

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUIMICA



**“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PLANTAS
PAPELERAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN RECUPERADOR
DE FIBRAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUIMICO

AUTORES:

CYNTIA ERIKA, ASMAD MONTESINOS

EINAR NILO, DIAZ CABRERA

ASESOR:

POLICARPO, SUERO IQUIAPAZA

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Ingeniería y tecnología

Callao, 2024

PERÚ

TESIS FINAL - ASMAD MONTESINOS-DIAZ CABRERA

11%
Textos
sospechosos



11% Similitudes
< 1% similitudes entre comillas
8% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS FINAL - ASMAD MONTESINOS-DIAZ CABRERA.pdf
ID del documento: 75bf823d9dc1e3b475c4f568b0702135f1961d26
Tamaño del documento original: 1,53 MB

Depositante: FIQ PREGRADO UNIDAD DE INVESTIGACION
Fecha de depósito: 22/1/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 22/1/2024

Número de palabras: 12.701
Número de caracteres: 96.925

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	buleria.unileon.es https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/6912/Tesis de Ricardo Nuno de Coimbra.pdf?seq...	2%		Palabras idénticas: 2% (230 palabras)
2	cidta.usal.es https://cidta.usal.es/cursos/ediar/modulos/ediar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_comp... 4 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (186 palabras)
3	docplayer.es TAMIZ ROTATIVO DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO APLICACIONES - PDF Fr... https://docplayer.es/51869598-Tamiz-rotativo-descripcion-del-equipo-aplicaciones.html 5 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (202 palabras)
4	repositorio.espam.edu.ec Eficiencia de carbón activado procedente del coco (Coc... http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1196/4/TTMA63.pdf.txt 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (172 palabras)
5	telwesa.com Tratamiento para aguas residuales de la industria papelera - Telwe... https://telwesa.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-papelera/ 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (143 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.ideam.gov.co http://www.ideam.gov.co/documents/11769/646961/3.19 hoja metodológica sólidos suspendidos tot...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	Diseño de un sistema recuperador de fibra celulósica a partir de corrientes resid... http://dSPACE/bitstream/15000/16899/3/CD-7478.pdf.txt	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
3	riunet.upv.es Diseño del tratamiento de las aguas residuales de una industria te... https://riunet.upv.es/handle/10251/125645?show=full	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (38 palabras)
4	cdn.hannacolombia.com https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2016/05/Hanna_Instruments_D...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
5	www.doi.org https://www.doi.org/10.4995/IA.2019.11426	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/1884>
- <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16899/1/CD-7478.pdf>
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>
- <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v88n1/1810-634X-rsqp-88-01-52.pdf>

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA QUÍMICA

TÍTULO: “TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PLANTAS PAPELERAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN RECUPERADOR DE FIBRAS”

AUTORES:

Asmad Montesinos, Cyntia Erika / CODIGO ORCID 0009-0009-3326-8920 / DNI 70444806

Diaz Cabrera, Einar Nilo / CODIGO ORCID 0009-0008-1043-9769 / DNI 71769059

ASESOR:

Suero Iquiapaza, Policarpo Agaton / CODIGO ORCID 0000-0002-0172-1841 / DNI 25634835

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Empresa Papelera situada en el distrito de San Juan de Lurigancho

UNIDAD DE ANÁLISIS: Agua residuales de plantas papeleras.

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Básica

ENFOQUE: Cuantitativo

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental

TEMA OCDE: Investigación y tecnología

DEDICATORIA

A nuestros padres, hermanos y toda nuestra familia por su constante apoyo, consejos y amor, por la motivación diaria a seguir creciendo, y ser un gran ejemplo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, damos gracias a Dios. Gracias a la Universidad Nacional del Callao por guiarnos hasta convertirnos en los profesionales que hoy somos. Gracias a los maestros por la paciencia y sabiduría brindada durante toda nuestra formación.

INDICE

INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCION	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1 Descripción de la realidad problemática	14
1.2 Formulación de problema	15
1.2.1 <i>Problema general</i>	15
1.2.2 <i>Problema específico</i>	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	15
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	15
1.4 Justificación del problema	16
1.4.1 <i>Teórica</i>	16
1.4.2 <i>Metodológica</i>	16
1.4.3 <i>Tecnológica</i>	17
1.5 Delimitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial)	17
1.5.1 <i>Teórica</i>	17
1.5.2 <i>Temporal</i>	17
1.5.3 <i>Espacial</i>	17
II. MARCO TEORICO	18
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional	18
2.1.1 <i>Antecedentes internacionales</i>	18
2.1.2 <i>Antecedentes nacionales</i>	19
2.2 Base teórica	21
2.2.1 <i>Agua residual</i>	21
2.2.2 <i>Agua residual industrial: Plantas papeleras</i>	22
2.2.3 <i>Características del agua residual en la industria del papel</i>	23
2.2.4 <i>Tratamiento de aguas residuales de plantas papeleras</i>	25
2.2.5 <i>Recuperador de fibra</i>	28
2.2.6 <i>Normativa Legal</i>	30
2.3 Marco conceptual	31
2.4 Definición de términos	34

III. HIPOTESIS Y VARIABLES	36
3.1 Hipótesis.....	36
3.1.1 Operacionalización de variables	36
IV. METODOLOGIA DEL PROYECTO	38
4.1 Diseño metodológico.....	38
4.2 Método de investigación.....	39
4.3 Población y muestra	41
4.3.1 <i>Población</i>	41
4.3.2 <i>Muestra</i>	41
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado	41
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.	41
4.5.1 <i>Instrumentos</i>	42
4.5.2 <i>Materiales de laboratorio</i>	42
4.5.3 <i>Reactivos</i>	42
4.6 Análisis y procesamiento de datos.....	42
4.7 Aspectos éticos en Investigación	42
V. RESULTADOS	43
5.1 Resultados descriptivos	43
5.2 Resultados inferenciales	53
5.2.1 <i>% Disminución de DBO</i>	53
5.2.2 <i>% Disminución de DQO</i>	54
5.2.3 <i>% Disminución de SST</i>	56
5.2.4 <i>% Disminución de pH</i>	58
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	61
6.1.1 <i>Contrastación con la hipótesis general</i>	61
6.1.2 <i>Contrastación con la hipótesis específica</i>	61
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	62
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	63
VII. CONCLUSIONES	64
VIII. RECOMENDACIONES	65
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
X. ANEXOS.....	73
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	73
Anexo 2. Informe de análisis de agua.....	74

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tratamiento de aguas residual.....	26
Tabla 2 Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al Sistema de alcantarillado.....	31
Tabla 3 Operacionalización de variables	38
Tabla 4 Diseño experimental de las variables.....	38
Tabla 5 Características fisicoquímicas iniciales del agua residual de la planta papelera.....	43
Tabla 6 Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 13 m ³ /h.	44
Tabla 7 Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 14 m ³ /h.	45
Tabla 8 Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 15 m ³ /h.....	46
Tabla 9 Porcentaje de disminución de DBO ₅	47
Tabla 10 Porcentaje de disminución de DQO	48
Tabla 11 Porcentaje de disminución de SST	49
Tabla 12 Porcentaje de disminución de pH.....	51
Tabla 13 Eficiencia del recuperador de fibras, análisis del ingreso y salida de caudal de agua residual.....	52
Tabla 14 Análisis de varianza (ANOVA) para el DBO	53
Tabla 15 Análisis de regresión múltiple para DBO.....	54
Tabla 16 Resumen del modelo para DBO.....	54
Tabla 17 Análisis de varianza (ANOVA) para el DQO.....	55
Tabla 18 Análisis de regresión múltiple para DQO.....	56
Tabla 19 Resumen del modelo para DQO	56
Tabla 20 Análisis de varianza (ANOVA) para el SST	57
Tabla 21 Análisis de regresión múltiple para SST	58
Tabla 22 Resumen del modelo para SST	58
Tabla 23 Análisis de varianza (ANOVA) para el pH	59
Tabla 24 Análisis de regresión múltiple para pH	60
Tabla 25 Resumen del modelo para pH.....	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de entrada, usos y salidas del agua en la industria papelera.....	23
Figura 2 Relación entre DBO y tiempo	24
Figura 3 Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria papelera mediante fangos activos.....	27
Figura 4 Funcionamiento de un recuperador de fibra	29
Figura 5 Filtración al vacío	30
Figura 6 Diagrama del funcionamiento del recuperador de fibra.....	33
Figura 7 Recuperador de fibras	39
Figura 8 Recolección de muestras	40
Figura 9 Gráfica de reducción del DBO a diferentes caudales y velocidad de giro.....	47
Figura 10 Gráfica de reducción del DQO a diferentes caudales y velocidad de giro.....	49
Figura 11 Gráfica de reducción del SST a diferentes caudales y velocidad de giro.....	50
Figura 12 Gráfica de reducción del pH a diferentes caudales y velocidad de giro.....	51
Figura 13 Eficiencia del recuperador de fibras en las 6 pruebas diferentes.	52

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar la calidad óptima del agua residual de la planta papelera ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho-Lima, luego de su tratamiento; empleando un recuperador de fibra y a su vez determinar si esta agua puede ser reutilizada dentro del mismo proceso. Se realizó en tres etapas; siendo la primera la recolección de agua antes de entrar al recuperador de fibra, para tener los parámetros iniciales del agua residual. La segunda etapa consta de obtener el agua posterior al uso del recuperador de fibra, cambiando sus parámetros de funcionamiento para determinar cuáles son los parámetros óptimos para mejorar la calidad del agua residual. Los parámetros utilizados fueron; el caudal a 13, 14 y 15 m³/h y la velocidad de giro de 5, 8, 15 y 20 rpm. En la tercera etapa se hizo una comparativa entre los resultados obtenidos antes y después del uso del recuperador de fibra. Los resultados obtenidos, determinaron que la implementación de un recuperador de fibras como tratamiento de agua residual, es eficiente en la reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua; como en el DBO₅ disminuyó en un 54.1%, en el DQO un 46.1%, en los SST en 39.6% y en el pH en un 24.1%, por lo que se concluye que el procedimiento utilizado mejora la calidad del agua residual y que puede ser reutilizada dentro del mismo proceso.

Palabras clave: Agua residual, recuperador de fibra, parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the optimal quality of the wastewater from the paper plant located in the district of San Juan de Lurigancho-Lima, after its treatment; using a fiber recoverer and in turn determine if this water can be reused within the same process. It was carried out in three stages; The first being the collection of water before entering the fiber recoverer, to have the initial parameters of the residual water. The second stage consists of obtaining the water after using the fiber recoverer, changing its operating parameters to determine which are the optimal parameters to improve the quality of the wastewater. The parameters used were; the flow at 13, 14 and 15 m³/h and the rotation speed of 5, 8, 15 and 20 rpm. In the third stage, a comparison was made between the results obtained before and after the use of the fiber recoverer. The results obtained determined that the implementation of a fiber recoverer as wastewater treatment is efficient in reducing the physicochemical parameters of the water; as in the BOD₅ it decreased by 54.1%, in the COD by 46.1%, in the TSS by 39.6% and in the pH by 24.1%, so it is concluded that the procedure used improves the quality of the wastewater and that it can be reused within the same process.

Keywords: *Wastewater, fiber recoverer, physicochemical parameters.*

INTRODUCCION

A nivel mundial, una de las principales preocupaciones ambientales es la contaminación del agua, mediante la Organización Mundial de la Salud (OMS) se pudo identificar que una de las principales fuentes de contaminación es la descarga de aguas residuales industriales sin un tratamiento adecuado [1]. Entre las aguas industriales, la proveniente de las industrias de pulpa y papel es una de las más difíciles de tratar. Esto se debe a que los problemas encontrados son generalmente complejos ya que los efluentes contienen muchos contaminantes de varios tipos dependiendo de su origen [2].

