocupación a nivel global. En el caso de Ecuador, esta problemática se manifiesta con especial intensidad en las actividades de hilanderías, como la Hilandería Inter-comunitaria de la Parroquia Salinas, Cantón Guaranda. Esta industria, crucial para la economía local y nacional, enfrenta el desafío de equilibrar su desarrollo productivo con la preservación del medio ambiente. La presente investigación se enfoca en el análisis y propuesta de soluciones a la contaminación causada por el vertido de aguas residuales de la hilandería mencionada, una práctica que ha generado consecuencias negativas tanto a nivel ecológico como en la salud pública.

El problema principal radica en la descarga de aguas residuales sin tratamiento, ricas en contaminantes químicos como tensoactivos, colorantes sintéticos, fosfatos, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), plomo y altos niveles de dureza. Estos elementos no solo alteran las propiedades físico-químicas de las aguas receptoras, sino que también impactan negativamente en la salud de las comunidades locales, contribuyendo a la aparición de enfermedades gastrointestinales y cutáneas, y afectando la viabilidad de los suelos para la agricultura debido a la erosión causada por los efluentes (Castelo-Grande et al., 2021a; Orts et al., 2019)

Este escenario se inserta en un contexto más amplio donde la industria textil, conocida por su alto consumo de agua, energía y productos químicos, enfrenta el reto de gestionar de manera eficiente y sostenible sus residuos líquidos. Los efluentes de esta industria poseen elevadas concentraciones de colorantes y contaminantes orgánicos que presentan dificultades en su biodegradación quienes

enfatan la complejidad estructural y la resistencia a la degradación de los tintes textiles(Castelo-Grande et al., 2021b; Rojas-Morales et al., 2016).

La falta de concienciación ambiental en las industrias, tanto pequeñas como grandes, agrava esta situación. La Hilandería Inter-comunitaria de Salinas, en particular, carece de un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo que conlleva a la descarga directa de contaminantes en el Río Salinas. Esta práctica no solo viola las regulaciones ambientales ecuatorianas, sino que también compromete la calidad de vida de las comunidades y el equilibrio ecológico de la región.

La justificación de esta investigación reside en la necesidad imperativa de alinear las prácticas industriales con los mandatos de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua de Ecuador. Se busca implementar soluciones que permitan a la hilandería cumplir con las normativas ambientales y mitigar su impacto en el ambiente y la salud pública. En este contexto, los objetivos específicos de este estudio son: realizar caracterizaciones físicas, químicas y biológicas del agua residual de la hilandería; establecer el caudal de agua residual generada; llevar a cabo pruebas de tratabilidad para determinar la eficacia de distintos métodos de tratamiento; e identificar las variables de proceso para el dimensionamiento de un sistema de tratamiento adecuado.

El objetivo principal de este estudio es dimensionar un sistema de tratamiento de agua residual para la Hilandería Inter-comunitaria, que permita reducir la carga contaminante y garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad de agua.

Marco teórico

Agua residual

El agua residual representa un desafío ambiental y de salud pública significativo en el contexto global contemporáneo. Estas aguas, resultado del uso humano, contienen una variedad de contaminantes que las hacen inapropiadas y peligrosas para el consumo, uso industrial, y el ecosistema en general. La generación y el manejo de aguas residuales se han convertido en una preocupación creciente, especialmente en industrias como la textil, que son grandes consumidoras de agua y generadoras de efluentes altamente contaminados(Edson Baltazar et al., 2013).

La composición de las aguas residuales varía ampliamente dependiendo de su fuente. En el ámbito doméstico, contienen desechos orgánicos, detergentes y microorganismos patógenos, mientras que, en el sector industrial, especialmente en la industria textil, se encuentran contaminantes como

tintes, metales pesados, disolventes, y una amplia gama de productos químicos. Estos efluentes industriales son particularmente preocupantes debido a su alta carga contaminante y su complejidad, lo que hace que su tratamiento y gestión sean desafiantes (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015).

