

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL EN LA
EMPRESA MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN SAC**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

LETICIA MADELIN QUISPE QUISPE

ASESOR

MARIA RAQUEL MAXE MALCA

<https://orcid.org/0000-0002-5371-9241>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL
EN LA EMPRESA MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN SAC**

PRESENTADA POR:
LETICIA MADELIN QUISPE QUISPE

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR:

Annie Mariella Vidarte LLaja
PRESIDENTE

Anabelle Edith Zegarra González
SECRETARIO

María Raquel Maxe Malca
VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado primero a Dios por darme la vida y fuerzas para acabarlo. Además, para mis padres y hermanos que siempre me brindan su amor y comprensión.

Agradecimientos

Agradezco a mi asesora de tesis María Raquel Maxe Malca por su apoyo y comprensión, a mis docentes que durante 5 años me enseñaron a valorar mi carrera y adquirir nuevos conocimientos. A PRONABEC por apoyarme en mis estudios.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Revisión de literatura	8
Materiales y métodos	10
Resultados y discusión	11
Recomendaciones	25
Referencias bibliográficas	25
Anexos	27

Resumen

La empresa Multiservicios Astolingón en el teñido de madejas de 28 080 kg gasta 842,4 m³ de agua en promedio al mes. Esta es descargada directamente al alcantarillado sin ningún tratamiento. Por ello, el objetivo fue diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir el impacto ambiental del proceso de teñido de madejas de lana. La metodología utilizada fue la siguiente: se elaboró una matriz de Leopold para identificar los impactos ambientales y se obtuvo que el proceso de teñido sin tratamiento de agua tuvo la valorización de impacto ambiental negativo fue de 149. Además, se elaboró una matriz de enfrentamiento para la selección del tratamiento apropiado. El sistema de tratamiento estuvo conformado por la homogenización, electrocoagulación y electrooxidación. Con el sistema de tratamiento de agua se reutilizará 3,73 m³/h y tuvo una eficiencia superior al 96,8 %. Se calculó el pronóstico del efluente mediante el método de proyección lineal, se elaboró un diagrama de flujo del sistema de tratamiento y se seleccionó los equipos. Mediante el método de Guerchet se calculó el área requerida y el programa Solid Works se dibujó el plano del sistema de tratamiento obteniendo. Por último, se hizo un flujo de caja y una nueva matriz de Leopold, obteniendo como resultado que el proyecto es viable porque el TIR es mayor del 19% y el B/C es de S/. 1,34. Además, con el diseño el sistema de tratamiento, la valorización de impacto ambiental se redujo en 21.

Palabras claves: sistema de tratamiento, impacto ambiental, electrocoagulación, electrooxidación, agua residual.

Abstract

The company Multiservicios Astolingón in the dyeing of skeins of 28 080 kg uses 842.4 m³ of water on average per month. This is discharged directly to the sewer without any treatment. Therefore, the objective was to design a wastewater treatment system to reduce the environmental impact of the dyeing process for wool skeins. The methodology used was as follows: a Leopold matrix was prepared to identify environmental impacts and it was obtained that the dyeing process without water treatment had a negative environmental impact assessment of 149. In addition, a confrontation matrix was prepared to the selection of the appropriate treatment. The treatment system consisted of homogenization, electrocoagulation and electrooxidation. With the water treatment system, 3.73 m³ / h will be reused and had an efficiency greater than 96.8%. The effluent forecast was calculated using the linear projection method, a flow diagram of the treatment system was elaborated and the equipment was selected. Using the Guerchet method, the required area was calculated and the Solid Works program drew the plan of the treatment system obtaining. Finally, a cash flow and a new Leopold matrix were made, obtaining as a result that the project is viable because the IRR is greater than 19% and the B / C is S / . 1.34. In addition, with the design of the treatment system, the valuation of environmental impact was reduced by 21

Keywords: treatment system, environmental impact, electrocoagulation, electrooxidation, waste water

Introducción

Un componente primordial para el progreso mundial de la vida, es el agua. La demanda del agua cada año en el mundo ha aumentado en un 1%, debido al crecimiento poblacional y económico. Se estima que a nivel mundial hay gran cantidad de personas que padecen riesgo de falta de agua en sus viviendas, alrededor de 3 600 millones. [1] Debido a que solo el 2,5% de agua en el planeta es dulce. El agua dulce está conformada por glaciares, aguas subterráneas y el aproximadamente 1% es útil para consumo humano y los ecosistemas. Además, la extracción del agua superficial se usa en el sector agropecuario (69%), sector industrial (19%) equivalente al consumo de 130 m³ por persona al año y el sector municipal (12%) [2]. Según un informe mundial de la ONU, el porcentaje de las aguas residuales industriales y municipales que pasan por un tratamiento en países desarrollados es alrededor del 70 %, países en vías de desarrollo es 28% y países subdesarrollados es 8%. [3]

En el 2018 según el INEI en el Perú se descargaron 246 714 333 m³ de aguas residuales domésticas sin tratamiento al alcantarillado público y el volumen anual de vertimiento de aguas residuales industriales autorizadas fue de 4 091 132 m³. En el departamento de Lambayeque la descarga al alcantarillado público de aguas residuales sin tratamiento fue de 461 193 m³. [4] La industria textil durante el proceso de teñido consume altas cantidades de agua. Medina [5] en su investigación en la Hilandera la Inmaculada calculó que por cada 35 kg de lana teñida se consume 1 litro de agua.

El impacto ambiental negativo del vertimiento de aguas residuales sin tratamiento afecta a diferentes ámbitos en lo ambiental, social(salud) y económico. En la salud se aumenta la mortandad humana debido al consumo de agua bebible de mala calidad y de alimentos nocivos procedentes del regadío con aguas residuales. [3] En el medio ambiente, genera una afectación de los ecosistemas acuáticos pues disminuye la cantidad de oxígeno para la respiración de la fauna acuática y la elevación de la temperatura. En la economía se reduce la productividad de la industria y agricultura, reduce el valor de mercado de peces y mariscos y de precios de propiedades cerca de vertederos de aguas residuales. [3]

En el departamento de Lambayeque hay tres empresas de producción y comercialización de hilados (madejas de lana sintética), estas son: Hilados Richard, Hilandería la Inmaculada y Multiservicios Astolingón. Esta empresa se ubica en el departamento de Lambayeque produce al mes en promedio 28 000 kg de madejas de lana acrílica. Por ello, este trabajo se centra en el área de tintorería. El proceso de teñido genera 420m³ de efluentes que son vertidos directamente al alcantarillado público sin tratamiento alguno. Por lo que se planteó la siguiente pregunta ¿En cuánto reducirá el impacto ambiental en la empresa Multiservicios Astolingón SAC con un sistema de tratamiento de aguas residuales del teñido de madejas de lana?

En investigaciones se encontró problemas similares. Los encontrados por Moreno *et al.* [6] tuvo como problema de investigación el vertimiento de agua residual a la red de alcantarillado de una industria textil en Bogotá que no cumplían las normas de descarga. Como solución planteo la utilización de tratamiento de aguas mediante la combinación de tecnologías convencionales con la oxidación avanzada. Salazar, Crespi y Salazar [7] propone como solución una nueva tecnología para tratar el agua residual mediante Biorreactores de Membrana. Como resultado tuvo que el tratamiento reduce el 92 % de DQO y 95% de SST.

Ante este problema se plantea como objetivo general el diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir el impacto ambiental del proceso de teñido de madejas de lana

en la empresa Multiservicios Astolingón ; los siguientes objetivos específicos: determinar la situación actual de la empresa y el impacto ambiental del proceso de teñido de madejas de lana; evaluar el mejor sistema de tratamiento de aguas residuales; elaborar el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales y evaluar la viabilidad económica y ambiental del diseño.

Este trabajo, tendrá un beneficio ambiental, pues disminuirá los valores de DBO, DQO, SST y pH de vertimiento del efluente para disminuir el impacto ambiental de la descarga de agua residual. Además, al tratar el agua residual se obtendría la autorización de vertimiento o reutilización del agua en el proceso otorgado por la Autoridad Nacional del Agua. Esto beneficiaría a la empresa en hacerla más competitiva a nivel Regional. También, se ahorraría el gasto de la multa por no tenerla. El tratamiento de efluente textil permitirá que la empresa Multiservicios Astolingón cumpla con la normativa de la Ley N° 28611 de aplicar un tratamiento para reutilizar el agua residual y cumplir con los LMP. Además, cumplirá con la Ley de Recurso Hídrico que menciona sobre la descarga autorizada del efluente con un tratamiento previo.

Revisión de literatura

La industria textil durante el proceso de teñido utiliza colorantes artificiales (básicos) que son de origen catiónico y contiene sales. Estos tiñen fibras acrílicas mediante un baño con agua [8]. Sin embargo, esto genera agua residual con características diferentes a las iniciales [9]. Existen parámetros físico - químico para caracterizar el agua residual [10]. Estos son: la Demanda Biológica de oxígeno (DBO) que las bacterias aerobias necesitan para descomponer el material orgánico; la Demanda Química de Oxígeno (DQO) para que un agente químico oxide al material orgánico; el potencial de Hidrogeniones (pH) dentro del agua y los sólidos sedimentables.

El impacto ambiental es el cambio o alteración en el ambiente y sus componentes por la actividad de un proyecto o plan. Puede ser negativo o positivo [11]. Existen metodologías para valorizar los impactos ambientales, la matriz de Leopold (matriz de causa-efecto) que tiene doble entrada, en las filas indica los componentes ambientales y en las columnas las actividades del proyecto y la matriz de importancia mide de manera cualitativa un impacto ambiental mediante atributos (naturaleza, intensidad, extensión y momento, reversibilidad, acumulación, sinergia, persistencia, momento) para obtener una importancia (valor numérico) [11].

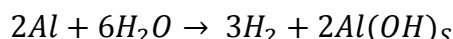
Según el Marco Legal Peruano en la Ley N° 29338 Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos en el artículo 133 menciona que para descargar efluente residual industrial necesita de una autorización siempre y cuando esta haya tenido un tratamiento y cumpla con los LMP [9]. Además, en el artículo 277 menciona que se incurre en una infracción grave por verter agua residual sin autorización y contaminar el ambiente.