Para el caso de la industria papelera es viable la utilización de un tratamiento fisicoquímico, cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación, las características no deseables de las aguas residuales en el proceso de la producción de papel. La finalidad de estas operaciones es obtener unas aguas con las características adecuadas al uso que se les vaya a dar.

La presente investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales de las plantas papeleras mediante la implementación de un recuperador de fibras”, es una investigación novedosa que tiene como objetivo general, mejorar la calidad del agua residual de la planta papelera mediante la implementación de un recuperador de fibra [3].

En este trabajo se usó un recuperador de fibras que es un equipo el cual permita separar la fibra de las aguas residuales y así obtener una mejor calidad de agua, la cual pueda ser tratada de forma más factible y sencilla.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, la acumulación de diversos contaminantes en el medio ambiente, especialmente en el agua; es un problema el cual se busca eliminar de forma eficiente y a bajos costos. Estos contaminantes en la mayoría de los casos tienen dificultad para su tratamiento.

En la industria de producción de papel, se utilizan una gran cantidad de químicos, que genera residuos vertidos al agua y emisiones de gases de efecto invernadero. Como resultado, existe una creciente demanda de tecnologías sostenibles y eficientes que están permitiendo que la producción de papel sea menos contaminante utilizando materiales reciclados y reduciendo los contaminantes en el agua.

En este contexto, el uso de un recuperador de fibra se presenta como una alternativa sostenible en la industria papelera. Un recuperador de fibra es un equipo que permite recuperar la fibra contenida en las aguas residuales, facilitando su reutilización en el proceso de producción de papel y las aguas tratadas cumplan con los parámetros que exigen la ley y se encuentren dentro de los Valores máximos permisibles (VPM).

En el Perú, las plantas papeleras generan gran cantidad de lodos papeleros afectando el medio ambiente especialmente el agua. Ante ésta problemática expuesta, se plantea para mejorar el agua residual y su posible reúso, el tratamiento mediante un recuperador de fibra, el cual permite obtener agua con menor carga de contaminantes y fibra papelera, pudiéndose reutilizar ambas dentro del mismo proceso.

1.2 Formulación de problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la calidad del agua residual de la planta papelera luego de su tratamiento mediante la implementación de un recuperador de fibra?

1.2.2 Problema específico

¿Cuáles son los parámetros óptimos que debe tener el recuperador de fibra para mejorar la calidad del agua residual?

¿Cuál es la eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la calidad óptima del agua residual de la planta papelera luego de su tratamiento mediante la implementación de un recuperador de fibra.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar los parámetros óptimos que debe tener el recuperador de fibra para mejorar la calidad del agua residual.

Determinar la eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera.

1.4 Justificación del problema

La investigación tiene como propósito principal definir si el tratamiento del agua residual mediante la implementación de un recuperador de fibra mejora y purifica el agua para que sea factible la reutilización de la misma y a su vez disminuir la contaminación ambiental antes de verter al alcantarillado.

1.4.1 Teórica

Entre las aguas residuales industriales, la de la pulpa y papel es una de las más difíciles de tratar. Esto se debe a que los problemas encontrados son generalmente complejos ya que los efluentes contienen muchos contaminantes de varios tipos dependiendo de su origen.

El tratamiento de aguas residuales, resulta ser una tarea compleja y costosa. Dentro de sus distintas operaciones unitarias para realizar el tratamiento, una de la más lenta y poco aprovechable suele ser la sedimentación, por lo que algunas veces hasta demanda el utilizar insumos químicos. Por ello, se busca implementar un recuperador de fibras el cual haría una obtención de agua más eficiente, de mejor calidad y así minimizar contaminantes.

1.4.2 Metodológica

El objetivo es la reducción de la contaminación de los efluentes en grado suficiente para que puedan ser vertidos cumpliendo la normativa y así evitar cualquier tipo de impacto ambiental.

Los efluentes tienen valores muy elevados de pH, alto contenido de materia orgánica, y sólidos en suspensión entre otros contaminantes.

El análisis de la mejora del agua será comparado con los Valores Máximos Admisibles establecidos por la normativa peruana.

1.4.3 *Tecnológica*

El objetivo de la investigación es realizar un tratamiento de las aguas residuales de las plantas papeleras, mejorar la calidad de dichas aguas a su vez estudiar si una vez tratada puede ser reutilizada en el proceso de fabricación del papel y a su vez analizar los beneficios de su implementación para una mejora tecnológica empleando un recuperador de fibra.

1.5 Delimitantes de la investigación (teórico, temporal, espacial)

1.5.1 *Teórica*

Esta investigación se basa en la teoría de tratamiento primario de agua residual, específicamente mediante la filtración usando malla y bomba al vacío, la cual mejora la calidad de agua, y conlleva un beneficio ambiental por obtener agua de mejor calidad y con la posibilidad de ser reutilizable.

1.5.2 *Temporal*

La investigación se llevó a cabo entre los meses de julio a setiembre del 2023, debido a que esos meses la planta papelera presenta una mayor producción.

1.5.3 *Espacial*

Las muestras tratadas serán de las aguas residuales de la planta papelera ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho Lima. Las mediciones de la calidad de agua serán realizadas en un laboratorio externo certificado.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

En el estudio “Diseño del tratamiento de las aguas residuales de una industria textil (70 m³/d) para la eliminación de fibra y reutilización del agua”, los autores analizaron el tratamiento de agua residuales mediante eliminación de fibra. Para este tratamiento utilizaron procesos físicos de filtración convencional empleando diferentes materiales filtrantes, buscando disminuir los contaminantes del agua. De su estudio obtuvieron los siguientes resultados: la disminución del DQO de 60 mg/L a 12 mg/L, los sólidos suspendidos totales (SST) de 22 mg/L a 19.67 mg/L entre otros luego de ser tratados mediante métodos físicos, por lo que concluyeron que el uso de materiales filtrantes en agua residual es muy efectivo [4].

En el proyecto “Diseño de un Sistema Recuperador de fibra Celulósica a partir de corrientes residuales provenientes de una planta recicladora de papel”. Realizaron una evaluación de las aguas residuales de una planta papelería con el fin de determinar el adecuado muestreo del agua residual y corroborar la separación de la fibra con el agua residual. Se identificaron puntos de pérdida de fibra celulósica en corrientes provenientes del área de espesado de la planta recicladora de papel, el agua residual contiene en promedio 0,99% en peso de fibras recuperables y 26,17% de material inorgánico conformado principalmente por tintas, el resto se considera agua limpia [5].

En el trabajo de investigación “Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales”. El objetivo del estudio fue implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante tratamientos físicos y fisicoquímicos, con el fin de remover sólidos, disminuir las cargas orgánicas de DBO y DQO; y, así también disminuir contaminantes ambientales. El tratamiento primario fue instalar 2 bombas y 1 tamiz rotatorio, en donde el

agua residual ingresa al tamiz, quedando retenidos los sólidos en la superficie del cilindro y el agua filtrada sale por la parte inferior del tamiz. En donde hicieron pruebas a diferentes velocidades del tamiz rotatorio para hallar la velocidad óptima. Las conclusiones de este diseño fueron que a la velocidad óptima del tamiz rotatorio, el agua tratada tenía valores de DQO y DBO menores comparadas con el agua de ingreso al tamiz rotatorio (2900 mg/l y 4375 mg/l) [6].

En el trabajo de investigación “Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo”, los autores; a las aguas residuales municipal le realizaron diversos tratamientos como coagulación, filtración por malla y ozonización. Primero el agua residual es sometida a tratamiento de coagulación, posteriormente se realiza el tratamiento de filtración el cual consiste en que fluya el agua mediante medios de filtración, en donde verificaron tamaño, distribución y apertura de los poros, así como el caudal con el que ingresaba el agua. Luego de esta filtración recolectaron muestras para verificar si los parámetros del agua residual mejoraban. Donde concluyeron que luego de estos 2 procesos mejoraba en un 85% el DQO, en 87% el DBO, en 88% los SST [7].

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el estudio “Caracterización de aguas residuales en la industria de empaques de cartón. Caso: cartones Villa Marina”; los autores caracterizaron el agua residual en industria del cartón y analizaron el agua posterior a ser tratada por medios de filtración. El procedimiento es obtener agua luego de la filtración, donde los lodos se obtienen con 30% de humedad y el resto es agua tratada. Como conclusión el agua luego de ser tratada por medios de filtración disminuye su DBO de 822 mg/L a 131 mg/L, el DQO de 3085 mg/L a 487 mg/L, también los SST de 963 mg/L a 18.6 mg/L y pH de 8.6 a 7.69. Por lo que demuestran la eficiencia en el tratamiento de agua mediante lechos de filtración [8].

En la investigación “Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de riego”, se consideró el agua residual de los servicios higiénicos de la Facultad de Química e Ingeniería Química, la cual fue recolectada 5 veces al día, en cada caso se tomó una muestra de 1L. Esta muestra fue filtrada a través de mallas, en donde se observó que se obtenía una solución transparente. Los análisis de DQO del agua se realizó antes y después del proceso de filtración, obteniendo como resultado una disminución de 163 mg/l a 18 mg/L. Concluyeron que a nivel experimental el proceso de filtración mejora significativamente el DQO en el agua por lo que consideraron que es un proceso óptimo para el tratamiento de agua residual [9].

En el proyecto “Tratamiento de Aguas residuales para el caserío Villa Palambra”, los investigadores analizaron el agua residual de pozas en donde propusieron el uso de filtros percoladores, que son unidades de tratamiento adhiriendo el material no deseado a su superficie y dejando pasar agua tratada. Se tomaron muestra de 1 Litro del agua antes y después del filtro, durante 5 veces en un día. Obtuvieron como datos de DBO de 378 mg/L antes del filtro y posterior se tuvo 45 mg/L, por lo que concluyeron que es un método primario con alta eficacia para el tratamiento de agua residual [10].

En el estudio “Proyecto para la recuperación de fibra celulósica para fabricación de papel desde lodos de efluente”, plantean la recuperación de fibra a partir de agua residuales mediante un recuperador de fibra, el cual funciona bajo los principios de tamiz rotatorio y filtración al vacío. Tomaron muestras diarias de 2L para analizar la cantidad de fibra se puede separar el agua residual, de esta manera verificar la eficacia del equipo. Como conclusiones obtuvieron que el 4 % del agua residual era fibra y el restante es agua tratada, la cual podría ser reutilizada en el proceso, por lo cual evidencian que el equipo tiene una eficacia mayor al 90% [11].

2.2 Base teórica

2.2.1 *Agua residual*

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiado; Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua, que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual [12]. Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- **Aguas residuales domésticas o aguas negras:** Proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas [13].

- **Aguas blancas:** Pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración [13].

- **Aguas residuales industriales:** Proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales [13].

- **Aguas residuales agrícolas:** Procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo [13].

2.2.2 Agua residual industrial: Plantas papeleras

Diversas actividades industriales generan aguas residuales que se caracterizan por tener un amplio espectro de contaminantes; por ejemplo, la industria de la pulpa y el papel genera grandes contaminantes, alrededor de 500 compuestos orgánicos clorados identificados y a su vez contaminantes que se caracterizan por la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos en suspensión (SS), toxicidad y color (ver figura 1) [14].

La industria de la pulpa y el papel utiliza materiales lignocelulósicos como materia prima para producir papel y cartón. Durante la producción del papel y el cartón, se generan aguas residuales que tienen un alto contenido de sólidos en suspensión, color y sustancias orgánicas en el rango de 75 a 275 m³ por tonelada de producto [8].

En la figura 1 se muestra el ciclo del agua en las plantas papeleras desde su entrada hasta la salida.