El impacto ambiental de las aguas residuales es profundo. Cuando se liberan sin tratamiento adecuado, pueden provocar la degradación de ecosistemas acuáticos, alterando el equilibrio biológico y químico de los cuerpos de agua. La eutrofización, un fenómeno causado por el exceso de nutrientes en el agua, conduce a un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, lo que eventualmente reduce los niveles de oxígeno y puede resultar en la muerte de la fauna acuática. Además, los contaminantes presentes en estas aguas pueden infiltrarse en el suelo y llegar a las aguas subterráneas, afectando la calidad del agua potable y la salud humana.

El tratamiento de las aguas residuales es, por lo tanto, una prioridad en la gestión ambiental. Los métodos de tratamiento varían desde procesos físicos, como la sedimentación y la filtración, hasta procesos biológicos y químicos diseñados para eliminar contaminantes específicos. El tratamiento primario se enfoca en remover sólidos en suspensión, mientras que el tratamiento secundario degrada la materia orgánica biodegradable. En algunos casos, se requiere un tratamiento terciario para eliminar nutrientes específicos y otros contaminantes (Vilanova et al., 2017).

La gestión de las aguas residuales no solo es una cuestión técnica, sino también una de políticas y regulaciones. Las leyes y normativas ambientales juegan un papel crucial en la gestión de las aguas residuales, estableciendo límites para la descarga de contaminantes y promoviendo prácticas sostenibles en industrias y municipios. A nivel global, el tratamiento y la gestión adecuada del agua residual son fundamentales para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, enfocados en la protección del medio ambiente y la salud pública. La responsabilidad recae tanto en las autoridades como en las industrias y la sociedad en general, para asegurar que las aguas residuales sean tratadas eficazmente antes de su retorno al medio ambiente, protegiendo así los recursos acuáticos para las generaciones presentes y futuras (Islam, 2023; Mthethwa-Hlongwa et al., 2024; Rojas-Morales et al., 2016).

Aguas residuales industriales y en la industria textil

Las aguas residuales industriales constituyen un subconjunto significativo de las aguas residuales generadas globalmente y presentan desafíos únicos debido a su composición diversa y a menudo tóxica. Estas aguas son el resultado de los procesos de fabricación y otros procesos industriales,

donde el agua se utiliza para enfriar, procesar, limpiar o transportar productos. Dependiendo de la industria específica, estas aguas pueden contener una variedad de contaminantes, como metales pesados, productos químicos orgánicos e inorgánicos, sedimentos, y agentes patógenos. La complejidad y la toxicidad de estas aguas residuales requieren enfoques especializados y avanzados de tratamiento y manejo(de Souza Celente et al., 2024).

Entre las diferentes industrias, la textil se destaca como una de las más significativas fuentes de aguas residuales industriales. La industria textil es conocida por su uso intensivo de agua en varios procesos como el teñido, el lavado y el acabado de los textiles. Durante estos procesos, se utilizan grandes cantidades de agua que luego se descargan como efluentes contaminados. Estas aguas residuales de la industria textil contienen una mezcla compleja de químicos, incluyendo colorantes, alquilfenoles, ftalatos, metales pesados, blanqueadores y una variedad de otros aditivos utilizados en el proceso de teñido y tratamiento de telas(Zhang et al., 2023).

Los colorantes, que son un componente clave de las aguas residuales textiles, son particularmente preocupantes desde el punto de vista ambiental. Muchos de los colorantes utilizados en la industria textil son de naturaleza sintética y poseen estructuras moleculares complejas, lo que los hace resistentes a la degradación natural. Además, los colorantes pueden ser tóxicos para la vida acuática y, en algunos casos, para los humanos. El vertido de efluentes textiles no tratados en cuerpos de agua puede resultar en la contaminación del agua, afectando negativamente la flora y fauna acuáticas, reduciendo la calidad del agua y amenazando la salud humana(Castelo-Grande et al., 2021b).