Por otro lado, un sistema de tratamiento de agua residual es un conjunto de tratamientos constituidos por operaciones y procesos. Los tratamientos están clasificados en pretratamientos (sedimentadores, trampa de grasas, desarenadores) [10] tratamientos primarios (coagulación, tanque imhoff) [12]; tratamientos secundarios (lagunas y filtros biológicos) y tratamientos terciarios o avanzados (electrocoagulación, adsorción, oxidación avanzada) [10].

La adsorción disminuye la concentración del DQO, utiliza el carbón activado para adsorber los contaminantes orgánicos, volátiles, químicos sintéticos, colorantes, solventes. [10]

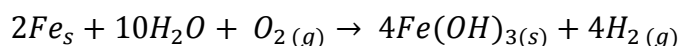
La electrocoagulación genera reacciones químicas de contaminantes disueltos en el agua al utilizar la corriente eléctrica a través de unas placas de aluminio, hierro, titanio, etc llamadas electrodos. Las cuales son los electrodos de sacrificio que dan iones para neutralizar las cargas de las partículas de los contaminantes iniciando la coagulación y así se precipiten o floten y sean removidos. [13]

Según Mollah [14] las más usuales reacciones son las de aluminio y hierro. La reacción de electrodos de aluminio (ánodo) y el agua (cátodo) produce especies



El hidróxido de aluminio es una sustancia sin forma que elimina los contaminantes del agua residual.

Según Restrepo, Arango y Garcés [15] la reacción de electrodos de hierro (ánodo) y el agua (cátodo) produce especies



Después que se forma hidróxido de hierro este se junta con los de carga negativa. Las partículas del agua contaminada interactúan con los aglomerados para removerse.

Los reactores de electrocoagulación se clasifican en sistema continuo y tipo batch. Según Restrepo [15] el reactor tipo batch opera con un cantidad de agua determinada en un ciclo. Utiliza placas un ánodo y un cátodo ubicadas en paralelo o serien. Sus condiciones cambian en el tiempo, son de bajo costo.

Según Restrepo [15] las siguientes variables intervienen en la electrocoagulación: Si las aguas residuales contienen metales pesados y cianuros el pH estará entre 5 a 6. Es recomendable un pH de 7 para mejor remoción. La densidad de corriente controla la velocidad de reacción. Esta influye en el consumo energético y el porcentaje de remoción. La conductividad eléctrica se relaciona con la densidad de corriente por lo que, si aumenta, también se incrementa la densidad de corriente. Para agua residual de metales pesados se acepta una conductividad de $1500 \mu S/cm$. Para mejorar la conductividad se agrega NaCl.

La ozonización es un tratamiento de oxidación de residuos líquidos utilizando al ozono. Este debido a sus características de oxidante es capaz de eliminar el color del efluente. En su investigación utilizo un generador de ozono allí se seca el oxígeno para producir ozono. Luego este se traslada a un reactor batch para oxidar a los contaminantes. [10]

En 2016, Bermed y Tinoco [16] en su investigación identificaron el problema que los colorantes utilizados en la industria textil contaminan el agua. El objetivo principal fue, remover los colorantes sintéticos de la industria textil mediante tecnología avanzada (Electrocoagulación). La metodología fue experimental, primero se preparó una muestra de 100 litros de agua residual para su análisis físico químico. Después, se realizó pruebas de corriente eléctrica y electrodos en el efluente mediante una celda de electrocoagulación. Los resultados fueron que, aplicando una corriente de $27,92 A/m^2$ se removió el 99,06 % de color y 96% de DQO

En 2018, Osejo, Merino y Merino [17] en su investigación estudiaron la contaminación ambiental generada por el alcantarillado en la en la ciudad de Manabí- Ecuador. El objetivo

principal fue determinar el impacto ambiental originado por el sistema del alcantarillado. La metodología aplicada fue de tipo descriptiva. Primero se identificó la línea base del alcantarillado. Después se determinó la población de la investigación para seleccionar una muestra con el muestreo aleatorio simple. Luego, se utilizó la matriz de Leopold para identificar el impacto ambiental. Los resultados obtenidos fueron que el alcantarillado está finalizando su ciclo de servicio y en cualquier momento colapsaría. Dentro de la evaluación de la matriz se identificó que los componentes afectados son el físico (agua, suelo y aire), biológico (fauna y flora) y socioeconómico (actividad humana). Los impactos identificados.

En 2016, Henao y Ramírez [18] en su investigación identificaron que el efluente textil genera gran contaminación al recurso hídrico debido a que no se realiza un tratamiento previo a su descarga. El objetivo de su trabajo fue evaluar la viabilidad tecnológica de los tratamientos acoplados de EC y EO para obtener agua reutilizable. La metodología aplicada fue revisión bibliográfica de dichos tratamientos. Luego, se utilizó la factorial 3^k y Box- Behnken para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento. Los resultados fueron que el tratamiento acoplado removió el 80,85 de DQO y el 100% de la intensidad de color con un tiempo de 35 minutos. El consumo de energía eléctrica fue de 15,9 kWh/m³.

Raju *et al.* [19] en su investigación, Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation–electrooxidation identificaron que la industria de producción de tela sintética en la India generaba grandes cantidades de efluente. Por lo que plantearon el objetivo de tratar el agua textil mediante la electrocoagulación y electrooxidación. La metodología empleada fue experimental, se tomó una muestra del efluente para colocarlo en un reactor de electrocoagulación de placas de aluminio y acero dulce. Después, este efluente tratado se colocó en un reactor de electrooxidación con cátodos de grafito y ánodos de titanio. Los resultados fueron que del proceso de electrocoagulación se removió el 68% de DQO en 5 minutos. Y la electrooxidación removió el 45 % en 5 minutos con una densidad de corriente de 6,32 mA/cm².

Medina [5] en su investigación identificó el vertimiento de agua residual textil al alcantarillado sin previo tratamiento exigido por la normativa de recursos hídricos del Perú de la empresa La hilandería la Inmaculada SAC. El objetivo fue proponer un sistema de tratamiento de agua residual. Para lograr ese objetivo, realizó un diagnóstico de la situación de la hilandera. Después se recogieron muestras del efluente para trasladarlo al laboratorio y analizar sus parámetros físico químicos (DQO, DBO, pH). Además, se evaluó el mejor tratamiento según la matriz de enfrentamiento. Los resultados fueron que la ozonización es el más adecuado tratamiento, implementándolo se reduce al 80% de consumo de agua. El proyecto tiene un TIR de 15% y un VAN de \$18 740.

Materiales y métodos

Esta investigación se realizó por medio de revisión bibliográfica de artículos y tesis. Para determinar el impacto ambiental del proceso de teñido de madejas de la empresa Multiservicios Astolingón SAC, del proceso de teñido se realizó un diagrama de flujo identificando residuos, efluentes y emisiones en cada etapa. Luego, se elaboró un cuadro con los componentes ambientales afectados (agua, aire y suelo) y sus respectivos impactos identificados. Después, se seleccionó la metodología de identificación y evaluación de impacto ambiental, mediante la matriz de enfrentamiento de factores ponderados. Resultando la matriz de Leopold la más factible. Luego se elaboró la Matriz de Leopold de acuerdo a la

valorización de magnitud e importancia de cada impacto por etapa del teñido, teniendo en cuenta el artículo de Osejo, Merino y Merino [17]. Además, se revisó bibliografía sobre los impactos ambientales de la industria textil. Además, se incluyó análisis físico químico del agua residual de una empresa textil Hilandería Inmaculada de Lambayeque realizado por Medina [5].

En la evaluación del mejor sistema de tratamiento de aguas residuales se realizó con revisión bibliográfica de tres tratamientos. Estos son: Electroquímica (electrocoagulación), la adsorción y la ozonización. Fueron elegidos porque las aguas residuales textiles contienen elevadas cantidades de DQO. Para la elección de los tratamientos se realizó una Matriz de factores ponderados. Se tuvo en cuenta la eficiencia de remoción de DQO, la disponibilidad de tecnología, el consumo eléctrico, área requerida.

En el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, se realizó un pronóstico del agua residual para el año 2020 al 2024 mediante el método de proyección lineal. Luego se buscó información del tratamiento seleccionado (funcionamiento, tecnología y restricciones). Principalmente se utilizó información de la tesis experimental Henao y Ramírez [18] y Raju *et al.* [19] Luego se procedió a describir el proceso, a elaborar un diagrama de proceso y un balance de materia y energía. Además, se calculó las dimensiones de los equipos y finalmente se calculó el área requerida con el método de Guerchet. Finalmente se elaboró un plano con el programa Solidworks.

En la viabilidad económica y ambiental del diseño, se realizó un flujo de caja donde los ingresos fueron el costo de las posibles multas y el costo de consumo de agua. Los egresos fueron los costos de la inversión del sistema de tratamiento. Luego se analizó los indicadores de VAN, TIR, y el beneficio costo del sistema. Para el aspecto ambiental se verificó la reducción de los impactos ambientales negativo se realizó una nueva matriz de Leopold.

Resultados y discusión

La empresa MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN SAC, con RUC 20487587975 está ubicada en la calle Tacna N° 798, José Leonardo Ortiz. Empezó sus actividades en el año 2014, esta produce y comercializa madejas de lana y conos de hilo a base de fibra acrílica. Sus procesos comprenden las etapas de elaboración de madejas de lana y el teñido de estas.

La producción mensual promedio de madejas de lana es de 1 146, las cuales pesan 28 000 kg a 28080 kg. Como insumos utiliza, colorantes como el Azul G, Golden Yellow, Red, Rojo, Negro, Verde, etc. En el teñido se utilizan 30 litros de agua por 1 kg de lana aproximadamente. La empresa cuenta con un pozo tubular para extraer el agua del subsuelo, los cuales se almacenan en 4 tanques de 2 500 litros cada uno. Además, se utiliza jabón líquido, dispersante, ácido fuerte, suavizante y antiespumante. Las madejas teñidas y secadas se embolsan en bolsas de plástico. En la etapa de teñido, se utilizan 4 tinajas industriales con capacidades de 100 kg, 60 kg (2 tinajas) y 120 kg, 2 centrifugadora y 1 caldera.