Figura 1

Esquema de entrada, usos y salidas del agua en la industria papelera



Fuente: Sappi (2012)

2.2.3 Características del agua residual en la industria del papel

Se sabe que el proceso de producción de papel genera un alto grado de contaminación sobre el medio ambiente, tanto por los volúmenes de descarga como por su contenido. Los efluentes de la industria papelera poseen alta coloración, sólidos suspendidos, pH inestable, alta demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), además de cloruros, sulfatos, etc [15].

Parámetros de calidad del agua residual:

La calidad del agua la medimos según las características y valores que los representa, dentro de las más importantes y utilizadas, tenemos:

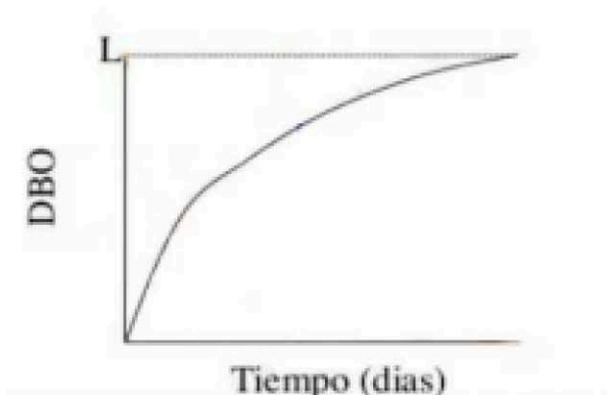
Demanda Química de oxígeno (DQO), es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar el total de la materia orgánica presente en una muestra de agua residual hasta dar bióxido de carbono y agua como productos finales bajo condiciones controladas. La determinación se logra al definir la cantidad

de un oxidante específico que es consumido durante la reacción y se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/L de O₂. Se debe conocer el DQO para medir contaminantes en el agua para evaluar la fuerza de los desechos tales como aguas residuales municipales e industriales [16].

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la medida indirecta de la cantidad de materia orgánica que se tiene en las aguas residuales, es importante determinarla porque las bacterias tienen que consumir el oxígeno suficiente para degradar los desechos orgánicos, en condiciones aerobias, generados por las descargas sanitarias. Al igual, existen otros factores para que las bacterias puedan realizar este proceso como la ausencia de sustancias tóxicas. En pruebas de laboratorio se toma en cuenta la DBO₅, pues se considera que el comportamiento de la DBO sigue una ley matemática exponencial y a los 5 días ha alcanzado 2/3 partes de la demanda que se necesitará para degradar la materia orgánica [17]. En la figura 2 se grafica el comportamiento del DBO frente al tiempo.

Figura 2

Relación entre DBO y tiempo



Fuente: Vargas (2017)

Sólidos Suspendidos Totales (SST), pueden depositarse en el fondo de un cuerpo de aguas, cubriendo organismos acuáticos o larvas de macroinvertebrados. Este depósito puede impedir la transferencia de oxígeno y resultar en la muerte de los organismos enterrados bajo esta capa. Las altas

concentraciones de SST disminuyen la eficacia de agentes desinfectantes del agua potable; por proveer a los microorganismos de un sitio protector frente a la presencia de desinfectantes [18].

2.2.4 Tratamiento de aguas residuales de plantas papeleras

El tratamiento de efluentes de la industria de la pasta del papel incluye, típicamente, las siguientes etapas:

- **Tratamiento primario:** Puede incluir un tratamiento de neutralización, cribado, sedimentación y flotación para retirar los sólidos en suspensión. La mayoría de las plantas constan de un clarificador primario que puede retirar hasta un 95% de los sólidos decantables del efluente a tratar. En esta etapa también se consigue un enfriamiento de las aguas residuales. [19].
- **Tratamiento secundario o biológico:** En esta etapa se reduce significativamente la carga orgánica y la toxicidad del efluente gracias a la biodegradación activa por parte de los microorganismos que habitan en el reactor y usan el efluente como fuente de carbono. Por otro lado, es clave la adición de nutrientes (N y P) para mantener una relación adecuada de C/N y C/P que permita sustentar una comunidad equilibrada y saludable de microorganismos. Mediante fangos activos y lagunas de estabilización aerobias, típicamente se consigue reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO) más de 80% y la demanda química de oxígeno (DQO) entre un 50 y un 90% [19].
- **Tratamiento terciario:** Su aplicación no es generalizarla en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria de la pasta del papel. Cuando se lleva a cabo, consiste normalmente en una precipitación química para eliminar ciertos agentes químicos, reducir la toxicidad, sólidos en suspensión y el calor [19]. En la tabla 1 se indica todos los procesos realizados en cada etapa del tratamiento de las aguas residuales, mientras que en la figura 3 se expone el tratamiento de las aguas residuales de la industria papelera mediante fangos activos como ejemplo.

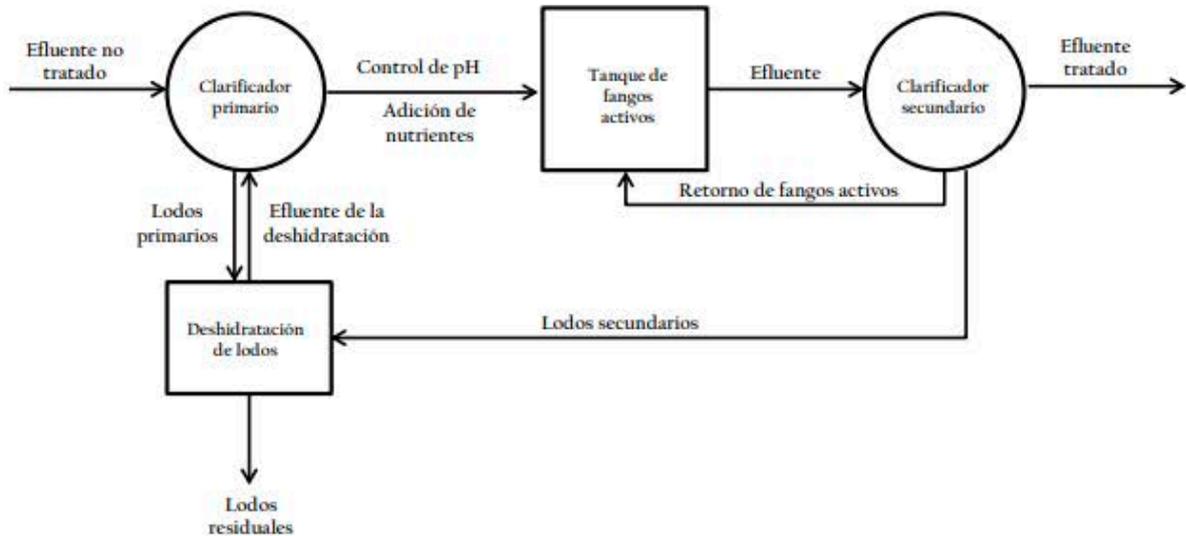
Tabla 1*Tratamiento de aguas residual*

Etapa	Procesos
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none">• Desbaste• Sedimentación• Flotación• Separación de aceites• Neutralización
Tratamiento Secundario	<ul style="list-style-type: none">• Proceso de lodos activados• Estabilización por contacto• Modificación del proceso de lodos activados convencional• Lagunas de aireación• Filtros percolares• Tratamiento anaerobio
Tratamiento terciario o avanzado	<ul style="list-style-type: none">• Microfiltración• precipitación y coagulación• Intercambio iónico• Osmosis inversa• Electrodiálisis• Procesos de eliminación de nutrientes• Cloración y ozonación• Procesos avanzados de oxidación

Fuente: Rodríguez (1996)

Figura 3

Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales de la industria papelera mediante fangos activos



Fuente: Sappi (2012)

También existen otras alternativas para tratar el agua residual de la industria del papel:

- **Tratamiento de aguas sin reutilización:** La solución más sencilla consiste en tratar el agua residual y, posteriormente, descargar el caudal al medio ambiente de forma directa o indirecta. De esta manera, se garantiza que los efluentes son vertidos cumpliendo la normativa y evitando cualquier impacto ambiental [20].
- **Tratamiento de aguas con reutilización:** Como hemos comentado al inicio, un sistema de vertido cero es una alternativa más sostenible y, en la mayoría de casos, también más económica de tratar el agua residual. Dado que se requiere el uso de agua en numerosas etapas del proceso productivo del papel y la pasta, incorporar tecnologías para el tratamiento de aguas residuales permite que esta agua sea reutilizada, tanto en la misma etapa del proceso como en etapas posteriores [20].

2.2.5 *Recuperador de fibra*

Un recuperador de fibra es un equipo encargado de filtrar el agua de las fibras o finos (partículas diminutas), para poder utilizar nuevamente esta fibra y separarlo del agua que puede ser recuperado o llevada a un tratamiento secundario [21].

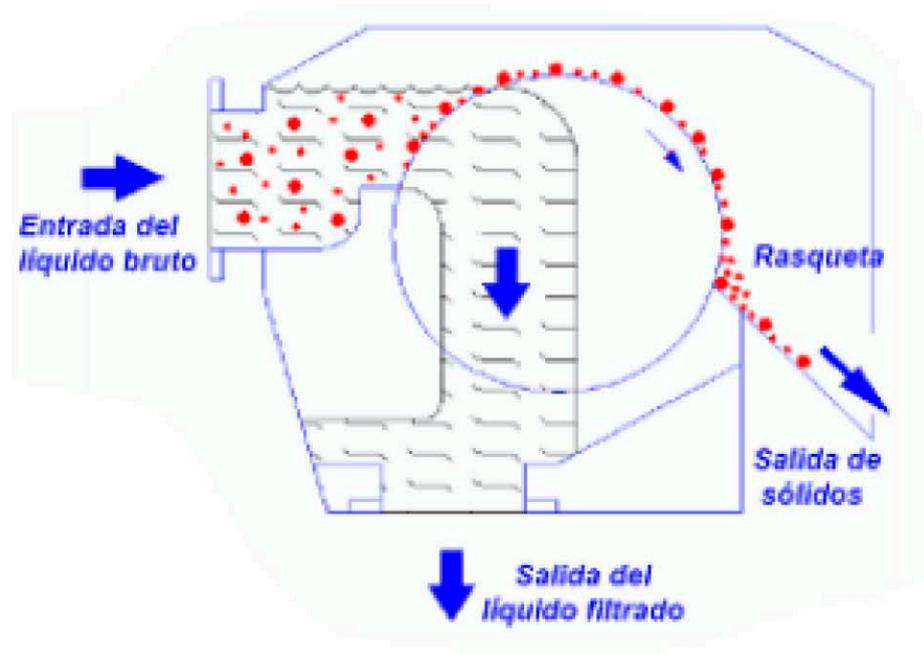
El recuperador de fibra funciona con 2 principios básicos: tamiz rotatorio y filtrado con bomba al vacío [6].

A. Tamiz rotatorio: El tamiz rotatorio dinámico es una maquina diseñada para la filtración o tamizado de líquidos, los cuales tengan una proporción de sólido en suspensión. Con la capacidad de filtrar partículas desde 0.15 mm hasta 5 mm, generando un gran rendimiento con un tamaño muy reducido, gracias a su diseño de construcción constituido por el tambor dinámico y los sistemas de limpieza, anulando la saturación del equipo por exceso de sólido [22].

B. Funcionamiento del tamiz rotatorio: Este equipo su función principal es la separación de sólido-líquido en una determinada proporción. El líquido a filtrar entra en el tamiz a través de la tubería de entrada situada en la parte superior, trasera o lateral donde se distribuye uniformemente a lo largo de todo el tambor filtrante, el cual está girando de continuo. Las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del cilindro que por medio de su rotación son desplazadas hacia las rasquetas que son las encargadas de separarlas y depositarlas sobre la bandeja de descarga, en la figura 4 se detalla este proceso. El líquido se filtra a través de la malla especial de ranura continua, gracias a su perfil, alivia rápidamente el afluente que pasa a través de ella y finalmente pasa a la tubería de salida. Sus aplicaciones generalmente son depuradores, industria papelera, industria cervecera, industria textil, laboratorios, industria química, recirculación entre otros [22].