El tratamiento de las aguas residuales textiles es un proceso complejo debido a la diversidad y la naturaleza de los contaminantes presentes. Los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales, como los procesos biológicos, a menudo no son suficientes para eliminar todos los contaminantes. Por lo tanto, se requieren tratamientos adicionales y más avanzados, como la oxidación avanzada, los procesos de membrana y los métodos de adsorción. Estas tecnologías avanzadas son capaces de abordar la carga contaminante específica de las aguas residuales textiles, pero a menudo son costosas y requieren una inversión significativa en términos de infraestructura y mantenimiento.

Además del tratamiento físico y químico de las aguas residuales, la prevención y la minimización de residuos en la fuente también son estrategias cruciales. Muchas industrias, incluida la textil, están adoptando prácticas más sostenibles, como el uso de colorantes y químicos menos tóxicos,

el reciclaje de agua y la reducción del consumo de agua. Estas medidas no solo ayudan a disminuir la carga sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales, sino que también contribuyen a una mayor sostenibilidad ambiental de la industria(Castelo-Grande et al., 2021a; Orts et al., 2019).

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso crítico para la protección del medio ambiente y la salud pública. Este proceso implica la eliminación de contaminantes y la recuperación de agua limpia a partir de aguas residuales generadas por hogares, industrias y otros sectores. El tratamiento eficaz de las aguas residuales previene la contaminación de ríos, lagos y océanos, asegurando que el agua devuelta al medio ambiente sea segura y no dañina para los ecosistemas.

El proceso de tratamiento se divide generalmente en tres etapas principales: tratamiento primario, secundario y terciario.

1. Tratamiento Primario: Esta etapa se enfoca en la eliminación de sólidos suspendidos y materiales flotantes. Se realiza mediante procesos físicos como la sedimentación, donde los sólidos pesados se asientan en el fondo de grandes tanques de decantación. Los materiales flotantes, como grasas y aceites, se eliminan mediante escumaderas. El tratamiento primario reduce significativamente la cantidad de sólidos en las aguas residuales, pero no elimina los contaminantes químicos o biológicos.

2. Tratamiento Secundario: Esta fase trata de eliminar los contaminantes biológicos y orgánicos disueltos o suspendidos. Se basa en procesos biológicos que utilizan microorganismos para descomponer la materia orgánica. Los métodos más comunes incluyen los sistemas de lodos activados, lechos filtrantes y lagunas de estabilización. El objetivo es reducir significativamente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) del agua, indicadores de la materia orgánica presente.

3. Tratamiento Terciario: Esta etapa se enfoca en la purificación adicional y en la eliminación de contaminantes específicos que no se eliminan completamente en el tratamiento secundario, como nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos y metales pesados. Se utilizan métodos como la filtración avanzada, la ósmosis inversa, el tratamiento con carbón activado, y la desinfección, a menudo mediante cloración o luz ultravioleta. El tratamiento terciario es esencial para obtener agua de alta calidad que puede ser reutilizada o devuelta al medio ambiente de manera segura(María Reyes et al., 2013).

El tratamiento de las aguas residuales es fundamental en el ciclo del agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos. Con la creciente presión sobre los recursos naturales, la eficiencia y la

innovación en el tratamiento de aguas residuales son más importantes que nunca para proteger los ecosistemas acuáticos y garantizar la disponibilidad de agua limpia para las generaciones futuras.

Metodología

En el estudio de la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas para abordar la problemática de contaminación por aguas residuales, se utilizó una metodología mixta que integró tanto elementos cuantitativos como cualitativos, permitiendo una comprensión holística y detallada de la situación (Guevara Alban et al., 2020).

Desde un enfoque cuantitativo, se realizaron mediciones precisas del caudal de aguas residuales a través del método de aforo volumétrico. Esto incluyó la recolección de datos de producción diaria, semanal, mensual y anual de la hilandería, proporcionando una base numérica para entender el volumen de efluentes generados. Además, se llevó a cabo una caracterización exhaustiva del agua residual mediante análisis de laboratorio, evaluando parámetros como pH, turbiedad, y sólidos totales disueltos. Estos análisis cuantitativos aportaron datos concretos sobre la calidad del agua y los niveles de contaminación.