La empresa cuenta con la colaboración de 4 operarios en el área de teñido. La empresa trabaja dos turnos al día cada turno es de 8 horas de lunes a sábado. En el anexo 1 se observa el plano de la empresa, el área de tintorería cuenta con un espacio libre de 114 m².

El diagrama de flujo del teñido de madejas se observa en la figura 1.

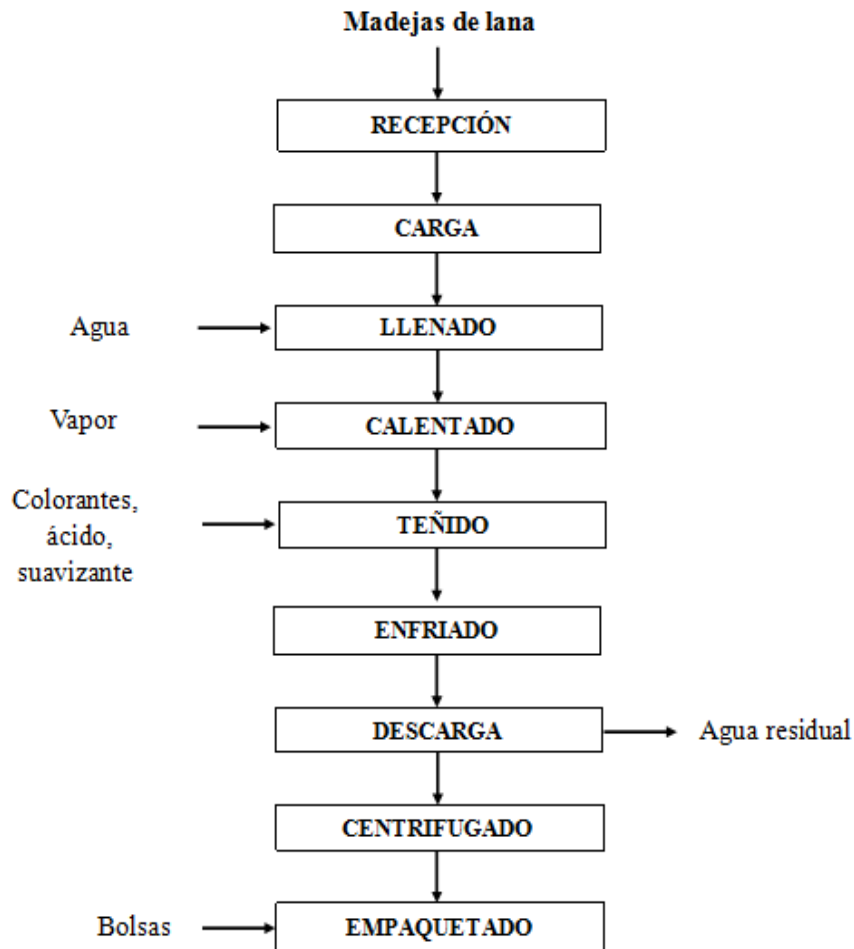


Figura 1. Diagrama de proceso del teñido

Fuente: Multiservicios Astolingón SAC

Para teñir 1 kg de madeja de lana se necesita 30 litros, de los cuales se evapora el 30% en el proceso. Por lo tanto, el agua residual descargada es de 21 litros por 1 kg de madeja de lana. En el anexo 2, se muestra el agua consumida al mes y el costo mensual que paga la empresa por extraer agua del subsuelo. En promedio se descarga 589 700 litros de agua residual al mes. La empresa vierte directamente al alcantarillado público las aguas residuales de la etapa del teñido sin previo tratamiento ni autorización del ANA.

La empresa no toma en cuenta los parámetros físicos y químicos del agua residual y si estos cumplen los LMP de vertimiento. En su investigación Medina realizó un análisis físico – químico del efluente textil del área de tintorería de madejas en la Hilandera la Inmaculada departamento de Lambayeque, esta empresa tiñe madejas de lana acrílica con tintes catiónicos y utiliza por 1 kg de madeja 35 litros de agua. El efluente es vertido directamente al alcantarillado sin ningún tratamiento. Se observa en la tabla 1 los resultados del análisis físico – químico de dos muestras de agua residual del teñido de madejas [5]

Tabla 1. Comparación del análisis físico – químico con los LMP

Parámetros	Muestra		LPM
	Efluente amarillo	Efluente azul	
pH	3,99	3,75	6,5-8,5
DBO (mg/l)	126,23	190,58	100
DQO (mg/l)	240	261	200
SST (mg/l)	100	100	150
Conductividad us/cm)	662	1072	<35

Fuente: Medina [5]

Medina, tomó dos muestras de agua residual: el efluente amarillo (generado por el colorante Amarillo retama) y el efluente azul (generado por el colorante azul marino) del teñido de las madejas.

Los resultados muestran que los parámetros de pH (3,99) y DQO (240 mg/l) sobrepasan los VMA y de los LMP, también en el valor del DQO (261 mg/l). En el caso de la empresa Multiservicios Astolingón el agua descargada tiene el color del colorante utilizado. Un ejemplo se ve en la figura 2. Por ello, se tomará esos resultados porque podrían acercarse al de la empresa.



Figura 2. Descarga del agua residual.

Fuente: Multiservicios Astolingón SAC

El impacto ambiental se evaluó mediante metodologías de identificación y valorización de impactos ambientales. Para ello, se realizó una matriz de factores ponderados, en la tabla se observa dichos factores.

Tabla 2. Factores ponderados de Metodologías de identificación y evaluación de impacto ambiental

Factores	Matriz de Leopold	Matriz de Betelle- Columbus
Ponderación del impacto	Establece la importancia relativa del impacto	Establece la importancia relativa del impacto
Evaluación subjetiva de los impactos	Si utiliza	Si utiliza índices ponderados
Variable Tiempo	No (corto y largo plazo)	si incluye en su evaluación
Posibilita comparar con proyectos similares	Si se utiliza	No, utilizado para proyectos hidráulicos
Utiliza metodología costosa	No utiliza	Si utiliza

Fuente: Conesa [20]

En el anexo 3, muestra que la matriz de Leopold obtuvo un puntaje de 3 debido a un puntaje. Ponderación del impacto, posibilita comparar con proyectos similares y no utiliza metodología muy costosa. Por ello, la matriz de Leopold se desarrollará en la investigación.

El impacto ambiental se evaluó mediante metodologías de identificación y valorización de impactos ambientales con la matriz de Leopold. En hojas de campo vistas en el anexo 4, se identificó datos del proceso, el medio afectado y tipos de impactos. Además, de los cuadros de descripción del proyecto anexo 5 y el cuadro de componentes ambientales anexo 5.

ACCIONES			Llenado de agua	Teñido de madejas	Enfriado	Descarga del agua	Centri fúgado	Empaquetado	PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	Impacto por subcomponentes	Impacto por componentes	Impacto total del proyecto	
														MEDIO
FÍSICO	AIRE	Calidad de aire	-2	2	-1	3	-1	3	-1	3		4	-13	-16
		Precencia de olores					-3	1			1	-3		
	AGUA	Extracción de agua subterránea	-4	3	-4	3					2	-24	-64	
		calidad de agua					-4	3	-4	3	2	-40		
	SUELO	Calidad de suelo	-3	3			-3	3			1	-15	-30	
		Problemas de drenaje					-3	3			1	-15		
BIOLÓGICO	FLORA	Flora y vegetación				-4	3	-1	4	2	-24	-24		
	FAUNA	Fauna acuática				-4	3	-1	4	2	-24	-24		
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	Económico	3	3					2	2	13	9		
		Salud							-2	2	-4			
PROMEDIOS POSITIVOS			1					1						
PROMEDIOS NEGATIVOS			3	1	1	6	4	1						
PROMEDIOS ARMÉTICOS			-22	-3	-12	-81	-31						-149	

Figura 3. Matriz de Leopold del proceso de teñido

Fuente: elaboración propia

Se observa en la figura 3 que el factor ambiental más afectado es el del agua con una valorización de -64, la flora y la fauna tiene un valor acumulativo de -48 y la actividad que genera más impactos es la descarga de agua. También, se observa que todo el proyecto genera una valorización de -149 en impactos ambientales negativos.

Algunos impactos ambientales de la industria textil son los siguientes [22]:

Contaminación de la calidad de aire: se produce por el teñido de madejas. Este genera vapor de agua, emisiones del funcionamiento de calderas y la maquinaria.

Problemas en la infraestructura del sistema de alcantarillado: la descarga directa del agua residual del teñido genera problemas de agrietamiento, roturas en la infraestructura de la red del alcantarillado.

Intoxicación del personal de limpieza del sistema de alcantarillado: la descarga de agua residual también puede intoxicar al personal de limpieza, debido a que el gas sulfhídrico en cantidades de 10 mg/l afecta a la salud.

Afectación al ecosistema acuático: el efluente textil vertido al alcantarillado contiene altos parámetros de DBO y DQO generan la reducción de oxígeno en el agua. Por lo cual afecta el crecimiento acuático.

Intoxicación del personal de limpieza del sistema de alcantarillado: la descarga de agua residual también puede intoxicar al personal de limpieza, debido a que el gas sulfhídrico en cantidades de 10 mg/l afecta a la salud.

Afectación al ecosistema acuático: el efluente textil vertido al alcantarillado contiene altos parámetros de DBO y DQO generan la reducción de oxígeno en el agua. Por lo cual afecta el crecimiento acuático. Escasez del agua subterránea: la sobreexplotación de pozos tubulares genera escasez del agua subterránea.

Por otro lado, se muestra en la tabla 4 los factores de evaluación de tres tratamientos de agua residual.

Tabla 4. Factores de evaluación

Factores	Electroquímica (electrocoagulación)	Adsorción	Ozonización
Área necesaria El área que dispone es de 114 m ²	Área menor de 100 m ²	Área menor de 100 m ²	Área mayor de 100 m ²
Eficiencia de remoción Según Medina [5] los tratamientos deben centrarse en el DQO.	El 99,06 % de color y 96% de DQO. M. Bermed, O. Tinoco [16]	Este tratamiento tiene un porcentaje de remoción de 90% DBO Y DQO. [28]	Según Leiva et al. [24] el proceso de oxidación removió un DQO de 80%.
Tecnología Son accesibles para adquirirlos o construirlos.	Se requiere de un reactor batch, fuente de corriente, electrodos.	Tanque tipo reactor batch y un filtro sedimentador.	Generador de ozono, un inyector Venturi, un reactor y un destructor de ozono.
Generación de residuos	Baja generación de lodos, estos son más compactos.	Mayor cantidad de lodos disueltos los cuales se sedimentan.	Usualmente no hay generación de lodos.
Consumo de energía Se considera si el consumo de energía es alto o bajo.	El uso de electricidad varía entre los 0,1 a 1,0 kWh/m ³ .	Consumen menos energía eléctrica para el funcionamiento del reactor.	Consumen menos energía eléctrica.
Utilización de insumos	Reposición de los electrodos de sacrificio, cada 6 meses generalmente.	Y el costo del carbón activado es elevado. Necesita regenerarse	Consume mucho ozono y es costoso.

Fuente: elaboración propia

En el anexo 5, muestra la valoración de los factores de evaluación. Además, en el anexo 6 se muestra que el tratamiento de electrocoagulación obtuvo un puntaje de 4,21. Debido a un puntaje elevado en eficiencia de remoción, uso de insumos y disponibilidad de tecnología. Por ello, el tratamiento de electrocoagulación será el desarrollado en la investigación.

Luego se realizó el pronóstico de la producción, cantidad de agua consumida, cantidad de agua descargada y el costo para los siguientes 5 años. El comportamiento del agua residual descargada es creciente. El resultado se ve en el anexo 11. El modelo utilizado para pronosticar la cantidad de agua residual descargada en los próximos 5 años fue de proyección lineal, donde la ecuación lineal es:

$$Y = a + b x$$

$$a = 5\,525,07$$

$$b = 510,9$$

En la siguiente tabla se muestra los pronósticos del consumo, descarga y costos del agua de los años 2020- 2024.

Tabla 5. Pronóstico de la cantidad de agua residual descargada

Año	Producción (kg)	Cantidad de agua consumida (m³)	Cantidad de agua descargada (m³)	Costos (S/.)
2020	360 412,41	10 812,37	7 568,66	31 288,30
2021	384 740,92	11 542,23	8 079,56	33 400,32
2022	409 069,44	12 272,08	8 590,46	35 512,34
2023	433 397,95	13 001,94	9 101,36	37 624,35
2024	457 726,46	13 731,79	9 612,26	39 736,37

Fuente: elaboración propia

Al observar la tabla 5, se muestra que en el año 2024 se descargaría 9 612,26 m³/ año. Por lo que, se descargaría 30,8 m³/día. El sistema de tratamiento funcionará 8 horas al día por ello, el caudal de entrada del agua residual al proceso de tratamiento de agua es de 3,85 m³/h.

Después se realizó la descripción del sistema de tratamiento tomando en cuenta la investigación de Henao y Ramirez [18]. A continuación, se describe brevemente las etapas.

Almacenamiento

Consiste en almacenar el efluente residual en un tanque para su posterior traslado al tanque homogenizador.

Homogenización

En esta etapa se ajustará el pH de 4 a 7. Puesto la etapa siguiente requiere ese valor para su mayor eficiencia. Se utilizará el hidróxido de sodio (NaOH). Para determinar la cantidad de NaOH se tomó en cuenta la información de Medina [5] y el calculó lo siguiente;

pH 4 a pH 7

$H^+ = 10^{-3} \text{ mol/l}$

$OH^+ = 10^{-3} \text{ mol/l}$

Convirtiendo de litros del agua a moles de NaOH

$$\frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol OH}^-} \times \frac{0,001 \text{ mol OH}^-}{1 \text{ l}} = 0,001 \text{ mol NaOH/l}$$

$$\frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ l}} \times 30\,800 \text{ l} = 30,8 \text{ mol NaOH}$$

Convirtiendo los moles de NaOH a kilogramos

Peso molecular NaOH= 40g

$$m = 30,8 \text{ mol NaOH} \times \frac{40 \text{ g}}{1 \text{ mol NaOH}}$$

$$m = 1\,232 \text{ g NaOH}$$

Se necesita para ajustar el pH 7 de 1 232 gramos de NaOH por lo que se agregara al agua residual el doble, pues es una solución al 50%. Es decir, 2 464 gramos de NaOH. Como la densidad del agua es 1000 g/l (1000kg/m³) el peso del agua residual es de 30 800 kg. Sin embargo, el sistema de tratamiento se realizará dos veces al día por lo que se dividirá a la mitad la cantidad de agua residual.

Electrocoagulación

El agua residual homogenizada con pH 7 ingresa al electrocoagulador con un caudal de 3850 kg/h.

Flotación

Después en un tanque de flotación se remueve lodos, al tanque de lodos para su posterior traslado por una empresa externa encargada de su tratamiento, del agua tratada por EC.

Mezclado

Luego el agua tratada, pasa a un tanque mezclador, allí la conductividad eléctrica se aumenta de 4 mS/cm a 5,5 mS/cm. Puesto que la conductividad afecta el consumo de energía eléctrica según Restrepo [15]. Por ello se adicionará 0,023 kg/m³ de NaCl.

Electrooxidación

El agua residual acondicionada se alimenta a la celda de electrooxidación.

Almacenamiento

Luego el agua tratada se almacena en los tanques.

En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del sistema de tratamiento

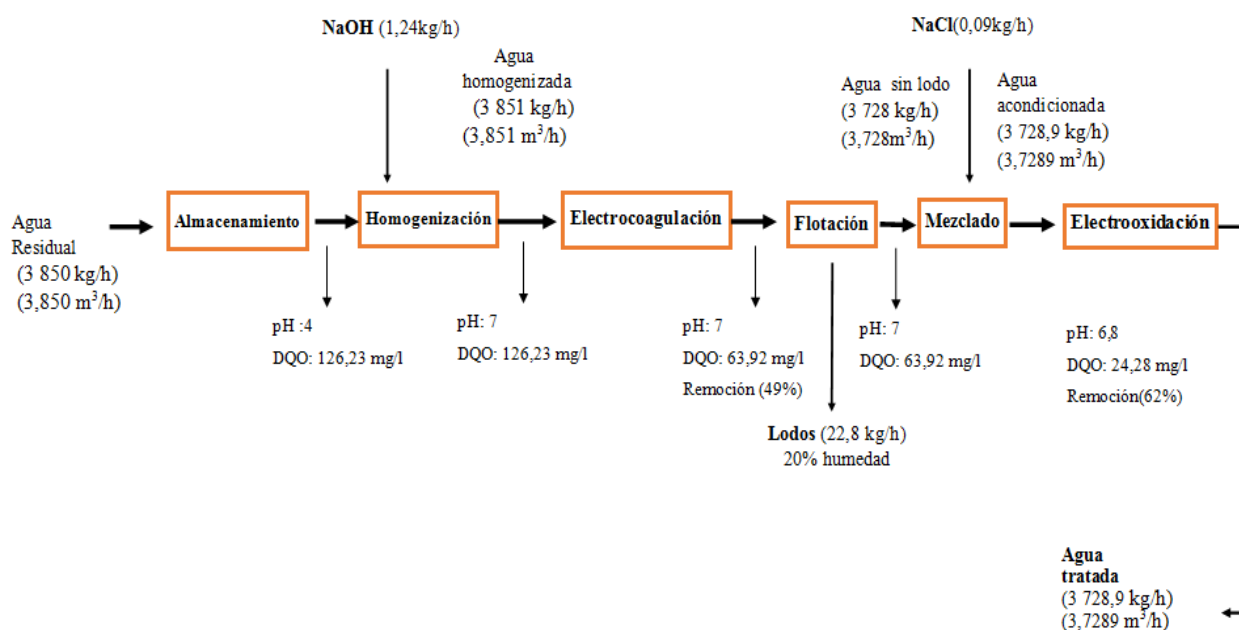


Figura 4. Balance de materia del proceso del sistema de tratamiento

Fuente: elaboración propia

La tabla 6 se observa la comparación de los resultados de los parámetros físico-químicos finales después del sistema de tratamiento propuesto y la tabla 1.

Tabla 6. Resultados de los parámetros físico químicos finales

Parámetros	Resultados del laboratorio	Resultados del agua tratada	LPM
pH	4	6,8	6,5-8,5
DBO (mg/l)	<200	95,2	100
DQO (mg/l)	<300	24,8	200
SST (mg/l)	<100	82	150
Color	<35%	<,1%	<2%

Fuente: Medina [5]

Los resultados de los parámetros disminuyeron y cumplen con los LMP, el agua tratada es apta para descargarse en el alcantarillado o reutilizarse. Conforme a la ley de recursos hídricos.

De los 3,850 m³/h de efluente textil, se reutilizará 3,728 m³/h. El sistema de tratamiento tiene una eficiencia de 96,8 %.

Para la realización de la descripción de los equipos del sistema de tratamiento se tomó en cuenta la investigación de Henao y Ramírez [18]. Además, el cálculo de las dimensiones de los reactores se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Número de Lotes} = \frac{\text{Tiempo de operación al día}}{\text{Tiempo del proceso}}$$

Luego se halló el volumen de cada lote, con la siguiente fórmula

$$\text{Volumen por lote} = \frac{\text{Volumen a tratar al día}}{\text{Número de lotes}}$$

Después se calculó la longitud de los lados del reactor (rectangular)

$$\text{Longitud del reactor} = \text{Volumen por lote}^{\frac{1}{3}}$$

Luego se calculó el área de un electrodo mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Área de electrodo} = 2 * \text{largo} * \text{ancho} + 2 * \text{largo} * \text{espesor} + \text{espeso} * \text{ancho}$$

Finalmente se calculó el número de electrodos con la siguiente fórmula:

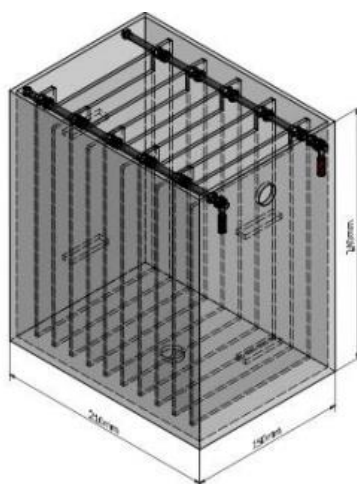
$$\text{Número de electrodos} = \frac{\text{Ancho de celda} - (2 * \text{distancia entre una cara de la celda y el primer electrodo})}{\text{Espesor del electrodo} + \text{distancia entre electrodos}}$$

En la tabla 7 se muestra los resultados de las dimensiones de los reactores de EC y EO después de aplicar las formulas anteriores. Con los datos anteriores se realizó una tabla resumen de los reactores de EC y EX. Según Mollah [14] el material recomendado sería el poliéster reforzado con fibra de vidrio, puesto que tiene baja conductividad y es más barato.

Tabla 7. Datos de los reactores del sistema de tratamiento

Ítem	Reactor de electrocoagulación	Reactor de electrooxidación
Material	Poliéster reforzado con fibra de vidrio	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
Alto (m)	2	1,5
Ancho (m)	1	1
Largo (m)	1	1
Placa de electrodos	Hierro (20) 1m x 0,7m x 0,023m	Ánodos de grafito (13) 1,05m x 0,75m x 0,023m Cátodos de titanio (13) 1,05m x 0,75m x 0,023m

Fuente: elaboración propia

**Figura 5. Vista isométrica del reactor**

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Datos de los equipos del sistema de tratamiento

Ítem	Tanque de almacenamiento	Homogenizador	Tanque de flotación	Tanque de Lodos	Mezclador
Material	Poliéster reforzado	Poliéster reforzado	Poliéster reforzado	Poliéster reforzado	Poliéster reforzado
Alto (m)	3	2	2	2	3
Diámetro (m)	1	1,4	2	1,5	2
Longitud (m)	1,60	1,4	2	2	4

Fuente: elaboración propia

Antes de elaborar el plano se procedió a calcular el área requerida para el sistema de tratamiento de agua mediante el método de Guerchet, esto se ve en el anexo 8. El resultado fue un total de 106,99 m².

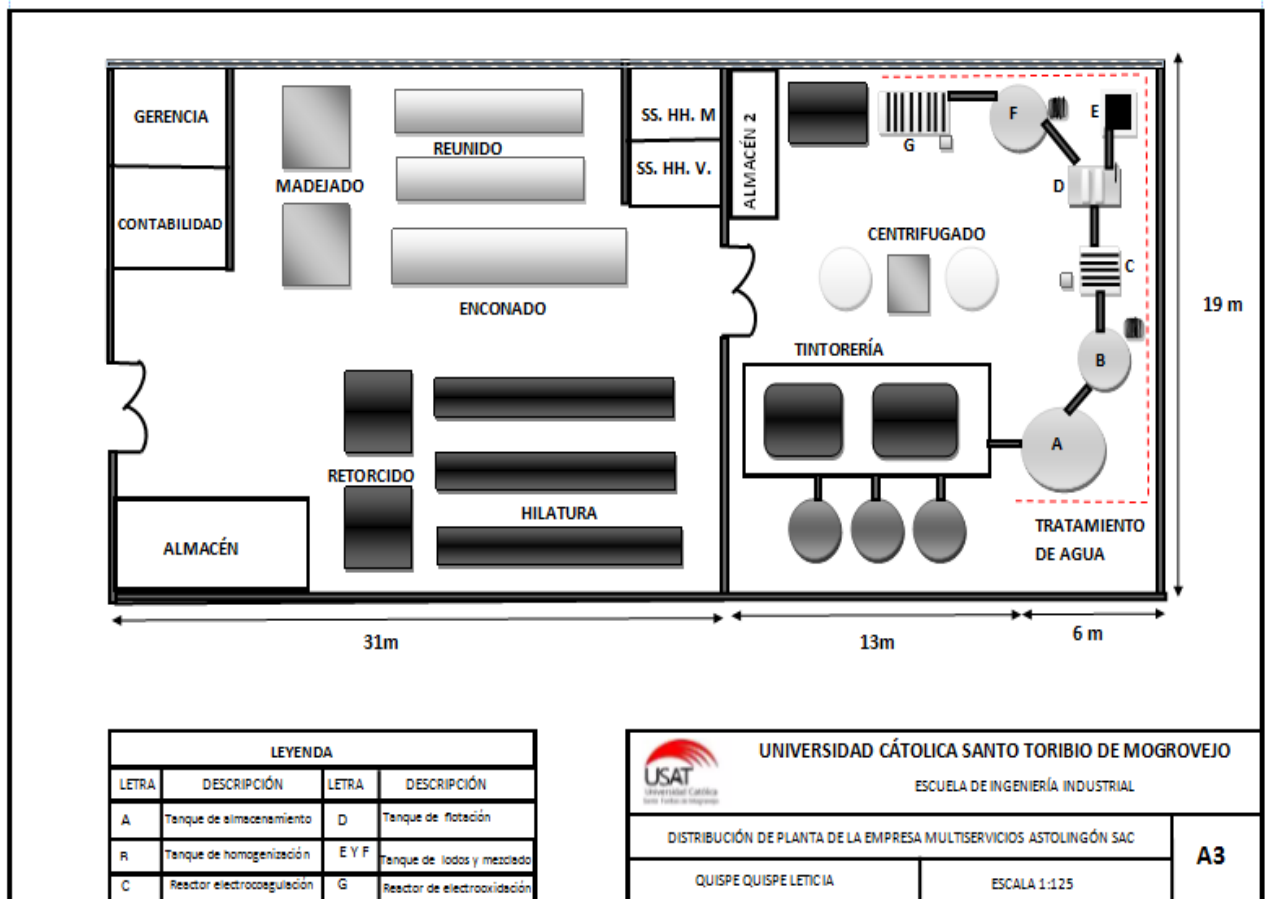


Figura 6. Plano del diagrama del sistema de tratamiento

Fuente: elaboración propia

En la tabla 9 se muestra los costos totales de equipos e instalación, para llegar a esos resultados se utilizó el anexo 9.

Tabla 9. Costos de equipos e instalación

Equipos	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Tanque de almacenamiento	1		10524	10524
Tanque de homogenización	1		10703,9	10703,9
Reactor de electrocoagulación	1		19397,1	19397,1
Reactor de electrooxidación	1		23033,6	23033,6
Tanque de flotación	1		5230,1	5230,1
Bomba de transporte de lodos	1		2500,0	2500,0
Tubos de PVC	5		9,8	49,0
Imprevistos			0,15	9137,1
Costo total				80574,7

Fuente: elaboración propia

El flujo de caja está compuesto de los ingresos que lo representa la multa por infracción (grave) de 5 UIT debido a que la empresa descarga directamente el agua residual al alcantarillado sin autorización según la Ley de recursos hídricos. Si la empresa no cumple en un plazo de tres meses impuesta la infracción el ANA clausuraría la empresa por un mes. En el anexo 10 se muestra la proyección de los ingresos por las ventas de madejas.

Tabla 10. Flujo de caja del proyecto (S/.)

Descripción	Ingresos					
	Año 0	2020	2021	2022	2023	2024
Multa por infracción		22000	22000	22000	22000	22000
Pérdida por cierre de empresa por incumplimiento (1 mes)		107670				
Costo de consumo de agua		31288,30	33400,32	35512,34	37624,35	37824,35
Ingresos Totales		160958,7	55400,3	57512,3	59624,4	59824,4
		Egresos				
Costo de energía del sistema		9110,70	9725,69	10340,68	10955,67	11055,67
Costo de inversión	85188,74					
Costo de insumos		1889,22	2016,74	2144,27	2271,79	2399,32
Costo de disposición de lodos		1969,92	1970,86	1971,80	1972,74	1973,69
Depreciación		6199,98	6199,98	6199,98	6199,98	6199,98
Costo de mano de obra		37908	37908	37908	37908	37908
Costo total	85188,74	57077,82	57821,27	58564,73	59308,19	59536,66
Flujo corriente	-85188,7	103880,9	-2421,0	-1052,4	316,2	287,7
Flujo corriente acumulado		18692,1	16271,2	15218,8	15534,9	15822,6

Fuente: elaboración propia

Para calcular el VAN, se planteó una tasa de ganancia de 10%, pues los bancos prestan a una tasa promedio de 8%. Los resultados son:

$$\text{VAN} = 6\ 851,52 \text{ TIR} = 19\%, \text{ B/C} = 1,34$$

La realización del sistema de tratamiento va a generar impactos positivos y negativos en el medio ambiente. En la etapa de construcción genera ruidos por excavaciones, soldadura, etc. Además, residuos sólidos. Por ello, es necesario colocar silenciadores a las máquinas como el taladro y realizar la segregación de los residuos para una disposición adecuada. Para la etapa de ejecución se realizó una nueva matriz de Leopold. De esta se obtuvo una nueva valorización de los impactos ambientales en la figura 7 se observa los resultados.

FACTORES AMBIENTALES			ACCIONES							PROMEDIOS POSITIVOS	PROMEDIOS NEGATIVOS	IMPACTO POR SUBCOMPONENTES	IMPACTO POR COMPONENTE	IMPACTO TOTAL DEL PROYECTO
			LLENADO DE AGUA	TENIDO DE MADEJAS DE LANA	ENFRÍADO DE LA TINA	DESCARGA DEL AGUA	CENTRIFUGADO DE MADEJAS DE LANA	EMPAQUETADO DE MADEJAS DE LANA						
MEDIO	COMPONENTE	FACTOR												
FÍSICO	AIRE	Calidad de aire	-2 / 2	-1 / 3		-4 / 3	-1 / 3			4	-22	-23	-21	
		Precencia de olores				-1 / 1				1	-1			
	AGUA	Extracción de agua subteranea	-1 / 1		-1 / 1					2	-2	-3		
		calidad de agua				-1 / 1					-1			
	SUELO	Calidad de suelo	-1 / 1							1	-1	-1		
		Problemas de drenaje												
BIOLÓGICO	FLORA	Flora y vegetación				-1 / 1	-1 / 1			2	-2	-2		
	FAUNA	Fauna acuática				-1 / 1	-1 / 1			2	-2	-2		
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	Económico	3 / 3						2 / 2	2	13	9		
		Salud							-2 / 2		1		-4	
PROMEDIOS POSITIVOS				1					1					
PROMEDIOS NEGATIVOS				3	1	1	5	3	1					
PROMEDIOS ARIMÉTICOS				3	-3	-1	-16	-5				-21		

Figura 7. Nueva matriz de Leopold

Fuente: elaboración propia

Al comparar la figura 3 de la matriz de Leopold con la figura 7 se obtuvo que la extracción del agua por pozo tubular disminuyo de 12 a 2. Puesto que al tratar el agua esta se puede reutilizar. La descarga del agua residual contamina a la flora y fauna, pero con el sistema de tratamiento disminuyo 20 a 4. La afectación al suelo por la extracción de agua disminuyo de 15 a 1. Con el tratamiento de agua textil la nueva valoración es de 21. Esto indica que hay una gran reducción de los impactos ambientales. Por otro lado, los impactos positivos son la generación de empleo con un valor de 13.

Discusión

La situación actual de la empresa respecto al consumo de agua es de 30 litros de agua por cada kilogramo de madejas teñidas. En su investigación Medina [5] obtuvo que por cada 1 kg de madejas teñidas se consume 35 litros de agua. Esto permite inferir que la cantidad de agua consumida por 1kg de madeja teñida esta por el mismo rango.

Por otro lado, los resultados del impacto ambiental total del teñido de madejas en la empresa según la matriz de Leopold es de -149. Además, se observa que el factor ambiental más afectado es el del agua con una valorización de -64, y la actividad que genera más impactos es la descarga de agua. Osejo, Merino y Merino [17] en su investigación de la contaminación ambiental del alcantarillado en Ecuador mediante la evaluación de la matriz identificaron que los componentes afectados son el físico (agua, suelo y aire). Los impactos identificados fueron de -29,5. Esto permite inferir que los valores varían a causa que las aguas residuales tienen diferentes parámetros físico químicos.

El sistema de tratamiento propuesto está conformado por la homogenización, electrocoagulación, mezclado y electrooxidación. El caudal del efluente es de 30,8 m³ al día, los reactores de EC tendrán 20 placas de electrodos de hierro y el EO 13 placas de titanio y 13 placas de grafito. En el caso de Henao y Ramírez [18] su sistema estaba conformado por la electrocoagulación, mezclado y electrooxidación. El caudal del efluente fue de 400 m³ al día. Los reactores de EC y EO tuvieron 23 placas de electrodos de hierro y 16 placas de titanio y 16 placas de grafito. Esto se debe a que las características del pH del efluente textil de la empresa Multiservicios fue de 4 y como requisito para que se dé la electrocoagulación es necesario que el pH sea de 7. Nos permite inferir que la diferencia de cantidad de placas se debió a la cantidad de efluente a tratar.

Según la tabla 30 el proyecto es viable porque el TIR es 19% y el B/C es de por cada S/. 1 invertido se gana S/. 0,34. Medina [5] obtuvo un TIR de 15 %. Esto se debe a que Medina diseñó un sistema de tratamiento compuesto por la ozonización. Además, el ozono y los equipos como el generador e inyector son más costosos. Esto permite inferir que los valores se acercan con la investigación de Medina.

Conclusiones

En el proceso de teñido de madejas de 28 080 kg gasta 842,4 m³ de agua al mes. En promedio se descarga directamente al alcantarillado 589 700 litros de agua residual al mes sin ningún tratamiento. La matriz de Leopold determinó que el impacto ambiental en el factor ambiental más afectado es el del agua con una valorización de -64 y todo el proyecto genera una valorización de -149 en impactos ambientales negativos.

La matriz de enfrentamiento permitió evaluar y seleccionar el mejor tratamiento de agua residuales. El tratamiento de electrocoagulación obtuvo un puntaje de 4,23 debido a un puntaje elevado en eficiencia de remoción y disponibilidad de tecnología.

El sistema de tratamiento de agua residual del teñido de madejas en la empresa Multiservicios Astolingon está conformado por conformado por la homogenización, electrocoagulación y electrooxidación El área del sistema de tratamiento de agua residual del teñido de madejas es de 106,99 m². El caudal de entrada de agua residual fue de 3,85 m³ /h de estos se reutilizará el 3,73 m³/h por lo que el sistema tiene una eficiencia superior al 96,8 %. Al observar que los resultados de los parámetros disminuyeron y cumplen con los LMP, el agua tratada es

apta para descargarse en el alcantarillado o reutilizarse, conforme a la ley de recursos hídricos.

El proyecto es viable económicamente porque el TIR es 19% y el B/C es de por cada S/. 1 invertido se gana S/. 0,34. Además, es viable respecto al ambiente pues la nueva matriz de Leopold dio una valorización de impacto ambiental de 21. Este permitió reducir el impacto ambiental en 85%.

Recomendaciones

Proponer un sistema de tratamiento para el manejo de lodos generados en el sistema de tratamiento. Puesto que se genera buena cantidad de lodos y así evitar contratar Empresas Prestadoras de Servicios de manejo de residuos.

Realizar investigaciones sobre la energía renovable como paneles solares, cogeneración para acoplar al sistema de tratamiento propuesto para ahorrar en costos energéticos.

Referencias bibliográficas

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la educación, la Ciencia y la Cultura, «Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua.» UNESCO-WWAP, Italia, 2018.
- [2] Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., «AGUA. org.mx,» Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., 2011. [En línea]. Available: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>. [Último acceso: 22 octubre 2019].
- [3] Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas, «Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017, Aguas residuales.» UNESCO, París, 2017.
- [4] Instituto Nacional de Estadística e Informaática, «Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2019,» INEI, Lima, 2019.
- [5] M. R. Percy, *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA HILANDERÍA LA INMACULADA S.A.C. PARA SU REUTILIZACIÓN*, Chiclayo: Repositorio de tesis USAT, 2015.
- [6] F. Moreno, M. Choachi, S. Mendoza y W. Pulido, *Propuesta de diseño para un sistema de tratamiento y reutilización de efluentes textiles combinando tecnologías convencionales con el proceso de oxidación avanzada (O3/H2O2/UV)*, 2015.
- [7] L. Salazar, M. Crespi y R. Salazar, *Tratamiento de aguas residuales textiles mediante un biorreactor de membrana*, Red de Revistas Científicas de America Latina, el Caribe, España y Portugal, 2009.
- [8] F. Lockuán, *La Industria Textil y su control de calidad*, 2013.
- [9] Autoridad Nacional del Agua, «Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338,» Ministerio de la Agricultura y Riego, Lima, 2010.
- [10] J. Romero, *Aguas Residuales Industriales*, Bootá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2018.
- [11] V. Conesa, *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*, Madrid: Mundi- Prensa, 2003.
- [12] R. Isla, *Proyectos de Plantas de Tratamiento de Aguas*, Madrid: Bellisco Ediciones, 2005.
- [13] N. Martínez, *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional*, Ciudad Real: Universidda de Castilla - La Mancha, 2007.
- [14] Mollah, Markovsky, Gomes, Kesmez, Parga y Cocke, «Fundamentos, Perspectivas presentes y futuras de la electrocoagulación,» *ScienceDirect*, vol. 114, n° 3, pp. 199-210, 2004.
- [15] A. Restrepo, Á. Arango y L. Garces, «La electrocoagulación: retos y oportunidades en ele tratamiento de aguas,» *Corporación Universitaria Lasallista Producción +Limpia*, vol. I, n° 2, pp. 60-77, 2006.

- [16] M. Bermed y O. Tinoco, «Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada,» *Revista Industrial Data*, pp. 91-95, 2016.
- [17] M. Osejos, M. Merino y M. Merino, «Impacto Ambiental del Sistema de Alcantarillado en la Ciudadela «3 de mayo» de la Ciudad de Jipijapa - Ecuador,» *Revista del Instituto de Investigación FIDMMG-UNMSM*, vol. 21, n° 41, pp. 61-74, 2018.
- [18] N. Henao y S. Ramirez, *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR TEXTIL MEDIANTE PROCESO ACOPLADO ELECTRO-COAGULACIÓN- ELECTRO-OXIDACIÓN*, Medellín, 2016.
- [19] B. Raju, T. Karuppiah, Latha, Parvathy y Prabhakar, «Treatment of wastewater from synthetic textile industry by electrocoagulation - electrooxidation,» *ELSEVIER*, vol. 144, pp. 51-58, 2008.
- [20] V. Conesa, «Google books,» 10 Agosto 2011. [En línea]. Available: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wa4SAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP2&dq=evaluaci%C3%B3n+de+impacto+ambiental&ots=r-1beMqb8l&sig=fNm4pRrxoU7rZczSFya-iFKJ5Nw#v=onepage&q=evaluaci%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental&f=false>. [Último acceso: 08 julio 2021].
- [21] Organización Panamericana de la Salud, «Informe Técnico Sobre Minimización de residuos en la Industria Textil,» Biblioteca Virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, 1997.
- [22] E. Gilpavas, P. Caotano, J. Medina y C. Gómez, «TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL MEDIANTE COAGULACIÓN QUÍMICA ACOPLADA A PROCESOS FENTON INTENSIFICADOS CON ULTRASONIDO DE BAJA FRECUENCIA,» *Revista Internacinal de Contaminación Ambiental*, vol. 34, n° 1, 2018.
- [23] M. Brañez, R. Gutiérrez, R. Pérez, C. Uribe y P. Valle, «Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil,» *Revista Campus*, vol. XXIII, n° 26, pp. 129-144, 2018.
- [24] IDEAM, «Instructivo para la Toma de Muestras de Aguas Residuales,» Instituto de Hidrología y Estudios Ambientales, Bogotá, 2007.
- [25] Ministerio del Ambiente, «Ley General del Ambiente,» Ministerio del Ambiente, Lima, 2008.
- [26] Ministerio del Ambiente, «Ley N° 28611,» Autoridad Nacional del Agua, Lima, 2005.
- [27] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «Decreto Supremo N° 001- 2015-Vivienda,» El Peruano, Lima, 2015.
- [28] L. Soriano, M. Ruiz y E. Ruiz, «Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, vol. 18, n° 2, 2015.
- [29] Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, «Prevención de la contaminación en la Industria Textil en los países del Mediterráneo,» Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, París, 2002.
- [30] Instituto Nacional de Estadística e Informaática, «Anuario de Estadísticas Ambientales 2015,» INEI, Lima, 2015.
- [31] Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, «UNESCO,» Programa Mundial de Recursos Hídricos, 2017. [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution/#topPage>. [Último acceso: 01 octubre 2019].
- [32] Comisión Nacional del Agua, «Agua en el Mundo,» México, 2011.
- [33] G. Jojoa, H. Rodriguez y S. Cardona, «Tratamiento de aguas residuales textiles a partir de métodos biológicos,» *Revista Cintex*, vol. 20, n° 1, pp. 11-34, 2015.

Anexos

Anexo 1. Plano de la distribución de planta de la empresa Multiservicios Astolingón

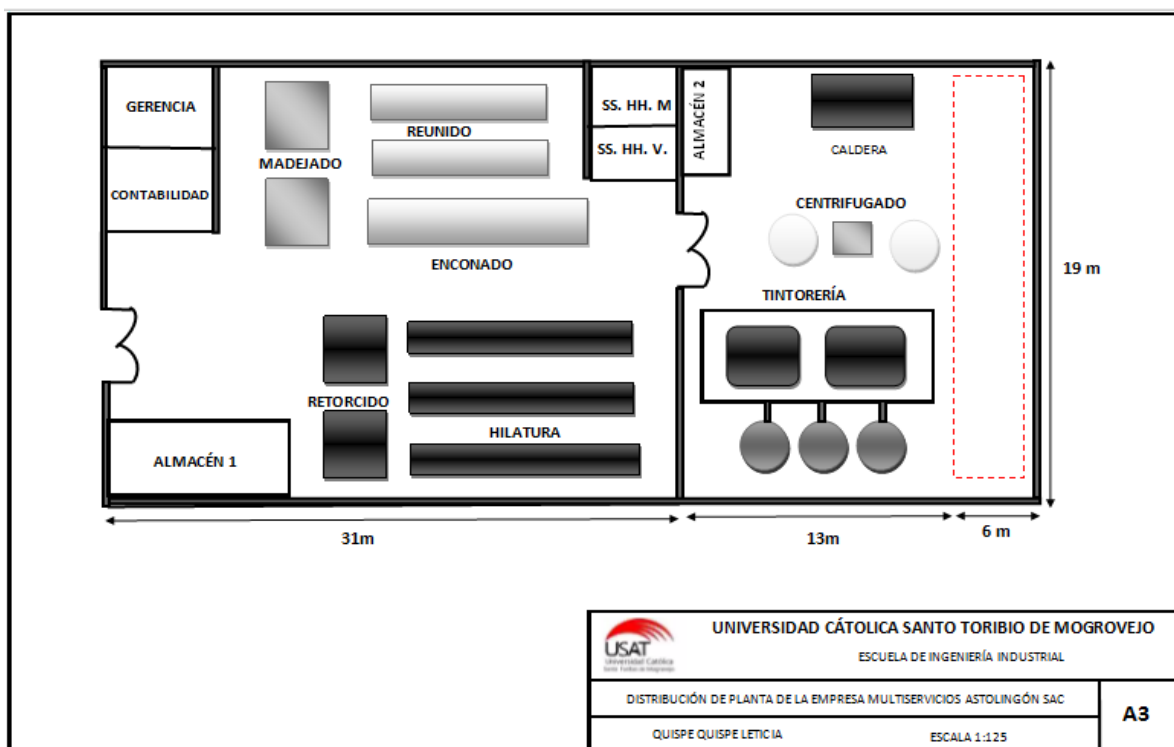


Figura 6. Plano de distribución de la planta Multiservicios Astolingón

Fuente: Multiservicios Astolingón

Anexo 2. Cantidad de producción y agua consumida año 2019

Tabla 11. Registro del promedio y cantidad de agua residual descargada del teñido y costos anuales (año 2019)

Mes	Producción (kg)	Cantidad de agua consumida (m ³)	Cantidad de agua descargada (m ³)	Costos (S/.)
Enero	27700	831	581,70	2404,71
Febrero	27750	832,5	582,75	2409,05
Marzo	27770	833,1	583,17	2410,78
Abril	27960	838,8	587,16	2427,28
Mayo	28000	840	588,00	2430,75
Junio	28100	843	590,10	2439,43
Julio	28020	840,6	588,42	2432,49
Agosto	28200	846	592,20	2448,11
Setiembre	28256	847,68	593,38	2452,97
Octubre	28404	852,12	596,48	2465,82
Noviembre	28350	850,5	595,35	2461,13
Diciembre	28450	853,5	597,45	2469,82
Total	336960,0	10108,8	7076,2	29252,3
Promedio (mes)	28080,0	842,4	589,7	2437,7

Fuente: Multiservicios Astolingón SAC

Anexo 3. Valorización de los factores de evaluación para la selección de matriz de evaluación de impacto ambiental

Tabla 12 Valorización de los factores de evaluación para la selección de matriz de evaluación de impacto ambiental

Factores	Ponderación del impacto	Evaluación subjetiva de los impactos	Variable Tiempo	Posibilita comparar con proyectos similares	Utiliza metodología costosa	Total suma	Porcentaje
Ponderación del impacto	X	1	1	0	1	3	23,08%
Evaluación subjetiva de los impactos	1	X	1	1	0	3	23,08%
Variable Tiempo	0	1	X	0	1	2	15,38%
Posibilita comparar con proyectos similares	0	1	0	X	1	2	15,38%
Utiliza metodología costosa	1	0	1	1	X	3	23,08%
						13	100,00%








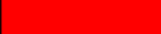
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Matriz de enfrentamiento de matriz de identificación y evaluación de impacto ambiental


Factores	Escala	Porcentaje	Matriz de Leopold	Puntaje	Matriz de Betelle-Columbus	Puntaje
Ponderación del impacto	Buena 5 puntos Regular 2 puntos Mala 1 punto	23%	5	1,154	5	1,154
Evaluación subjetiva de los impactos	Poco 5 puntos Regular 2 puntos Alta 1 punto	23%	1	0,231	2	0,462
Variable Tiempo	Alta 5 puntos Regular 2 puntos Poco 1 punto	15%	1	0,154	2	0,308
Posibilita comparar con proyectos similares	Buena 5 puntos Regular 2 puntos Mala 1 punto	15%	2	0,308	1	0,154
Utiliza metodología costosa	Poco 5 puntos Regular 2 puntos Alta 1 punto	23%	5	1,154	1	0,231
				3,000		2,308

Fuente: Elaboración propia






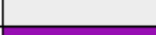

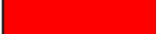
Anexo 4. Hojas de Campo

HOJA DE CAMPO 1			
MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN			
REGION: Lambayeque		LUGAR DE OCURRENCIA: Llenado de agua	
PROVINCIA: Chiclayo			
DISTRITO: José Leonardo Ortiz			
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO	
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico
		<input checked="" type="checkbox"/>	Biológico
		<input checked="" type="checkbox"/>	Socioeconómico y cultural
		FASES DEL PROYECTO	
			Construcción
		<input checked="" type="checkbox"/>	Operación
TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo	
	Alto		<input checked="" type="checkbox"/>
	Moderado		
	Ligero		
PROBLEMA AMBIENTAL: Escasez del agua			
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL		Tipo de Impacto	Código
Extracción del agua subterránea en grandes cantidades..		Positivo alto	
		Positivo moderado	
		Positivo ligero	
		Negativo ligero	
		Negativo moderado	
		Negativo alto	
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:			
La actividad debe emplear buenas prácticas, y medidas preventivas como las siguientes:			
<ul style="list-style-type: none"> ● Reutilizar agua y un uso adecuado del agua 			


Anexo 4. Hojas de Campo

HOJA DE CAMPO 2					
MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN					
REGIÓN: Lambayeque		LUGAR DE OCURRENCIA: Teñido de las madejas de Lana			
PROVINCIA: Chiclayo					
DISTRITO: José Leonardo Ortiz					
		IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Físico		
			Biológico		
			Socioeconómico y cultural		
		FASES DEL PROYECTO			
			Construcción		
		<input checked="" type="checkbox"/>	Operación		
TIPO DE IMPACTO		Positivo	Negativo		
<input type="checkbox"/>	Alto		<input checked="" type="checkbox"/>		
	Moderado				
	Ligero				
PROBLEMA AMBIENTAL: Emisión de gases					
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL Teñido de madejas en tinas		Tipo de Impacto	Código		
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN: La actividad debe emplear buenas prácticas, y medidas preventivas como las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> Utilizar maquinaria eficientes sin salida de emisiones. 		Positivo alto	 		
		Positivo moderado	 		
		Positivo ligero	 		
		Negativo ligero	 		
		Negativo moderado	 		
		Negativo alto	 		

Anexo 4. Hojas de Campo

MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN		
REGIÓN: Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA:	
PROVINCIA: Chiclayo	Descarga del agua residual	
DISTRITO: José Leonardo Ortiz		
	IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Físico
	<input checked="" type="checkbox"/>	Biológico
		Socioeconómico y cultural
	FASES DEL PROYECTO	
		Construcción
	<input checked="" type="checkbox"/>	Operación
TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo
	Alto	<input checked="" type="checkbox"/>
	Moderado	
	Ligero	
PROBLEMA AMBIENTAL: Contaminación del agua		
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL	Tipo de Impacto	Código
Vertimiento del agua residual del teñido	Positivo alto	
	Positivo moderado	
	Positivo ligero	
	Negativo ligero	
	Negativo moderado	
	Negativo alto	
MEDIDAS PREVENTIVAS, CORRECTIVAS Y/O DE MITIGACIÓN:		
La actividad debe emplear buenas prácticas, y medidas preventivas como las siguientes:		
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar un tratamiento de agua residual 		

Anexo 4. Hojas de Campo

HOJA DE CAMPO 4				
MULTISERVICIOS ASTOLINGÓN				
REGIÓN: Lambayeque	LUGAR DE OCURRENCIA: Centrifugado			
PROVINCIA: Chiclayo				
DISTRITO: José Leonardo Ortiz				
	IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO SOBRE EL MEDIO			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Físico		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Biológico		
		Socioeconómico y cultural		
	FASES DEL PROYECTO			
		Construcción		
	<input checked="" type="checkbox"/>	Operación		
TIPO DE IMPACTO	Positivo	Negativo		
<input type="checkbox"/>	Alto		<input checked="" type="checkbox"/>	
	Moderado			
	Ligero			
PROBLEMA AMBIENTAL: Contaminación del agua				
CAUSAS DEL PROBLEMA AMBIENTAL Centrifugado de las madejas de lana	Tipo de Impacto	Código		
MEDIDAS PREVENTIVAS: La actividad debe emplear buenas prácticas, y medidas preventivas como las siguientes: <ul style="list-style-type: none"> Utilizar maquinaria eficiente y reutilizar agua. 	Positivo alto	<input type="checkbox"/>		
	Positivo moderado	<input type="checkbox"/>		
	Positivo ligero	<input type="checkbox"/>		
	Negativo ligero	<input type="checkbox"/>		
	Negativo moderado	<input type="checkbox"/>		
	Negativo alto	<input type="checkbox"/>		

Anexo 5. Cuadro de descripción del proyecto

ETAPA	COMPONENTE	ACTIVIDADES	ASPECTOS
OPERACIÓN	PREPARACIÓN	RECEPCIÓN DE MADEJAS	Generación de residuos sólidos(pelusas)
		CARGA DE MADEJAS A TINA	Generación de residuos sólidos(pelusas)
		LLENADO DE AGUA	consumo de energía eléctrica
			Consumo de agua subterránea
	CALENTADO DE AGUA	Consumo de petróleo	
		Emisión de material particulado	
	TEÑIDO	TEÑIDO DE MADEJAS DE LANA	Consumo de energía eléctrica
			Emisión de vapor
	ENFRIADO	ENFRIADO DE LA TINA	Emisión de vapor de agua
		DESCARGA DEL AGUA	Vertimiento de agua residual
	CENTRIFUGADO	CENTRIFUGADO DE MADEJAS DE LANA	Consumo de energía eléctrica
			Vertimiento de agua residual
EMPAQUETADO	EMPAQUETADO DE MADEJAS DE LANA	Generación de residuos sólidos (bolsas, cintas de embalaje)	

Anexo 5. Cuadro de componentes ambientales para la identificación de Impacto

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTORES AMBIENTALES
FÍSICO	AIRE	Calidad de aire
		Presencia de olores
	AGUA	Extracción de agua subterránea
		calidad de agua
	SUELO	Calidad de suelo
Problemas de drenaje		
BIOLÓGICO	FLORA	Flora y vegetación
	FAUNA	Fauna acuática
SOCIO ECONÓMICO	SOCIAL	Vivienda y servicios
		Económico
		Salud

Anexo 6. Valorización de los factores de evaluación para la selección del tratamiento

Tabla 15. Valorización de los factores de evaluación para la selección del tratamiento

Factores	Operatividad tecnológica	Eficiencia de remoción	Generación de residuos	Consumo de energía eléctrica	Disponibilidad de tecnología	Total suma	Porcentaje
Área necesaria	X	1	1	1	1	4	31%
Eficiencia de remoción	1	X	1	0	1	3	23%
Generación de residuos	1	1	X	0	0	2	15%
Consumo de energía eléctrica	1	0	0	X	0	1	8%
Tecnología y utilización de insumos	1	1	1	0	X	3	23%
Total						13	100%

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Valorización de los factores de evaluación para la selección del tratamiento

Tabla 16. Matriz de enfrentamiento de tratamientos

Criterios	Escala	Porcentaje	Electro coagulación	Puntaje	Ozonización	Puntaje	Adsorción	Puntaje
Área necesaria	Buena 5 puntos Regular 2 puntos Mala 1 punto	31%	5	1,538	2	0,615	5	1,538
Eficiencia de remoción	X > 96 % 5 puntos 96% > X > 90% 2 puntos X > 90% 1 punto	23%	5	1,154	1	0,231	2	0,462
Generación de residuos	Bajo 5 puntos Medio 2 puntos Alto 1 punto	15%	2	0,308	2	0,308	1	0,108
Consumo de energía eléctrica y utilización de insumos	Bajo 5 puntos Medio 2 puntos Alto 1 punto	8%	1	0,077	2	0,154	5	0,385
Tecnología	Buena 5 puntos Regular 2 puntos Mala 1 punto	23%	5	1,154	2	0,462	2	0,462
				4,231			2,231	3,154

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Estimación de área del sistema de tratamiento de aguas

Tabla 17. Estimación de área del sistema de tratamiento de aguas

Ítem	Largo (m)		Ancho (m)	SS (m ²)	SG(m ²)	Altura (m)	SE(m ²)	S(m ²)	ST(m ²)	
Elementos móviles										
Operarios	3		0,5	1	0,5		1,65			
Elementos fijos										
Homogenizador	1,0	2,0	1,4	1,4	2,0	3,9	2,0	5,0	10,9	10,9
Tanque de lodos	1,0	2,0	2,0	1,5	3,0	6,0	2,0	7,6	16,6	16,6
Reactor de EO	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,7	3,7	3,7
Reactor de EC	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,7	3,7	3,7
Mezclador	1,0	2,0	4,0	2,0	8,0	16,0	4,0	20,4	44,4	44,4
Tanque de flotación	1,0	1,0	2,0	2,0	4,0	4,0	2,0	6,8	14,8	14,8
Tubos PVC	6,0	1,0	3,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,7	4,0
Tanque de almacenamiento	1,0	2,0	1,6	1,0	1,6	3,2	3,0	4,1	8,9	8,9
	13	12	16	9,96	20,74	35,3	16,56	47,62	103,66	106,99
Superficie total (m²)									106,99	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9. Costos del proyecto

Tabla 18. Costos de insumos

Insumos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (S/.)
Hidróxido de sodio (homogenización)	Kg	1,24	6,2	7,688
Cloruro de sodio (mezclado)	Kg	0,43	5	2,15
Total				9,838

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Costos de energía eléctrica (día)

Equipo	Potencia kW	Tiempo de consumo (h)	Energía (kW-h)	Costo unitario (kW/h)	Costo total (S/.)
Bomba centrífugas (6*0,56kW)	3,36	8	26,88	0,24	6,45
Reactor de electrocoagulación	0,97	8	7,76	0,24	1,86
Reactor de electrooxidación	14,98	8	119,84	0,24	28,76
Costo Total					37,0752

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Costo de mano de obra mensual

Puesto	Cantidad	Salario	Beneficios sociales	Costo (s/.)
Operario	1	930	279	1209
Ingeniero Químico	1	1500	558	1950
Costo total				3159

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Depreciación de equipos

Equipos	Costo (S/.)	Valor residual (S/.)	Vida útil (años)	Depreciación (S/.)
Tanque de almacenamiento	10524,0	1052,4	10	947,2
Tanque de homogenización	10703,9	1070,4	10	963,3
Reactor de electrocoagulación	19397,1	1939,7	10	1745,7
Reactor de electrooxidación	23033,6	2303,4	10	2073,0
Tanque de flotación	5230,1	523,0	10	470,7
Total				6200,0

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10. Infracciones

Tabla 22. Clase de infracción

Clase de infracción	Valor de Multa
Leve	0,5 - 2 UIT
Grave	2 - 5 UIT
Muy grave	5 - 10 000 UIT

Fuente: Autoridad Nacional del Agua [9]

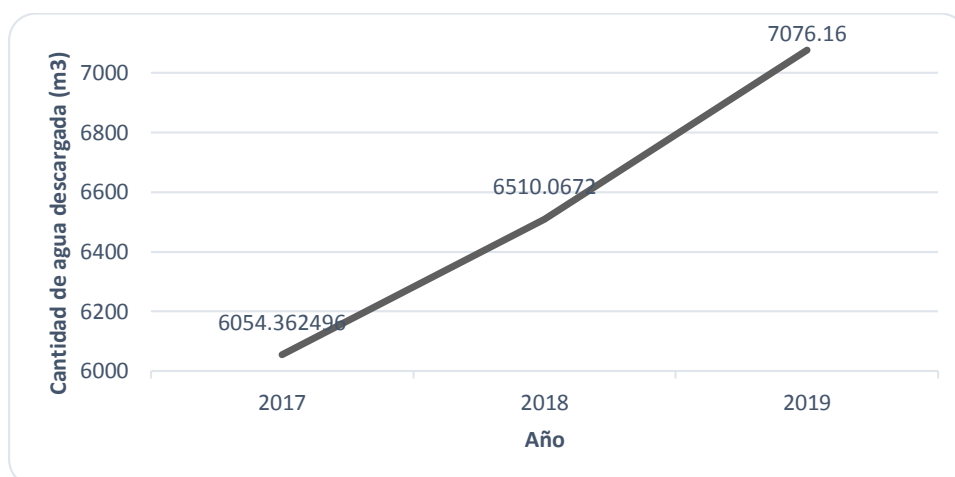
Anexo 11. Proyección de ventas del año 2020 al 2024

Tabla 23. Proyección de ventas del año 2020 al 2024

Año	Producción (kg)	Paquetes de madejas (unidades)	Ingresos (S/.)	Cantidad de agua consumida (m3)	Cantidad de agua descargada (l)	Costos (S/.)
2020	360412,42	13600,47	1292044,51	10812,37	7568,66	31288,30
2021	384740,93	14518,53	1379259,93	11542,23	8079,56	33400,32
2022	409069,44	15436,58	1466475,35	12272,08	8590,46	35512,34
2023	433397,95	16354,64	1553690,77	13001,94	9101,36	37624,35
2024	457726,46	17272,70	1640906,19	13731,79	9612,26	39736,37

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12. Comportamiento del agua descargada

**Figura 3. Comportamiento del agua descargada**

Fuente: Empresa Multiservicios Astolingón SAC.