Figura 4

Funcionamiento de un recuperador de fibra



Fuente: Gedar (2021)

C. Filtración: Consiste en forzar el paso del líquido a través de medio filtrante (mallas con diferentes medidas, arena, etc.), donde son retenidos los sólidos, que posteriormente se retiran limpiando el medio filtrante. La filtración al vacío es la fuerza impulsora para que el líquido atraviese el filtro. Este es el método más rápido que permite la filtración de aquellas suspensiones en las que la fuerza de gravedad no es lo suficiente para el proceso, ya que el hecho de aplicar la succión al vacío permite acelerar la velocidad de filtración [23].

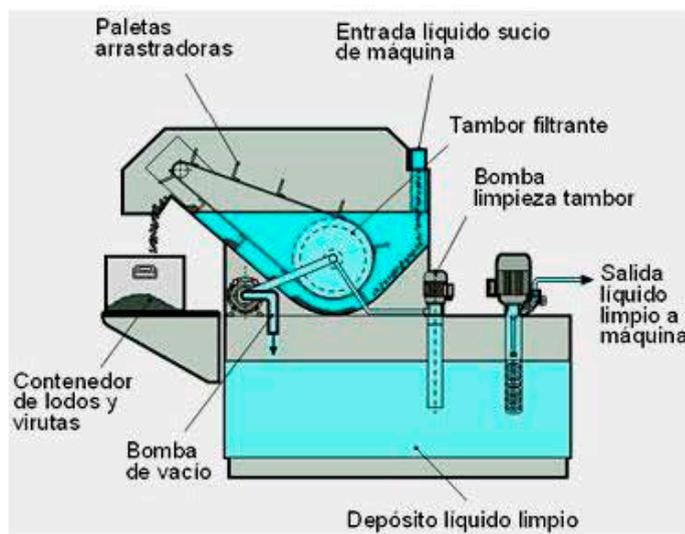
D. Ventajas de la filtración al vacío: La filtración al vacío se ha generalizado en la industria porque ofrece diversas ventajas respecto a la filtración por gravedad. Algunas de ellas son:

- Es más rápida.
- Puede filtrar partículas más pequeñas.
- Se puede utilizar con una gama más amplia de fluidos.
- Es menos probable que la filtración al vacío provoque la contaminación del fluido [24].

En la figura 5 se muestra las etapas que pasa el proceso de filtración al vacío.

Figura 5

Filtración al vacío



Fuente: Mosnic (2019)

2.26 Normativa Legal

Según el Decreto Supremo N°010-2019, que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, nos indican que está permitida la descarga directa de aguas residuales no domésticas realizadas por el Sistema no doméstico en el sistema de alcantarillado sanitario, siempre que estas no excedan los VMA establecidos [25].

Estos valores máximos admisibles están indicados en la tabla 2.

Tabla 2

Valores Máximos Admisibles (VMA) para descarga al Sistema de alcantarillado

Parámetro	Unidad	Simbología	Descargas al sistema de alcantarillado
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SST	500
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	100

Fuente: El Peruano (2019)

2.3 Marco conceptual

Durante los últimos años se ha evidenciado que en las actividades humanas diarias hay un gran aumento de consumo de agua, ya sean para actividades del hogar, procesos industriales entre otros. Este consumo masivo de agua, genera la contaminación del mismo, por lo que se buscan nuevos procesos y tecnologías para su tratamiento, ya sean procesos físicos, químicos o biológicos se busca minimizar o eliminar por completo los contaminantes que son vertidos [6].

La industria de fabricación de papel, es una de las industrias que más agua utiliza dentro de sus procesos, aproximadamente el 90% de su proceso consume agua, por lo que se busca constantemente la manera de tratar sus aguas residuales. En primer lugar, para disminuir la gran cantidad de contaminantes, el cual siempre es un problema; y además ver si es factible la utilización del agua tratada dentro de sus procesos.

En el tratamiento de agua es importante la eliminación de residuos sólidos, por lo que inicialmente en cualquier tratamiento de agua residual se enfatiza en la retención de los mismos, de esta manera el agua obtenida se encuentra libre de sólidos y disminuye su carga bacteriana.

La calidad del agua la podemos medir mediante parámetros establecidos, por lo que ponemos énfasis en el DQO, DBO, SST y pH. Existen diversos métodos para tratar el agua residual tanto físicos, químicos, biológicos entre otros, que mejoran dichos parámetros y de esta manera el agua obtenida puede ser reutilizada o en su defecto descargada.

Uno de los tratamientos realizados al agua, es el retiro de material de diversas formas y tamaños, se utilizan desde grava, arenas hasta tamizados pequeños, para material mucho más pequeño y difícil de eliminar.

Además, se deben cumplir con ciertos criterios al seleccionar el sistema adecuado de tratamiento de agua como identificar las exigencias de calidad de agua para buscar las mejores posibilidades de reuso, se debe contar con un área para poder realizar adecuadamente el tratamiento, debe ser eficiente en la remoción de patógenos, entre otros. [32].

Es por este motivo que en el trabajo proponemos el uso del recuperador de fibra, como tratamiento de las aguas residuales, ya que su funcionamiento se basa en los principios de tamizado y filtración, además comparando con diversos estudios previos; podemos decir que con el uso adecuado del recuperador de fibra y con sus parámetros de velocidad de giro y caudal establecidos adecuadamente, ayudarán en un alto porcentaje para la obtención de agua de buena calidad.

Al recuperador de fibra, tal como indica la figura 6, inicialmente ingresa agua residual proveniente de toda la planta papelera, esta agua residual ingresa con un flujo previamente estudiado, luego el agua llena el cilindro giratorio, el cual como su nombre lo dice, gira constantemente, y así va

separando la fibra del agua. Finalmente, por una línea se recupera fibra y por filtración se obtiene en otra línea el agua ya tratada.

Figura 6

Diagrama del funcionamiento del recuperador de fibra.



En el Perú existe normas que regulan y controlan las aguas residuales generadas por las industrias, por lo que se debe cumplir con ciertos parámetros establecidos en la Normativa peruana que nos habla de los valores máximos permisibles en agua residuales no domésticas para poder ser vertidos al alcantarillado, es por este motivo que, en nuestro proyecto, se pone especial interés en el tratamiento del agua para así se logre una mejor calidad.

2.4 Definición de términos

A. Aguas residuales: Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado [26].

B. Aguas residuales papeleras: Tipo de efluente líquido que se genera en las industrias de producción de papel y pulpa. Estas aguas residuales contienen una variedad de contaminantes, incluyendo fibras de papel, productos químicos utilizados en el proceso de producción, y en algunos casos sólidos orgánicos e inorgánicos [27].

C. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La demanda bioquímica de oxígeno, más conocido como DBO, es una medida que se utiliza para conocer la fuerza contaminante de las aguas de desecho o aguas residuales domésticas e industriales. Se define como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para estabilizar la materia orgánica biodegradable contenida en las aguas de desecho bajo condiciones aerobias, y se expresa en mg/L de oxígeno [28].

D. Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es un parámetro químico, que representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua residual) [29].

E. Sólidos Suspendidos Totales (SST): Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual. Los Sólidos Suspendidos Totales (SST), se consideran como la cantidad de residuos retenidos en un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro nominal de 0.45 micras y hace

referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial y/o residual [30].

F. Valores máximos admisibles (VMA): Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA), como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que, al ser excedido en sus parámetros aprobados, causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, tratamiento de aguas residuales y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales [31].

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

Hipótesis general

El tratamiento de las aguas residuales mediante la implementación del recuperador de fibra mejora la calidad del agua residual.

Hipótesis específicas

Los parámetros óptimos del recuperador de fibra mejoran la calidad del agua residual en las plantas papeleras.

La eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera es mayor al 70%.

3.1.1 Operacionalización de variables

Variable dependiente

Y₁: Tratamiento de aguas residuales

Variables independientes

X₁: Parámetros del recuperador de fibra

X₂: Eficiencia del recuperador de fibra

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Método	Técnica
Dependiente						
Tratamiento de agua residual	Operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida [32].	Valores de DQO, DBO, SST y pH.	Características fisicoquímicas	-DQO -DBO -SST -pH	Instrumental	Multiparámetro
Independiente						
Parámetros del recuperador de fibra.	Es un indicativo bien marcado para lograr evaluar el correcto funcionamiento [33].	Velocidad de giro en revoluciones por minuto, caudal de ingreso en m ³ /h y potencia de bomba en Hp.	Parámetros	- Velocidad de giro - Caudal de ingreso del agua	Observacional	Multiparámetro
Eficiencia del recuperador de fibras.	Relación entre lo que entra y lo que obtenemos a la salida. [34].	Porcentaje de obtención de agua tratada utilizando el recuperador de fibra.	Eficiencia	- % Obtención de agua para recirculación.	Cálculo	Fórmula

IV. METODOLOGIA DEL PROYECTO

4.1 Diseño metodológico

La investigación realizada tiene diseño cuasiexperimental ya que no se tiene un grupo de control, con un enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, estos datos son representados en forma de número que son analizados estadísticamente [35]. En función a su propósito, la investigación es de tipo aplicada y explicativa [35] porque permite manipular la variable independiente y determinar el efecto deseado. De acuerdo con el tiempo en el que se efectúa la investigación es de tipo sincrónica [35], porque los datos se recogen en un solo momento, en un tiempo único.

En la tabla 4 se muestra la matriz del diseño experimental se observa 12 pruebas experimentales. Teniendo como factores estudiados la velocidad del recuperador de fibras y el caudal de ingreso del agua residual; así mismo muestra los niveles de experimentación de cada factor.

Tabla 4

Diseño experimental de las variables

Número de pruebas	Caudal (m ³ /h)	Velocidad (RPM)	Reducción de parámetros
1	13	5	Y ₁
2	13	8	Y ₂
3	13	15	Y ₃
4	13	20	Y ₄
5	14	5	Y ₅
6	14	8	Y ₆
7	14	15	Y ₇
8	14	20	Y ₈
9	15	5	Y ₉
10	15	8	Y ₁₀
11	15	15	Y ₁₁
12	15	20	Y ₁₂

4.2 Método de investigación

La investigación tuvo 3 etapas

Primera etapa. Recolección de agua de la planta papelera: La recolección de la muestra del agua proviene de la planta papelera ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, departamento Lima. Se recolectó el agua al ingreso del recuperador de fibra y a la salida del mismo. Se realizaron 4 tomas de muestras durante un día 7am, 10 am, 1pm y 4pm. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Certificado Nakamura Consultores S.A.C.

Figura 7

Recuperador de fibras



Figura 8

Recolección de muestras



Segunda etapa. Regulación de parámetros: En una segunda etapa, se realizó el mismo muestreo inicial, con los mismos horarios, sin embargo, esta vez se realizó en 3 días distintos, variando la velocidad de giro del recuperador de fibra y con diferentes caudales de ingreso de agua, así saber cuáles son los parámetros óptimos para trabajar. Todas las muestras siempre eran llevadas al mismo laboratorio certificado.

Tercera etapa. Cálculos de la eficiencia: Con los datos obtenidos, se calcula la eficiencia del recuperador de fibra en los diferentes parámetros. Así se determina los parámetros óptimos en donde se obtiene una disminución aceptable de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Con los datos obtenidos: Se calcula si mejora la calidad del agua residual:

$$\%R = \frac{P_i - P_f}{P_i} \quad (1)$$

Donde: P_i =Parámetro inicial

P_f =Parámetro final

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población es agua residual generadas por la industria papelera ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho – Lima, Perú.