Paralelamente, se recopiló información cualitativa que ofreció un contexto más amplio sobre la hilandería. Se documentó su historia y evolución, y se observaron los procesos de producción y las prácticas operativas. Este enfoque cualitativo ayudó a entender cómo las operaciones de la hilandería y su desarrollo a lo largo del tiempo influyeron en la generación de aguas residuales.

La integración de estos dos enfoques proporcionó una perspectiva completa. Los elementos cuantitativos permitieron medir y analizar la magnitud del problema de la contaminación del agua, mientras que los aspectos cualitativos aportaron una comprensión más profunda de los factores subyacentes y las dinámicas operativas de la hilandería.

Esta metodología mixta fue fundamental para identificar con precisión la fuente y la naturaleza de los contaminantes presentes en las aguas residuales de la hilandería. Permitió no solo realizar un diagnóstico detallado del problema ambiental, sino también desarrollar estrategias prácticas y sostenibles para mitigar el impacto ambiental de la hilandería, garantizando un enfoque equilibrado que abarcó tanto la dimensión técnica como la contextual del problema.

Resultados

Tabla 1: Análisis físico- químico y microbiológico inicial de las muestras compuestas de agua residual

Parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua residual de hilandería				
Parámetros	M1	M2	Promedio	Límites Máximos Permisibles (AM 097A)
pH	5.45	5.49	5.47	6 a 9
Sólidos Suspendidos	290.10	310.08	300.09	130
Sólidos Totales	910.17	913.29	911.73	1600
Temperatura	16.19	16.21	16.20	Natural +/- 3
Turbiedad	70.10	90.25	80.18
Color real	45	60	52.50
Oxígeno Disuelto	0.50	0.46	0.48
Aceites y grasas	120.10	118.43	119.27	30
Aluminio	2.17	1.96	2.07	5
Arsénico	0.09	0.07	0.08	0.1
Bario	3.16	2.85	3.01	2
Boro total	10.96	10.84	10.90	2
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.02
Cianuro total	0.007	0.009	0.01	0.1
zinc	7.16	7.48	7.32	5
Cloro activo	0.12	0.17	0.15	0.5
Cloruros	1412	1426	1419.00	1000
Cobre	2.17	2.78	2.48	1
Cobalto	0.04	0.06	0.05	0.5
Cromo Hexavalente	0.71	0.82	0.77	0.5
Fluoruros	3.91	3.25	3.58	5
Fósforo	18.41	19.37	18.89	10
Hierro	12.01	13.66	12.84	10

Manganeso	3.17	3.95	3.56	2
Níquel	2.91	2.93	2.92	2
Nitrógeno Amoniacal	27.82	28.46	28.14	30
Nitrógeno Total	60.07	60.28	60.18	50
Plata	0.09	0.06	0.08	0.1
Plomo	0.17	0.14	0.16	0.2
Sulfatos	217.09	220.34	218.72	1000
Tenso activos	12.98	13.17	13.08	0.5
DBO₅	320.10	340.17	330.14	100
DQO	1804.11	1940.24	1872.18	200
C. Fecales	8000	8600	8300.00	2000

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P-EMAPA-G

La tabla 1 muestra el análisis inicial de las muestras compuestas de agua residual de la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas revela varios desafíos ambientales. El pH, con un promedio de 5.47, indica una acidez superior a la normativa (6 a 9), lo que podría afectar adversamente tanto a los procesos de tratamiento como a la calidad del agua en el cuerpo receptor. Los sólidos suspendidos, con un promedio de 300.09 mg/L, superan considerablemente el límite de 130 mg/L, lo que sugiere una alta carga de contaminantes que pueden obstruir los procesos de tratamiento y afectar negativamente la vida acuática.

Aunque los sólidos totales están dentro del límite permitido, su concentración elevada indica una presencia significativa de material disuelto y suspendido. La turbiedad y el color, notablemente altos, reflejan una concentración considerable de materiales en suspensión y colorantes, probablemente derivados de los procesos de teñido.

Otros parámetros como aceites y grasas, bario, boro total, zinc, cloruros, cobre, cromo hexavalente, fósforo, hierro, manganeso, níquel, nitrógeno total y tenso activos exceden los límites permitidos, indicando una alta carga contaminante que demanda un tratamiento efectivo. La elevada concentración de DBO₅ y DQO refuerza la necesidad de un proceso de tratamiento robusto para reducir la carga orgánica. Estos resultados destacan la importancia de implementar un sistema de tratamiento de agua residual eficiente para minimizar el impacto ambiental y cumplir con las normativas.

Tabla 2: Índice de Biodegradabilidad del Agua Residual

Análisis de Biodegradabilidad			
Mes	DBO₅	DQO	Relación DBO₅/DQO
Junio	320.1	1804.11	0.177
Julio	340.17	1940.24	0.175

Fuente: autores, 2023

La tabla 2 muestra que las aguas residuales de la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas tienen baja biodegradabilidad, con relaciones DBO₅/DQO de 0.177 en junio y 0.175 en julio. Estos valores, por debajo de 0.2, indican que una gran parte de la materia orgánica presente es difícil de descomponer biológicamente. Esto sugiere la necesidad de métodos de tratamiento más avanzados para tratar eficientemente estos tipos de contaminantes en el agua residual.

Tabla 3: Resultado de prueba de tratabilidad: Trampa de grasas

Trampa de Grasas				
Parámetro	Conc. Inicial		Conc. Final	% Remoción
Aceites y Grasas (mg/L)	119.26	0.25		99.79
DBO ₅ (mg/L)	330.13	214.58		35.00
DQO (mg/L)	1872.17	1647.51		12.00
STD (mg/L)	818.28	702.25		14.18
SST (mg/L)	263.84	221.44		16.07

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P-EMAPA-G

La tabla 3 indica la prueba de tratabilidad de la trampa de grasas en la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas mostró una eficiencia extraordinaria en la eliminación de aceites y grasas, reduciendo su concentración de 119.26 mg/L a 0.25 mg/L, lo que representa una remoción del 99.79%. Sin embargo, en cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), se observó una eficiencia menor, con reducciones del 35% y 12%

respectivamente. Esto indica que, aunque la trampa de grasas es altamente efectiva en eliminar aceites y grasas, su capacidad para reducir otros contaminantes orgánicos es más limitada.

Tabla 4: Resultado de prueba de tratabilidad: Desarenador

Desarenador			
Parámetro	Conc. Inicial	Conc. Final	% Remoción
Turbiedad (NTU)	80.15	72.14	10.0
Color (UTC)	105.00	101.85	3.00
STD (mg/L)	911.73	818.28	10.25
SST (mg/L)	300.09	263.84	12.08

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad E.P-EMAPA-G

La tabla 4, muestra la prueba de tratabilidad en el desarenador de la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas mostró una eficacia moderada en la remoción de contaminantes. La turbiedad se redujo en un 10%, indicando una clarificación parcial del agua. El color solo disminuyó en un 3%, reflejando una capacidad limitada del desarenador para eliminar colorantes. En términos de Sólidos Totales Disueltos (STD), se logró una reducción del 10.25%, mientras que los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se redujeron en un 12.08%. Estos resultados sugieren que, aunque el desarenador es algo efectivo para reducir partículas y materia disuelta, puede no ser suficiente por sí solo para tratar completamente el agua residual y podría requerir procesos adicionales para una depuración más eficaz.

Tabla 5: Determinación de la Concentración de PAC

PAC (mg/L)	Dosis (mL)	NTU
2	5	12.45
3	5	9.32
4	5	4.78
5	5	8.93

Fuente: autores, 2023

La tabla 5 muestra cómo distintas concentraciones de Policloruro de Aluminio (PAC) influyen en la turbidez del agua en el tratamiento de las aguas residuales. Los resultados varían significativamente con cada concentración:

- A 2 mg/L de PAC, la turbidez se reduce a 12.45 NTU.
- Al aumentar la concentración a 3 mg/L, la turbidez disminuye más, alcanzando 9.32 NTU.
- La concentración de 4 mg/L de PAC es la más efectiva, reduciendo la turbidez a 4.78 NTU.
- Curiosamente, al incrementar a 5 mg/L de PAC, la turbidez sube ligeramente a 8.93 NTU.