4.3.2 Muestra

Las muestras de agua residual de la planta papelera, fueron tomadas aleatoriamente, en diferentes días y en diferentes horas del día. Se tomaron de 2 puntos, uno al ingreso del recuperador de fibra y otro a la salida del mismo y el modo de muestreo es de acuerdo a la normativa de protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los recursos hídricos. El volumen de agua recolectado fue un total de 32 litros y las muestras de 2 litros.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

El trabajo de investigación se realizó en una planta papelera ubicada en San Juan de Lurigancho y las muestras obtenidas fueron analizadas por un laboratorio externo certificado (Nakamura consultores S.A.C.) durante meses de agosto a noviembre del 2023.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

La técnica que se utilizó en la investigación fue la observación directa. Para el desarrollo experimental se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

4.5.1 Instrumentos

- Equipo Turbidímetro Hach DR 900 (Turbidez)
- Equipo multiparámetro Hach HQ40d (SST y conductividad)
- Equipo Hanna HI98190 (pH y temperatura)

4.5.2 Materiales de laboratorio

- Galoneras
- Baguetas
- Vasos precipitados de 1L
- Jeringas
- Picetas.

4.5.3 Reactivos

- Solución ácido sulfúrico 1N
- Solución hidróxido de sodio 1N
- Solución amortiguadora de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software Microsoft Excel 2019 para la recolección de la data y gráficas preliminares.

4.7 Aspectos éticos en Investigación

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información que se emite como resultado de esta investigación.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

En la tabla 5 se muestran las características fisicoquímicas del agua residual de la planta papelera antes del ingreso al recuperador de fibra.

Tabla 5

Características fisicoquímicas iniciales del agua residual de la planta papelera.

Parámetro	Unidad	Valor inicial promedio
DBO ₅	mg / L	653.63
DQO	mg / L	975.67
SST	mg / L	405.73
Ph	Adimensional	7.83

En la tabla 6 se muestran los valores de las características fisicoquímicas del agua residual al ingreso y a la salida del recuperador de fibras a un caudal de 13 m³/h y velocidad de giro variadas (5, 8, 15 y 20 rpm).

Tabla 6

Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 13 m³/h.

Día	Hora	Caudal (m ³ /h)	RPM	Parámetro	Valor inicial	Valor Final
1	7:00	13	5	DBO ₅	643.8	310.3
				DQO	988	551
				SST	437.3	271.6
				pH	7.92	6.12
	10:00	13	8	DBO ₅	670.3	318.4
				DQO	971	541
				SST	406	249.7
				pH	7.62	5.88
	13:00	13	15	DBO ₅	645.9	304.2
				DQO	974	541
				SST	406	249.7
				pH	7.73	5.94
16:00	13	20	DBO ₅	658.1	308.6	
			DQO	981	536	
			SST	434.8	266.5	
			pH	7.89	6.04	

A continuación, se presenta la tabla 7 con los valores de las características fisicoquímicas del agua residual al ingreso y a la salida del recuperador de fibras con un caudal de 14 m³/h y velocidad de giro variadas (5, 8, 15 y 20 rpm).

Tabla 7

Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 14 m³/h.

Día	Hora	Caudal (m ³ /h)	RPM	Parámetro	Valor inicial	Valor Final
2	7:00	14	5	DBO ₅	693.5	321.8
				DQO	974	527
				SST	371	225.9
				pH	7.91	6.04
	10:00	14	8	DBO ₅	675.7	308.8
				DQO	981	529
				SST	401.5	242.5
				pH	7.78	5.91
	13:00	14	15	DBO ₅	589.2	268.7
				DQO	964	517
				SST	402.5	242.3
				pH	7.65	5.78
16:00	14	20	DBO ₅	677.2	305.4	
			DQO	971	516	
			SST	413.6	246.9	
				pH	7.93	5.96

A continuación, se presenta la Tabla 8 con los valores de las características fisicoquímicas del agua residual al ingreso y a la salida del recuperador de fibras con un caudal de 15 m³/h y velocidad de giro variadas (5, 8, 15 y 20 rpm).

Tabla 8

Características fisicoquímicas de las aguas residuales de la planta papelera al ingreso y a la salida del recuperador de fibras, con un caudal de 15 m³/h.

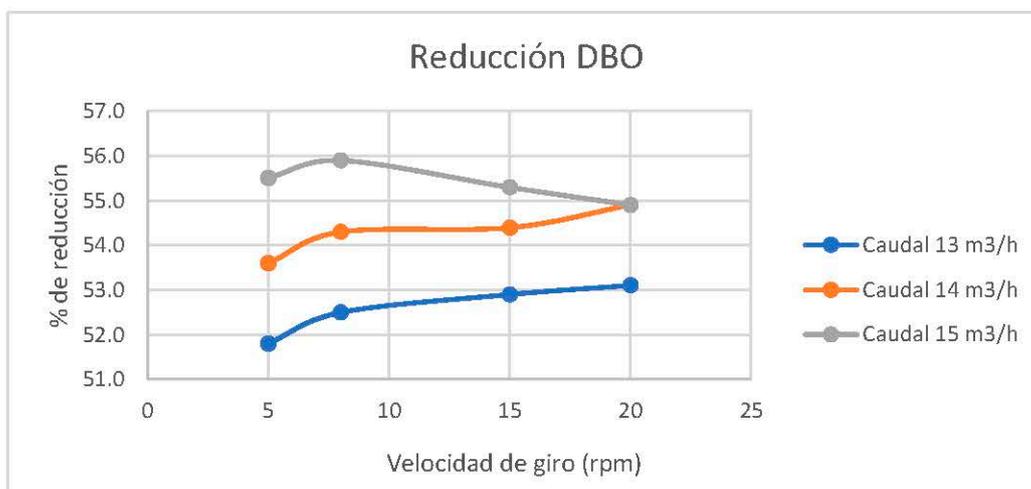
Día	Hora	Caudal (m ³ /h)	RPM	Parámetro	Valor inicial	Valor Final
3	7:00	15	5	DBO ₅	603.7	268.6
				DQO	978	514
				SST	398.4	236.2
				pH	7.95	5.94
	10:00	15	8	DBO ₅	693.4	305.8
				DQO	974	507
				SST	388.5	228.4
				pH	7.86	5.86
	13:00	15	15	DBO ₅	615.6	275.2
				DQO	984	518
				SST	436	257.7
				pH	7.73	5.79
16:00	15	20	DBO ₅	677.2	305.4	
			DQO	968	514	
			SST	386.3	231.1	
				pH	7.99	6.02

En la tabla 9 se muestran los valores DBO₅ iniciales, finales y los porcentajes que representan, además del promedio de disminución.

Tabla 9*Porcentaje de disminución de DBO₅*

Nº de prueba	DBO ₅ inicial	DBO ₅ final	% de disminución
1	643.8	310.3	51.80
2	670.3	318.4	52.50
3	645.9	304.2	52.90
4	658.1	308.6	53.11
5	693.5	321.8	53.60
6	675.7	308.8	54.30
7	589.2	268.7	54.40
8	677.2	305.4	54.90
9	603.7	268.6	55.51
10	693.4	305.8	55.90
11	615.6	275.2	55.30
12	677.2	305.4	54.90
PROMEDIO	653.63	300.10	54.09

De la figura 9 podemos mostrar la reducción de DBO a sus diferentes caudales y velocidades de giro.

Figura 9*Gráfica de reducción del DBO a diferentes caudales y velocidad de giro*

En la tabla 10 se muestran los valores DQO iniciales, finales y los porcentajes que representan, además del promedio de disminución.

Tabla 10

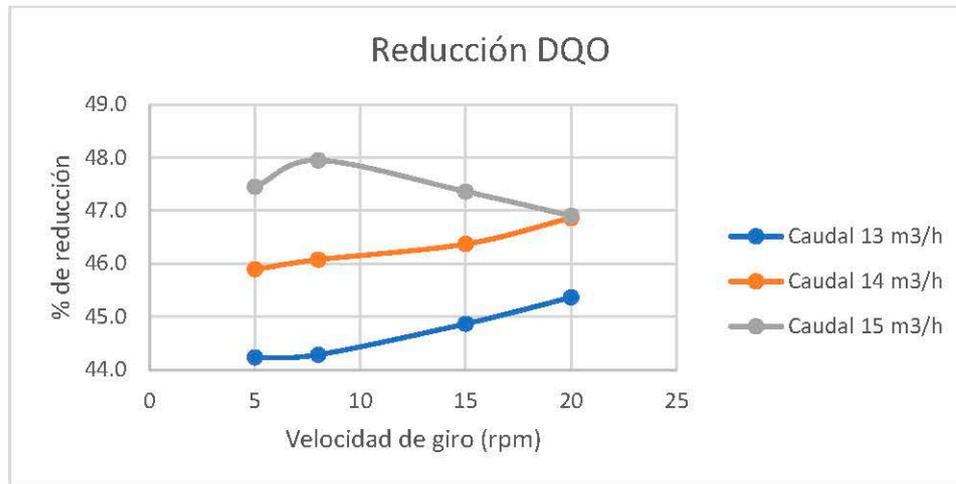
Porcentaje de disminución de DQO

Nº de prueba	DQO inicial	DQO final	% de disminución
1	988	551	44.23
2	971	541	44.28
3	974	537	44.87
4	981	536	45.36
5	974	527	45.89
6	981	529	46.08
7	964	517	46.37
8	971	516	46.86
9	978	514	47.44
10	974	507	47.95
11	984	518	47.36
12	968	514	46.90
PROMEDIO	975.67	525.58	46.13

De la figura 10 que se presenta a continuación podemos mostrar la reducción de DQO a sus diferentes caudales y velocidades de giro.

Figura 10

Gráfica de reducción del DQO a diferentes caudales y velocidad de giro.



En la tabla 11 se muestran los valores SST iniciales, finales y los porcentajes que representan, además del promedio de disminución.

Tabla 11

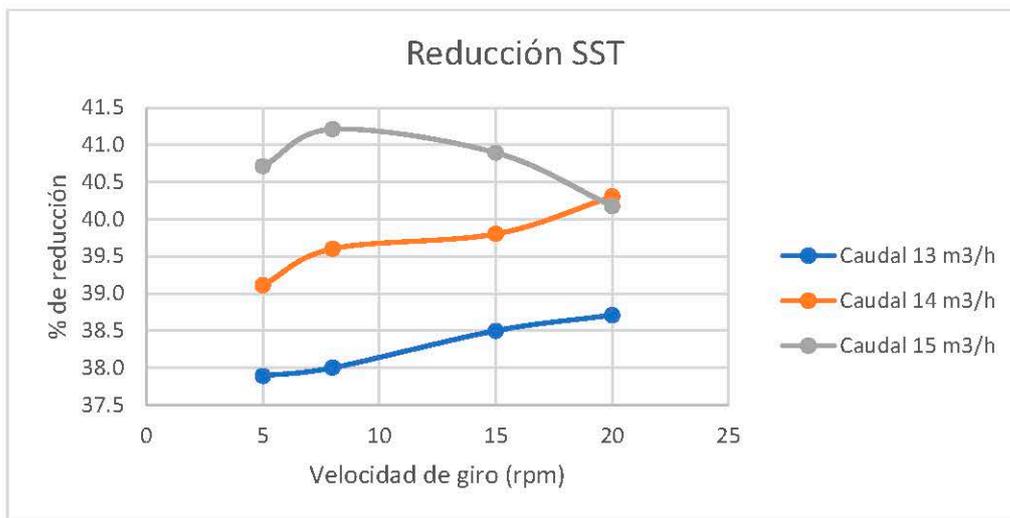
Porcentaje de disminución de SST

Nº de prueba	SST inicial	SST final	% de disminución
1	437.3	271.6	37.89
2	392.9	243.6	38.00
3	406	249.7	38.50
4	434.8	266.5	38.71
5	371	225.9	39.11
6	401.5	242.5	39.60
7	402.5	242.3	39.80
8	413.6	246.9	40.30
9	398.4	236.2	40.71
10	388.5	228.4	41.21
11	436	257.7	40.89
12	386.3	231.1	40.18
PROMEDIO	405.73	245.2	39.58

De la figura 11 que se presenta a continuación podemos mostrar la reducción de SST a sus diferentes caudales y velocidades de giro.