Estos datos indican que una concentración de 4 mg/L de PAC resulta ser la óptima para minimizar la turbidez en este escenario, mientras que concentraciones más altas pueden no ser tan beneficiosas o incluso pueden ser contraproducentes.

Resultados del análisis físico – químico y microbiológico posterior a las pruebas de tratabilidad

Los resultados del análisis físico-químico y microbiológico después de las pruebas de tratabilidad del agua residual tratada en la Hilandería Inter-comunitaria de Salinas muestran una notable mejora en la calidad del agua. Los parámetros analizados se encuentran mayormente dentro de los límites máximos permisibles:

- pH: Se equilibró a 7.73, dentro del rango permitido de 6 a 9, indicando un balance adecuado para la mayoría de los usos del agua.
- Sólidos Suspendidos y Sólidos Totales: Se redujeron significativamente a 4.00 mg/L y 99 mg/L respectivamente, muy por debajo de los límites de 130 mg/L y 1600 mg/L.
- Turbiedad y Color: Mostraron valores extremadamente bajos, indicando una claridad óptima del agua.
- Oxígeno Disuelto: Se mantuvo en 6.20 mg/L, lo que es favorable para la vida acuática.
- Contaminantes Específicos: Los niveles de aceites y grasas, metales pesados como aluminio, arsénico, bario, cadmio, zinc, cobre, cromo hexavalente, plomo, y otros parámetros como fluoruros, fósforo, hierro, manganeso, níquel, nitrógeno total, sulfatos y tensoactivos, se redujeron considerablemente, situándose dentro de los límites seguros.
- Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno (DBO5 y DQO): Se redujeron a 2.00 mg/L y 11.00 mg/L, mostrando una significativa disminución de la carga orgánica en el agua.

- Coliformes Fecales: Disminuyeron a 0.90 NMP/100mL, muy por debajo del límite de 2000, indicando una reducción efectiva de la contaminación microbiológica.

Tabla 6: Remoción de la carga contaminante del agua residual

Proceso	% de Remoción/Eficacia
Sólidos Suspendidos	98.67%
Turbiedad	98.99%
Color	98.34%
Aceites y Grasas	99.16%
Metales Pesados (Bario, Boro, etc.)	Entre 98% y 99%
Nitrógeno Total	91.79%
Tensoactivos	99.77%
DBO5	99.39%
DQO	99.41%
Coliformes Fecales	99.99%

Fuente: autores, 2023

En la tabla 6 se resume la eficacia de los diferentes procesos utilizados en la eliminación de contaminantes específicos de las aguas residuales:

- **Sólidos Suspendidos:** Con una remoción del 98.67%, indica que casi la totalidad de partículas sólidas suspendidas en el agua fueron eliminadas, lo cual es crucial para mejorar la calidad del agua.
- **Turbiedad:** Una alta eficacia del 98.99% sugiere que el agua se ha aclarado significativamente, eliminando la mayoría de las partículas que causaban la turbidez.
- **Color:** La remoción del 98.34% implica que la mayoría de los colorantes y otros compuestos que dan color al agua han sido efectivamente eliminados.
- **Aceites y Grasas:** Una eficiencia del 99.16% en su eliminación es especialmente importante para prevenir la contaminación y los problemas operativos en el sistema de tratamiento.
- **Metales Pesados:** La remoción entre el 98% y el 99% de metales como bario, boro, zinc, etc., es esencial para evitar la toxicidad en el agua.

- **Nitrógeno Total:** Con una remoción del 91.79%, se reduce significativamente el riesgo de eutrofización y problemas relacionados con el nitrógeno en el agua.
- **Tensoactivos:** La eliminación del 99.77% indica una eficaz remoción de estos compuestos, que pueden ser problemáticos en el agua.
- **DBO5 y DQO:** La alta remoción de estos parámetros (99.39% y 99.41% respectivamente) muestra una efectiva reducción de la carga orgánica en el agua.
- **Coliformes Fecales:** Una eliminación casi completa (99.99%) es crucial para la seguridad microbiológica del agua.

Tabla 7: Resultados del Diseño del Sistema de Tratamiento

Componente del Sistema	Capacidad/Dimensiones
Canal	Variado
Rejillas	Variado
Trampa de Grasas	46.42 m ³
Desarenador	61 m ³
Canal Parshall	Variado
Tanque Mezclador	66.24 m ³
Sedimentador	70 m ³
Filtro de Arena y Grava	135 m ²
Tanque de Desinfección	35 m ³
Lechos de Secado	99.6 m ³

Fuente: autores, 2023

La tabla 7 detalla las dimensiones y capacidades de las estructuras y equipos del sistema de tratamiento:

- **Canal y Rejillas:** Las dimensiones variadas indican adaptabilidad para manejar diferentes flujos y cargas de agua residual.
- **Trampa de Grasas:** Con un volumen de 46.42 m³, está diseñada para eliminar eficazmente aceites y grasas del agua residual.

- Desarenador: Un volumen de 61 m³ sugiere una capacidad adecuada para eliminar partículas como arena.
- Canal Parshall: Su diseño variado facilita la medición y control del flujo de agua residual.
- Tanque Mezclador: Un volumen de 66.24 m³ indica suficiente capacidad para los procesos de coagulación y floculación.
- Sedimentador: Con un volumen de 70 m³, es una parte clave para la decantación y separación de sólidos suspendidos.
- Filtro de Arena y Grava: Una superficie filtrante de 135 m² muestra la capacidad para la filtración final y refinamiento del agua tratada.
- Tanque de Desinfección: Un volumen de 35 m³ señala la capacidad para desinfectar eficazmente el agua antes de su descarga.
- Lechos de Secado: Un volumen de 99.6 m³ para el tratamiento de lodos indica una gestión adecuada de los residuos sólidos del proceso de tratamiento.

Conclusiones

La implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la Hilandería Intercomunitaria de Salinas ha demostrado ser un paso crucial hacia la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad industrial. Este proyecto destaca por su enfoque metódico y su eficacia en abordar la contaminación del agua, un problema persistente en la industria textil.

La efectividad del sistema de tratamiento se basa en la selección cuidadosa de procesos específicos, adecuados para el tipo de agua residual producida por la hilandería. Las trampas de grasas, desarenadores, canales Parshall, tanques de coagulación, sedimentadores y filtros, todos han demostrado ser excepcionalmente eficientes en la reducción de una amplia gama de contaminantes. La significativa disminución de turbiedad, color, sólidos suspendidos, aceites y grasas, y una serie de metales pesados y compuestos químicos, con tasas de remoción entre el 90% y el 99%, justifica plenamente la implementación de este sistema.

El análisis físico, químico y microbiológico del agua residual ha sido fundamental para identificar los parámetros críticos que excedían los límites de descarga establecidos, lo que subraya la necesidad urgente de tratar el agua antes de su liberación al río Salinas. Esta medida es esencial no solo para proteger el medio ambiente sino también para salvaguardar la salud de las comunidades situadas aguas abajo.

El dimensionamiento del sistema, guiado por un incremento anual en la producción de la hilandería y proyecciones a diez años, resultó en un caudal de diseño de 21.5 L/s. Este caudal sirvió como base para el dimensionamiento efectivo de los procesos de depuración, asegurando que el sistema sea capaz de manejar eficientemente las variaciones en la producción y la demanda.

La construcción de una planta piloto a nivel de laboratorio proporcionó una valiosa oportunidad para verificar la capacidad depurativa de cada proceso unitario. La eficiencia demostrada en estas pruebas de tratabilidad no solo reafirma la viabilidad del sistema propuesto sino que también facilita ajustes precisos en los valores de diseño para optimizar el tratamiento del agua residual.