Figura 11

Gráfica de reducción del SST a diferentes caudales y velocidad de giro.



En la tabla 12 se muestran los valores pH iniciales, finales y los porcentajes que representan, además del promedio de disminución.

Tabla 12

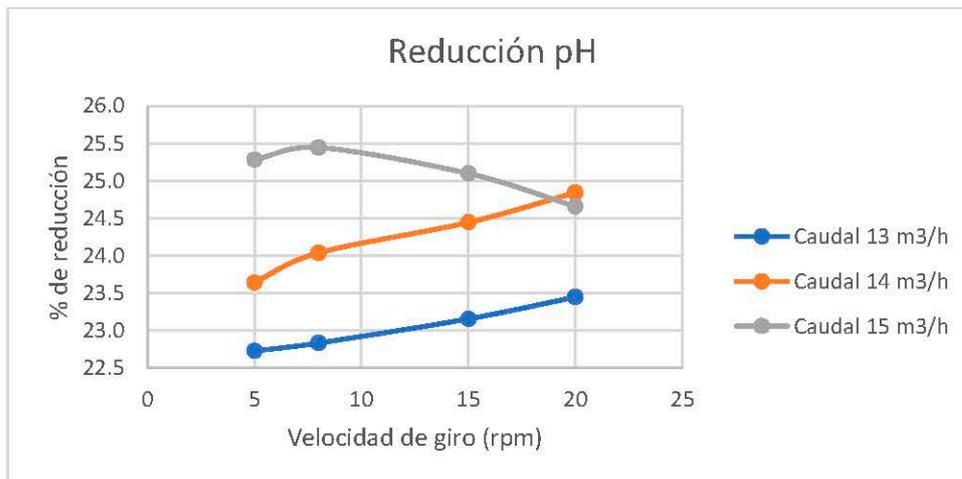
Porcentaje de disminución de pH

Nº de prueba	pH inicial	ph final	% de disminución
1	7.92	6.12	22.73
2	7.62	5.88	22.83
3	7.73	5.94	23.16
4	7.89	6.04	23.45
5	7.91	6.04	23.64
6	7.78	5.91	24.04
7	7.65	5.78	24.44
8	7.93	5.96	24.84
9	7.95	5.94	25.28
10	7.86	5.86	25.45
11	7.73	5.79	25.10
12	7.99	6.02	24.66
PROMEDIO	7.83	5.94	24.13

De la figura 12 que se presenta a continuación podemos mostrar la reducción de pH a sus diferentes caudales y velocidades de giro.

Figura 12

Gráfica de reducción del pH a diferentes caudales y velocidad de giro.



En la tabla 13 representamos la eficiencia del recuperador de fibra, se analizan los caudales de ingreso y cuanto es lo que se obtiene a la salida, y así concluir que la eficiencia es mayor al 70%.

Tabla 13

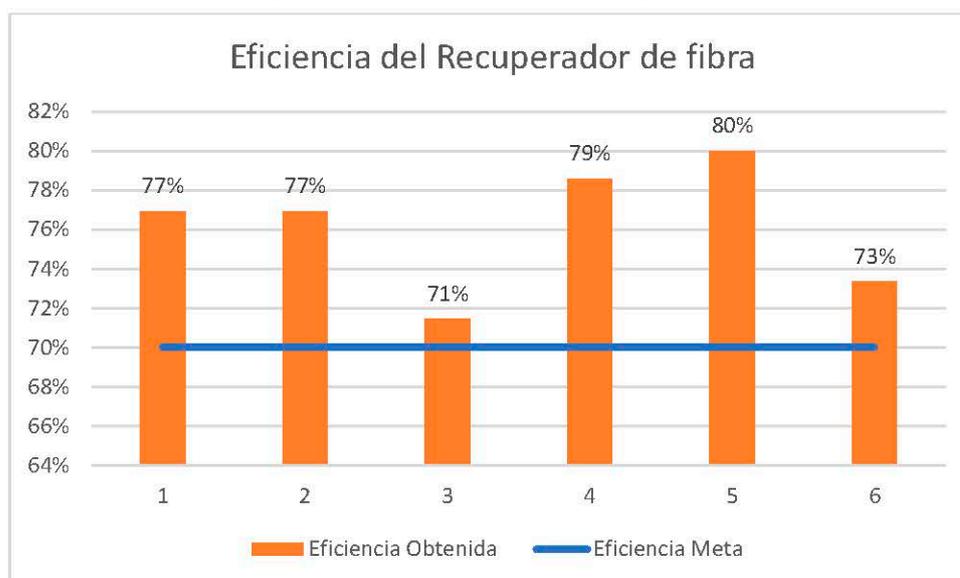
Eficiencia del recuperador de fibras, análisis del ingreso y salida de caudal de agua residual.

Nº de prueba	Caudal inicial (m ³ /h)	Caudal final (m ³ /h)	% de eficiencia
1	13	10	76.92
2	13	10	76.92
3	14	10	71.43
4	14	11	78.57
5	15	12	80.00
6	15	11	73.33

En la siguiente figura 13 presentaremos gráficamente la eficiencia del recuperador de fibra, se observa la eficiencia meta del 70% y la eficiencia obtenida en cada prueba realizada.

Figura 13

Eficiencia del recuperador de fibras en las 6 pruebas diferentes.



5.2 Resultados inferenciales

5.2.1 % Disminución de DBO

La tabla 14 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%, teniendo en cuenta que el valor $p < 0.05$, indicando que existe una influencia de este factor.

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) para el DBO

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor F	Valor P
Entre grupos	16.197649	2	8.09882465	30.645092	9.61757E-05
Dentro de los grupos	2.378502	9	0.26427803		
Total	18.576151	11			

De la tabla 14 vemos que los factores; caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores, tienen un valor de p casi igual a cero ($p=0$), por lo que nos indica que existe una influencia en la disminución de DBO del agua residual de la planta papelera, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

A continuación, presentamos la ecuación que describe la influencia del recuperador de fibras en la disminución de DBO en el agua residual de la planta papelera, dicha ecuación la obtuvimos de la tabla 15

$$y = 33.925001 + 1.41166508x_1 + 0.03368696x_2 \quad (2)$$

Donde:

X_1 = Caudal del agua (m^3/h)

X_2 = Velocidad de giro (rpm)

Y = % de disminución de DBO

Tabla 15

Análisis de regresión múltiple para DBO

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	33.925001	2.44835234	13.8562577
Caudal	1.41166508	0.17336351	8.14280411
Velocidad	0.03368696	0.02409919	1.39784599

En la tabla 16 se muestra el resumen del modelo donde $R^2 = 0.88351$ este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos.

Tabla 16

Resumen del modelo para DBO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.93995163
Coefficiente de determinación R^2	0.88350907
R^2 ajustado	0.85762219
Error típico	0.49034605
Observaciones	12

5.2.2 % Disminución de DQO

La tabla 17 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%, teniendo en cuenta que el valor $p < 0.05$, indicando que existe una influencia de este factor.

Tabla 17*Análisis de varianza (ANOVA) para el DQO*

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor F	Valor P
Entre grupos	15.246948	2	7.623474	39.696678	3.42928E-05
Dentro de los grupos	1.7283881	9	0.192043		
Total	16.975337	11			

De la tabla 17 vemos que los factores; caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores, tienen un valor de p casi igual a cero ($p=0$), por lo que nos indica que existe una influencia en la disminución de DQO del agua residual de la planta papelera.

A continuación, presentamos la ecuación que describe la influencia del recuperador de fibras en la disminución de DQO en el agua residual de la planta papelera, dicha ecuación la obtuvimos de la tabla 18.

$$y = 26.6839097577082 + 1.363188378x_1 + 0.030323874x_2 \quad (3)$$

Donde:

X_1 = Caudal del agua (m^3/h)

X_2 = Velocidad de giro (rpm)

Y = % de disminución de DQO

Tabla 18

Análisis de regresión múltiple para DQO

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	26.68390976	2.188117438	12.19491664
Caudal	1.363188378	0.154936734	8.798354955
Velocidad	0.030323874	0.021537695	1.407944254

En la tabla 19 se muestra el resumen del modelo donde $R^2 = 0.875556259$ este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos.

Tabla 19

Resumen del modelo para DQO

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.947724851
Coefficiente de determinación R^2	0.898182394
R^2 ajustado	0.875556259
Error típico	0.43822726
Observaciones	12

5.2.3 % Disminución de SST

La tabla 20 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%, teniendo en cuenta que el valor $p < 0.05$, indicando que existe una influencia de este factor.

Tabla 20*Análisis de varianza (ANOVA) para el SST*

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor F	Valor P
Entre grupos	12.582436	2	6.2912182	37.331728	4.39218E-05
Dentro de los grupos	1.5166981	9	0.1685220		
Total	14.099134	11			

De la tabla 20 vemos que los factores; caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores, tienen un valor de p casi igual a cero ($p=0$), por lo que nos indica que existe una influencia en la disminución de SST del agua residual de la planta papelera.

A continuación, presentamos la ecuación que describe la influencia del recuperador de fibras en la disminución de SST en el agua residual de la planta papelera, dicha ecuación la obtuvimos de la tabla 21.

$$y = 21.91262263 + 1.237133727x_1 + 0.028591649x_2 \quad (4)$$

Donde:

X_1 = Caudal del agua (m^3/h)

X_2 = Velocidad de giro (rpm)

Y = % de disminución de SST

Tabla 21*Análisis de regresión múltiple para SST*

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	21.91262263	2.04974373	10.69042062
Caudal	1.237133727	0.145138736	8.523801189
Velocidad	0.028591649	0.020175679	1.417134395

En la tabla 22 se muestra el resumen del modelo donde $R^2 = 0.868520852$ este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos.

Tabla 22*Resumen del modelo para SST*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.944683096
Coefficiente de determinación R^2	0.892426152
R^2 ajustado	0.868520852
Error típico	0.410514337
Observaciones	12

5.2.4 % Disminución de pH

La tabla 23 presenta el análisis de varianza (ANOVA) el cual permite conocer la influencia de los factores como caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores sobre la variable respuesta, con una confiabilidad del 95%, teniendo en cuenta que el valor $p < 0.05$, indicando que existe una influencia de este factor.

Tabla 23*Análisis de varianza (ANOVA) para el pH*

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor F	Valor P
Entre grupos	8.92666676	2	4.463333381	31.9392999	8.17318E-05
Dentro de los grupos	1.25769821	9	0.139744246		
Total	10.1843649	11			

De la tabla 23 vemos que los factores; caudal, velocidad de giro y la interacción de estos factores, tienen un valor de p casi igual a cero ($p=0$), por lo que nos indica que existe una influencia en la disminución de pH del agua residual de la planta papelera.

A continuación, presentamos la ecuación que describe la influencia del recuperador de fibras en la disminución de pH en el agua residual de la planta papelera, dicha ecuación la obtuvimos de la tabla 24.

$$y = 9.268356877 + 1.039412835x_1 + 0.026174554x_2 \quad (5)$$

Donde:

X_1 = Caudal del agua (m^3/h)

X_2 = Velocidad de giro (rpm)

Y = % de disminución de pH

Tabla 24*Análisis de regresión múltiple para pH*

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	9.268356877	1.866543885	4.965517796
Caudal	1.039412835	0.132166678	7.864409185
Velocidad	0.026174554	0.018372438	1.424664164

En la tabla 25 se muestra el resumen del modelo donde $R^2 = 0.84906406$ este valor nos indica que hay una precisión aceptable del modelo, para representar los datos.

Tabla 25

Resumen del modelo para pH

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.936219503
Coefficiente de determinación R^2	0.876506958
R^2 ajustado	0.84906406
Error típico	0.373823817
Observaciones	12

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1 *Contratación con la hipótesis general*

La hipótesis general planteada en la investigación es que el tratamiento de las aguas residuales mediante la implementación del recuperador de fibra mejora la calidad del agua residual. En las tablas 5, 6, 7 y 8 presentamos las características fisicoquímicas del agua residual investigadas que son DQO, DBO, SST y pH al ingreso y a la salida del recuperador de fibra, en donde se puede observar una reducción significativa de los valores a la salida del recuperador de fibra. Luego tenemos los resultados obtenidos en las tablas 9, 10, 11 y 12 en donde se presentan los porcentajes de disminución de los 4 parámetros fisicoquímicos. Con los resultados obtenidos se concluye que el recuperador de fibra si logra mejorar la calidad del agua residual en la planta papelera.

6.1.2 *Contratación con la hipótesis específica*

A. Hipótesis específica 1

Los parámetros óptimos del recuperador de fibra mejoran la calidad del agua residual en las plantas papeleras.

Ho: Los parámetros óptimos del recuperador de fibra NO mejoran la calidad del agua residual en las plantas papeleras.

Ha: Los parámetros óptimos del recuperador de fibra mejoran la calidad del agua residual en las plantas papeleras.

Según el análisis de ANOVA se ha obtenido un valor p igual a 0 para el caudal y velocidad de giro del recuperador. Tomando en cuenta que el valor p es menor que 0.05; se rechaza la hipótesis nula (Ho), por consiguiente, los parámetros óptimos del recuperador de fibras mejoran la calidad del agua residual.

B. Hipótesis específica 2

La eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera es mayor al 70%.

Ho: No es posible que la eficiencia del recuperador de fibra sea mayor al 70%.

Ha: Es posible que la eficiencia del recuperador de fibra sea mayor al 70 %.

En la tabla 13 se muestran los caudales medidas al ingreso y a la salida del recuperador de fibra, en donde los resultados de las 6 pruebas realizadas, nos da una recuperación de agua tratada mayor al 75%, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

El tratamiento de agua residual mediante el recuperador de fibra logro mejorar la calidad de agua, la cual queda demostrado en la disminución de DBO, DQO, SST y pH en 54.1%, 46.1%, 39.6% y 24.1% respectivamente.

Estos resultados concuerdan con la investigación de Bernal, L., et al (2017), realizaron análisis a sus aguas residuales las cuales fueron tratadas por medio de filtración por malla y consideraron variar el tamaño de malla, así como el caudal de ingreso del agua en donde concluyeron que luego de estos 2 procesos mejoraba en un 85% el DQO, en 87% el DBO, en 88% los SST. Por lo que podemos decir que el tratamiento de las aguas residuales mediante filtración y acondicionando el caudal de ingreso al equipo, mejora su calidad significativamente., a su vez también se contrasta los resultados con los obtenidos por Sepulveda, J. (2019), en donde trataron agua residuales mediante eliminación de fibra por filtración y concluyeron que obtienen un agua con mejores parámetros como; la disminución del DQO de 60 mg/L a 12 mg/L, los sólidos suspendidos totales (SST) de 22 mg/L a 19.67 mg/L entre otros.

También obtuvimos la eficiencia del recuperador de fibra, la cual es

superior al 75%, analizado a diferentes caudales y velocidades. Los resultados señalados anteriormente se pueden comparar con el estudio realizado por Meza y Malca (2021); en donde trataron el agua residual por medio de filtración similar al del recuperador de fibra y concluyeron que la eficiencia de su equipo es de 70%, y también lograron mejorar el agua residual tratada disminuyendo su DBO de 822 mg/L a 131 mg/L, el DQO de 3085 mg/L a 487 mg/L, también los SST de 963 mg/L a 18.6 mg/L y pH de 8.6 a 7.69.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información que se emitirá como resultado de este proyecto de investigación. Respetando el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado con resolución N°260-2019-CU.

VII. CONCLUSIONES

- La implementación de un recuperador de fibras como tratamiento de agua residual en la planta papelera, presentó una eficiencia en la reducción de los parámetros fisicoquímicos del agua, en el DBO₅ disminuyó en un 54.1%, en el DQO un 46.1%, en los SST en 39.6% y en el pH en un 24.1%, por lo que se concluyó que uso de un recuperador de fibra si mejora la calidad del agua residual.
- Se determinaron los parámetros óptimos con los que trabaja el recuperador de fibra en el tratamiento de agua residual mejorando sus parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, SST y pH). Estos parámetros del recuperador de fibra fueron; caudal de 15 m³/h y velocidad de giro de 8 rpm. Como conclusión tenemos que, al utilizar el recuperador de fibra con sus parámetros óptimos disminuye considerablemente los contaminantes en el agua residual.
- La eficiencia de recuperador de fibra es superior al 75 %; por lo que se concluye que si es posible reutilizar el agua tratada dentro del proceso de fabricación del papel.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar otras alternativas físicas para el tratamiento de agua para que disminuyan los contaminantes y mejore de esta manera el medio ambiente.
- Se recomienda realizar un análisis económico, ya que al reutilizar el agua reduce el costo del consumo de la misma.
- Se recomienda analizar mayores parámetros del agua residual, como los microorganismos y así poder darle mayor utilidad al agua tratada.
- Se recomienda realizar análisis variando el tamaño del tamiz rotatorio y analizar y así mejoraría en mayor porcentaje la calidad del agua residual.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Agua para consumo humano [en línea]. Organización Mundial de la Salud, 21 de marzo de 2022 [fecha de consulta: 15 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#>

[2] MEZA, F. y MALCA, N. Caracterización de aguas residuales en la industria de empaques de cartón. Caso: cartones Villa Marina. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos [en línea]. Junio, 2021. 21(47). [fecha de consulta: 11 de setiembre 2023]. ISSN-L:1561-0888 Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/18840>

[3] Tratamiento de aguas en la industria papelera [en línea]. Equipo Flowen, 24 de agosto de 2022 [fecha de consulta: 13 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://flowen.com.pe/tratamiento-de-aguas-en-la-industria-papelera/>

[4] SEPÚLVEDA, J. Diseño del tratamiento de las aguas residuales de una industria textil (70m³/d) para la eliminación de fibras y reutilización del agua. (Trabajo de fin de grado en Ingeniería Química). España: Universidad Politécnica de Valencia, 2019. [fecha de consulta: 14 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/125645/Sepúlveda%20Pareja%20-%20Diseño%20del%20tratamiento%20de%20las%20aguas%20residuales%20de%20una%20industria%20textil%20%2870%20m3/d%29%20para%20la%20eliminación%20de%20fibras%20y%20reutilización%20del%20agua.pdf?sequence=1>

[5] HEREDIA, N. Diseño de un sistema recuperador de fibra celulósica a partir de corrientes residuales provenientes de una planta recicladora de papel.

(Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero químico). Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2016. [fecha de consulta: 12 de setiembre de 2023]. Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16899/1/CD-7478.pdf>

[6] CHAVEZ, I. Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. Revista Dominio de las Ciencias [en línea]. Marzo, 2017. 3 (1). [fecha de consulta: 15 de setiembre de 2023]. ISSN: 2477-8818. Disponibles en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6134928>

[7] BERNAL, L., et al. Tratamiento de agua residual municipal por un sistema fisicoquímico y oxidación química en flujo continuo. Revista Avances en Ciencias e Ingeniería [en línea]. Chile, 2017. 2 (2). 69-81 pp. [fecha de consulta: 7 de setiembre de 2023]. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627682007.pdf>

[8] MEZA, F. y MALCA, N. Caracterización de aguas residuales en la industria de empaques de cartón. Caso: cartones Villa Marina. Artículo de la revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos [en línea]. Junio, 2021. 21(47). [fecha de consulta: 11 de setiembre 2023]. ISSN-L:1561-0888 Disponible en:

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/18840>

[9] MELÉNDEZ, F., et al. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de regadío. Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea]. Julio, 2022. 88 (1). [fecha de consulta: 11 de setiembre 2023]. Disponible en:

<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v88n1/1810-634X-rsqp-88-01-52.pdf>

[10] LIZANA, P. Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra. Tesis (Título de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Piura: Universidad de Piura, 2018. [fecha de consulta: 11 de setiembre de 2023]. Disponible en:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[11] BRAVO DE RUEDA, A. Proyecto para la recuperación de fibra celulósica para fabricación de papel desde lodos de efluente. Perú: Innóvate, 2021. [fecha de consulta: 04 de setiembre de 2023]. Disponible en:

<https://www.proinnovate.gob.pe/32-innovate-peru>

[12] CAMPOVERDE, O. Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados. (Tesis para título de ingeniero industrial y de sistemas). Piura: Universidad de Piura, 2019. [fecha de consulta: 11 de setiembre de 2023]. Disponible en:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4397/ING_635.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[13] ESPIGARES, M. y PÉREZ, J. Aguas Residuales. Composición [en línea]. Granada: Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, 1995. 22 pp [fecha de consulta: 13 de setiembre de 2023]. Disponible en:

https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

[14] Aguas residuales: El recurso desaprovechado [en línea]. Organización de las naciones unidad. 2017. [fecha de consulta: 09 de setiembre de 2023]. ISSN 9789- 3058. Disponible en:

[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1_15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1_15.247647s.pdf)

[15] DE LOS SANTOS W. Eliminación de Lignina en agua residual de la industria papelera por ozono. Tesis (Magister en Ciencias en Ingeniería

química). México: Instituto Politécnico Nacional, 2007, 30 pp. [fecha de consulta: 12 de setiembre de 2023]. Disponible en: https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/1001/2520_2007_ESIQIE_MAESTRIA_delossantos_ramos_williamns.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[16] DQO y DBO. [en línea]. Hanna instrument. 2016 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2023]. Disponible en: https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2016/05/Hanna_Instruments._DQO_y_DBO.pdf

[17] VARGAS, O. Demanda Bioquímica de Oxígeno. 2017 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/37898219/DEMANDA_BIOQUIMICA_DE_OXIGENO

[18] Determinación de sólidos totales, en suspensión y disueltos en agua. [en línea]. 2016 [fecha de consulta: 01 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.whitman.edu/chemistry/edusolns_software/deSolidosTotales.pdf

[19] NUNO DE COIMBRA R. Tratamiento térmico de lodos de la industria papelera. Utilización de subproductos para la adsorción de contaminantes emergentes del agua. Tesis (Doctorado en ciencias del medio ambiente). España: Universidad de León, 2016, 13 pp. [fecha de consulta: 15 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/6912/Tesis%20de%20Ricardo%20Nuno%20de%20Coimbra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[20] Tratamiento para aguas residuales de la industria papelera. [en línea]. Telwesa, 09 de febrero de 2022 [fecha de consulta: 13 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://telwesa.com/tratamiento-aguas-residuales-industria-papelera/>

[21] CORREA, C. Y RODRÍGUEZ, O. Diseño de proceso en la recuperación de material sobrante en el proceso de papel. Tesis (título de

ingeniero mecánico). Colombia: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1996, 23 pp. [fecha de consulta: 23 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2196/T0000481.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[22] Tamiz Rotatorio. [en línea]. Gedar, 12 de abril de 2021 [fecha de consulta: 20 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>

[23] GUARNEROS, R.; et al. Filtración al vacío. [en línea]. Universidad Politécnica Tlaxcala, 12 de febrero, 2014, 12 pp. [fecha de consulta: 21 de setiembre de 2023]. Disponible en: https://www.academia.edu/6063822/Filtraci%C3%B3n_al_vac%C3%ADo