Este proyecto subraya la importancia de una gestión ambiental proactiva y responsable en la industria textil. Al abordar eficazmente los desafíos de contaminación del agua, la Hilandería Intercomunitaria de Salinas no solo cumple con las normativas ambientales ecuatorianas sino que también establece un precedente para prácticas sostenibles en la industria. Con la implementación exitosa de este sistema, se espera un impacto positivo duradero en el medio ambiente y en las comunidades locales.

Referencias

- Castelo-Grande, T., Augusto, P. A., Rico, J., Marcos, J., Iglesias, R., Hernández, L., & Barbosa, D. (2021a). Magnetic water treatment in a wastewater treatment plant: Part I - sorption and magnetic particles. *Journal of Environmental Management*, 281, 111872. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111872>
- Castelo-Grande, T., Augusto, P. A., Rico, J., Marcos, J., Iglesias, R., Hernández, L., & Barbosa, D. (2021b). Magnetic water treatment in a wastewater treatment plant: Part II - Processing waters and kinetic study. *Journal of Environmental Management*, 285, 112177. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112177>
- de Souza Celente, G., de Cassia de Souza Schneider, R., Medianeira Rizzetti, T., Lobo, E. A., & Sui, Y. (2024). Using wastewater as a cultivation alternative for microalga *Dunaliella salina*: Potentials and challenges. *Science of The Total Environment*, 911, 168812. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.168812>
- Edson Baltazar, E.-A., Petia, M.-N., Gabriela, M.-C., Gabriela, M.-M., Norma, R.-S., & Manuel, S.-Z. (2013). Presencia y tratamiento de compuestos disruptores endócrinos en aguas residuales de la Ciudad de México empleando un biorreactor con membranas sumergidas.

7743(13)72242-X

- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.\(3\).JULIO.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.(3).JULIO.2020.163-173)
- Islam, A. K. (2023). Domestic and industrial wastewater generation and its energy recovery potential in Bangladesh. *Cleaner Energy Systems*, 6, 100092. <https://doi.org/10.1016/J.CLES.2023.100092>
- María Reyes, R.-G., Judith, M.-B., Alfredo, J.-B., & Joaquín, S.-L. (2013). Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico-químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(2), 223–235. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72238-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72238-8)
- Mthethwa-Hlongwa, N. P., Amoah, I. D., Gomez, A., Davison, S., Reddy, P., Bux, F., & Kumari, S. (2024). Profiling pathogenic protozoan and their functional pathways in wastewater using 18S rRNA and shotgun metagenomics. *Science of The Total Environment*, 912, 169602. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.169602>
- Orts, F., del Río, A. I., Molina, J., Bonastre, J., & Cases, F. (2019). Study of the Reuse of Industrial Wastewater After Electrochemical Treatment of Textile Effluents without External Addition of Chloride. *International Journal of Electrochemical Science*, 14(2), 1733–1750. <https://doi.org/10.20964/2019.02.27>
- Peña-Álvarez, A., & Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *TIP*, 18(1), 29–42. <https://doi.org/10.1016/J.RECQB.2015.05.003>
- Rojas-Morales, J. L., Gutiérrez-González, E. C., & Colina-Andrade, G. de J. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(4), 453–462. <https://doi.org/10.1016/J.RIIT.2016.11.005>
- Vilanova, R., Santín, I., & Pedret, C. (2017). Control en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales: Estado actual y perspectivas. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(4), 329–345. <https://doi.org/10.1016/J.RIAI.2017.09.001>

Zhang, S., Shi, J., Li, X., Tiwari, A., Gao, S., Zhou, X., Sun, X., O'Brien, J. W., Coin, L., Hai, F., & Jiang, G. (2023). Wastewater-based epidemiology of *Campylobacter* spp.: A systematic review and meta-analysis of influent, effluent, and removal of wastewater treatment plants. *Science of The Total Environment*, 903, 166410. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166410>

© 2024 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/>).