[24] Marpa. Filtración al vacío: conoce este proceso de purificación en la industria. [en línea]. 07 de noviembre de 2022 [fecha de consulta: 15 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://marpavacuum.com/filtracion-al-vacio-que-es/>

[25] Normas legales. [en línea]. El Peruano. 11 de marzo del 2019. 21-27 pp. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1748339-3>

[26] Fiscalización ambiental en aguas residuales. [en línea]. Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. [fecha de consulta: 15 de setiembre de 2023]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

[27] CÉSPEDES, G.; Control de los procesos de clarificación y tratamiento biológico en la industria del papel tissue. Tesis (Título profesional de ingeniero industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, 2016, 29 pp. [fecha de consulta: 7 de setiembre de 2023]. Disponible en: https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10752/T055_1756245_2_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [28]** NOROUZIAN, M.; Demanda Bioquímica de oxígeno: conceptos y metodología. [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2009, 3 pp. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/difusion/CongresoSMBB/SMBB/Libros/D-22.pdf>
- [29]** GARCÍA, J.; et al. Demanda química de oxígeno de muestras acuosas. [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2008, vol1, 12 pp. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/127/2/Libro%20DQO%202008.pdf
- [30]** Sistema de Información del Medio Ambiente. Sólidos totales en suspensión (SST). Bogotá D.C.: Laboratorio de Calidad Ambiental, 2007. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_sus_pension.pdf
- [31]** Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas. [en línea]. EPS uno SA. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://www.emsapuno.com.pe/downloads/vma/Resumen-de-Normatividad-VMA.pdf>
- [32]** Tratamiento y reuso de aguas residuales. [en línea]. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39054>
- [33]** PRENAFETA, M.; Definición y evaluación de parámetros críticos de proceso en la etapa de revisión de la línea productiva de ampollas abiertas. Tesis (título de ingeniero civil químico) Chile: Universidad de Chile, 2022, 8 pp. [fecha de consulta: 23 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/185794/Definicion-y-evaluacion-de-parametros-criticos-de-proceso-en-la-etapa-de-revision.pdf?sequence=1>

[34] CEVALLOS, F.; PINOS, F.; Proyecto Técnico con Enfoque Investigativo: “Estimación de Eficiencia en máquinas de inducción de ambientes industriales”. Tesis (Título de ingeniero eléctrico). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, 2019, 25 pp. [fecha de consulta: 23 de setiembre de 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17214/1/UPS-CT008219.pdf>

[35] HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M. Metodología de la Investigación. 6.a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2014. 600 pp. ISBN: 978-1-4562-2396-

X. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS PLANTAS PAPELERAS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN RECUPERADOR DE FIBRAS

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	MÉTODO
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable dependiente			
¿Cuál es la calidad del agua residual de la planta papelera luego de su tratamiento mediante la implementación de un recuperador de fibra?	Determinar la calidad óptima del agua residual de la planta papelera luego de su tratamiento mediante la implementación de un recuperador de fibra.	El tratamiento de las aguas residuales mediante la implementación del recuperador de fibra mejora la calidad del agua residual.	Y ₁ : Calidad de aguas residuales.	-DQO -DBO -SST -pH	mg/L mg/L mg/L adimensional	Instrumental
Problemas específicos	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variable independiente	Dimensión	Indicadores	Método
¿Cuáles son los parámetros óptimos que debe tener el recuperador de fibra para mejorar la calidad del agua residual?	Determinar los parámetros óptimos que debe tener el recuperador de fibra para mejorar la calidad del agua residual.	Los parámetros óptimos del recuperador de fibra mejoran la calidad de agua residual en las plantas papeleras.	X ₁ : Parámetros del recuperador de fibra.	- Velocidad de giro -Caudal de ingreso del agua	-rpm -m ³ /h	-Observacional
¿Cuál es la eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera?	Determinar la eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera.	La eficiencia del recuperador de fibra al tratar el agua residual de la planta papelera es mayor al 70%.	X ₂ : Eficiencia del recuperador de fibra.	-Caudal de ingreso y caudal de salida del agua	% Obtención del caudal de salida con respecto al caudal de entrada.	Cálculo

Anexo 2. Informe de análisis de agua



INFORME DE ENSAYO N° 23263

Cliente	EINAR NILO DIAZ CABRERA / CYNTIA ERIKA ASMAD MONTESINOS
Dirección del proyecto	San Juan de Lurigancho
Solicitado por	EINAR NILO DIAZ CABRERA / CYNTIA ERIKA ASMAD MONTESINOS
Referencia	Plan de Monitoreo N° 0276-23
Matriz	Agua Residual Industrial
Nombre del proyecto	Tratamiento de agua residual de Planta Papelera mediante la Implementación de un Recuperar de Fibra
Monitoreo realizado por	Cliente
Procedencia de la muestra	San Juan de Lurigancho
Cantidad de muestra	01
Fecha inicio de la toma de muestra	11/10/2023
Fecha final de la toma de muestra	13/10/2023
Estación / Ubicación de la toma de muestra	- PMA-1 - PMD2
Procedimiento y plan de la toma de muestra	-NC-PT-004 "Toma de Muestra y Transporte de items de ensayo" -NC-IT-043 "Toma de muestras de Agua"
Fecha de recepción de la muestra	14/10/2023
Fecha de inicio de los ensayos	14/10/2023
Fecha de fin de los ensayos	19/10/2023

INFORME DE ENSAYO N° 23263

I. Resultados

Código de Laboratorio			23263-1.1	23263-1.2	23263-1.3	23263-1.4	23263-1.5
Identificación			PMA1	PMA1	PMA1	PMA1	PMA1
Fecha y hora de muestreo			11/10/2023 07:05 h.	11/10/2023 10:02 h.	11/10/2023 13:00 h.	11/10/2023 16:04 h.	12/10/2023 07:10 h.
Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Parámetro de Campo							
pH	N.A	upH	6.12	6.24	6.21	6.27	6.12
Análisis Físicoquímicos							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.9	mg/L	443.8	470.3	445.9	458.1	393.5
Demanda Química de Oxígeno	2	mg/L	888	871	874	881	874
Sólidos Suspendidos totales	0.9	mg/L	337.3	292.9	306.0	334.8	271.0

LD: Límite de Detección
N.A: No Aplica

Código de Laboratorio			23263-1.6	23263-1.7	23263-1.8	23263-1.9	23263-1.10
Identificación			PMA1	PMA1	PMA1	PMA1	PMA1
Fecha y hora de muestreo			12/10/2023 10:08 h.	12/10/2023 13:04 h.	12/10/2023 16:00 h.	13/10/2023 07:05 h.	13/10/2023 10:02 h.
Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Parámetro de Campo							
pH	N.A	upH	6.10	6.09	6.14	5.86	5.94
Análisis Físicoquímicos							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.9	mg/L	475.7	389.0	409.4	403.7	463.4
Demanda Química de Oxígeno	2	mg/L	881	864	871	878	874
Sólidos Suspendidos totales	0.9	mg/L	299.5	302.5	313.6	298.4	288.5

LD: Límite de Detección
N.A: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N° 23263

Código de Laboratorio			23263-1.11	23263-1.12	23263-2.1	23263-2.2	23263-2.3
Identificación			PMA1	PMA1	PMD2	PMD2	PMD2
Fecha y hora de muestreo			13/10/2023 13:03 h.	13/10/2023 16:05 h.	11/10/2023 07:10 h.	11/10/2023 10:06 h.	12/10/2023 13:05 h.
Parámetro	L.D	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Parámetro de Campo							
pH	N.A	upH	5.83	5.91	6.32	6.32	6.33
Análisis Físicoquímicos							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.9	mg/L	415.6	477.2	398.0	372.8	353.3
Demanda Química de Oxígeno	2	mg/L	884	868	751	731	721
Sólidos Suspendidos totales	0.9	mg/L	336.0	286.3	292.9	277.8	288.4

L.D: Límite de Detección
N.A: No Aplica

Código de Laboratorio			23263-2.4	23263-2.5	23263-2.6	23263-2.7	23263-2.8
Identificación			PMD2	PMD2	PMD2	PMD2	PMD2
Fecha y hora de muestreo			11/10/2023 16:12 h.	12/10/2023 07:17 h.	12/10/2023 10:16 h.	12/10/2023 13:11 h.	12/10/2023 16:07 h.
Parámetro	L.D	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Parámetro de Campo							
pH	N.A	upH	6.39	6.21	6.18	6.15	6.17
Análisis Físicoquímicos							
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.9	mg/L	332.6	370.1	407.3	357.3	380.1
Demanda Química de Oxígeno	2	mg/L	708	771	754	744	731
Sólidos Suspendidos totales	0.9	mg/L	219.4	262.1	301.7	245.6	219.3

L.D: Límite de Detección
N.A: No Aplica

Código de Laboratorio			23263-2.9	23263-2.10	23263-2.11	23263-2.12
Identificación			PMD2	PMD2	PMD2	PMD2
Fecha y hora de muestreo			13/10/2023 07:13 h.	13/10/2023 10:09 h.	13/10/2023 13:12 h.	13/10/2023 16:14 h.
Parámetro	L.D	Unidad	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Parámetro de Campo						
pH	N.A	upH	5.95	6.02	5.93	5.99
Análisis Físicoquímicos						
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.9	mg/L	334.9	360.9	317.0	387.5
Demanda Química de Oxígeno	2	mg/L	698	681	704	718
Sólidos Suspendidos totales	0.9	mg/L	237.2	238.4	267.6	278.1

L.D: Límite de Detección
N.A: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N° 23263

II. Estación de Monitoreo

Estación	Información de Estación de Monitoreo	
	Ubicación Geográfica	Descripción de Estación
PMA1	-----	Caudal: 13 m3/h 5pm
PMA1	-----	Caudal: 13 m3/h 8pm
PMA1	-----	Caudal: 13 m3/h 15pm
PMA1	-----	Caudal: 13 m3/h 20pm
PMA1	-----	Caudal: 14 m3/h 5pm
PMA1	-----	Caudal: 14 m3/h 8pm
PMA1	-----	Caudal: 14 m3/h 15pm
PMA1	-----	Caudal: 14 m3/h 20pm
PMA1	-----	Caudal: 15 m3/h 5pm
PMA1	-----	Caudal: 15 m3/h 8pm
PMA1	-----	Caudal: 15 m3/h 15pm
PMA1	-----	Caudal: 15 m3/h 20pm
PMD2	-----	Caudal: 13 m3/h 5pm
PMD2	-----	Caudal: 13 m3/h 8pm
PMD2	-----	Caudal: 13 m3/h 15pm
PMD2	-----	Caudal: 13 m3/h 20pm
PMD2	-----	Caudal: 14 m3/h 5pm
PMD2	-----	Caudal: 14 m3/h 8pm
PMD2	-----	Caudal: 14 m3/h 15pm
PMD2	-----	Caudal: 14 m3/h 20pm
PMD2	-----	Caudal: 15 m3/h 5pm
PMD2	-----	Caudal: 15 m3/h 8pm
PMD2	-----	Caudal: 15 m3/h 15pm
PMD2	-----	Caudal: 15 m3/h 20pm

Fecha de emisión de informe: 21/10/2023

INFORME DE ENSAYO N° 23263

III. Método de ensayo

Métodos de Ensayo Empleados			
Tipo de Ensayo	Método de Referencia	Año	Titulo
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+-B 23rd Ed.	2017	pH Value: Electrometric Method
Solidos Totales en Suspensión SST	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D; 23rd. Ed.	2017	Total Suspended Solids dried at 103-105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part - 5210 B 23rd Ed.	2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD)
Demanda Química de Oxígeno DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D.23rd Ed.	2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric