



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POST GRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL



**APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS
LIMPIA PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO
DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL**

TESIS

PRESENTADA POR:

MARÍA RODRÍGUEZ MELO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAGÍSTER SCIENTIAE EN
TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**



PUNO - PERÚ

2011

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO • PUNO
BIBLIOTECA CENTRAL AREA DE TESIS
Fecha ingreso: 12 AGOST. 2014
Nº 0483



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POST GRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

**APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS
LIMPIA PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE
TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA
TEXTIL**

TESIS

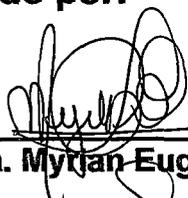
PRESENTADO POR:

MARÍA RODRÍGUEZ MELO

**Para optar el grado académico de
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL**

Aprobado por el Jurado conformado por:

Presidente de Jurado

: 
Dra. Myrtan Eugenia Pacheco Tanaka

Primer Miembro

: 
M.Sc. Ing. Gregorio Palomino Cuela

Segundo Miembro

: 
M.Sc. Ing. Pedro Edwin Gallegos Pasco

Asesor de Tesis

: 
M. Sc. Ing. Newton Machaca Cusilayme

**PUNO PERU
2011**

DEDICATORIA

A "DIOS"

**A Krisxia, mi tesorito que me ilumina,
fortalece y alienta para alcanzar mis
ideales.**

**A mis padres (†), hermanos por la
vida de familia que me sirve para
adquirir valores y criterios.**

**A José, Lis y Joel apoyándome
incondicionalmente**

AGRADECIMIENTOS

- ❖ **A la Facultad de Geología y Metalurgia, de la Universidad Nacional del Altiplano, donde recibí la formación de la maestría, que fortaleció mi profesión.**

- ❖ **Mi reconocimiento al jurado, por sus acertadas observaciones y las sugerencias para el desarrollo y culminación del presente trabajo.**

- ❖ **A la empresa colaboradora por aceptar la propuesta para la realización del trabajo de investigación.**

- ❖ **Con gratitud a aquellas personas que me apoyaron en el desarrollo técnico y de laboratorio.**

A todos ellos muchas gracias.

APLICACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA PROPONER ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA TEXTIL

INDICE

	Pág.
Agradecimiento	
Índice de contenido	
Índice de Cuadros	
Índice de Figuras	
Índice de Tablas	
Índice de Anexos	
Resumen.....	1
Introducción.....	5
CAPITULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.1. Descripción del Problema.....	7
1.2. Formulación del Problema.....	9
1.3. Justificación de la Investigación.....	10
1.3.1. Justificación Técnica.....	10
1.3.2. Justificación Económica.....	11
1.3.3. Justificación Social.....	11
1.3.4. Justificación Legal.....	12
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo General.....	13
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO E HIPÓTESIS.....	14
2.1. Marco Referencial.....	14
2.1.1. Antecedentes de la Investigación.....	16
2.2. Marco Conceptual.....	20
2.3. Marco Teórico de la Variable Independiente: Alternativas de Tratamiento que utilicen tecnologías Limpias.....	24
2.3.1. Coagulación – Flocculación.....	25
2.3.2. Electrocoagulación.....	27
2.3.2.1. Proceso Electroquímico.....	28
2.3.2.2. Proceso de Coagulación – Flocculación.....	31
2.3.2.3. Proceso de Flotación.....	34
2.3.3. Fangos activos.....	36
2.3.3.1. Parámetros de Control.....	37
2.3.4. Adsorción con Carbón activado.....	43
2.3.5. Micro filtración.....	48
2.4. Marco Teórico de la Variable Dependiente: Programa de Producción más limpia al recurso agua.....	49

2.4.1.	Origen de los vertidos y Procesos productivos.....	50
2.4.2.	Proceso Productivo de la Empresa colaboradora.....	54
2.4.3.	Características de los vertidos.....	63
2.4.4.	Medidas generales de Producción más limpia para optimizar el uso de agua.....	64
2.4.4.1.	Cálculo de las descargas de aguas residuales.....	66
2.4.4.2.	Medidas generales para optimizar el uso de agua y reducir la contaminación.....	68
2.5.	Hipótesis.....	69
2.5.1.	Hipótesis General.....	69
2.5.2.	Hipótesis Específicas.....	69
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		70
3.1.	Para la aplicación del Programa de Producción más limpia.....	70
3.2.	Para la aplicación de alternativas del tratamiento de efluentes y/o vertidos.....	78
3.2.1.	Métodos de la Investigación.....	78
3.2.2.	Equipamiento utilizado para cada tratamiento.....	79
3.2.2.1.	Ensayo de Coagulación y Floculación.....	79
3.2.2.2.	Ensayo de Electrocoagulación y flotación.....	81
3.2.2.3.	Ensayo de Tratamiento Biológico.....	83
3.2.2.4.	Ensayo de Carbón activado granular.....	85
3.2.2.5.	Ensayo de Microfiltración.....	87
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES		89
4.1.	Exposición de los resultados a la aplicación del Programa de Producción Limpia para el recurso agua.....	89
4.1.1.	Estudio detallado de las etapas que utilizan el recurso agua de la empresa colaboradora.....	89
4.1.1.1.	Uso Doméstico.....	90
4.1.1.2.	Uso Industrial.....	90
4.1.2.	Evaluación por etapa crítica.....	94
4.1.2.1.	Vaporizado.....	94
4.1.2.2.	Teñido.....	95
4.1.2.3.	Secado.....	97
4.1.2.4.	Sistema de Generación de Vapor.....	97
4.1.2.5.	Sistema de Climatización.....	99
4.1.2.6.	Recuperación del Condensado.....	100
4.1.2.7.	Baños y duchas.....	100
4.1.3.	Cuantificación del Impacto Ambiental y Productivo.....	101
4.1.3.1.	Cuantificación del Impacto Ambiental.....	101
4.1.3.2.	Cuantificación del Impacto Productivo.....	102
4.1.4.	Plan de acción de Medidas de Producción más limpia.....	103
4.1.4.1.	Programa General de Ahorro.....	104

4.1.4.2. Medidas específicas de PML por etapa crítica.....	05
4.1.5. Programa General para el tratamiento del agua residual de la empresa colaboradora.....	111
4.2. Exposición de los resultados de la Aplicación de Tecnologías Limpias en los efluentes de la empresa colaboradora.....	111
4.2.1. Coagulación y Floculación.....	113
4.2.2. Electrocoagulación y flotación.....	114
4.2.3. Tratamiento Biológico.....	115
4.2.3.1. Fango activado.....	115
4.2.3.2. Fango activado + coagulación floculación.....	117
4.2.3.3. Fango activado + coagulación floculación + carbón activado granular.....	118
4.2.3.4. Fango activado + micro filtración.....	119
4.2.4. Estudio Comparativo de las alternativas.....	120
CONCLUSIONES.....	123
Conclusiones con respecto a la implementación de un Programa de Producción más limpia.....	123
Conclusiones con respecto a las Alternativas de efluentes de la Empresa colaboradora.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
BIBLIOGRAFIA.....	127
ANEXOS.....	133
 ÍNDICE DE CUADROS	
Cuadro 1: Relación de sustancias coagulantes y floculantes de uso habitual.....	25
Cuadro 2: Clasificación del carbón en base a su naturaleza y aplicación del mismo.....	45
Cuadro 3: Materiales de entrada y salida en la operación de teñido.....	95
Cuadro 4: Medidas preventivas para la operación de vaporizado.....	105
Cuadro 5: Medidas preventivas para la operación de vaporizado por Consumo alto de agua.....	106
Cuadro 6: Medidas preventivas para la operación de teñido.....	107
Cuadro 7: Medidas preventivas para la fuga del autoclave.....	107
Cuadro 8: Medidas preventivas para la administración.....	108
Cuadro 9: Medidas preventivas para la generación de vapor.....	108
Cuadro10: Medidas preventivas para el sistema de climatización.....	109
Cuadro 11: Medidas para el desempeño del sistema de climatización....	109
Cuadro 12: Medidas preventivas para la recuperación del condensado..	110
Cuadro 13: Medidas preventivas para Baños y Duchas.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama esquemático de una celda de electrocoagulación De dos electrodos.....	36
Figura 2: Esquema del Proceso productivo de la empresa colaboradora..	62
Figura 3: Esquema de la secuencia de alternativas de tratamiento de la Empresa colaboradora.....	78
Figura 4: Aparatos utilizados para la prueba de coagulación y Floculación.....	80
Figura 5: Equipos utilizados para la prueba de electrocoagulación.....	82
Figura 6: Equipos utilizados para las pruebas de fango activado.....	84
Figura 7: Equipo utilizado en las pruebas de adsorción con CAG.....	86
Figura 8: Instrumentos de laboratorio utilizaos en la prueba de Micro filtración.....	87
Figura 9: Resultados del ensayo de adsorción realizado sobre el efluente precedido del tratamiento de coagulación y floculación.....	117
Figura 10: Esquema comparativo de la secuencia de alternativas de La empresa colaboradora.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo de agua domestico	90
Tabla 2: Consumo de agua de la apertura.....	91
Tabla 3: Balance de materia del Leviatan.....	91
Tabla 4: Consumo de agua sección teñido.....	93
Tabla 5: Actividades que consumen agua y generan efluentes.....	93
Tabla 6: Resultados de los parámetros obtenidos en el teñido.....	96
Tabla 7: Resultado de los parámetros de la calidad de agua a la entrada y a la salida del caldero.....	98
Tabla 8: Resultados de la cuantificación del impacto ambiental en cada Etapa estudiada.....	101
Tabla 9: Resultados de la cuantificación del Impacto productivo en cada Etapa estudiada.....	102
Tabla 10: Características del vertido final de la Industria colaboradora...	112
Tabla 11: Resultados de las pruebas de coagulación y floculación del efluente final.....	113
Tabla 12: Resultados de las pruebas de electrocoagulación y flotación Del efluente final.....	114
Tabla 13: Resultados de las pruebas de Fango Activado del efluente Final.....	116
Tabla 14: Resultados de las pruebas de coagulación y floculación del Efluente procedente de un fango activado de un tratamiento biológico...	117
Tabla 15: Resultados de las pruebas de coagulación y floculación del Efluente procedente de un fango activado con otra cantidad de floculante	118

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Proceso de Obtención del Coagulante.....	133
Anexo B: Estándares Nacionales.....	135
Anexo C: Parámetros de funcionamiento de Equipo de Fango activado	137
Anexo D: Control y Análisis.....	138
Anexo E: Galería de Fotos.....	139

RESUMEN

La actividad TEXTIL genera efluentes líquidos con variabilidad de caudal, un alto contenido de DQO, DBO₅, SST, y fuerte coloración, debiendo ser tratados para su disposición al ambiente, en cumplimiento a la normatividad ambiental.

El trabajo ejecuta un Programa de producción más limpia en la empresa colaboradora, orientada a la aplicación de alternativas tecnológicas como: coagulación – floculación; electrocoagulación - flotación; y tratamiento biológico en dos líneas: 1. fango activado-coagulación floculación - carbón activado granular; 2. Fango activado-micro filtración para el tratamiento de efluente final, cada una de estas alternativas químicas y biológicas reducen el contenido de contaminantes con un efluente de características aceptables para su vertido

Para el desarrollo del programa se sigue una secuencia de pasos basados en el Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales de la ONUDI – PNUMA. (1994) y con la finalidad de proporcionar solución al vertido de la empresa colaboradora, se realizan y se detallan pruebas de laboratorio de carácter experimental con determinaciones fisicoquímicas tanto del efluente a tratar como del efluente tratado según el método APHA/AWWA/WPCF (1998), determinaciones de pruebas de control para cada proceso seleccionado como alternativa, esto viene como consecuencia de la identificación y evaluación de los contaminantes generados.

Los resultados del programa proponen acciones generales de minimizar, reciclar y reutilizar el agua, valorándolo como fuente subterránea cuya extracción se controle con bombas, operación y mantenimiento.

Se debe considerar en las etapas críticas: Vaporizado, tanque de alimentación, registro de consumo de agua; para el Teñido, medidor, registró de agua y de

consumo de productos químicos; para el Autoclave, instalación de una trampa termodinámica; en Administración capacitación y concientización del personal.

En base a las alternativas de tratamiento y los ensayos de verificación realizada se determinó que los parámetros de mayor incidencia son DQO, pH, μ , color y el volumen de sedimentación para Coagulación y Floculación; el tiempo de retención, DQO. DQO_s, SST, así como las placas de los electrodos para la electrocoagulación –flotación; el DQO. DBO₅, μ , color, lodos, para el tratamiento biológico.

Se concluye que el creciente grado de exigencia relativo a los parámetros de impacto medioambiental hace que hoy día no sea suficiente instalar cualquier sistema de tratamiento que depure de manera eficiente los vertidos. Cualquier programa de desarrollo en esta área ha de tener siempre presente el concepto de tecnología limpia. Las alternativas seleccionadas ha permitido evaluar la DQO: etapa de Coagulación y Floculación con Al₂ (SO₄)₃ el rendimiento para DQO al 75%, valor aceptable para un vertido por su claridad, pero formación de lodos; Electrocoagulación y Flotación DQO al 70% y DQO_s al 64%, no se introduce mejora en el vertido; Fango activado-coagulación floculación-carbón granular su DQO es al 85%; Fango activado-micro filtración disminuye a 45 mg/l. Desde el punto de vista de reciclaje la secuencia más adecuada es el tratamiento Biológico.

Los resultados obtenidos para el Programa de PML, están enmarcados con la normatividad, y los resultados de las alternativas planteadas encajan con los datos de Crespi N y Huertas J.A. 1985, Juhen J. 1993 y Crespi M, 1998.

Palabras clave: Tecnologías limpias, DQO Demanda química de oxígeno, efluente, tratamiento, vertido.

ABSTRACT

The textile industry generates liquid effluent with a flow variability, a High content of COD, BOD₅, TSS, and strong color and should be treated for available to the environment, pursuant to environmental regulations. The research runs a cleaner Production Program in the Company collaborative, oriented to the application alternatives such as: coagulation –flocculation electrocoagulation – flotation, and biological treatment in two lines: 1. activated sludge flocculation-coagulation - granular activated carbon, 2. Mud active micro-filtration for final effluent treatment, each these chemical and biological alternatives reduce the pollutants with a content effluent of acceptable characteristics for disposal. In order the program continues a sequence of steps based on Audit and Reduction Manual for Industrial Waste Emissions and the UNIDO – UNEP (1994) and in order provide the solution to the dumping of partner company, are performed and detailed laboratory tests experimental character determinations physicochemical both the effluent to be treated and the effluent treated according to the method APHA / AWWA / WPCF 1998), determinations control tests for each process selected as an alternative, it is as a result of the identification and assessment of pollutants generated. The results of the program proposed general actions to minimize, recycle and reuse water, evaluating it as underground source whose extraction bomb control , operation and maintenance. Should be considered in the critical stages Vaporized feed tank, record water consumption for Dyeing, meter, and water recorded chemical consumption, for Autoclave, installation of a Thermodynamic Management trap in and awareness personal.

Based on treatment options and verification tests were conducted found that more parameters incidence are COD, pH, μ , color and Coagulation sedimentation volume and Flocculation, the retention time COD. COD_s, TSS, and the boards electrodes for electrocoagulation - flotation, the COD. BOD₅, μ , color, sludge, for biological treatment.

We conclude that the increasing level of requirement on the environmental parameters makes impact today is not sufficient to install any treatment system that purifies efficiently the discharge. Any development program in this area has to keep in mind the concept of clean technology. The selected alternatives has been evaluated the COD: Coagulation and flocculation stage with Al₂(SO₄)₃ performance for COD 75% acceptable value for a discharge by clearly, but conformation; Electrocoagulation and flotation to 70% COD and DQOs to 64%, no improvement is introduced discharge; Mud-activated clotting flocculation granular activated carbon to the COD is 85%-micro filtration activated sludge decreased to 45 mg / l. From the point of Given the sequence more recycling Biological treatment is appropriate. The results for the Program PML, are framed by regulations, and the results of posed alternatives fit the Crespi N data and Huertas J.A. 1985; J. Juhen 1993, Crespi M, 1998.

Keywords: Clean technologies, COD Chemical oxygen demand, effluent, treatment, disposal.

V^oB^o

M.Sc. D.F. Aguilar Pacheco Lanaka
C. Q. F. 01222

INTRODUCCIÓN

La industria textil utiliza el 15% del agua que consume la industria a nivel mundial, es decir 30 mil millones de m³, convirtiéndose en uno de los mayores consumidores del agua total disponible y es una de las industrial que aporta mayor carga contaminante vertiéndola como desecho.[8]

La Producción más limpia PML, es la aplicación continúa de una estrategia ambiental preventiva e integrada, a los procesos productivos a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia global y reducir riesgos para los seres humanos y el ambiente. La PML puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria [19]

La PML, incrementa la eficiencia productiva debido a que su aplicación conduce a la empresa a hacer un uso óptimo de materias primas, agua y energía, entre otros insumos permitiendo producir la cantidad de productos con una cantidad menor de insumos. Mas aún se produce la reducción tanto del costo de tratamiento de desechos como de los impactos negativos en el medio ambiente [19]. Por lo tanto, el incremento de la eficiencia productiva, implica beneficios económicos y ambientales simultáneamente, que pueden no solo solventar las acciones de PML, sino mejorar la competitividad de la empresa.

En la actualidad la industria textil ha empleado los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales como son los químicos, físicos y biológicos o una combinación de ellos, los cuales están limitados por bajos rangos de concentración y en algunos casos pueden tener altos costos [7]. Debido a esto se ha venido estudiando y desarrollando nuevas alternativas para aminorar el

impacto ambiental, entre estos se considera los de producción más limpia que es más viable

Para conseguir un reciclaje de las aguas (entendido para el proceso principal) y/o el vertido; se requiere la aplicación de una combinación de tecnologías capaces de alcanzar un grado de descontaminación elevado, mucho mayor del que exigen las ordenanzas municipales para el vertido de las aguas, especialmente cuando se trata de vertidos a colector. El enfoque del trabajo en estos casos es más integrado teniendo en cuenta los diferentes requerimientos de calidad en diferentes puntos del proceso y segregando el efluente tratado a diferentes secuencias de afino. A continuación se enumeran algunas de las combinaciones posibles [17,29]

1. Fangos activados con o sin carbón activo en suspensión precipitación coagulación floculación filtración y adsorción.
2. Fangos activados con o sin carbón activo en suspensión, precipitación coagulación.
3. Fangos activos con o sin carbón activo en suspensión precipitación coagulación.
4. Electrocoagulación y ultrafiltración ósmosis inversa.
5. Precipitación coagulación floculación ayudado con ozonización flotación en arena con intercambio iónico.

En la presente investigación se presentan resultados del Programa de producción más limpia, ensayos y resultados de las alternativas seleccionadas que permitan un efluente de calidad para su reciclaje y vertido final.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La industria textil, es importante para todo país pues provee los elementos esenciales para la vestimenta de la población. Puede ser de diferente tipo: lanera, aldonera, de seda o de fibras sintéticas. En el Perú, la industria textil es una actividad manufacturera, se estima que es uno de los cuatro rubros más representativos y que más utiliza agua. En nuestra región la industria lanera es la que se produce en mayor escala.

En su proceso se emplea gran variedad de compuestos químicos que generan vertimientos principalmente líquidos que van directamente a las alcantarilladas sin ningún tipo de tratamiento. [8,12]

La inadecuada disposición de los efluentes de esta industria, es uno de los mayores problemas que las autoridades estatales deben enfrentar, pues ocasiona efectos negativos para la salud, debido principalmente a los insumos utilizados en el proceso.

Por otro lado, la naturaleza de estos vertimientos, muy ricos en compuestos químicos, ha producido inquietud en los industriales respecto a la posibilidad de reducir la calidad y cantidad de estos efluentes, lo que significa reducir los costos inherentes al tratamiento y disposición, los cuales repercuten a su vez en los costos directos de los productos.

Dentro de los procesos textiles, el consumo de agua resulta comparativamente alto en las etapas de teñido y acabado. Los equipos para el ahorro de agua por ejemplo, unidades de teñido en paquete, teñido con baja relación de baño, foulardes con volúmenes extremadamente bajos y unidades de lavado optimizadas, así como procedimientos más eficientes, han ayudado a reducir el consumo de manera apreciable. Con la aplicación de tecnologías limpias, se puede llegar a un consumo de aproximadamente 150 L/kg de producto, reduciendo considerablemente el gasto. [16]

En cuanto a los efluentes, las aguas residuales que se producen en la industria textil, considerando las generadas en el lavado de lanas, se caracterizan por:

- Gran variabilidad de caudal y carga contaminante.
- Bajo contenido en materias coloidales y en suspensión.
- La mayor parte de su contaminación está bajo la forma soluble.
- Generalmente presentan fuerte coloración.
- La Carga orgánica media expresada en demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aproximadamente es el doble del agua residual urbana.
- Los efluentes producidos en las operaciones de tintura y acabado presentan materia orgánica expresada como demanda química de

oxígeno (DQO) que en general triplica o cuadruplica la DBO. . Esto indica la pobre biodegradabilidad de este tipo de descargas.

- En general, y comparado con otro tipo de actividad industrial, los efluentes no contienen productos tóxicos de relevancia.
- Las descargas son deficitarias en nutrientes y sin microorganismos patógenos.

En particular la industria colaboradora, es una industria textil que se caracteriza por desarrollar el procesamiento de lana natural, especialmente de ovinos que se producen en las zonas altas de Puno y las aguas del lavado de las lanas resultan más cargadas de materia orgánica, tanto en DBO como en DQO, grasas y materia en suspensión que el resto de las aguas residuales textiles, con lo cual se hace más complejo su tratamiento.

El creciente grado de exigencia relativo a los parámetros de impacto ambiental, hace que no sea suficiente instalar cualquier sistema de tratamiento que depure de manera eficiente los vertidos. Cualquier programa de desarrollo en esta área ha de tener presente el manejo de una Tecnología Limpia. [13]

Por todo esto, el presente estudio propone la implementación de un Programa de Producción más limpia de los vertidos de una industria textil, y sobre esta base de la caracterización del vertido se estudiara las alternativas de tratamiento a plantear como medidas correctivas y acciones preventivas.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Preguntas de la Investigación:

Problema General:

¿Será posible evaluar técnicamente las diferentes alternativas de tratamiento viables para una Empresa Textil que de solución al tratamiento del efluente final, después de aplicarse un programa de producción más limpia?

Problemas específicos:

1. ¿Cuáles serán las causas que originan ineficiencias y efluentes contaminados para determinar acciones en una evaluación productiva de beneficio ambiental, productivo y económico en un programa de producción más limpia?
2. ¿Cuáles serán las alternativas de tratamiento que utilicen tecnologías limpias con la finalidad de proporcionar solución al efluente?

1.3. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación Técnica

En nuestro medio las empresas textiles, han evolucionado muy poco, de tal modo que la tecnología no ha variado salvo la compra de algunos equipos y maquinarias para mayor producción, sin el control ambiental que a la fecha se exige. Consiguientemente:

Una implementación de un Programa de producción más Limpia, reduce los costos y simplifica las técnicas requeridas para el tratamiento, al final del proceso y para la disposición final de los desechos. [43]

La propuesta de alternativas de tratamiento, como medidas preventivas y correctoras permitirá implementar nuevas tecnologías, basándose en la realidad de la región de Puno. .

Genera nuevos conocimientos en el interior de la empresa.

Ayuda a la evaluación de riesgos relacionados con los impactos ambientales.

1.3.2. Justificación Económica

Los beneficios en una empresa Textil, al practicar un programa de producción más limpia, es la de mejorar la productividad y rentabilidad, los cambios a efectuarse en la producción conllevan un incremento en la rentabilidad, debido a un mejor aprovechamiento de recursos y a una mayor eficiencia en los procesos, entre otros. [43]

- Reduce costos a través del uso eficiente de materias primas, agua, energía y otros insumos.
- Reduce costos a través de un mejor manejo de residuos y desechos.
- Reduce costos de traslado y disposición de desechos.
- Reduce o elimina la inversión en plantas de tratamiento o medidas al final del proceso.
- Incrementa las ganancias por mejoras en los procesos productivos y por el valor económico obtenido al reusar, reciclar y recuperar los residuos.
- Mejora la rentabilidad debido a un mejor aprovechamiento del recurso agua.
- Mejora el desempeño ambiental por un mejor manejo del recurso agua, al reciclar, reusar y recuperar.
- Facilitar el proceso de implementación de un sistema de gestión ambiental al exterior de la empresa.

1.3.3. Justificación social

De las guías de minimización de residuos escritos por Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OMS; se determina que existe un porcentaje de industria manufacturera; que aún no ha determinado minimizar sus residuos, menos plantearse una producción más limpia. En Puno por las

condiciones de producción aún se esta a la espera de impulsar a cada empresa textil mejores condiciones de fabricación.

El programa de PML, socialmente beneficiará a la empresa en [19, 43]:

- ◆ Acceder a nuevos mercados
- ◆ Incrementar ventas
- ◆ Diversificar el uso de materiales residuales
- ◆ Mejorar las condiciones de seguridad y salud ocupacional
- ◆ Generar efectos positivos en el personal
- ◆ Mejorar las relaciones con la comunidad y la autoridad.

1.3.4. Justificación Legal

El sector industrial ha decidido trabajar el concepto de producción más limpia en las empresas desde el año 1998, para lo cual la autoridad ambiental con los gremios empresariales y las empresas, han adoptado la estrategia de coordinación y concentración de acciones para el desarrollo de la legislación ambiental y la orientación hacia un cambio de actitudes en los empresarios y en las autoridades que permitan viabilizar la complementación de un sistema de gestión ambiental industrial orientada hacia el desarrollo sostenible. [50]

El marco legal para la aplicación de las políticas ambientales, esta fundamentado en las disposiciones emanadas por el estado donde se menciona de manera implícita temas directamente relacionados con el medio ambiente, cuando se reconoce entre los derechos de las personas a la vida, la salud y la seguridad, el deber de resguardar y proteger los bienes e interés de la población [19]

Toda empresa Textil justificaría su legalidad, menciona las acciones de:

- Incorporación de la producción más limpia y prevención de la contaminación en marcos normativos como: la Ley General del Ambiente, el Reglamento de Protección Ambiental de la Industria Manufacturera (DS 019-97-ITINCI), la Ley 27314 General de Residuos Sólidos y la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. Establecimiento de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental.
- La implementación del Consejo Nacional de Competitividad y la incorporación de la Producción Más Limpia en la Estrategia Nacional de Competitividad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica de las diferentes alternativas de tratamiento que utilicen tecnologías limpias, tomando como criterio la estimación de un Programa de Producción más limpia dirigido al efluente, como finalidad de proporcionar la solución a los vertidos

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Identificar y evaluar las causas que originan ineficiencias y efluentes contaminados para determinar acciones según una evaluación productiva y determinar acciones de según una evaluación productiva y determinar acciones de beneficio
2. Evaluar alternativas de tratamiento que utilicen tecnologías limpias con la finalidad de proporcionar solución al efluente y tener el vertido en condiciones favorables.

CAPITULO II

MARCO TEORICO E HIPÓTESIS

2.1. MARCO REFERENCIAL

Bajo la perspectiva de un desarrollo sustentable y con la consigna de que el sector productivo debe ser más competitivo para mantener y crecer en una realidad cambiante y con mercados más exigentes, es esencial mejorar sustancialmente la eficiencia de los sectores productivos así como su desempeño ambiental. Las tecnologías de producción más limpia son entonces las herramientas que permiten acompañar una mejor competitividad y desempeño ambiental de los sectores productivos como resultados de aplicar sistemas de producción más eficientes y/o introducir tecnologías de bajo impacto ambiental [21,39]

La Ley 28611 del Medio Ambiente, fue promulgada el 13 de Octubre del 2005. Señala que el Estado promueve, difunde y facilita la adopción voluntaria de políticas, prácticas y mecanismos de responsabilidades social de la Empresa. En el inciso b) del artículo 11 de la indicada Ley se establece, como uno de los lineamientos ambientales básicos de las políticas públicas, la prevención de

riesgos y daños ambientales, así como la prevención y el control de la contaminación ambiental principalmente en las fuentes emisoras; en particular, la promoción y desarrollo y el uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción, comercialización y disposición final más limpias. [39]

El Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera que rige a la industria textil, despliega normas contenidas en el Decreto Legislativo N° 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales; en el Decreto Legislativo N° 757, Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada y en sus normas modificatorias y complementarias; en la Ley N° 23407, Ley General de Industrias; en la Ley N° 26786, Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades; en el Artículo 104 de la Ley N° 26842, Ley General de Salud, tratados internacionales suscritos y ratificados por el país que forman parte de la legislación nacional, y alcanza a todas las personas naturales o jurídicas del Sector Público o Privado que realicen actividad industrial manufacturera a nivel nacional, dentro de su principal lineamiento dice:

Incorporar el principio de prevención en la gestión ambiental, privilegiando y promoviendo prácticas de prevención de la contaminación que reduzcan o eliminen la generación de elementos o sustancias contaminantes en la fuente generadora; que coadyuven a que la industria manufacturera realice cambios en los procesos de producción, operación, uso de energía y de materias primas en general, con el objeto de reducir prioritariamente la cantidad de sustancias peligrosas o contaminantes que ingresan al sistema o infraestructura de disposición de residuos o que se viertan o emitan al ambiente. [40]

2.1.1. Antecedentes de la Investigación

De los Antecedentes, se toma en cuenta los siguientes:

- Montoya Aragón, Jorge Augusto. (2007) "Oportunidades de Producción más limpia en Tintorerías Sector Textil". Concluye:

1. Los residuos líquidos deben tratarse antes de descargar al alcantarillado, lo cual no solo debe ser tarea de unos pocos industriales, de esta manera debe orientarse las acciones a diseñar centrales de tratamiento. [38]

2. La implementación de prácticas de producción más limpia se reflejan en la reducción de los costos operativos, la protección de la salud humana y la calidad del ambiente, mejorando la imagen de la empresa y cumpliendo los requisitos legales. [38]

- Ávila Carhuallanqui, Gladis Maritza (2006) "Diagnóstico de las aguas residuales tratadas para el teñido de la Cooperativa Manufacturera del Centro.

Se realiza el muestreo de las aguas de la empresa Textil Manufacturera desde el agua proveniente de los ablandadores, en las etapas de teñido y finalmente el agua residual es tratada con bentonita. [4]

Se realiza la caracterización del agua residual textil.

El agua tratada tiene un DQO y un pH, que se encuentra apta para la descarga al alcantarillado público.

- Sr. Askin "evici" director del Centro de Actividad Regional para producción más limpia (1997) Promoción de la Producción más limpia en la Industria Textil.

Para difundir el concepto de Producción más Limpia PML y para convencer a los empresarios de que inviertan en plantas de demostración de tecnologías limpias fue necesario estudiar la viabilidad económica y técnica de dichas plantas. Seis plantas textiles fueron identificadas y seleccionadas. [43]

- Salas Colotta, G (2003) en el estudio sobre Tratamiento fisicoquímico de Aguas residuales de la Industria Textil

Se documentó la influencia de concentraciones de reactivos usados y de las variaciones de condiciones de tratamiento para obtener condiciones óptimas de operación, los resultados obtenidos son el 70% en la remoción de DQO y DBO y el 80% para la remoción de tinturas. [49]

- Centro Internacional de Technologic de Environment de Tunes (2000) Programa de Producción más limpia en la Industria Textil

Se identificaron tres opciones de prevención de contaminación:

1. Reducir el consumo de agua en el proceso de aclarado y eliminar la cubeta y el baño aclarado. Se consigue un ahorro de 6 m³/h de agua limpia. Esta reducción sólo es posible después de establecer un control de flujo de agua en el proceso de aclarado. [13]
2. Recuperación del agua de refrigeración del proceso de chamuscado de hilos en la máquina Soller, se consigue un ahorro de 3.3 m³/h de agua limpia.
- 3- Recuperación de agua de refrigeración de la máquina Denimrz y traslado al depósito de la refrigeración Frigotes, se consigue un ahorro de 4 m³/h de agua limpia. [13]

- Huerga Pérez, E. (2005) en su trabajo Desarrollo de alternativas de Tratamiento de aguas residuales industriales, mediante el uso de tecnología limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes.

Concluye que desde el punto de vista del efluente tratado la secuencia más adecuada es filtro percolador-fangos activados más coagulación y floculación. En el tipo y dosis de coagulante es el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 50 mg/L sin ajuste de pH, es el que mejor resultado tiene.

La coagulación-floculación posterior a los fangos activos es un adecuado sistema de afino, reduciendo la carga contaminante un 80 %, con un valor final de DQO de 110 mg/L Esto supone un sobrecoste de 0,47 €/m³ respecto a la secuencia filtro percolador + fangos activos, cuyo coste es de 0,26 €/m³, considerando la gestión de los lodos como residuos peligrosos. Si se supone una gestión como residuos no peligrosos [29]

- Industria Textil Hiladuras de Algodón y fibras (1998) "Conservación del agua para el Sector Industrial.

Las medidas de producción más limpia, instaurada en la fábrica, consiste básicamente en mejoras de aislamiento, de recirculación de agua y vapor, de almacenamiento correcto y de optimización del uso químico, se tradujeron en una reducción significativa del consumo de agua 25% y de la generación de aguas residuales en 20% para la empresa. [19]

Asimismo, se alcanzó una conservación energética satisfactoria 5% con una reducción de consumo de productos químicos 5% y de combustible 5%.

Además la actuación representó un coste bajo o nulo para la fábrica, lo que reportó un beneficio considerable para la empresa en un periodo de retorno de la inversión. [19]

Del ámbito de estudio:

De los 200 mil millones m³ de agua dulce disponible para la industria a nivel mundial, 2.5 mil millones de m³ es decir el 1.25% corresponde a industrias textiles, la cual estará altamente contaminada después de los procesos. Para la fabricación de una tonelada de producto textil se consume aproximadamente 200 toneladas de agua y del total de productos químicos utilizados el 90% aproximadamente es vertido como desecho después de cumplir su misión. [10]

En la región de Puno, los procesos de producción de la industria Textil se caracterizan por consumir gran cantidad de energía, colorantes, productos químicos, agua y por causar contaminación química. La industria procesa diferentes fibras, de alpaca, oveja, algodón, llama y otras fibras nativas y debido a la gran diversidad de procesos, productos químicos y maquinaria empleada se considera como uno de los más altos contaminantes en el recurso agua, teniendo un impacto negativo en la salud de la población, en los ecosistemas.

Finalmente, se debe tener en cuenta la propuesta de alternativas, que va más allá de cumplir un requisito legal, sino buscar una producción con efectividad y eficiencia en un desarrollo sostenible.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

1. Contaminación

La contaminación es el cambio desfavorable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, del agua o de la tierra, que es o podría ser perjudicial para la vida humana, para la de aquellas especies deseables, para nuestros procesos industriales, para nuestras condiciones de vivienda o para nuestros recursos culturales; o que desperdicie o deteriore recursos que son utilizados como materias. [22]

2. Prevención de la contaminación

Prevención de la contaminación es el uso de procesos, prácticas y/o productos que permiten reducir o eliminar la generación de contaminantes en sus fuentes de origen, es decir, que reducen o eliminan las sustancias contaminantes que podrían penetrarse en cualquier corriente de residuos o emitirse al ambiente (incluyendo fugas), antes de ser tratadas o eliminadas, protegiendo los recursos naturales a través de la conservación o del incremento en la eficiencia. [22]

3. Eficiencia

Es la habilidad de lograr objetivos optimizando la utilización de los recursos (tiempo, horas/hombre, insumos y otros). [19]

4. Reciclaje, Reuso y Recuperación (las 3R's)

Existen ciertos flujos de residuos cuya cantidad es imposible o difícil de reducir en su fuente de origen (por ejemplo: la sangre en un matadero, agua de refrigeración) [19]. . Por esta razón, para estos flujos de residuos no siempre es posible aplicar medidas de prevención de la contaminación y, por ende, es necesario recurrir a prácticas basadas en el reciclaje, reuso y recuperación,

cuyas definiciones genéricas, sin pretender mayor rigurosidad, buscando únicamente una comprensión conceptual son:

- **Reciclaje:** convertir un residuo en insumo o en un nuevo producto.
- **Reuso:** utilizar un residuo, en un proceso, en el estado en el que se encuentre.
- **Recuperación:** aprovechar o extraer componentes útiles de un residuo.

El reciclaje de residuos puede ser interno o externo. El reciclaje es interno cuando se practica en el ámbito de las operaciones que generan los residuos objeto de reciclaje. Cuando éste se practica como un reuso cíclico de residuos en la misma operación que los genera, se denomina: reciclaje en circuito cerrado. El reciclaje externo se refiere a la utilización del residuo en otro proceso u operación diferente del que lo generó. Por otra parte, tanto el reciclaje como el reuso pueden efectuarse, entre otros, por recuperación. [19]

5. Mejores técnicas disponibles (Best Available Techniques – BAT)

La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuando ello no sea practicable, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente. [1, 21]

También se entenderá por:

- **Técnicas:** la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida y paralizada. [21]
- **Disponibles:** las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en

condiciones económicas y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y beneficios. [21]

- Mejores: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto. [21]

6. Producción más limpia (PML)

La Producción más limpia, es la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos productivos, a los productos y a los servicios para incrementar la eficiencia y reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. La Producción más limpia puede ser aplicada a los procesos empleados en cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios prestados a la sociedad. [43]

En los procesos productivos, La Producción más limpia conduce al ahorro de materias primas, agua y/o energía, a la eliminación de materias primas tóxicas y peligrosas; y a la reducción en la fuente, de la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y los desechos durante el proceso de producción.

En los productos, la Producción más limpia busca reducir los impactos negativos de los productos sobre el ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por la transformación y uso, hasta la disposición final del producto.

En los servicios, la Producción más limpia implica incorporar el quehacer ambiental en el diseño y la prestación de servicios. [40,43]

7. Desarrollo sostenible

Desarrollo sostenible es el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de

necesidades de las generaciones futuras. La concepción de desarrollo sostenible implica una tarea global de carácter permanente. [20]

8. Insumo

De manera general, el término “insumo” incluye toda materia y energía utilizada en la producción, es decir, materia primas, agua, energía eléctrica, energía térmica, catalizadores, y reactivos químicos en general. Lubricantes, etc. [12]

Los insumos que forman parte del producto final se denomina insumos auxiliares.

9. Lana

La lana es una fibra suave y rizada que se obtiene principalmente de la piel de la oveja doméstica. También existen otros animales a partir de los cuales se fabrica lana, tales como: la alpaca, el camello, el guanaco, la cabra de cachemira, el conejo de angora, la llama, la vicuña, la cabra mohair y el yak. Químicamente, la lana es una fibra de proteína llamada queratina, que se caracteriza por su finura, elasticidad (se puede alargar hasta un 50% de su longitud sin romperse) y aptitud para el afieltrado y la hiladura. Estas características se deben a que la superficie externa de las fibras que la forman está constituida por escamas muy pequeñas, abundantes y puntiagudas que sólo están fijadas por su base y encajadas a presión. [1,12]

10. Distinción entre residuo y desecho

De manera general, el término “residuo” se conceptúa como “materia prima de menor valor, mientras que el término “desecho” se conceptúa como materia a la que ya no se le puede dar valor alguno. [12]

2.3. MARCO TEORICO DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE: Alternativas de Tratamiento que utilicen tecnologías limpias”

Las soluciones actuales establecidas, son muy variadas y su implementación depende en gran medida de la naturaleza química de los contaminantes, de su concentración y del caudal del agua a tratar. Se puede realizar una clasificación muy general y simplista atendiendo al modo de operación de estas tecnologías. [51]

- Tratamientos Fisicoquímicos
 - Coagulación – Floculación – Precipitación
 - Adsorción
 - Oxidación reducción
- Tratamiento Biológicos
 - Lagunajes
 - Fangos activados
 - Fangos anaerobios
 - Cultivos Fijos
- Tratamiento Terciarios
 - Desinfección Química
 - Desalineación y desinfección con membranas.

Estas tecnologías provienen de las denominadas tecnologías limpias, las cuales incorporan novedades y mejoras que aumentan la eficacia de los tratamientos y disminuyen el impacto medioambiental.

A continuación se describen los fundamentos teóricos-prácticos y las aplicaciones de las tecnologías de tratamiento de efluentes que se utilizaran en este trabajo.

2.3.1. COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Los tratamientos físico-químicos de coagulación-floculación basan sus efectos en la dosificación de determinados reactivos que permiten la formación de una fase sólida que atrapan a los contaminantes, fácilmente separable de la fase líquida, libre de contaminantes. [2,18]

En la primera fase se produce, mediante la adición de unas sales con elevada carga, la desestabilización de la carga superficial de las partículas coloidales o emulsionadas que las mantiene en suspensión. [18]

Una vez desestabilizada esta carga y eliminadas las fuerzas de repulsión se produce la floculación o agrupación de las partículas dando lugar a flóculos de tamaño suficiente para ser separados por sedimentación flotación o filtración. Los reactivos más utilizados son las sales de Aluminio, Calcio y Hierro y los polielectrolitos de alta masa molecular, bien aniónicos, no iónico o catiónicos (Cuadro 01)

Cuadro 01

RELACIÓN DE SUSTANCIAS COAGULANTES Y FLOCULANTES DE USO HABITUAL

Coagulantes	Floculantes
Sulfato de aluminio	Poliaminas
Poli cloruro de aluminio	Acrilamidas.
Cloruro férrico	Poliacrilamidas
Sulfato ferroso	Poliacrilatos
Hidróxido de calcio	Taninos condensados
Aluminato sódico	Poly-DADMAC

Fuente: (Kemmer F, 1989 y Lens P y Cois., 2002).

Los reactivos más eficaces, sus dosis y el pH óptimo de adición de los mismos dependen de la naturaleza físico-química del efluente a tratar. Aunque existen ciertos fundamentos teóricos que pueden informar de los productos más adecuados, es la experiencia la que determina las condiciones óptimas de tratamiento. Normalmente los coagulantes inorgánicos se dosifican en el rango 25-300 mg/L y los orgánicos a dosis menores. Los inorgánicos suelen bajar el pH, lo que supone la adición de reactivos alcalinos de compensación, mientras que los segundos suelen ser considerablemente más caros. [8, 24]

El montaje general de este dispositivo puede hacerse por cargas o en continuo. El modo continuo permite una automatización y una capacidad de tratamiento mayores. Serán necesarias dos cubas en serie donde adicionar los reactivos: una primera de agitación rápida donde se adicionan los coagulantes y ajustadores de pH y una segunda de agitación lenta donde se adiciona el floculante y se permite el crecimiento óptimo de los flóculos. Los tiempos de retención de estas etapas suelen estar entre los 20 y 60 minutos. Las etapas siguientes consisten en elementos separadores y compactadores de los sólidos formados. [36]

Otra alternativa, es el reactor o floculador estático constituido por un serpentín de tubería de paso de luz creciente. El sistema puede tener de 4 a 8 codos. La alimentación de los reactivos se realiza en línea y según la secuencia establecida para los reactores convencionales. El aumento del paso de luz permite una disminución de la velocidad del efluente, lo que facilita la formación

del floculo e inhibe su rotura. Tiempos de contacto entre 20 y 60 segundos suelen ser suficientes para la correcta formación de los flóculos. [36]

Esta tecnología, es de uso común en aquellos efluentes que contengan partículas coloidales en suspensión. Estas partículas pueden ser arcillas, sílice, hierro y otros metales combinados formando hidróxidos, compuestos coloreados, restos de materia orgánica, microorganismos, aceites emulsionables, etc.[30] Algunos de los sectores implicados son: galvanotecnia, textil, minería, cerámica, potabilización, etc.

2.3.2. ELECTROCOAGULACIÓN

La electrocoagulación-electroflotación, combina el efecto de la coagulación y de la flotación utilizando como motor de estos fenómenos la corriente eléctrica. El dispositivo convencional mínimo consta de una cuba en la que se sumergen los electrodos, normalmente placas rectangulares, donde los cátodos se alternan con los ánodos enfrentando sus superficies. Los ánodos han de ser de un material capaz de solubilizarse; ante la aplicación de una diferencia de potencial: Hierro, Aluminio o incluso Cobre. En el caso de utilizar ánodos inertes ya no hablaríamos de electrocoagulación, por la ausencia de generación de coagulante, sino de electroflotación. [33]

La electroflotación tiene lugar como consecuencia de la electrólisis del agua, tanto en el seno de los cátodos, donde se reduce produciendo H_2 gaseoso, como en el de los ánodos, donde se oxida produciendo O_2 (en menor medida). Estos gases adquieren forma de micro burbujas y adhieren las partículas del efluente compactándolas en la zona superior de la cuba. [33]

Cuando el equipo funciona en modo continuo se crea un flujo de efluente ascendente. Esta corriente facilita el rebose de los lodos flotados. La separación de los mismos del efluente tratado depende en buena medida del diseño del sistema.

Los fenómenos físico-químicos que se producen en una cámara de electrocoagulación son múltiples y están enlazados entre sí. Estos procesos son: electroquímicos, coagulación-floculación y flotación. A continuación se detalla el fundamento de cada uno de ellos. [33,35]

2.3.2.1. Procesos electroquímicos

La aplicación de un potencial eléctrico da lugar a las reacciones de oxidación y reducción sobre las superficies de los ánodos y cátodos, respectivamente.

Reacciones en los ánodos

- **Solubilización de los ánodos:** Cuando los ánodos están constituidos por metales tales como Aluminio o Hierro se produce la disolución de los mismos en forma de cationes. Los electrones liberados circulan por el conductor metálico hacia el cátodo donde esperan a ser incorporados a otras especies cercanas a la superficie del mismo. Esta reacción puede representar hasta un 90 % de la corriente total circulante. [31] El otro 10 % corresponde a la producción de especies cloradas, O_2 procedente de la electrólisis del agua y a la oxidación electroquímica de los propios contaminantes del efluente. [36]

Los cationes liberados ejercen su función como coagulante, interaccionando directamente con las propias condiciones del medio y con los contaminantes presentes en el mismo; el mecanismo del proceso de

coagulación presenta algunas diferencias respecto al que tiene lugar cuando se trata de la adición de sales. La presencia de un campo eléctrico, la acidez extrema sobre la interfaz ánodo-efluente, la hidráulica del sistema y la ausencia del contraión sulfato (presente mayoritariamente cuando se trata de coagulantes químicos) son las causas principales de estas diferencias. [35]

- **Oxidación de Cl⁻**: En presencia de efluentes que contienen Cl⁻, bien de forma natural o por adición controlada de sal, se pueden producir oxidaciones que dan lugar a especies cloradas: Cl₂, HClO y ClO⁻, en orden decreciente de poder oxidante. [31.35] Las reacciones que dan lugar a estos productos se pueden resumir como sigue:



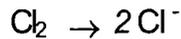
En el cátodo, como se verá posteriormente, se produce una alcalinización que favorece la reacción:



La presencia relativa de cada una de estas especies radica en el pH del medio en las cercanías de la superficie de los electrodos. A pH menor de 4 la especie mayoritaria es la forma diatómica, Cl₂; en el intervalo pH 4-7, predomina la forma HClO y por encima de pH 7 será mayoritaria la forma ClO⁻. Esto significa que en presencia de ánodos de aluminio el poder oxidante de las especies cloradas será algo mayor que en presencia de ánodos de Fe, debido al mayor descenso de pH que tiene lugar sobre la superficie de los mismos.

La importancia de la presencia de estos compuestos radica en su propia capacidad oxidante, lo que da lugar a un proceso añadido de tratamiento sobre las materias contaminantes del efluente. La otra cara de la moneda es la capacidad que tienen estos oxidantes para clorar los compuestos orgánicos pudiendo generarse así especies de mayor toxicidad que las

iniciales. Ello ocurre si se producen radicales Cl^\cdot que se adicionan a las moléculas orgánicas del efluente.



- **Electrólisis del agua:** Corresponde a la oxidación del H_2O cuando se sobrepasa la diferencia de potencial de rotura, cercano a 2,0 V. [2]
Esta oxidación da lugar a una generación de O_2 gas en forma de micro burbujas, el cual presenta dos efectos:
 - Por un lado es un oxidante capaz de atacar a los contaminantes.
 - Por otro, participa, en los fenómenos de flotación, mediante los cuales las partículas contaminantes y el hidróxido de Aluminio o Hierro se adsorben sobre la superficie de los micros burbujas y son arrastradas a la superficie en una trayectoria ascendente. [2]
- **Oxidaciones directas de las especies contaminantes:** Este mecanismo ha de ser predominante cuando se trabaja con electrodos insolubles (Ti/Pt, Ti/ PbO_2 , Ti/ IrO_2), debido a que el paso de corriente no se desvía al proceso de disolución de ánodos. El mecanismo de reacción se puede resumir en tres etapas. [15]

1.- Descarga anódica de H_2O , con formación de radicales hidroxilos adsorbidos sobre la superficie metálica (M):



2.- Oxidación del producto orgánico:



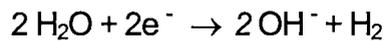
3.- Reacción colateral:



Del conjunto de las tres etapas se desprenden consecuencias colaterales que son conocidas, como son la formación de O_2 y la acidificación de la disolución en el entorno del ánodo.

- **Reacciones en los cátodos**

Los electrones que llegan desde los ánodos, son donados a especies que están en la disolución. Si en el medio existen metales disueltos y el potencial es adecuado se puede producir la deposición de los mismos sobre los cátodos. De lo contrario, será la reducción del agua la que mantendrá el circuito eléctrico cerrado. En este caso se produce la generación de H₂ gas en forma de micro burbujas, responsables, junto con el O₂ procedente de los ánodos, de la flotación de las sustancias coloidales y sólidas. [18] La reacción que tiene lugar es:



Esta rotura del agua da lugar a una alcalinización del medio en las cercanías de la superficie del cátodo, lo que acentúa el gradiente de pH entre dos placas ánodo-cátodo.

El H₂ generado puede actuar como agente reductor sobre algunos grupos funcionales dados a la hidrogenación, como dobles enlaces C=C y N=N presentes en moléculas comunes en productos industriales. La superficie del propio cátodo (de Hierro, por ejemplo) puede actuar como catalizador. [18,52]

2.3.2.2. Proceso de coagulación-floculación

La disolución de los ánodos da lugar, como se ha comentado con anterioridad, a la formación de Aluminio o Hierro; soluble capaz de actuar como coagulante. Sin embargo el mecanismo que sigue el coagulante en su proceso presenta algunas diferencias respecto a la coagulación-floculación convencional. [31,37]

En esencia, la gran diferencia de los óxidos-hidróxidos formados mediante electrocoagulación frente a los formados por coagulación química

es el grado de cristalinidad más bajo de los primeros. Esta característica confiere una mayor capacidad de adsorción sobre los contaminantes a eliminar. En el caso de los ánodos de Hierro, se produce la disolución a Fe^{2+} . En este estado de oxidación el hierro sigue varias vías [36]:

Oxidación directa con sustancias presentes en el efluente para formar complejos solubles o insolubles

Oxidación con el O_2 o Cl_2 liberado simultáneamente en el ánodo.

Hidrólisis a $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y posterior oxidación a $\text{Fe}(\text{OH})_3$. En realidad, el proceso no es tan secuencial lo que da lugar a productos que son una mezcla de hidróxidos de Fe (II) y Fe (III) y sus oxihidratos, cuya composición se parece a la hidromagnetita.

En el caso de los ánodos de Aluminio la situación es similar, con el añadido de que la valencia del Aluminio, al abandonar el ánodo es inferior a 3, con valores en el rango 1,7-2,0. [36] Este hecho condiciona enormemente las propiedades cristaloquímicas y composición del óxido-hidróxido.

En disoluciones acuosas de Al^{3+} a pH 5 se produce la hidrólisis del aluminio que da lugar a especies intermedias: $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ y $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ (especies Al_1), $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ (especie Al_2), $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{32}^{7+}$ (especie Al_3) y complejos hidroxilo con propiedades de partículas coloidales (Al_c). Cuando la disolución es de sulfato de aluminio la especie Al_3 ; está prácticamente ausente de la disolución. [36] A concentraciones bajas de sulfatos la especie Al_3 comprende el 75 %, (responsable de la elevada capacidad de adsorción), las especies Al_1 y Al_2 cerca del 20 % y la especie Al_c comprende el resto. Aumentos en la concentración de Al dan lugar a aumentos en la proporción de Al_c y descensos

en la proporción de Al_3 , manteniéndose en un nivel constante la proporción de Al_1+Al_2 . [29]

En el seno de la interfaz acuosa entre ánodo y cátodo se establecen dos gradientes de pH, uno horizontal, a lo largo de la distancia entre ánodo y cátodo, y otro vertical, en el sentido de la corriente hidráulica. [29] El primero tiene lugar como consecuencia de las reacciones de oxidación del agua y de la propia hidrólisis del catión liberado que se dan sobre la superficie de los electrodos, produciéndose una acidificación importante sobre ánodos con valores de pH de 0-2,5 cuando se trata de Al y 3,5-4,1 con ánodos de Fe. [29] En los cátodos tiene lugar la reducción del agua, lo que supone un pH alcalino sobre la superficie.

El otro gradiente se establece como consecuencia del exceso de iones Al^{3+} y Al_1 o Fe (II/III), que se produce conforme asciende el efluente. [15] En este sentido se va llevando a cabo una continuación de la hidrólisis (con un descenso gradual del pH del seno de la disolución conforme se asciende), con la formación de los complejos óxidos-hidróxidos finales tipo Al_3 de estructura desordenada y con gran capacidad de adsorción. Además, durante la formación de estos complejos más avanzados se pueden obtener complejos insolubles con las sustancias contaminantes (caso de ácidos fulvónicos, proteínas, ligninas, sustancias húmicas, grasas, etc.). [15]

El pH del efluente a tratar influye notablemente en todo el proceso,. Por ello hay que tener en cuenta un rango de entrada óptimo, que para el caso de los ánodos de aluminio está entre 5 y 8,5 y para el hierro está por encima de 5. [29] El caso del aluminio es más restrictivo debido a la solubilización de los óxidos-hidróxidos en medios alcalinos que origina el vertido del metal. [14]

2.3.2.3. Proceso de flotación

La generación de O_2 , pero principalmente la de H_2 (con ánodos solubles) conduce la formación de finas burbujas, en un rango de 5-200 μm de diámetro con un valor medio de 50 μm e inferior a las obtenidas en flotación por aire disuelto, en torno a 287 μm [36] Estas burbujas de gran superficie efectiva atrapan con mayor eficiencia las partículas coloidales o sólidas transportándolas hacia la superficie de la cuba y permitiendo la posterior separación del efluente clarificado.

La concentración de estas burbujas vendrá determinada por la intensidad de corriente aplicada, lo cual afectará a la eficiencia del mecanismo.

Conocidos los procesos que tienen lugar en un reactor de electrocoagulación a continuación se comentan las variables que afectan a su rendimiento. En la descripción siguiente se distinguen dos tipos de variables: las de diseño y las de funcionamiento. [31] Las primeras son prácticamente invariables, ya que conforman la estructura y forma del equipo. Por contra las segundas sí que pueden ser manipuladas a voluntad y optimizadas en función de la naturaleza del efluente.

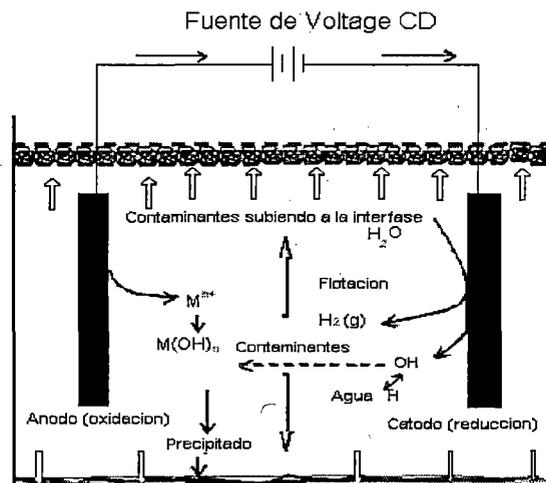
- **Variables de diseño:**

- **Volumen de la cuba de reacción:** Este parámetro determina la capacidad volumétrica de tratamiento del sistema.
- **Tipo de electrodos:** Se puede trabajar con electrodos solubles o insolubles. Los equipos ya vienen diseñados para trabajar con uno de estos tipos. Los solubles suelen ser de Aluminio, Hierro, acero, a veces

de Cobre e incluso de Plata, este último para funciones antisépticas. Entre los electrodos inertes están los de Titanio, Iridio, Paladio, o grafito. Recordemos que la diferencia entre el uso de electrodos solubles e insolubles radica en la presencia o ausencia de fenómenos de coagulación.

- **Forma y dimensiones de los electrodos:** Las formas varían entre las placas planas rectangulares, placas cilíndricas o mallas. La superficie eficaz de los electrodos es aquella que mirando al total de los ánodos enfrenta una superficie equivalente sobre los cátodos. A mayor superficie repartida sobre el volumen del reactor menor será la resistencia eléctrica que opone este elemento al circuito eléctrico, disminuyendo el consumo eléctrico del tratamiento. Esta superficie ha de ser distribuida en dos dimensiones. [29] La altura de los electrodos debe cubrir convenientemente los fenómenos de flotación que se producen, de modo que al aumentar la altura se producen mejoras en los rendimientos de flotación. [36] El espesor de los electrodos, en el caso de electrodos solubles, determina la duración de los mismos antes de su recambio.
- **Distancia entre los electrodos:** Normalmente, cuando se trata de un sistema de electrodos de placas o cilíndrico se establecen distancias en rango 10-30mm. Para un volumen dado de reactor este factor se traduce en la posibilidad de trabajar con una mayor o menor superficie eficaz. [5,16]

Figura 1
 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN DE DOS ELECTRODOS.



Fuente: MOLLAH., Mohammad et al. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation.

2.3.3. FANGOS ACTIVOS

El proceso de fangos activados, es un sistema de tratamiento de las aguas residuales en el que se mantiene un cultivo biológico formado por diversos tipos de microorganismos y el agua residual a tratar. [7] Los microorganismos se alimentarán de las sustancias que lleva el agua residual para generar mas microorganismos y en el proceso se forman unas partículas fácilmente decantables que se denominan flóculos y que en conjunto constituyen los denominados fangos activos o biológicos.

En el proceso de fangos activados pueden distinguirse dos operaciones claramente diferenciadas: la oxidación biológica y la separación sólido-líquido.

La primera tiene lugar en el denominado reactor biológico o cuba de aireación, donde vamos a mantener el cultivo biológico en contacto con el agua residual.

[18] El cultivo biológico, denominado licor de mezcla, está formado por gran

número de microorganismos agrupados en flóculos conjuntamente con materia orgánica y sustancias minerales. Dichos microorganismos transforman la materia orgánica mediante las reacciones de oxidación biológica anteriormente mencionadas. [18]

La población de microorganismos debe de mantenerse a un determinado nivel, concentración de sólidos en suspensión en el licor de mezcla (SSLM), para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios para que se elimine dicha carga. [18,41]

En esta fase del proceso que ocurre en la cuba de aireación, es necesario un sistema de aireación y agitación, que provoque el oxígeno necesario para la acción depuradora de las bacterias aerobias, que permita la homogenización de la cuba y por tanto que todo el alimento llegue igual a todos los organismos y que evite la sedimentación de los flóculos y el fango. [18,41]

Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada, lo que requiere un tiempo de retención del agua en el reactor, el licor mezcla pasará al denominado decantador secundario o clarificador. Aquí, el agua con fango se deja reposar y por tanto, los fangos floculados tienden a sedimentarse, consiguiéndose separar el agua clarificada de los fangos.

El agua clarificada constituye el efluente que se vierte al cauce y parte de los fangos floculados son recirculados de nuevo al reactor biológico para mantener en el mismo una concentración suficiente de organismos. [42] El excedente de fangos, se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

2.3.3.1. Parámetros de control

Existen una serie de variables que hay que controlar para asegurarnos de que el proceso de fangos activos funcione bien. [49] Entre estas variables se encuentran:

La calidad exigida al efluente, la calidad que las autoridades exijan al agua de salida, va a determinar tanto el funcionamiento del proceso como el control del mismo. Si se requiere un alto grado de tratamiento, el proceso deberá estar muy controlado y probablemente se requiera de un tratamiento adicional. Dicha calidad deberá ser determinada a través de las analíticas realizadas por el laboratorio.

Características del agua residual a tratar, los caudales y características del influente, se encuentran fuera del campo de actuación del operador, siendo competencia del laboratorio y de las autoridades municipales que controlan los residuos que se vierten en el sistema colector, evitando que determinadas industrias viertan residuos tóxicos para los microorganismos que trabajan en la cuba de aireación.

Cantidad de microorganismos activos que se necesitan en el tratamiento, la proporción entre la cantidad de microorganismos activos y el alimento disponible, es un parámetro decisivo en el control del proceso. Si esta proporción no es equilibrada, aparecerán serios problemas en planta. El número de organismos aumenta también al aumentar la carga de materia orgánica (alimento) y el tiempo de permanencia en la cuba de aireación (edad del fango). [49] El operador deberá eliminar el exceso de microorganismos (fangos en exceso o purga de fangos) para mantener el número óptimo de trabajadores para el tratamiento eficaz de las aguas.

Por otra parte, es fundamental proceder a una recirculación de fangos desde el decantador hasta la cuba de aireación, para mantener una concentración de organismos suficiente, ya que si no se irían eliminando y se acabaría con un lavado del tanque.

El fango del decantador debe extraerse tan pronto como se forme la manta de fangos, ya que de permanecer en él, pueden darse fenómenos que hagan que el fango flote. [4] El sistema de bombeo de fangos, por tanto, debe encontrarse en condiciones óptimas para actuar cuando se le necesite.

Para conocer la concentración de microorganismos del licor de mezcla y de los fangos de recirculación, se determinará el nivel de sólidos volátiles en ambos.

Nivel de Oxígeno disuelto, el oxígeno que se aporte a la cuba de aireación debe de ser suficiente para que, los microorganismos puedan respirar y se pueda oxidar la materia orgánica. [4]

La relación cantidad de oxígeno / cantidad de alimento debe estar regulada y mantenerse estable. Una descompensación en un sentido o en otro, puede dar lugar a una aparición de organismos filamentosos que tienden a flotar en el decantador secundario, alterando totalmente la separación sólido-líquido y tendiendo a ser lavados con el efluente. [4,8,10]

El nivel de oxígeno disuelto suele medirse con sensores que dan información inmediata de las cantidades de oxígeno en cuba, a partir de esta información los sistemas de agitación y de aireación se ponen en marcha o se paran. [1]

La agitación debe de estar bien controlada, para que el oxígeno y el alimento se distribuyan homogéneamente por toda la cuba.

Tiempo de retención, para que se pueda dar el proceso de oxidación biológica, es necesario que los microorganismos permanezcan un tiempo de contacto suficiente con las aguas residuales. Este tiempo de retención es uno de los parámetros que hay que tener en cuenta para diseñar las cubas, ya que en relación con el caudal a tratar y el tiempo que debe permanecer el caudal en la cuba, calcularemos el volumen de la misma. [4]

Índice volumétrico de fangos, se define como el volumen en ml ocupado por un gramo de sólidos en suspensión del licor de mezcla, tras una sedimentación de 30 minutos en una probeta de 1 000 ml. [1] Por lo tanto, tomamos 1 litro de licor mezcla y lo ponemos a sedimentar durante 30 minutos, apuntamos el volumen que ocupa el fango y hacemos la relación:

$$IVF = \text{ml sólidos sedimentables} * 1\ 000 / \text{ppm de SSLM}$$

Este valor nos da el comportamiento de los fangos en el decantador. Si el valor es menor de 100 implica fangos con desarrollo de organismos que sedimentan bien y por tanto buena separación sólido-líquido. Si el valor es superior, se han desarrollado organismos filamentosos con mala sedimentación, lo que nos lleva a una descompensación en el funcionamiento del sistema.

Los parámetros que controlan el diseño o el funcionamiento correcto del sistema ligan variables hidráulicas y biológicas según las siguientes relaciones que no dejan de ser meras aproximaciones y simplificaciones:

[10]

Tiempo de retención hidráulico: En cierto modo es el tiempo que tienen los microorganismos para llevar a cabo su proceso de descontaminación del vertido o el tiempo que el vertido permanece en el reactor. [10] Se expresa como:

$$\theta = \frac{V_r}{Q_a} \quad 1.$$

Donde:

Θ = tiempo de retención hidráulica, h

V_r = Volumen del reactor, m^3

Q_a = Caudal de alimentación del efluente, m^3/h

En líneas generales, no es un parámetro muy importante para el diseño, sino más bien un parámetro de chequeo tras el diseño, dado que para un influente de una naturaleza determinada existen unos rangos de referencia. Así, para aguas domésticas se establece en 2-6 horas, mientras que para efluentes industriales puede oscilar entre 25 y 50 h. [10]

Tiempo de retención celular: Debido a la presencia de un sistema de separación sólido-líquido y retorno de los microorganismos al reactor, el tiempo medio que un microorganismo permanece en el reactor es diferente al del influente. [10,14,16] En buena aproximación este tiempo se establece según la expresión:

$$\theta_c = \frac{V_r X_r}{Q_{p1} X_p + Q_e X_e} = \frac{V_r X_r}{Q_{p2} X_p + Q_e X_e} = \frac{V_r}{Q_{p2}} \quad 2.$$

Donde:

Θ_c = tiempo de retención celular, h.

X_r = concentración de biomasa en el reactor, mg/L.

Q_{p1} = Caudal de purga realizado desde el decantador, m^3/h

X_p = concentración de biomasa en la corriente de recirculación o purga, tras la etapa de decantación, mg/L .

Q_{p2} = Caudal de purga realizado desde el reactor, m^3/h

Q_e = Caudal del efluente. En estado estacionario equivale a Q_a , m^3/h .

X_e = Concentración de biomasa en el efluente, mg/L

Como se observa en la ecuación anterior, existen dos opciones para calcular o establecer el tiempo de retención celular. Desde un punto de vista experimental es mucho más cómodo utilizar la parte final de la expresión, realizando la purga desde el reactor. Cuanto mayor sea la calidad del efluente, y mejor funcione la etapa de sedimentación, menor será la concentración de biomasa en el efluente, lo que hará más válida la aproximación final, la cual únicamente relaciona el volumen del reactor con el caudal de purga.

Este parámetro oscila en estos sistemas en el rango 5-15 días y suele ser el utilizado en muchos casos como parámetro de partida para el diseño y control de las instalaciones. [10.14, 16]

Relación alimento-microorganismos: Se define como la cantidad de alimento, contaminante o sustrato disponible por unidad másica de microorganismos. Matemáticamente se expresa como:

$$F/M = \frac{S_o}{\theta X_r} \quad 3.$$

Donde:

F/M = Relación alimento sustrato, h^{-1} o d^{-1} .

S_o = Concentración de contaminante o carbón orgánico presente, normalmente expresado como DBO5 o DQO o COT, mg/L .

Los valores típicos de este parámetro van desde $0,04 \text{ d}^{-1}$ en procesos de aireación extendida a $1,0 \text{ d}^{-1}$ de sistemas con carga alta. [10.14, 16]

Otro parámetro, que en este caso elimina el factor biomasa en la carga orgánica de alimentación, es la carga volúmica. Se suele expresar como $\text{Kg DBO}_5\text{-m}^3/\text{d}$ y su valor puede ir desde 0,3 a más de 3,0, según se trate de sistemas más lentos más rápidos. [10.14, 16]

2.3.4. ADSORCION CON CARBON ACTIVO

La adsorción con carbón activo es una tecnología bien desarrollada capaz de eliminar eficazmente un amplio rango de compuestos orgánicos solubles, dando lugar a un efluente de muy alta calidad.

Un proceso mediante el cual un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida (adsorbente). La adsorción puede darse mediante dos mecanismos no excluyentes [27]

a) Fisisorción: No existe intercambio de electrones entre adsorbente y adsorbato, de ahí la reversibilidad del proceso. La adsorción se explica mediante fuerzas de Van der Waals cuyas características principales son:

- Inespecificidad: Cualquier molécula es atraída en mayor o menor medida por el carbón. [27]

- Aditividad: La fuerza total de adsorción es la suma de todas las interacciones individuales entre el adsorbato y las placas de grafito que componen la estructura del carbón. [27]

- Corto alcance: A una distancia mayor de alrededor de dos capas moleculares, estas fuerzas son despreciables; por lo tanto el carbón no adsorbe más de dos o tres capas de moléculas. [27]

b) Quimisorción.

Irreversible, debido a las modificaciones químicas que se producen en el adsorbato y adsorbente.

La eficiencia del proceso de adsorción de las moléculas orgánicas, bien sea mediante la vertiente física o química, depende de las características físico-químicas del adsorbato y del adsorbente. [27] Entre las del adsorbato destacan:

- Peso molecular: A mayor valor, mayor fuerza de atracción, siempre que el tamaño de la molécula no supere el del poro.
- Polaridad: A menor polaridad, mayor fuerza de atracción.
- Estructura: Moléculas ramificadas se adsorben con mayor fuerza que las lineales.
- Sustituyentes: La presencia de átomos de cloro, bromo o yodo da lugar a una mayor fuerza de atracción.
- Solubilidad: Al aumentar la solubilidad del adsorbato en fase líquida disminuye la fuerza de adsorción. Este factor está bastante relacionado con la polaridad.

Entre las del adsorbente cabe citar: [27]

- Superficie total de adsorción: Es una medida general de la capacidad de adsorción. Se proporciona en m^2/g .
- Distribución de tamaños de los poros: Los poros tienen distintos tamaños: <2 nm (microporos), <50 nm (mesoporos), y >50 nm (macroporos). La adsorción óptima se da cuando el tamaño de los poros predominantes está entre 1 y 5 veces el de las partículas a eliminar. [27]
- Contenido en cenizas: Depende de la naturaleza del carbón y pueden ser eliminadas con lavados.

- Grado de oxidación: Depende del modo de activación. Los métodos de activación son: térmicos, con vapor de agua o químicos.

- Naturaleza del carbón: vegetal (madera de pino), lignítico, bituminoso y de concha de coco. Las diferentes características que presenta cada uno de ellos lo hace más adecuado para una tipología de efluentes que para otros (Cuadro 02).

Cuadro 02

CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN EN BASE A SU NATURALEZA Y
APLICACIÓN DEL MISMO

Naturaleza del carbón	Aplicación Principal	Observaciones
Vegetal	Agua residual con colores intensos y/o cantidades importantes de grasas aceites y otros componentes de alto peso molecular. Industria textil, alimentaria y petroquímica.	Carbón con alto nivel de macroporosidad. Es poco duro, por lo que se usa en polvo.
Lignítico	Contaminantes diversos. Aguas residuales urbanas	Distribución de tamaño de poros homogéneos. Baja dureza
Bituminoso	Contaminantes de peso molecular intermedio. Potabilización de agua superficial y/o con ligero color debido a algas.	Mesoporosidad alta en el rango cercano a la microporosidad. Dureza intermedia.
Concha de coco	Mesoporosidad alta en el rango cercano a la microporosidad. Dureza intermedia.	Alta microporosidad. Elevada dureza y resistencia a la abrasión.

Fuente: (Grosso G, 1997).

Los sistemas usualmente empleados son las cubas de mezcla y las columnas.

En las primeras se adiciona una dosis de carbón activo, generalmente en polvo que luego es eliminado por sedimentación. En las segundas, los montajes

tienen distintas características de funcionamiento: columnas únicas, en serie o en paralelo, por gravedad o a presión, flujo ascendente o descendente. Es frecuente el uso de carbón activo granular (CAG) o *pelets* (carbón activo en polvo densificado), que disminuyen la pérdida de carga a lo largo de la columna, aunque la cinética de adsorción sea algo menor que con carbón en polvo. [27] En este caso la disposición de un lecho de arena o unos dispositivos de rejillas en la base de la columna impiden la fuga de restos de carbón. La evaluación del funcionamiento de esta tecnología en aplicaciones concretas se realiza mediante la construcción de las isothermas de adsorción. [18]

Los mecanismos intrínsecos de adsorción pueden ser muy variados según la naturaleza físico-química de los adsorbatos y adsorbentes. Por ello, son muchos los modelos que existen para tratar de justificar los mecanismos que tienen lugar. Así, tenemos las isothermas de Langmuir, Freundlich, Toth y Myers. Cada una se emplea para distintos tipos de solutos y solventes, por lo que debe seleccionarse la más adecuada en cada caso. [18]

La isoterma de Freundlich suele dar bastantes buenos resultados cuando se trata de adsorción en fase líquida. La ecuación final del modelo es

$$q = K_f C^n \quad 4.$$

Donde:

Q = cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa de carbón.

K_f y n = parámetros termodinámicos del proceso.

C = concentración del adsorbato en el equilibrio con el carbón activo.

La representación doble logarítmica permite extraer una línea, muchas veces recta, en la cual interpolar un valor de concentración de adsorbato y así obtener

el valor de q asociado. El cálculo según la ecuación permite obtener la cantidad de carbón necesaria por unidad de volumen de efluente.

$$mca = \frac{C}{q} \quad 5.$$

Donde:

mca = masa carbón activo por litro de efluente tratado.

El carbón activo es utilizado en múltiples aplicaciones. [7, 27] Algunos ejemplos se citan a continuación:

- Potabilización: Se eliminan restos de plaguicidas, hidrocarburos, detergentes y otros compuestos aromáticos que pudiera contener un agua de pozo o superficial. [3]
- Decoloración: Se trata de una etapa de tratamiento previa otras para las que el cloro es un problema. Tal es el caso de la osmosis inversa con membranas de poliamida [27]
- Tratamiento biológico: En determinados casos la adición de carbón activo a un sistema biológico ayuda a retener compuestos orgánicos perjudiciales para el funcionamiento del mismo, al mismo tiempo que se mejora la sedimentabilidad del fango. Es el caso de efluentes procedentes de la industria farmacéutica o de plaguicidas. [35]
- Decoloración: Tanto en el seno de tratamientos biológicos como en etapas terciarias, la adsorción de colorantes orgánicos (normalmente a bajas concentraciones) permite eliminar el color del efluente. El ejemplo habitual de este uso es la industria textil. [41]

2.3.5. MICROFILTRACION

En líneas generales esta tecnología funciona de manera similar a la ósmosis inversa no obstante presenta algunas características importantes que la diferencia.

Algunas de ellas se enumeran a continuación: [35,36]

- Mecanismos de separación. En este caso la separación se produce por tamaño y no por diferencias de difusión a través de membranas.
- Se utiliza una elevada diversidad de estructuras: tubular, fibra hueca y espiral.

Las dos primeras permiten realizar lavados en flujo inverso. [35,36]

- El corte molecular se establece para partículas de tamaño superior que no son solubles sino sólidas: bacterias, virus y partículas coloidales.
- Los materiales utilizados son variados: polipropileno, polisulfona, cerámicas y polvinilalcohol, etc.
- Los niveles de recuperación por módulo son muchos más elevados, del orden del 80 al 98%, mientras que un módulo de Ósmosis Inversa no debe superar el 15-20%.
- La Presión de trabajo es del orden de 2 - 6 bar. La menor resistencia hidráulica que ofrece la membrana unido a la ausencia de fenómenos osmóticos reduce de modo importante la necesidad de energía.
- Aunque el ensuciamiento de las membranas sigue siendo uno de los problemas fundamentales de esta tecnología, en este sistema es minimizar los ciclos de limpieza química mediante diversos sistemas de limpieza periódica por flujo inverso. En unos diseños se produce un paso de perneado en dirección inversa durante unos segundos.

En otros se usan pulsos de aire comprimido

Para conseguir un reciclaje de las aguas, se requiere la aplicación de una combinación de tecnologías capaces de alcanzar un grado de descontaminación elevado, mucho mayor del que exigen las ordenanzas municipales para el vertido de las aguas, especialmente cuando se trata de vertidos a colector. El enfoque del trabajo en estos casos es más integrado teniendo en cuenta los diferentes requerimientos de calidad en diferentes puntos del proceso y segregando el efluente tratado a diferentes secuencias de afino. A continuación se enumeran algunas de las combinaciones posibles [17, 47,48] :

- Electrocoagulación y ultrafiltración
- Coagulación floculación filtración absorción con carbón activado

2.4. MARCO TEORICO DE LA VARIABLE DEPENDIENTE: “Programa de Producción más Limpia al recurso agua”.

El Sector Textil, en la región de Puno, es un pilar importante debido a que la demanda en este tipo de productos no solo es constante en todo el año si no que se caracteriza por ser en volúmenes grandes, es decir hay demasiada demanda, debido a que Puno y Juliaca se caracterizan por ser ciudades calceteras, que se dedican a la confección y comercialización de prendas elaboradas a base de hilo y tela de fibra natural de alpaca y ovino, teniendo dos ferias semanales referidos netamente a productos a base de hilo de ovino ya sean chompas, chullos, abrigos y toda clase de artículos de la zona.

El sector textil, se compone de diversos subsectores, cada uno de los cuales tiene una problemática medioambiental diferente. El más afectado es el ramo de agua, que es motivo del presente trabajo. [8]

A continuación se describen los diferentes aspectos íntimamente relacionados con la tipología y el entorno de los vertidos del sector textil. Posteriormente, se hace una descripción personalizada en el contexto de la Empresa colaboradora en el estudio.

2.4.1. Origen de los Vertidos y procesos productivos.

A continuación se describe cada una de estas etapas: [16,41, 48]

Pretratamientos

Se distinguen las siguientes fases:

- Encolado: Los hilos crudos se sumergen en baños con colas. Estas colas pueden ser de origen natural -almidones- o sintético -alcohol de polivinilo, carboximetilcelulosa o poliacrilatos. Esta etapa tiene como misión proporcionar resistencia al tejido posterior.
- Tejido: Constituye la etapa de fabricación de la tela. Se realiza en seco no produciendo ningún tipo de vertido.
- Chamuscado: El tejido plano se somete a un proceso de flameado con el que se eliminan cascarillas y pelusas, obteniendo una tela de espesor uniforme. Posteriormente la tela es lavada con agua corriente. En este caso se generan aguas con muy poca o nula contaminación.
- Desencolado: Consiste en la eliminación de los excesos de cola utilizada en el proceso de hilatura que mantiene la continuidad y consistencia de la tela. El proceso de desencolado puede ser enzimático o ácido. En el primer caso se utilizan enzimas vegetales y animales que

hidrolizan la goma y la solubilizan en el baño. Para mejorar esta etapa se utilizan tensioactivos y secuestrantes. En el segundo caso esta función se consigue con ácido diluido. Los efluentes producidos no son muy importantes en volumen pero sí en carga contaminante con valores elevados de DBO_5 .

- Mercerizado: Este proceso permite incrementar la resistencia, lustre y la afinidad de los colorantes sobre las fibras, bien sea hilo o tejido. Se impregna en una disolución fría de NaOH manteniendo las fibras estiradas. Posteriormente se lava con agua o una mezcla ligeramente acida.
- Descrudado: En esta etapa se eliminan las impurezas naturales adheridas a las fibras acondicionándolas para las etapas de blanqueo y tintura. Se emplean disoluciones alcalinas con tensioactivos en caliente. En algunos casos el descrudado y el blanqueo se realizan simultáneamente.
- Blanqueo: Tiene por objeto la eliminación de las impurezas de tipo leñoso y coloreadas que permanecen en la fibra tras el descrudado. Se persigue asimismo, la obtención de hidrofilidad en la fibra y un tono blanco suficiente para llevar a cabo una buena tintura o estampación. Los baños contienen agentes blanqueantes como cloro o peróxido de hidrógeno y tensioactivos en medio alcalino. Los vertidos de esta etapa suelen tener una elevada alcalinidad y una toxicidad baja. Si como blanqueante se utiliza cloro la conductividad y los niveles de AOX puede ser también elevada.

Tintura.

En esta etapa la materia textil entra en contacto con una disolución o dispersión de colorante, absorbiéndolo y reteniéndolo en mayor o menor medida. Todo proceso de tintura contempla las siguientes etapas: preparación del baño, transferencia del colorante desde el baño a la tela, fijación del colorante (mediante unión física o química), lavado y aclarado y secado.

Además de los colorantes, los baños contienen una gran variedad de agentes auxiliares necesarios para obtener buenos resultados. Estos agentes se clasifican en: sales, ácidos, secuestrantes, dispersantes, retardantes, tensioactivos, antiespumantes y agentes igualadores.

Los vertidos generados en este proceso surgen de la etapa de lavado y aclarado. El grado de contaminación y volumen del vertido depende de varios factores: [14, 29]

- Tipo de baño: baños con una relación de volumen tela/volumen baño baja generan mayores cantidades de vertidos.
- Grado de fijación del colorante: según la familia química a la que pertenecen, la unión será más o menos fuerte, quedando en el baño un mayor contenido de colorante y contaminación en el segundo caso.
- Tipo de colorante: Dentro de la gama de colorantes solubles existen los de tipo ácido, básico, directo, mordentable, premetalizado y reactivo, cada uno con sus aplicaciones concretas y sus aditivos específicos. En cuanto a los colorantes insolubles en agua la gama se extiende a los de tipo disperso, sulfuroso y tina. Su solubilización se consigue mediante la adición de "carriers" o dispersantes, o agentes reductores. De modo

general, los vertidos asociados a los colorantes insolubles son menos biodegradables que los procedentes de colorantes solubles.

- o Tipo de lavado y enjuagado: en procesos discontinuos o de agotamiento el lavado también es discontinuo generándose más vertido que en los sistemas discontinuos o de impregnación.

Estampación.

En este proceso se efectúa una coloración localizada sobre la tela, dispuesta generalmente en forma de dibujos. El tratamiento previo necesario para preparar la tela consiste en las siguientes etapas, algunas de ellas ya comentadas: desandado y blanqueo para proporcionar una buena hidrofiliidad a la fibra, mercerizado para conseguir la afinidad máxima entre la fibra y el colorante y chamuscado para evitar la presencia de fibras sueltas sobre el seno de la tela. [14]

Las etapas a seguir en el proceso de estampación: preparación de la pasta de estampación, estampación (deposición de la pasta y secado) y termofijado (por penetración del colorante, en el caso de los solubles, o por reticulación en el caso de los pigmentos).

En este caso y a diferencia del proceso de tintura el uso de colorantes solubles proporciona unos vertidos con una menor biodegradabilidad que el de pigmentos.

Acabados.

Consiste en la impregnación de la materia textil para modificar su tacto, aspecto y otras propiedades. En función de las propiedades buscadas la composición del baño varía, siendo algunos de los componentes generales los tenso

activos catiónicos y las resinas acrílicas, las cuales dejan en las aguas de lavado unas cargas de DQO muy elevadas.

2.4.2. Proceso productivo de la empresa colaboradora.

La empresa colaboradora, es una empresa que se dedica a la transformación de la fibra de alpaca, oveja, algodón, llama y otras fibras nativas que existen en las zonas alto andinas de la región de Puno y a su vez la industrialización de la fibra de algodón.

Una propuesta que tiene la empresa es aprovechar la fibra que producen las diferentes comunidades que se encuentran al interior de la región por ser un recurso bajo en costos y con un gran índice de aceptación en el mercado extranjero, una vez finalizado el proceso de transformación de la fibra natural en hilo para la comercialización de diferentes tipos de tela.

Los productos principalmente son:

1. Hilo: El hilo es la transformación que sufre la fibra natural de alpaca o también el ovino después de un proceso industrial de lavado, cardado e hilado para obtener el hilo se puede tener todo tipo refiriéndonos al grosor y textura del hilo.

2. Los Top's, el proceso por el que pasa los top's es mas complejo, por ello su transformación es larga, pero es el principal producto de la empresa.

A continuación veremos el proceso por el que pasa la fibra de alpaca y ovino:

Acopio: Las fuentes de materias primas, lana de ovino y fibra de alpaca, son los denominados rescatistas que son nada menos que los recolectores rurales, los vendedores de K'atos y los vendedores en fiestas patronales de las

diferentes provincias de las alturas de Puno. La fábrica cuenta con un depósito de materia prima principal y secundaria, en donde se almacena a la lana de ovino, alpaca.

Selección de Lana

La materia prima principal adquirida, es sometida a una operación manual, que consiste en seleccionar la lana de acuerdo a su capacidad. Esta selección se realiza por los operarios capacitados en primera, segunda y tercera. Estas lanas ya seleccionadas son enviadas posteriormente a una máquina sacudidora en donde se separa todo tipo de inmundicias.

Apertura de Fibra

Antes de iniciar el lavado propiamente dicho, la lana se pasa a través de una máquina de batido y apertura, esta máquina, como su nombre lo indica, bate y abre la fibra para que esta suelte la mayor cantidad de tierra posible e ingrese a los baños preparada para que el detergente pueda tener una óptima penetración y acción de lavado. La tierra resultante de este proceso es aspirada por unos filtros y luego desechada.

Lavado de la lana

Es esencial eliminar las impurezas que quedan en la lana después de despolver ya que obstaculizarían las operaciones de teñido, cardado, peinado e hilado. Los dos métodos más importantes empleados para la limpieza final de la lana son:

- Lavado con detergente o jabón y un álcali
- Extracción con disolventes

El primero es el más común y cuando está regulado cuidadosa y científicamente rinde buenos resultados con un mínimo de costo. El lavado es una operación continua que se lleva a cabo en una serie de cuatro a seis tinas o compartimientos conocidos con el nombre de "tren de lavado" o "leviatán". La lana es impulsada gradualmente de un baño a otro por varios medios mecánicos. En algunos procedimientos hay rodillos exprimidores entre un baño y el siguiente, lo que simplifica la adición de contra flujo, en el que la solución de tratamiento se rebasa continuamente a la tina precedente, haciendo más difícil la regulación de las adiciones de sustancias químicas.

El baño de lavado generalmente contiene jabón o un detergente químico y un álcali para ayudar en la emulsión y saponificación parcial de la grasa de la lana. El primer compartimiento en un tren continuo de lavado contiene por lo común solamente agua o una solución de carbonato sódico para eliminar la grasa soluble y las materias extrañas.

Secado

El secado de lana se inicia desde el rodillo exprimidora de la cuarta tina, en el cual se elimina una mayor cantidad de agua, posteriormente se somete a la centrifugación durante 3 minutos, hasta aquí se logra eliminar 40 a 45 % de agua que se ha enlazado físicamente a la lana, Posteriormente es secado por dos vías que a continuación se detalla:

1. VIA SECADO A VAPOR.- La lana es secado por la eliminación de su humedad por defecto del calor producido del vapor de agua en un equipo secador. Este equipo entra en funcionamiento generalmente en temporadas de lluvia y en días que no se presentan los rayos solares.

2. SECADO POR VIA NATURAL.- La mayor cantidad de lana húmeda es secado por vía natural, aprovechando los rayos solares, para esto se cuenta con una plataforma exclusivo para el secado de la lana húmeda.

Destrozado de Fibra

Aquí se realizan varias operaciones como descomponer, mezclar, desmontar, abrir principalmente desenredar en una capa fina y continua. También se estiran los fragmentos de lana hasta que adquieran una textura suave.

Cardado

Aquí se fábrica hilos de diferentes títulos. La sección cuenta con dos tipos de cardas:

CARDAS.- Las cardas son máquinas en serie que tienen la finalidad de paralelizar y mezclar por completo la lana. La sección cuenta con dos tipos de cardas:

1. Carda Castañar.- Es una máquina que tiene las siguientes características y funciones. Desde el momento que la lana o fibra egresa de la sección anterior, ingresa a la tolva de la carda desde ahí se inicia la operación de cardado; el material lana es transportada mediante una telera que lleva puas de fierro. Él lo facilita el transporte y es auxiliado por un peine, luego el material ingresa a una balanza automática para ser pesado, el peso del material varía de acuerdo al titulo de hilo que se desea fabricar, continua ingresando a una primera fase de paralelizado, donde se tiene a una serie de rodillos o cilindros con guarniciones toscas o separadas, en aquí el material es desfibrada y sometido a un cilindro denominado Bofet el cual se encarga de pasar el material a otra fase de cardado que sigue la misma operación anterior, pero con una diferencia de que

las guarniciones son más finas. Pasa a la tercera fase en donde se logra la paralelización y la mezcla completa de material finalmente llega a una serie de ciernes los cuales se encargan de convertir en mechas.

2. Carda Inglesas.- Esta carda es semejante y tiene las mismas funciones que la anterior, la diferencia radica en la producción de mechas para hilos de diferentes títulos así como para hilos 1/4000, 1/2000, 1/3250 y otros.

Hilado o hiladeras

Para hilar la lana cardada, el manto se divide en cintas finas que se frotran, enrollan y estiran para formar el hilo. Para hilar la lana peinada, la lana se procesa en unas máquinas peinadoras que colocan en la misma dirección las fibras largas. La hebra resultante se aprieta haciéndola pasar por varias máquinas hasta obtener un hilo fino, hasta la numeración deseada con fines del grado de torsión necesario para su solidez. Son máquinas que cumplen con la función de torsión de hilado de las mechas que se han obtenido en las cardas.

Teñido:

Es una de las primeras secciones amplias destinadas para realizar el teñido de las hebras, para ello la sección cuenta con dos equipos.

Se puede señalar tres procedimientos:

A. Procedimiento de tintura para colorantes dotados de gran poder igualador

En el baño de tintura se ajusta una acidez de pH 2 -3 mediante la acción de 3 – 4 % de ácido sulfúrico (al 96%); luego se agrega una dosis de 5 – 10 % de sulfato de sodio. La acidez indicada del baño de tintura puede también alcanzarse agregando aproximadamente un 4% de ácido fórmico (al 95%). Después de hacer circular brevemente el baño a 50 – 60%, se agrega el

colorante disuelto. Después de hacer circular otra vez, por breve tiempo se aumenta a la temperatura en el intervalo de aproximadamente 30 minutos. Hasta la ebullición y se termina la tintura a ésta temperatura. Según el tipo de material y la intensidad de tintura, el tiempo de ebullición se halla comprendido, por regla general entre 45 – 90 minutos. Adiciones de colorante puede efectuarse con el vapor cerrado. [7,8]

B. Procedimiento de tintura para colorantes dotados de un poder igualador bueno hasta mediano (con pH de 4 – 5.5.)

En el baño de tintura se ajusta una acidez de pH 4 – 5.5 mediante la adición de 1 -3 % de ácido acético (al 60%) luego se agrega una dosis de 5 – 10 % de sulfato sódico.

Después de hacer circular brevemente el baño a 40 – 50°C, se agrega el colorante bien disuelto. Luego se hace circular otra vez por breve tiempo y se aumenta la temperatura en el intervalo de 30 a 45 minutos. Hasta la ebullición según el tipo de material y la intensidad de tintura , el tiempo es generalmente de 45 – 90 minutos. Las adiciones posteriores de colorante pueden efectuarse con el vapor cerrado.

C. Procedimiento de tintura para colorantes de bajo poder igualador.

El baño de tintura o teñido se ajusta a una acidez de pH 6.5 mediante la adición de 0.5 – 1% de ácido acético (al 60%). Después de hacer circular brevemente al baño, se ajusta con amoníaco a un intervalo neutro. Luego se agrega una dosis de 5 – 10 % de sulfato sódico. La cantidad del sulfato sódico no debe ser superior a 2 g/l. Acto seguido, se agrega a 30 a 40°C el colorante

bien disuelto y se calienta lentamente el baño de tintura. Si se observa que el colorante comienza a montarse intensamente sobre el material, lo cual tiene lugar a temperaturas comprendidas entre 60 – 80°C entonces es recomendable cerrar el vapor durante 10 – 15 minutos. A continuación, se aumenta la temperatura del baño hasta la ebullición y se tiñe. El tiempo total de calentamiento debe ser por lo menos de 45 minutos.

Acción del ácido en el baño de tintura

Dado que la afinidad de la lana para con los colorantes puede ser influida considerablemente por el empleo conjunto de ácido en el baño de tintura, es de gran importancia para el desarrollo del proceso de tintóreo y para el buen resultado de las tinturas a emplear, en cada caso, la cantidad más favorable de ácido. La acción del ácido en el baño de tintura se debe al hecho de que los iones de hidrógeno que se forman por disociación, son fijados en partes por la lana dando lugar a una carga eléctrica positiva, aumentando por consiguiente, la fuerza de atracción de la lana con respecto a los aniones del colorante. La distribución de los iones de hidrógeno entre la lana y el baño está sujeta a un equilibrio químico, que se establece al moverse el material a teñir o durante la circulación del baño. Cuando se emplean ácidos fuertes, éste proceso se concluye ya al cabo de pocos minutos, mientras que dura más cuando se trata de ácidos débiles. En éste caso el aumento de temperatura acelera considerablemente el proceso de ajuste del equilibrio. Por consiguiente, entre el valor pH del baño y la acidez de la fibra existe una relación fija debido a éste equilibrio.

Acción de la sal en el baño de tintura

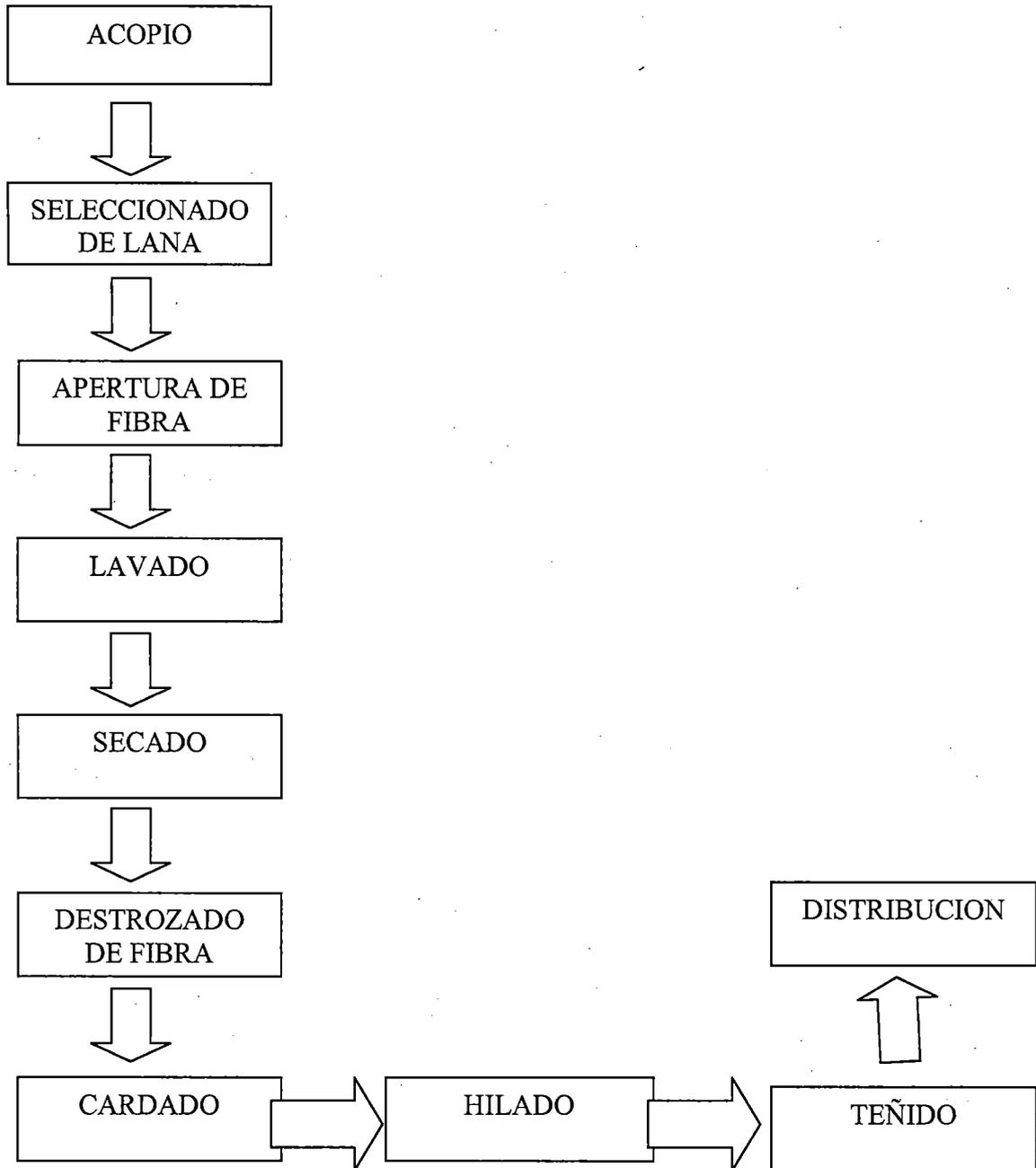
El estado electropositivo de la lana en medio ácido no solamente da lugar a una atracción de estos aniones del colorante, sino también a otros aniones existentes en el baño de tintura. Por ejemplo, si se tiñe en presencia de sulfato sódico, como se acostumbra generalmente, entonces los iones de sulfato entran en competencia con los iones de colorante. Debido a ello el agotamiento del baño tiene lugar más lentamente y además no se produce por completo. Por consiguiente, la adición de sal a un pH inferior a 5 debilita algo la alta afinidad de la lana con el colorante, de forma que ejerce en consecuencia un cierto efecto de retención e igualación en el intervalo isoiónico en el que la lana se encuentra prácticamente en estado electroneutral, no se producen fuerzas electrostáticas considerables entre ésta y los iones del colorante. La adición de la sal no ejerce entonces, o sea con un pH de aproximadamente 5, ningún efecto de retención ni de montaje. [7,8]

Distribución

La demanda de este tipo de productos en la región de Puno, no solo es constante durante todo el año, sino que se caracteriza por ser en volúmenes grandes, dado que en la región, país y el extranjero se confeccionan prendas elaboradas de hilo y tela de fibra natural.

Figura 2
ESQUEMA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA TEXTIL
COLABORADORA.

DIAGRAMA DE FLUJO



2.4.3. Características de los vertidos.

Atendiendo a los procesos que se han comentado, la contaminación que es aportada a los efluentes se puede clasificar atendiendo a su origen: [3,4,7]

- Eliminación de productos naturales, procedentes de impurezas presentes en las fibras de origen natural.
- Eliminación de productos incorporados de forma provisional en cualquiera de las etapas del proceso.
- Los colorantes y productos auxiliares, que no se han incorporado de forma definitiva a la materia textil, en los procesos de tintura y estampación
- La limpieza de maquinaria, elementos auxiliares y envases de los procesos de impregnación y estampación.

En este sector la tendencia actual, es la de centralizar los diferentes efluentes a una única instalación de tratamiento, como es el caso de la empresa colaboradora, sin embargo en la región se vierte todo aún cuando se establezcan unidades de tratamiento y reciclaje particulares. Esto se debe a la plena compatibilidad entre las diferentes descargas.

De modo general el sector genera caudales muy elevados de vertido (40-300 m³/tonelada de producto acabado) altamente contaminados, con las siguientes características [35,48]:

- Alto contenido en materia orgánica, más elevado incluso si existen circuitos internos de reciclaje de agua.
- Bajo nivel de biodegradabilidad, debido a la naturaleza sintética de muchos de los componentes, tanto los de peso molecular elevado como los colorantes.

- Bajo contenido en materias coloidales y en suspensión por lo que la mayor parte de la contaminación esta en forma soluble.
- pH normalmente alcalino.
- Elevado nivel de color, ocasionado por las importantes cantidades de colorantes sin fijar.
- Generalmente no contienen productos tóxicos.
- Son deficitarias en nutrientes
- Salinidad elevada, por la adición de grandes cantidades de sales en los baños de tintura.
- Temperatura elevada, debida a las elevadas temperaturas de algunas reacciones durante el proceso.
- Ausencia de microorganismos patógenos.
- Presencia elevado cloro por la etapa de blanqueo.
- Altos niveles de fosfatos cuando el agua de proceso es dura y ésta no sufre un proceso de acondicionamiento previo. Este no es el caso de un gran número de instalaciones actuales ni del ejemplo a estudiar de la empresa textil colaboradora, la cual dispone de un sistema de descalcificación como unidad de tratamiento.
- Bajos niveles de nitrógeno en relación a lo necesario para llevar a cabo un tratamiento biológico.

2.4.4. MEDIDAS GENERALES DE PRODUCCION MÁS LIMPIA PARA OPTIMIZAR EL USO DE AGUA

Para prevenir o reducir la generación de desechos, se debe examinar cada operación en el contexto global del proceso, a fin de identificar su origen y

cantidad, los problemas operativos inherentes y las posibles soluciones y mejoras. [23] El enfoque del examen de cada operación puede orientarse para detectar:

- Uso ineficiente o pérdidas de agua y otros insumos.
- Residuos que pueden ser utilizados
- Residuos que ocasionan problemas de procesamiento
- Residuos considerados peligrosos o contaminantes
- Desechos cuyos costos de disposición final son elevados.

Por ello, en general la forma correcta de evaluar el desempeño ambiental de una planta, en función a sus descargas debe hacerse en términos de la cantidad de carga contaminante generada por unidad de producto (kg contaminante/unidad de producto) y no sólo en términos de la concentración del efluente.

Para calcular la carga que se envía hacia un cuerpo receptor, se necesita conocer no solo el caudal sino también la concentración de los contaminantes. La carga (M), se obtiene multiplicando la concentración (C) por el caudal Q.

$$M \text{ (kg/h)} = C \text{ (Kg/L)} \times Q \text{ (L/h)} \quad 6.$$

Se consideran también las siguientes ecuaciones:

Entrada (abastecimiento de agua) + entrada (corriente residual) = salida

Calculo del caudal de la corriente residual

$$Q_{\text{descarga total}} = \sum_{i=1}^n Q_i = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \dots \dots \dots 7.$$

Cálculo de la concentración media de la corriente residual (mg/L)

$$C_{\text{media}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \times C_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad 8.$$

Donde: Q = caudales en diferentes puntos

C = Concentración

Si estas descargas fueran recolectadas o almacenadas en un tanque homogenizador, la concentración es mucho mayor que la establecida en Límites Permisibles, para descargas directas a cuerpos de agua, razón por la cual las empresas deben hacer esfuerzos por reducirlas si descargan individualmente y directamente al río o si se descarga al alcantarillado, la empresa deberá fijarse un límite máximo conveniente.

2.4.4.1. Calculo de las descargas de aguas residuales

Calculo del caudal de descarga (Q_d)

Requiere determinar la masa total del producto que se procesa al mes, mediante la siguiente fórmula: [19]

$$M_{tp} = N_r (\text{producto /día}) + M_r (\text{kg/producto}) + N_d (\text{días/mes})$$

$$Q_d = \text{Volumen total del agua} + \text{Volumen total en la producción}$$

Calculo de la carga y concentración de los contaminantes

$$M_{DQO} = M_{DQO} \text{ proceso de producción} + M_{DQO} \text{ en otros.}$$

$$C_{DQO} = M_{DQO} / Q_D$$

$$M_{DBO5} = M_{DBO5} \text{ proceso de producción} + M_{DBO5} \text{ en otros}$$

$$C_{DBO5} = M_{DBO5}/Q_d$$

Fuente de Suministro de Agua

El suministro de agua tiene como base la utilización de:

* Abastecimiento de agua potable

* Abastecimiento de pozo. La demanda de agua varia según la industria y si se va reciclare o rehusar el agua

Calidad de Agua

Los controles a ser utilizados deben seleccionarse según la fuente de donde provenga el agua: [19]

- Si es de acequia, se debe analizar, además de la calidad de agua, su recorrido, lugares donde pasa y cuán uniforme es la concentración de sustancias que podría afectar la eficiencia de las operaciones y/o calidad del producto.
- Si es de pozo poco profundo (napa freática), la industria corre el peligro de que el agua no tenga una composición uniforme en sustancias disueltas y/o éste contaminada con microorganismos, ya sea en forma accidental o permanente.
- Si es de pozo profundo, la composición del agua es generalmente uniforme en el tiempo, sin microorganismos pero puede ser muy mineralizada por lo que debe ser analizada periódicamente.
- Si es de agua potable de la red municipal, la composición también puede variar y algunos parámetros pueden estar fuera de los rangos óptimos para las operaciones.

Costo de Agua

El costo relacionado con el manejo de las aguas residuales también depende del volumen de agua demandado

- Costo de las bombas
- Costo de operación y mantenimiento de las bombas
- Costo de construcción y mantenimiento de los tanques de almacenamiento
- Costo del tratamiento de aguas residuales.

- Costo de equipos utilizados en el tratamiento de aguas residuales
- Costo de operación y mantenimiento de dichos equipos, incluyendo energía consumida y la mano de obra empleada.

2.4.4.2. Medidas Generales para Optimizar el uso de agua y reducir la contaminación.

Algunas medidas que pueden ser incluidas en un programa para optimizar el uso de agua, son:

- 1) Concientizar y capacitar al personal
- 2) Medir el consumo de agua

Para realizar un programa de gestión de agua, es muy importante:

- Conocer el volumen de agua empleada en la planta, por operaciones y procesos o por secciones. Este volumen puede conocerse mediante estimaciones in situ.
- Calcular los volúmenes adecuados que se necesitan en cada operación y las formas de verificar que la dosificación de agua sea la correcta.

Los métodos para determinar el consumo de agua son:

- a) Medidores volumétricos de agua, se instalarán en lugares donde se consume gran cantidad de agua, pueden ser permanentes o temporales.
- b) Método del balde y cronómetro, el material a usarse pueden ser un recipiente aforado. [19]
- c) Método del llenado/vaciado de un volumen de agua en un tanque.
- d) Método de trazadores, existen dos variantes: 1. Mediante la inyección de sustancias coloreadas Esta técnica, también denominada de dilución el caudal se determina midiendo la cantidad de agua que diluye una

sustancia trazadora inyectada al fluido. Hoy los trazadores más usados son los radioactivos y los tintes fluorescentes; 2. Mediante la inyección de objetos, en este caso se utilizan como trazadores esferas u objetos pequeños, los cuales son introducidos en la corriente del fluido. Conocida la distancia que recorre el objeto, el tiempo en el que recorre esta distancia y el área por donde atravesó el fluido.

2.5. HIPÓTESIS

2.5.1. Hipótesis General

Es posible evaluar técnicamente las diferentes alternativas de tratamiento viables para una Empresa Textil que de solución al tratamiento del efluente final, después de aplicarse un programa de producción más limpia.

2.5.2. Hipótesis Específicas

H₁: Se identificarán las causas que originan ineficiencias y efluentes contaminados para poder determinar acciones en una evaluación productiva de beneficio ambiental, productivo y económico en un programa de producción más limpia..

H₂: Las alternativas de tratamiento que utilicen tecnologías limpias con la finalidad de proporcionar solución al vertido son son: 1. Coagulación y Floculación, 2. Electrocoagulación y flotación. 3. Tratamiento Biológico en dos líneas, fango activado – coagulación y floculación – carbón activado granular y fango activado – microfiltración.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. PARA LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA

El desarrollo de un Programa de Producción más limpia, se baso en un conjunto ordenado de actividades, que se ejecutan en una secuencia de pasos basados en el Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales de la ONUDI – PNUMA. (1994). [19,43]

Etapas 1. Creación de la base del programa de PML

Los pasos que se siguieron en esta etapa son:

Paso 1. Asegurar la participación de la Empresa colaboradora en la información

- ◆ Se coordino con la empresa mediante su colaboración para la información pertinente
- ◆ Se estableció objetivos y metas
- ◆ Los resultados beneficiosos del Programa de PML, se midieron en acciones de beneficios económicos y beneficios ambientales.

Paso 2. Se conformo un equipo de coordinación

- ◆ Se coordino las actividades.
- ◆ Se conto con un sistema de información confiable, que proporcione datos elaborados sobre los procesos y operaciones unitarias de la planta.
- ◆ Se conto con la evaluación de las causas que originan ineficiencias en las operaciones unitarias y que provocan el desperdicio de materias primas, agua.

Paso 3. Se identifico obstáculos al programa de PML y se propone soluciones considerando todos los obstáculos, actividad y la solución

Etapas 2: Preparación del diagnóstico de PML

Paso 4. Se recopiló información sobre los procesos de producción.

Se recopiló la bibliografía e información general relacionada con la empresa Textil colaboradora.

Se recopiló información técnica de la empresa sobre sus procesos de producción. Se inspeccionó en forma general la planta para comprender las operaciones asociadas a los procesos y sus interrelaciones.

Paso 5. Se evaluó los procesos de producción identificando las operaciones unitarias críticas. Para evaluar los procesos de producción de la planta, se llevo a cabo las siguientes actividades:

- a. Se dividió el proceso de producción en operaciones unitarias.
- b. Se elaboro diagramas de flujo del proceso enlazando operaciones unitarias.
- c. Se evaluó, en forma preliminar, las entradas y salidas de las operaciones unitarias, estimando los costos derivados tanto de las ineficiencias productivas, como de la generación y tratamiento del efluente.

- d. Se identifico las operaciones unitarias críticas.
- e. Se plantea medidas obvias de PML.

Paso 6. Definir el enfoque del diagnóstico en base a las operaciones unitarias críticas identificadas.

Se definió el enfoque del diagnóstico, tomando en cuenta:

- El origen, tipo, naturaleza, cantidad y costo de las pérdidas o de las ineficiencias en el uso o transformación de agua.
- El origen, tipo, naturaleza, cantidad y costo de las pérdidas o de las ineficiencias en el manejo, almacenamiento del recurso agua.
- Costo del tratamiento del recurso agua.
- Posibilidad de aplicar medidas efectivas de PML.

Etapas 3. Diagnóstico. Estudio detallado de las operaciones unitarias (OU) críticas

Paso 7. Se elaboro balances de masa y energía para las operaciones unitarias críticas. Realizando las siguientes actividades:

- Se estableció la función, el mecanismo y los parámetros (tiempo, temperatura, presión, pH y otros) de funcionamiento de cada operación unitaria.
- Se observó, con el detenimiento necesario, el funcionamiento de la operación unitaria bajo parámetros normales de operación, para entender el mecanismo operativo de la o las máquinas asociadas a dicha operación unitaria.
- Se midió las entradas de cada operación unitaria. La medición del consumo de agua.

- Se midió las salidas de cada operación unitaria incluyendo pérdidas cuantificadas.
- Se combinó los datos sobre las entradas y las salidas de cada operación para obtener un balance preliminar de agua.

Paso 8. Se identificó las causas de ineficiencias en el uso de agua y / las causas de flujos contaminantes.

Las principales causas que originan ineficiencia y flujos contaminantes, normalmente están relacionadas con los siguientes factores:

- La calidad o las características de las materias primas e insumos
- La naturaleza del proceso (y/o la de sus operaciones unitarias)
- Las características de los equipos de producción
- Los parámetros y las condiciones de operación de los equipos.
- Las especificaciones del producto
- Los controles y la supervisión de las operaciones.
- La habilidad y la motivación de los trabajadores.

Para facilitar la identificación de las causas que originan ineficiencias y flujos contaminantes, se procedió de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Primero, para cada operación unitaria, se relacionó los flujos de salida de residuos y pérdidas de agua con los flujos de los insumos de entrada, incluyendo el consumo utilizando para ello los balances de masa.
- Segundo, se determinó las causas que originan una determinada ineficiencia o flujo contaminado.
- Tercero, se obtuvieron indicadores o parámetros de operación estándar relacionados con el factor determinado.

Paso 9. Se plantea opciones de producción más limpia

- Como primera prioridad, se buscó mejorar la eficiencia de cada operación unitaria mediante la optimización del uso de materias primas, agua.
- Como segunda prioridad, se buscó reciclar, reutilizar y/o recuperar flujos de residuos, a fin de reducir pérdidas de insumos y/o productos, lo que a su vez, incidió en la reducción de los costos unitarios de producción y costos de operación asociados al tratamiento final de residuos.
- Debido a que las prácticas de producción más limpia no aseguran una eliminación total de los flujos de contaminantes, fue necesario plantear opciones de tratamiento al final del proceso, para el efluente final. Sin embargo, a pesar de ser la opción elegida, la empresa podrá buscar otras alternativas,.

Paso 10. Se selecciono las opciones a ser evaluadas en términos técnicos y económicos. Una vez planteadas las opciones de PML para mejorar la eficiencia de una operación unitaria, se planteó diseñar las alternativas más apropiadas para su implementación.

En este sentido, a partir de todas las opciones planteadas en el paso anterior, se selecciona sólo aquellas opciones cuya implementación no presente impedimentos obvios de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Descarte, las opciones imposibles de implementar o que, de manera obvia, se vea que no son ambientalmente adecuadas. La decisión de descartar una opción se baso más en aspectos de carácter cualitativo.
- Para las opciones no descartadas, se debe evaluó los posibles obstáculos internos o externos que impedirían su implementación.

- Las opciones no descartadas se evalúan en la siguiente etapa, tanto en términos técnicos como económicos.

Etapa 4- Diagnóstico. Evaluación Técnica y económica

En términos generales, son cinco los estudios particulares que se realizaron para evaluar si es viable técnica, económica, legal, organizacional y financiera.

Paso 11. Se definió el tipo de evaluación como:

- El tipo de evaluación (técnica y económica) necesaria para tomar una decisión sobre la viabilidad de la opción en consideración.
- La profundidad con la que se realizará una determinada evaluación considerada necesaria.

Paso 12. Evaluación técnica. Aspectos Productivos.

El objetivo de esta evaluación fue verificar, la viabilidad técnica para implementar las modificaciones o cambios propuestos en la opción PML. Las actividades que se desarrollaron son:

a. Detallo los cambios técnicos necesarios para implementar cada opción de PML. Esto incluye:

- Descripción del diseño de los cambios propuestos, incluyendo tipo de equipos., diagramas de flujo.
- Especifique la naturaleza, forma y cantidad de entradas y salidas de la operación unitaria, así como las nuevas condiciones operativas propuestas y sus posibles efectos e interrelaciones con el resto de las operaciones unitarias que componen el proceso productivo.

b. Determiné la factibilidad técnica de implementar los cambios requeridos por cada opción de PML

Paso 13. Evaluación Técnica – Aspectos ambientales.

El objetivo de esta evaluación fue cuantificar la reducción en cantidad absoluta, concentración y peligrosidad, tanto de los insumos utilizados como de los residuos asociados a las salidas de las operaciones unitarias modificadas. Para cuantificar y presentar los resultados de dicha reducción realice las siguientes actividades;

- Para cada operación unitaria compare los balances de agua actuales con los proyectados.
- Exprese estas reducciones en términos de indicadores de desempeño relacionados con:
 - La eficiencia en el uso de materias primas, agua y otros insumos.

Paso 14. Evaluación Económica

El objetivo de esta evaluación fue determinar la factibilidad económica de las opciones de PML calificadas en el paso anterior como técnicamente viables.

Se utilizo dos criterios sencillos que están contruidos en base a indicadores establecidos:

1. Periodo de recuperación
2. Rentabilidad de la inversión

Paso 15. Selección y presentación de las opciones de producción más limpia factibles. Al concluir el estado de factibilidad, se realizó las siguientes actividades.

- Organice las opciones PML factibles en orden de prioridad, según los resultados obtenidos en las evaluaciones técnicas (productivas y ambientales) y económicas.
- Realice una opción final de prioridad basados por los criterios utilizados en la evaluación económica.

- Una vez realizada la selección final, éstas se expresaron en forma de recomendaciones señalando en forma clara, concisa, exacta y precisa las medidas específicas a ser implementadas por la empresa.

Etapa 5.- Implementación, seguimiento y evaluación final

Los objetivos de esta etapa fueron:

- Hacer efectivo el programa de PML
- Verificar sus resultados
- Promover la continuidad del programa.

Paso 16. Se establece metas y preparó un plan de acción

- Establecí metas específicas para implementar las medidas de PML recomendadas.

Paso 17. Para implementar las medidas de PML se concluye con recomendar.

- La implementación de medidas sencillas de ahorro de agua, selección de equipos, diseño de modificaciones entre otros.
- Se recomendó ejecutar pruebas preliminares.

Paso 18. Se recomienda hacer seguimiento y evaluar los resultados de las medidas implementadas.

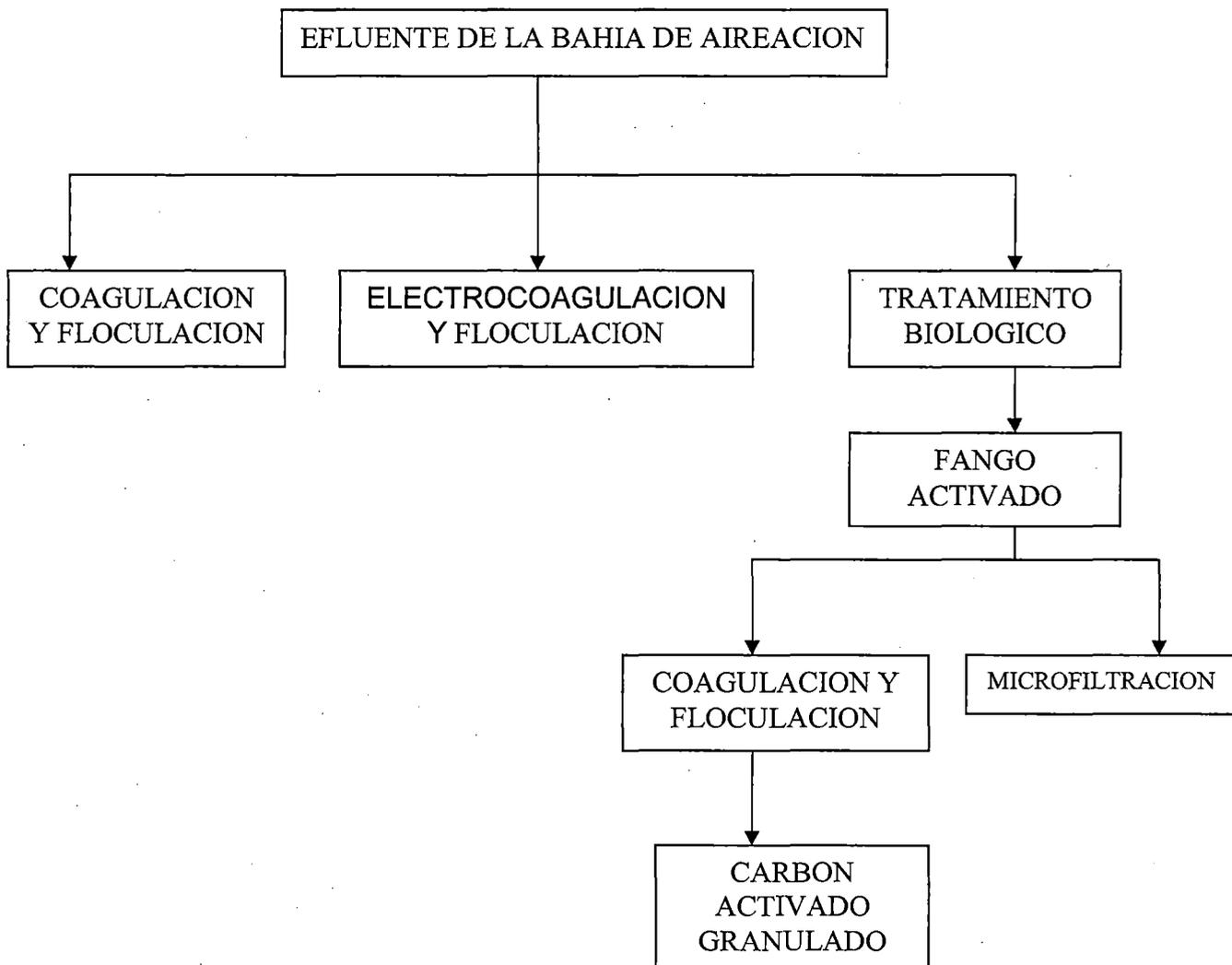
Paso 19. Se recomienda asegurar la continuidad del programa de PML, identificando problemas asociados a la implementación de las medidas recomendadas que no han sido resueltas o mejoras que pueden ser introducidas en otras áreas.

3.2. PARA LA APLICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES

3.2.1. Métodos de la Investigación

Según el objetivo 2 y sabiendo que la empresa colaboradora no cuenta con instalaciones de tratamiento y aunque la secuencia normal en aguas urbanas es la de comenzar con la etapa de coagulación-floculación-sedimentación, para pasar a un tratamiento biológico, las características del sector textil plantea que la reducción de carga orgánica será en la etapa biológica y la eliminación del color en la etapa físico-química, por tanto nuestra investigación ha suscitado el siguiente esquema:

Figura 3
ESQUEMA DE LA SECUENCIA DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO EN LA EMPRESA TEXTIL COLABORADORA.



3.2.2. Equipamiento utilizado para cada tratamiento.

3.2.2.1. Ensayos de Coagulación y Floculación

A. Fundamento

El efluente líquido a tratar contiene material contaminante (Tinte), como materia insoluble o insolubilizable químicamente en forma dispersa o coloidal por lo que puede ser coagulado y floculado.

Las pruebas se han concebido con la finalidad de observar el efecto de 2 coagulantes, sobre la calidad del vertido tratado permitiendo la competitividad de esta tecnología con otras.

B. Material e Instrumento

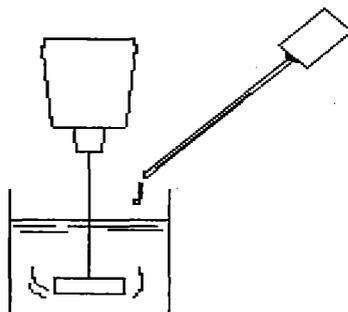
- 01 Vaso de precipitado de 2 litros
- 01 Agitador magnético-eléctrico, con varilla en forma de ancla.
- 01 Pera de Decantación
- 01 pH metro Seven Go Mettler Toledo
- 02 pipetas de 10 ml
- 01 Embudo
- 02 papeles Whatman
- 01 Estufa
- 05 Vasos de Precipitado de 250 ml
- 01 Probeta de 10 ml
- 03 Frascos para muestras

C. Reactivos

- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$. Calidad QP y comercial
- $\text{FeCl}_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ Calidad comercial.
- NaOH calidad comercial y H_2O destilada.

D. Procedimiento

Figura 4
APARATO UTILIZADO PARA LAS PRUEBAS DE COAGULACION Y FLOCULACION.



1. Se toma 1 litro de muestra a ensayar del vertido de muestra aireada.
Se realiza dos repeticiones.
2. Se prepara los coagulantes con una concentración de trabajo de 100 mg/L de hierro o aluminio. (Ver anexo A)
3. Se mantiene un pH estable
4. La agitación es rápida (120rpm) durante unos 5 minutos
5. Luego, en algunos casos se ha adicionado NaOH en busca de un pH óptimo de trabajo, según el coagulante, manteniendo la agitación durante 2 minutos más.
6. Después de deja sedimentar las muestras en una pera de decantación durante 30 minutos.
7. Con la pipeta se toma una muestra del sobrenadante para análisis
8. El resto del volumen se filtra en papel Whatman con la finalidad de evaluar la producción de fangos.
9. El filtrado junto con los sólidos retenidos se lleva a una estufa a 105°C para posterior pesada.

3.2.2.2. Ensayos de Electrocoagulación y Flotación

A. Fundamento

El uso de esta tecnología se presta como una alternativa frente a la coagulación y floculación.

La electrocoagulación es una técnica que involucra la adición electrolítica de iones metálicos como coagulantes directamente en el electrodo del equipo. Estos iones permiten que los contaminantes se aglomeren de la misma forma que si se adiciona un producto químico en el electrodo. [33]

La electrocoagulación favorece la remoción de contaminantes debido a que son arrastrados por las burbujas del gas que se generan en el sistema por lo que tienden a flotar en la superficie. Para tener mejores rendimientos es necesario instalar un sistema que garantice la remoción de la especie que flocule

B. Materiales e Instrumentos

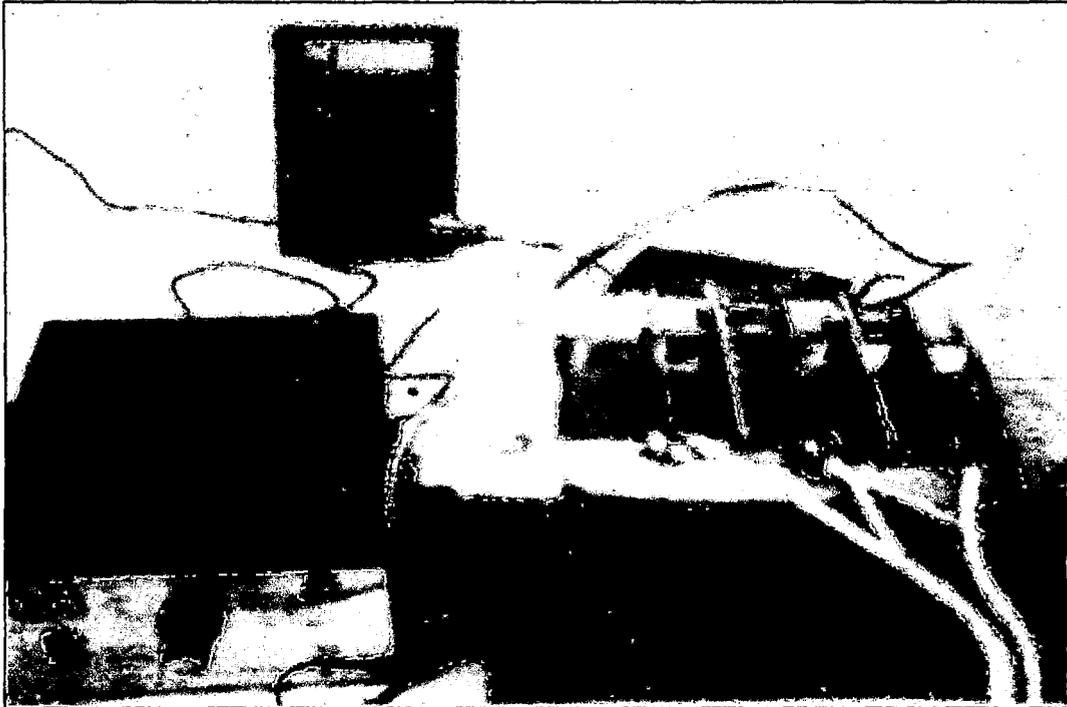
- 01 Recipiente rectangular de 2 litros
- 01 Fuente de poder DT -830D Digital Multimeter
- 02 Electrodo de hierro
- 02 Electrodo de Aluminio
- 02 Frascos para muestras
- 02 Pipetas de 10 ml
- 02 Papeles Whatman
- 02 Embudos
- 02 Lunas de Reloj
- 01 Estufa

C. Reactivos

- Agua Destilada

D. Procedimiento

Figura 5
EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE
ELECTROCOAGULACION Y FLOTACION



1. El vertido de 1 litro se coloca en el recipiente rectangular
2. Del electrodo de aluminio (ANODO), se desprende el aluminio que al solubilizarse actúa como coagulante.
3. La intensidad de corriente es de 200 Amperios.
4. El tiempo de retención es de 60 minutos
5. Se extrae la parte espumante que viene a ser la flotación y calculo del DQO_s
6. Se toma una muestra antes de la decantación para la evaluación de fangos y se filtra en el papel Whatman, llevando la carga sólida a la estufa a 105°C y luego se pesa.
7. Se deja decantar y toma las muestras de la fracción sobrenadante para análisis.

3.2.2.3. Ensayos de Tratamiento Biológico

Estas pruebas soportan el peso más importante de las alternativas estudiadas, se establecen dos opciones que compiten con la coagulación-floculación y electrocoagulación y flotación: consideró la coagulación - floculación seguido de carbón activado granular y una microfiltración, ambas a partir de los fangos activos.

1. Ensayo de Fangos Activos

A. Fundamento

La metodología y el modelo físico de fangos activos utilizado para este ensayo se basa en un equipo a escala de laboratorio del PELT ubicado en la localidad de Barco del distrito de Chucuito de la Provincia de Puno.

Se trabaja a mezcla completa en el tanque de aireación con un volumen de 20 litros. En este tanque la mezcla hace que la concentración de reactante y producto sea uniforme en todo el reactor. Con las condiciones ambientales determinadas en los cuales se satisfacen todos los requerimientos para que haya crecimiento, la biomasa microbial aumentará como resultado de la síntesis celular y disminuirá por causa de la respiración endógena tratamiento

B. Materiales e Instrumentos

- Tanque de alimentación
- Tanque rectangular de vidrio doble de 0.60x0.25x0.35. Volumen útil de 38,625 L (30L al reactor o tanque de aireación y 8,625 L al sedimentador). Tiene un orificio de 0.5 cm de diámetro con una manguera que permite la extracción.
- Recipiente de recepción del agua tratada
- Bomba de vacío de 1/6 HP Emerson

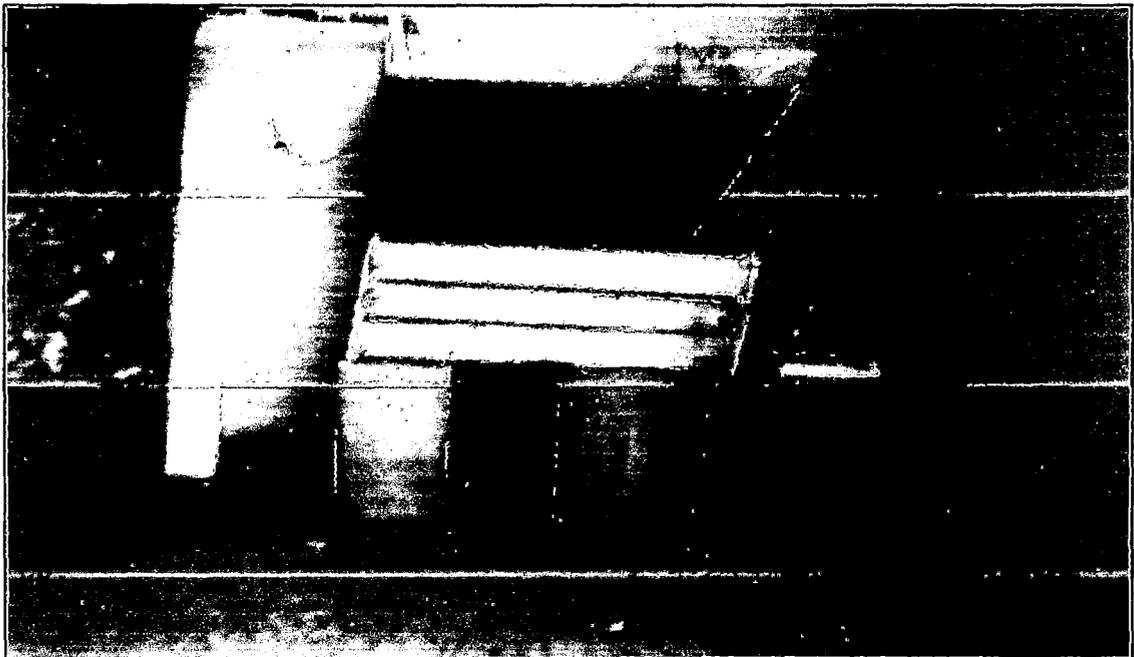
- Mangueras
- Difusores porosos
- Tanque de sedimentación
- Botellas muestre adoras de vidrio y polipropileno
- Botellas de incubación para la determinación del DBO
- Saturador de Oxígeno air pumb HAGEM
- Oxímetro

C. Reactivos

- Preservantes para DBO y DQO

D. Procedimiento

Figura 6
EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS DE FANGO ACTIVADO



1. Se tomaron 20 litros de la balsa de homogenización cuidando que el caudal este lo mas turbulento posible, a temperatura ambiente
2. La alimentación al sistema se realiza a través de una tubería de ½ pulgada de diámetro, la que tiene una válvula de paso para regular el

caudal, la cual desciende por gravedad el líquido residual proveniente de un tanque de tanque de alimentación.

3. Se mide la altura del vertido muestra, preferentemente agitando para lograr una mejor representatividad
4. Se controla el tiempo de residencia, así como los parámetros fisicoquímicos.
5. Se extrae muestra para la determinación del contenido de materia orgánica

3.2.2.4. Ensayo de Carbón Activado Granular

A. Fundamento

El efluente resultante de la etapa de tratamiento biológico por fangos activos según las condiciones de ensayo 3.2.2.1., sigue diversos procedimientos denominados de tratamiento de afino.

El sobrenadante obtenido en la etapa de coagulación-floculación ha sido llevado a una prueba de adsorción estática (o de equilibrio) sobre CAG. Esta etapa es una más de las que supone el pretratamiento previo a la entrada del efluente en un sistema de filtración. El objetivo de los ensayos en este caso consiste en evaluar la respuesta técnica del CAG frente a los contaminantes residuales en el efluente tratado.

B. Materiales e Instrumentos

Las pruebas de adsorción han tenido lugar en un equipo Jar Test de 6 unidades con agitadores de paletas metálicas y de velocidad variable. Los reactores utilizados han sido vasos de vidrio de 500 mL.

Figura 7

EQUIPO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE ADSORCION CON CAG



- Probeta
- Vasos de precipitado de 250ml
- Fiola de 100ml,
- Pipeta
- Cubeta
- Frasco para muestra
- Termómetro
- Papel Whatman
- Balanza Analítica

C. Reactivos

- Carbón activado granular
- Agua destilada

D. Procedimiento

1. Se han preparado varias mezclas con cantidades crecientes de CAG (0,0 – 0,40%) en 250 mL de muestra filtrada previamente en papel Whatman 41 (20-25micras).
2. Tras 24 h de tratamiento a una temperatura de 20-22°C se han filtrado los sobrenadantes sobre papel Whatman 40 (8 micras).
3. Recogida y posterior evaluación de tratamiento.

3.2.2.5. Microfiltración

A. Fundamento

El principio de micro filtración es la separación física. Es el tamaño de poro de la membrana lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

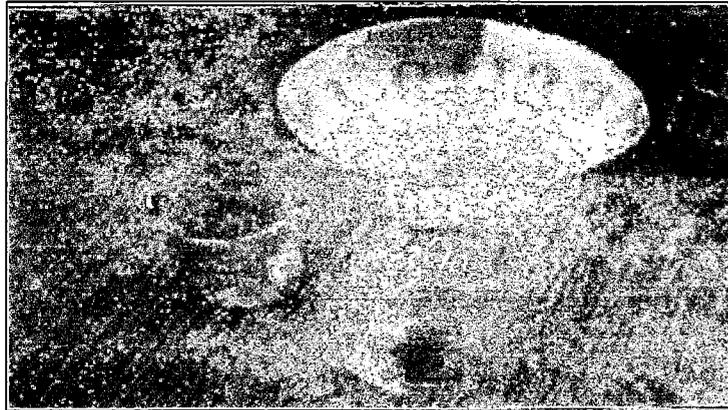
El desarrollo industrial de la microfiltración en el tratamiento de aguas está íntimamente ligado al valor del flujo específico de permeado y al grado de dificultad que presente la regeneración de la membrana. La principal limitación reside en los problemas de colmatación difícilmente reversibles que dependen a la vez del tipo de membrana utilizada y de la naturaleza de la aguas a tratar.

El efluente resultante de la etapa de tratamiento biológico por fangos activos según las condiciones de ensayo 3.2.2.1., sigue diversos procedimientos denominados de afino que competirá con la técnica de coagulación-floculación y carbón activado. Este ensayo se lleva a cabo mediante un sistema de filtración a escala de laboratorio.

B. Materiales e instrumentos

Figura 8

INSTRUMENTOS DE LABORATORIO UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE MICROFILTRACION



- Kitasatos de vidrio
- Soporte de filtro
- Vaso de muestra
- Pinza de filtración
- Bomba de vacio
- Medio Filtrante disco de Acetato de Celulosa

C. Reactivos

Agua Destilada

D. Procedimiento

1. Se arma el equipo de micro filtrado .
2. La superficie del filtración no debe ser mayor a 17 cm^2
3. Se toma la muestra licor de fango activado
4. El flujo máximo debe ser de 65 mL/min/cm^2
5. Tras filtrar 100 ml de muestra durante el ensayo se tomaron los últimos 25 mL filtrados como muestra para evaluar la calidad del efluente,

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. EXPOSICION DE LOS RESULTADOS A LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE PRODUCCION LIMPIA PARA EL RECURSO AGUA

4.1.1. Estudio detallado de las etapas que utilizan el recurso agua de la Empresa Colaboradora

La Empresa colaboradora, para cubrir los requerimientos de agua en cada uno de las etapas de los procesos de producción, así como baños, cocina, limpieza y riego de áreas verdes, emplea únicamente agua de pozo, ésta esta bombeada hacia un tanque de concreto de unos 30 m³ de capacidad. La distribución es a través de una tubería de 2 pulgadas.

Consumo

La planta tiene medidores para el control de agua, pero en el momento del trabajo no se contaba, de tal modo que para registrar el consumo se agua se recurrió a datos proporcionados por los trabajadores, y a la medición de los caudales utilizando un recipiente de 10 litros.

Al interior de la Empresa, se identificaron tres usos específicos que son:

- Uso doméstico (servicio varios y aseo personal)

- Uso industrial (Lavado, teñido, vaporizado, generación de vapor)
- Otros usos (Riego de áreas verdes, lavado de exteriores, etc.)

4.1.1.1. Uso doméstico:

El uso doméstico se subdivide en dos centros de demanda, que son alimentación y aseo para un día de trabajo

Tabla 01

CONSUMO DE AGUA USO DOMESTICO (24 horas)

Actividad	Volumen m³
Preparación Desayuno	0,080
Lavado de utensillos	0,095
Preparación de almuerzo	0,270
Lavado de utensillos	0,100
Limpieza de pisos	0,100
Aseo personal	0,090
Consumo de agua en baños (urinario, inodoro, lavamanos, ducha)	19,80
TOTAL	20,35

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2. Uso Industrial

Con respecto al uso de agua en las actividades netamente industriales, estas se subdividen en:

- Apertura de fibra

En esta etapa se usa agua de refrigeración para la máquina denominada SEYDEI, en donde se midió el consumo de agua por diferencia de alturas en el tanque que alimenta dicha máquina, así como para el vaporizado, y la bomba de vacío.

Tabla 02

CONSUMO DE AGUA SECCION DE LA APERTURA (24 horas)

Actividad	Volumen m ³
Rotura de fibras	0,17
Vaporizado	0,27
Vacio	12,25
TOTAL	12,69

Fuente: Elaboración propia

➤ Lavado

Para la limpieza final de la lana, se utiliza detergente, jabón y un álcali, se lleva a cabo en una serie de cuatro tinas o compartimientos conocidos como “tren de lavado” o “leviatán”. La lana es impulsada gradualmente de un baño a otro por varios medios mecánicos utilizando rodillos exprimidores.

Balance de materia en el Leviatan:

Base de Cálculo : 8 horas

Peso de la lana sucia : 1 040 Kg

Tipo de Lana : Primera extra

Carga Máxima : 130 Kg lana sucia por hora

De acuerdo a las condiciones de lavado tenemos:

Tabla 03

BALANCE DE MATERIA EN EL LEVIATAN

TINA	CAPACIDAD	TEMPERATURA	CARGA INICIAL	ADICION/Hr
1	3 000 litros	45°C	Na ₂ CO ₃ = 1,5 Kg	0,45 kg
2	2 500 litros	50°C	Detergente = 1,0 Kg	0,34 Kg
3	2 000 litros	55°C	Detergente = 0,68 Kg	0,23 Kg
4	2 000 litros	45°C	-----	

Fuente: Elaboración propia

a) Cantidad de Detergente agregado:

$$\begin{aligned}\text{Detergente agregado} &= \text{Carga inicial} + \text{deterg}_2 + \text{deterg}_3 \\ &= 1.0 + 0,34 (8) + 0,23 (8) = 6,240 \text{ Kg.}\end{aligned}$$

b) Cantidad de Carbonato agregado

$$\begin{aligned}(\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{agregado}} &= \text{Carga inicial} + (\text{Na}_2\text{CO}_3)_1 \\ (\text{Na}_2\text{CO}_3)_{\text{agregado}} &= 1,0 + 0,34 (8) + 0,68 (8) = 6,210 \text{ Kg.}\end{aligned}$$

c) Cantidad de agua de lavado

La cantidad de agua empleada en un turno, se determina por el agua necesaria de llenado en las tinajas, más la entrada de agua en la cuarta tina que equivale a 1800 litros/hr

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O}_{\text{lav}} &= \text{H}_2\text{O}_{\text{tinajas}} + \text{H}_2\text{O}_{\text{entrada}} \\ \text{H}_2\text{O}_{\text{lav}} &= 9\,500 + 1,800 (8) \\ \text{H}_2\text{O}_{\text{lav}} &= 23\,900 \text{ litros.} = 23,9 \text{ m}^3\end{aligned}$$

El secado de lana se inicia desde el rodillo exprimidora de la cuarta tina, en el cual se elimina la mayor cantidad de agua, posteriormente se somete a la centrifugadora durante 3 minutos, hasta que se logra eliminar 40 a 45% de agua.

BLANQUEO DE LANA

Es un método alternativo, para producir un blanco puro o para obtener un fondo vivo para tonos pastel, con frecuencia la lana es blanqueada antes de teñirla. Los dos procedimientos generalmente son blanqueo con peróxido de hidrógeno y azufrado, en ambos casos se requiere un enjuague completo y generalmente el uso de un colorante de tinter en el último enjuague. .

➤ Teñido

Para determinar el consumo de agua en el teñido del material se recurrieron a datos de la empresa, además de la medición de caudal a través de mediciones del tiempo que lleva llenar un recipiente de volumen conocido y la medición de las dimensiones de las autoclaves.

Tabla 04

CONSUMO DE AGUA SECCION DE TEÑIDO

Máquina	Volumen m ³
Autoclave 1	14,86
Carbonizadora	27,75
Tina circular cilíndrico	43,85
Fugas	15,10
Total	101,56

Fuente: Elaboración propia

➤ Generación de Vapor

Para la generación del vapor se cuenta un pequeño caldero eléctrico, el uso de un caldero como este es anti técnico pero como no cuenta con su propia hidroeléctrica esto no significa mucho gasto para la empresa. El consumo de agua es de 11,65 m³, dato proporcionado por el personal de mantenimiento.

Tabla 05

ACTIVIDADES QUE CONSUMEN AGUA Y GENERAN EFLUENTES

ACTIVIDAD	VOLUMEN m ³	Porcentaje %
Doméstico	20,535	12,07
Apertura	12,69	7,46
Lavado	23,9	14,05
Teñido	101,56	59,71
Generación de Vapor	11,38	6,69
TOTAL	170,065	100,00

Fuente: elaboración propia

Interpretación

- Del 100% de efluentes que genera la planta 6,69% corresponde a la operación de vaporizado, y con una medida de PML se logrará disminuir.
- En las otras actividades se plantea una medida de PML, considerando que el costo de agua como recurso cada día se eleva.

4.1.2. Evaluación por etapa crítica

Además de detallar cada etapa del proceso y de identificar sus entradas y salidas es necesario identificar las causas que originan ineficiencias y flujos contaminados en cada una de éstas.

En cada una de las etapas críticas identificadas se detallará las causas de ineficiencias ambientales y/o productivas, además de la evaluación de cada una de éstas.

4.1.2.1. VAPORIZADO

Para la operación de vaporizado se cuenta con una bomba de vacío, la cual tiene un tanque para almacenar el agua que permite su funcionamiento. Una vez terminado el vacío el agua es desechada hacia el alcantarillado, detectándose ineficiencias

A. Evaluación Ambiental

- La fibra de lana, es la única que sufre cambios durante el proceso.
- No se tiene un impacto ambiental negativo hacia el medio ambiente, sin embargo se debe notar la existencia de un impacto indirecto, al ser desechado el agua hacia el alcantarillado.

B. Evaluación Productiva

Para evaluar la productividad se realizó un monitoreo del tiempo.

1. Identificación del uso ineficiente del agua. El monitoreo permitió determinar que se están perdiendo 11,65m³ en 24 horas, restando el gastado en la

apertura de fibra que es de 11,38m³. Lo que representa un impacto negativo por el uso inadecuado del agua.

2. Ineficiencias por falta de registro del consumo de agua

No existe un registro por vaporizado en cuanto al consumo de agua, lo que dificulta evaluar la productividad del proceso por el uso de este recurso.

4.1.2.2. TEÑIDO

En esta sección se procede al teñido del material procedente de la sección de transformación, en el cuadro 03 se detallan los materiales de entrada y salida de la operación.

Cuadro 03

MATERIALES DE ENTRADA Y SALIDA EN LA OPERACIÓN DE TEÑIDO

ENTRADA		SALIDA
Madeiras	TEÑIDO	Madejas teñidas Agua residual Condensado
Agua		
Colorantes		
Auxiliares(Suavizante, Acidulante y Retardante)		
Vapor de agua		

Fuente: Elaboración propia

En la sección de teñido, se cuenta con un laboratorio en el cual se determina la proporción y tipo de colorantes y auxiliares a ser usados en el teñido de acuerdo al color que se desea obtener. Teniendo en cuenta el funcionamiento de una autoclave, se tiene los siguientes resultados:

Volumen de agua en m³ = 14,86

Capacidad de teñido = 300 kg/día

$$I_{\text{agua}}/\text{Kg material} = 22,63$$

A. Evaluación Ambiental

En esta sección se produce un impacto negativo hacia el medio ambiente por la generación de efluentes, el tabla 06 muestra los resultados obtenidos en los análisis para el teñido.

Tabla 06

RESULTADOS DE LOS PARAMETROS OBTENIDOS DE TEÑIDO			
Parámetro	Unidad	Limites Permisibles ⁽¹⁾	Resultado
pH	Unidad de pH	6-8	4,2
Sólidos suspendidos totales	mg/l	300	224
Aceites y grasas	mg/l	100	25,6
DBO ₅	mg/l	250	124
DQO	mg/l	500	310

Fuente: Análisis realizados en el Laboratorio de Aguas de la FIQ-UNA/P

Interpretación

- El pH se encuentra fuera de lo exigido por la normatividad, los parámetros restantes cumplen con los límites tolerables.
- Se tiene un valor elevado de SST porque las pelusas que se desprenden de las madejas terminan formando parte de las aguas residuales.

Durante el trabajo en la empresa, estos datos variarían si el teñido es de colores claros y oscuros.

B. Evaluación Productiva

Para evaluar la productividad del proceso, se identifico el uso ineficiente del agua, ya que se usa el mismo volumen de agua para teñir 200 Kg o 500Kg. Esto ocurre debido a que el autoclave ya esta definido su capacidad.

(1) Anexo Limites máximos permisibles a las descargas de aguas residuales en los sistemas de recolección de alcantarillado sanitario.

También se identificaron ineficiencias producidas por falta de mantenimiento o descuido: Llaves mal cerradas, empaquetaduras que no cumplen su función de sellar el paso de agua, descuido de los operarios que dejan algunas llaves abiertas, y el uso propiamente ineficiente de agua.

4.1.2.3. SECADO

Con la operación de centrifugado aún el material presenta una elevada humedad, lográndose eliminar solo el 40 al 45% de agua. Posteriormente es secado ya sea a vapor o por vía natural.

Para saber la cantidad de humedad que se pierde por kilogramo de material secado, se tomo el registro del peso del material a la entrada y salida del proceso de secado.

Madeja Húmeda	572,0 g
Madeja seca	500,6 g
Diferencia	71,4 g

De donde concluimos que por cada madeja que se seca se podrían aprovechar 71,4 g de agua,

A. Evaluación Ambiental

En esta sección no se produce un impacto negativo hacia el recurso agua, ya que no se produce la generación de efluentes contaminados

B. Evaluación Productiva

Aquí hay un uso ineficiente de vapor de agua, fundamentalmente si se utilizado el secado natural. Haciendo los cálculos para 1 040 Kg de lana, considerando que 1kg=1 litro, tenemos 0,129 m³ de pérdida de agua.

4.1.2.4. SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR

Para que se pueda realizar las operaciones de vaporizado, calentamiento de agua de baño para el autoclave de teñido y calentamiento para el radiador del secador, se requiere vapor de agua. Este se genera en el caldero.

A. Evaluación Ambiental

No se tiene impacto ambiental negativo sobre el recurso agua, ya que no genera efluentes contaminados.

B. Evaluación Productiva

Se evaluó en base a la calidad de agua en la alimentación y salida del caldero y la identificación de fugas.

1. Análisis de la calidad del agua a la entrada y salida del caldero

El agua de alimentación al caldero, es agua sin tratamiento proveniente del vaporizador, autoclave del teñido y del secador.

Para conocer la agresividad del agua utilizada se realizó un análisis a los parámetros más importantes del agua

Tabla 07

RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE LA CALIDAD DE AGUA A LA ENTRADA Y SALIDA DEL CALDERO

Parámetro	Valores recomendados	Resultado a la entrada	Resultado a la salida
pH	9 a 11 (Evaluado a la T° del ambiente del caldero)	7,5	7
Dureza	0-150 ppm en forma de CaCO ₃ (dureza Baja) 150-300 ppm en forma de CaCO ₃ (dureza media) >300 ppm en forma de CaCO ₃ (dureza alta)	482,6	330,2
Alcalinidad	< a 300 ppm en forma de CaCO ₃	580	715
Cloruros	< a 50 ppm	530,7	179,6
Sulfatos	< 250 ppm	90,64	195,7

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

- Tanto a la entrada y salida el pH esta por debajo de lo recomendado, a menor pH mayor corrosividad

- Se determina un valor alto en la dureza, hay presencia de calcio, magnesio, lo que ocasionaría incrustaciones en los equipos
- La alcalinidad es alta, formación de incrustaciones
- Cloruros altos, tiene efectos corrosivos. El sulfato confirma el valor alto de la dureza.

2. Identificación de fugas de agua.

En esta sección, realizado el monitoreo en base a 20 minutos se pierde aproximadamente 185 litros de agua.

Otra fuga es en una tubería a la entrada que se determina midiendo el vapor de agua por diferencia.

4.1.2.5. SISTEMA DE CLIMATIZACION

Es recomendable que en una planta textil exista una humedad relativa ambiental de 50 -60% para:

- Mitigar la presencia de partículas de fibra textil en el ambiente
- Mantener los hilos en condiciones óptimas, es decir, ofrecer mayor elasticidad y resistencia a las roturas.
- Reducir la electricidad estática.

Para que se realice este proceso de aire, la empresa cuenta con ventiladores, aunque lo más recomendable es tener aspersores.

A. Evaluación Ambiental

No se produce la generación de efluentes contaminados por lo que no se tiene un impacto ambiental

B. Evaluación Productiva

Por lo que se cuenta solo con ventiladores, que no se tiene control de la humedad

4.1.2.6. RECUPERACION DEL CONDENSADO

Los condensados se recuperaran del sistema de calentamiento del autoclave de teñido, del vaporizador y se acumulan en un tanque.

En el autoclave se detecto una fuga en la línea que transporta el condensado hacia el tanque.

A. Evaluación Ambiental

En la recuperación no se produce un impacto negativo, pero si la pérdida del agua que se contamina al ser descargada.

B. Evaluación Productiva

Se baso en:

- 1- Identificación de fugas en el Autoclave 12,60 m³/ día y tanque de condensado 3.5m³/día haciendo un total de 16,1 m³
- 2- En cuanto al consumo de agua, no existe un registro de la cantidad de condensado que se recupera, lo que dificulta evaluar en uso del recurso agua.

4.1.2.7. Baños y duchas

Dado que las aguas residuales domésticas confluyen con las industriales en un punto final, no se puede tomar un análisis por separado de este vertido.

A. Evaluación Ambiental

De todas maneras en este caso se produce un impacto ambiental negativo por la generación de vertidos contaminados.

B. Evaluación Productiva.

Se detectaron ineficiencias en esta sección debido a llaves mal cerradas o en mal estado y fugas de aguas

Cuantificación de fugas

Se midió esta descarga por acumulación en un recipiente volumétrico en un determinado tiempo, teniendo el siguiente resultado: 1,05 m³ por día..

Riego de áreas verdes

La cuantificación se realizó midiendo la descarga mediante una manguera, en un tiempo de 3 horas 0,451 m³

4.1.3. Cuantificación del impacto ambiental y productivo

Para la realización de la cuantificación, es necesario conocer la tarifa dada por SEDA JULIACA, por consumo de agua y desagüe en la categoría de industrial que es de S/.1,15 soles. Esta tarifa aún no se aplica a la planta en su totalidad debido a que la planta se abastece de agua de pozo, entonces del costo de S/. 1,15 soles por m³, de este el 60% corresponde al consumo de agua y 40% corresponde al servicio de descarga.

4.1.3.1. Cuantificación del Impacto Ambiental

Se tiene los siguientes resultados:

Tabla 08

RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION DEL IMPACTO AMBIENTAL EN CADA ETAPA ESTUDIADA

Etapa	Volumen m³	Costo por tratamiento
Apertura de Fibra	12,69	5,84
Lavado	23,69	10,90
Teñido	101,56	46,72
Secado	-----	----
Sistema de generación de vapor	-----	----
Sistema de Climatización	---	----
Recuperación del condensado	16,1	7,41
Baños y duchas	19,8	9,11
Riego de áreas verdes	0,451	0,21
Total por día	174,291	80,17
Total por mes	4 182,984	1 924,17
Total por año	50 195,808	23 090,07

Interpretación

- Los efluentes generados en las etapas de apertura de fibra y lavado, por día, que representa una contaminación mínima, que luego al mezclarse sufre mayor contaminación, si se aplica una medida de PML se lograría disminuir el volumen de los efluentes contaminados.
- El proceso de teñido con 101,56 m³, es el proceso que mayor cantidad de efluentes contaminados genera, tanto en el proceso como en las pérdida por fugas, se podría aplicar una medida de PML.
- En las etapas de secado, sistema de generación de vapor, sistema de climatización, no hay impacto negativo hacia el recurso agua, ya que no se produce la generación de efluentes contaminados.
- La empresa desperdicia anualmente 50 195,808 m³ de agua que representa S/. 23 090,07, que en un establecimiento real del consumo industrial la empresa tendría un alto gasto.

4.1.3.2. Cuantificación del Impacto Productivo

Tabla 09

RESULTADOS DE LA CUANTIFICACION DEL IMPACTO PRODUCTIVO EN CADA ETAPA ESTUDIADA

Etapa	Volumen m³	Costo por tratamiento
Apertura de Fibra	12,69	8,76
Lavado	23,69	16,35
Teñido	101,56	70,08
Secado	0,129	0,10
Sistema de generación de vapor	0,185	0,13
Sistema de Climatización	Sin calculo	Sin calculo
Recuperación del condensado	16,1	11,11
Baños y duchas	----	----
Riego de áreas verdes	----	----
Total por día	154,35	106,53
Total por mes	3 701,50	2 554,04
Total por año	44 453.95	30 673.23

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

- La pérdida de agua en las etapas de apertura de fibra y lavado, por día, no solo representa un impacto económico negativo por el costo en el pago.
- En el proceso de teñido, la empresa sufre un impacto económico negativo por la cantidad de agua que se pierde que le genera el mayor costo económico por el pago.
- En la recuperación del condensado se tiene una pérdida económica de 11,11 soles por día, que significa impacto negativo a la empresa.
- En la producción se pierde en soles 30 673.23 que es muy significativo para una empresa.

4.1.4. Plan de Acción de medidas de Producción más limpia

En el punto anterior permitió identificar y cuantificar las causas que originan ineficiencias y flujos contaminados, sobre esta base se desarrolla el plan de acción de medidas de PML.

De acuerdo al Método de Producción más Limpia planteado se recomienda como prioridad la optimización del recurso agua, esto permitirá reducir los costos asociados al consumo y tratamiento y al mismo tiempo se permitirá minimizar la cantidad de flujos contaminados.

Las Medidas generales de Producción más Limpia, según la evaluación se tiene:

- Como primera prioridad, un uso adecuado del recurso agua para lograr la minimización

- Como segunda prioridad, se busca reciclar, reutilizar y/o recuperar el recurso agua a fin de reducir pérdidas.
- Como tercera prioridad, se puede considerar implementar un sistema de tratamiento final.

4.1.4.1. Programa General de ahorro de Agua.

Se ha determinado que existe desperdicio por fugas, derrames y llaves no cerradas por descuido, la reducción en el consumo de agua tiene que ver con;

A. Costo de agua.

Cuando la fuente de agua es un pozo, existe el convencimiento de que el agua no cuesta, según los resultados de las tablas 8 y 9 el costo es alto.

A este costo de abastecimiento por pozo se debe agregar los siguientes costos:

1. Costo de construcción de pozo
2. Costo de las bombas
3. Costo de operación y mantenimiento
- 4- Costos de los sistemas de ablandamiento
5. Costo de construcción y mantenimiento del tanque de almacenamiento

Según todos estos costos el beneficio económico de no pagar tarifa de agua, puede ser menos significativo que el beneficio que se deja de percibir por hacer un uso irracional del agua.

B. Medidas generales para optimizar el consumo de agua.

Algunas medidas que serán incluidas en el programa de ahorro de aguas son:

1. Concienciar y capacitar al personal, el agua es un recurso importante y afecta a la rentabilidad de la empresa.
2. Instalar medidores de agua, para tener datos reales del consumo.

3. Desarrollar un programa de monitoreo del uso de agua, para evaluar los logros alcanzados de la minimización.
4. Realizar balances de agua, para evaluar la distribución de consumo e identificar fugas o pérdidas.
5. Identificar y reparar o evitar pérdidas por fugas o rebaleses.
6. Captar agua de lluvia, para captarla y almacenarla conociendo la precipitación pluvial de la zona.
7. Instalar equipos ahorradores de agua en la planta, por ejemplo grifería de cierre temporizado, válvulas reguladoras de presión, válvulas con flotadores de cierre para tanques de almacenamiento, duchas de bajo caudal.etc.

4.1.4.2. Medidas Especificas de PML por etapa critica

1. VAPORIZADO

A. Medidas preventivas – Reducción en origen

Cuadro 04

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA OPERACIÓN DE VAPORIZADO

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
-Considerar un tanque de alimentación de la bomba de vacío y tener un sistema de recuperar agua. -Necesidad de una bomba	<u>-Evaluación Técnica Productiva</u> -La medida contribuirá a una recuperación del agua fresca. -la disponibilidad o accesibilidad a materiales y equipos no representa un obstáculo. -Existe personal capacitado en el manejo de bombas.	<u>Beneficio ambiental</u> -Evitar la generación de efluentes contaminados, dado que el agua que se pierde se mezcla con la residual -Garantizar el uso adecuado de agua. <u>Beneficio Productivo</u> -Reducción en el consumo de agua en las descargas y su tratamiento

	<p><u>Evaluación Técnica-Ambiental</u></p> <p>-Uso adecuado del recurso agua.</p> <p>-Se evitará la contribución de agua fresca hacia aguas residuales.</p> <p><u>Evaluación Económica</u></p> <p>-Para esta medida PML, se necesita materiales como bomba de agua, reducción, niple, unión universal, cañería, tee y mano de obra.</p>	<p>-Reducción en volúmenes de agua en las descargas y su tratamiento.</p> <p><u>Beneficio Económico</u></p> <p>-Se reducirá el costo por consumo.</p> <p>-Se considera beneficio económico.</p>
--	---	---

Fuente: Elaboración propia

B. Operación de vaporizado, alto consumo de agua.

Cuadro 05

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA OPERACIÓN DE VAPORIZADO POR CONSUMO ALTO DE AGUA.

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<p>-El registro de consumo de agua diario.</p> <p>-El registro del número de operaciones que se realizan por día.</p>	<p>- Se lograra con la participación de todo el personal.</p>	<p><u>Beneficio Productivo</u></p> <p>-Contar con registro de las condiciones de operación, permitirá establecer indicadores de desempeño.</p> <p>-Identificar fallas en el proceso</p> <p>-Identificar fugas.</p> <p><u>Medidas de la 3Rs.</u></p> <p>-Medida de reuso, el agua del vaporizador será utilizada</p>

Fuente: Elaboración propia

2. TEÑIDO

A. Medidas preventivas – Reducción en origen

Cuadro 06

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA OPERACIÓN DE TEÑIDO

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<ul style="list-style-type: none"> - La instalación de un medidor de agua. - El registro de consumo de agua diario - El registro de productos químicos utilizados por día. - El registro del número de lotes realizados por día 	<ul style="list-style-type: none"> - La instalación requiere inversión - Las tres medidas restantes deben ser desarrolladas por el personal. 	<p>Beneficio productivo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Contar con un registro de las condiciones de operación, lo que permite establecer indicadores de desempeño al interior de la empresa. -Identificar fallas en el proceso -Identificar fugas.

B. Fuga en la autoclave

Cuadro 07

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA FUGA DEI AUTOCLAVE

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<ul style="list-style-type: none"> - Instalación de una trampa termodinámica que se basa en el cambio de estado que sufre el condensado. 	<p><u>Técnica-productiva:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor recuperación del condensado. - No representa un obstáculo - Hay espacio para instalación - Hay personal capacitado. <p><u>Técnica ambiental:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Se logrará el uso adecuado del agua -Se evitará la contribución de agua fresca hacia aguas residuales. <p><u>Evaluación Económica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Costo aproximado de S/: 320,00, en la instalación 	<p><u>Beneficio Productivo:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Reducción del consumo agua, beneficiará ahorro de costo productivo -Reducción de descargas -Garantizar una recuperación mayor de condensado. <p><u>Beneficio ambiental</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Evitar la generación de efluentes contaminados. -Garantizar un uso adecuado del recurso agua. <p><u>Beneficio económico</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Reducción del costo por consumo de agua. -Inversión de beneficio para los próximos años.

Fuente: Elaboración propia

C. Medidas administrativas

El éxito de la Producción más limpia empieza en los niveles de dirección, al apoyar al proyecto con programas, planes y recursos ejecutados, así como parte de la política de la empresa.

Cuadro 08

MEDIDAS PREVENTIVAS ADMINISTRATIVAS

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<p>-Capacitar a los operarios para manipular las autoclaves y así evitar fugas que puede ser controladas por ellos.</p> <p>-Concientizar a los operarios de que las autoclaves deben ser cargadas a su máxima capacidad de teñido, y así evitar cargas pequeñas se tiñan con la máxima cantidad de agua.</p>	<p>-Estas medidas son sencillas, debido a que el personal de mantenimiento las pondrá en marcha, el costo significa solo el curso de capacitación.</p>	<p><u>Beneficio productivo</u></p> <p>-Obtener informe inmediata de fugas y fallas.</p> <p>-Reducir el consumo de agua,</p> <p>-Aprovechar la máxima capacidad del equipo.</p> <p><u>Medidas de la 3rs.</u></p> <p>-Se puede aprovechar el reuso del condensado recuperado</p> <p><u>Medidas de Control</u></p> <p>-Se puede considerar parte de la PML, para prevenir efluente contaminado.</p>

3. SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR

A. Medidas Preventivas – Reducción en Origen

CUADRO 09

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA GENERACION DE VAPOR

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<p>-Reparar las fugas detectadas.</p>	<p><u>Evaluación Económica</u></p> <p>-Se requerirá de una inversión.</p> <p><u>Viabilidad de la Medida</u></p> <p>La medida ya fue implementada.</p>	<p><u>Beneficio ambiental.</u></p> <p>-Reducir el consumo de agua,</p> <p>-Menor consumo de gas para la generación de vapor</p> <p><u>Beneficio Económico.</u></p> <p>-Reducción del costo de consumo de agua.</p>

4. SISTEMA DE CLIMATIZACION

A. Medidas preventivas – Reducción en el origen

CUADRO 10

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
-Realizar el registro diario del consumo de agua. -Controlar y registrar la humedad relativa.	<u>Viabilidad de la Medida</u> -Realiza el personal de la planta como el de mantenimiento.	<u>Beneficio productivo.</u> -Contar con un registro de las condiciones de operación en este sistema, para mejorar la producción -Identificar fallas en el proceso y fugas.

Fuente: Elaboración propia.

B. Mejorar el desempeño del sistema

CUADRO 11

MEDIDAS PARA EL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACION

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
-Se sugiere contar con algún aspersor -Contar con aire acondicionado	<u>Evaluación Económica</u> -Se requerirá de una inversión, que luego se volverá beneficio. <u>Viabilidad de la Medida</u> -Lo ejecutarán el personal de mantenimiento.	<u>Beneficio ambiental.</u> -Generar un uso adecuado de agua. <u>Beneficio Productivo</u> -Reducción del consumo de agua. -Aprovechar un sistema de humidificación. <u>Beneficio Económico.</u> -Reducción del costo de consumo de agua.

Fuente: Elaboración propia

5. RECUPERACIÓN DE CONDENSADO

A. Medidas preventivas – Reducción en el origen

CUADRO 12

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA LA RECUPERACION DEL
CONDENSADO

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<p><u>Proceso de Producción</u> -Conectar tuberías para recuperación de condensado</p>	<p><u>Evaluación Técnica Productiva</u> -Ningún proceso se ve afectado por la medida. -Contribuirá a la recuperación de agua caliente</p> <p><u>Evaluación Técnica ambiental</u> -Uso adecuado de agua caliente -Se evitará la contribución de agua fresca hacia aguas residuales.</p> <p><u>Evaluación Económica</u> -Es necesario material para la media PML, cañería, llave, unión universal, válvula, niples, mano de obra.</p> <p><u>Viabilidad de la Medida</u> -Es una medida prevista por la empresa.</p>	<p><u>Beneficio ambiental.</u> -Evitar la generación de efluentes contaminados -Uso adecuado de agua</p> <p><u>Beneficio Productivo</u> -Reducción del consumo de agua. -Recuperación de la energía térmica contenida en el agua</p> <p><u>Beneficio Económico.</u> -Reducción del costo de consumo de agua.</p> <p><u>Medidas de la 3Rs</u> -Al eliminar la pérdida que se produce en el condensado - Se permitirá un adecuado reuso del condensado recuperado.</p>

6. BAÑOS Y DUCHAS

A. Medidas Preventivas – Reducción en el origen

CUADRO 13

MEDIDAS PREVENTIVAS PARA BAÑOS Y DUCHAS

Medidas	Evaluación de las medidas	Beneficio de las medidas
<p>-Instalar equipos ahorradores de agua en inodoros. -Reparar llaves de paso en mal estado.</p>	<p><u>Evaluación Económica</u> -Ahorro de agua y menos costo por consumo</p> <p><u>Viabilidad de la Medida</u> -Es una medida prevista por la empresa.</p>	<p><u>Beneficio ambiental.</u> -Uso adecuado de agua</p> <p><u>Beneficio Productivo</u> -Reducción del consumo de agua. -Reducción del volumen de efluentes contaminados</p> <p><u>Beneficio Económico.</u> -Reducción del costo de consumo de agua.</p>

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Programa general para el tratamiento de agua residual de la empresa colaboradora.

Las aguas resultantes del uso industrial y doméstico contienen desechos que en general es nociva al medio ambiente, por lo que requiere un tratamiento previo a su descarga a los cuerpos receptores. Actualmente la empresa colaborada viene descargando todos los efluentes en pozo de recepción, teniendo la predisposición de un tratamiento para este vertido, que me encamina a la busca de tecnologías limpias para su recuperación.

El Programa es:

- Analizar el vertido de las aguas residuales
- Seleccionar el mejor proceso de depuración desde el punto de vista analítico. que permita obtener un efluente de calidad suficiente para entrar en reciclaje; y por su puesto, alcanzar los parámetros de vertido establecidos por la legislación nacional.

4.2. EXPOSICION DE LOS RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS LIMPIAS EN LOS EFLUENTES DE LA EMPRESA TEXTIL COLABORADORA

Los efluentes procedentes de las distintas operaciones y actividades analizadas en el programa de PML de la empresa textil colaboradora, desembocan en un pozo de aproximadamente 300 m³ para que el efluente sea tratado a partir de este punto. El caudal diario medio generado es de aproximadamente 170,065 m³/día. Un muestreo integrado realizado en el pozo de recogida y bombeo proporciona las características promedio de este vertido.

Tabla 10

CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE FINAL DE LA INDUSTRIA COLABORADORA

Parámetros	Unidad	Valor	LIMITES MAXIMO PERMISIBLES*	
			Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzados
Color	Pt/Co	Intenso y variado	100	200
Temperatura	°C	15		
pH	[H ⁺]/[OH ⁻]	7,5	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0
Conductividad	(mS/cm)	2,45		
DQO	mg/L	625	20	30
DBO ₅	mg/L	270	5	10
OD	mg/L	0,60		
SST	mg/L	2 192	1000	1500
NKT	mg/L	88,03	2	3,7
P _{TOTAL}	mg/L	85,63	0.15	0.15

Fuente: Resultados de Análisis Elaboración Propia

- Estándares nacionales de calidad ambiental para agua poblacional (ANEXO B)

Interpretación

- Se tiene un valor elevado de los sólidos suspendidos totales, porque las pelusas que se desprenden de las madejas en el proceso de teñido terminan formando parte de las aguas residuales generadas.
- Haciendo un análisis en los cuadros el pH varía, esto se debe a que en el vertido final confluyen tantas aguas industriales como domésticas.
- Para el DBO₅ el valor varía de 124 mg/L obtenido en el teñido, se incrementa en 270 mg/L. esto se debe al aporte de las aguas con elevada carga orgánica generadas en el comedor y en el baño.
- El incremento del DQO, se debe a la presencia de muchas sustancias oxidables.

- Por otra parte la biodegradabilidad del efluente no es excesivamente elevado con una relación de DBO₅/DQO cerca a 0.44
- La concentración de nitrógeno y fosforo son relativamente altos para este tipo de vertido.

Se ha tenido que enfatizar que este estudio es meramente orientativo. Los ensayos experimentales se han desarrollado en base a que los equipos, materiales, instrumentos de laboratorio y reactivos con los que se cuenta en el ámbito de estudio.

4.2.1. COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

Esta alternativa experimental, se realizó en base a la metodología de investigación descrita, también se produjo la sedimentación, de esta prueba realizada, se tiene los siguientes resultados en la tabla 11

La caracterización se efectuó en los laboratorios de la FIQ-UNA, dicho análisis se realizó a la muestra problema.

Tabla 11

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN DEL EFLUENTE FINAL

Muestra	Condiciones de Reacción		Resultados				
	NaOH (ml)	pH	DQO	Rdto % $\%R = \left(1 - \frac{DQO_f}{DQO_i}\right)$	μ mS/cm	Color Cualitativo	V ₃₀ (%v/v)
Inicial		7,5	625		2,45	Intenso y variado	
Al ₂ SO ₄		6,5	156	75,04	2,50	Claro	25
Al ₂ SO ₄	1,5	7,8	112	82,08	2,98	Claro	14
FeCl ₃		6,8	175	72,00	3,05	Gris	12
FeCl ₃	2,5	9,6	69	88,96	3,50	Turbio	10

La solución de NaOH fue de 5% (v/V)
V₃₀ se utiliza para cuantificar la sedimentación del fango que se forma (V_{fango}/V_{efluente})

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- EL pH como factor importante, se nota que no tiene mucha influencia en el resultado del rendimiento, salvo cuando se eleva ligeramente con el FeCl_3 .
- Al trabajarse solo con dos coagulantes, no existe diferencia apreciable con el %R (72 – 88) de eliminación de DQO.
- El color claro solo se da con el aluminio, sin influenciar el pH.
- La conductividad, como en cualquier tratamiento, se incrementa con la adición de coagulante, y sube con el aumento del pH.
- La sedimentación es fácil y su compactación rápida en los 30 minutos de formación de sus lodos.

4.2.2. ELECTROCOAGULACIÓN Y FLOTACIÓN

Siguiendo la metodología planteada se tiene los siguientes resultados, dados en la tabla 12

Tabla 12

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ELECTROCOAGULACIÓN Y FLOTACIÓN DEL EFLUENTE FINAL

CONDICIONES DE OPERACIÓN			CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE					
			ENTRADA		SALIDA			
I (A)	E (V)	T_r (min)	DQO mg/L	DQO _s mg/L	DQO mg/L	%R DQO	%R DQO _s	SST mg/L
200	4.3	60	625	506	182	70,88	64,03	3,5
200	4.3	60	625	489	183	70,72	62,57	3,5

DQO_s es la demanda química de oxígeno soluble, y está determinado mediante decantación y análisis del sobrenadante y él %R será comparativo con el DQO de salida

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- Los ensayos se realizaron en base a dos variables DQO y DQO_s que son las más críticas en un fluente textil, dados en un tratamiento por electrocoagulación y flotación correspondientes a cada variable. [14
-]Al aplicar este tratamiento se tiene una recuperación de DQO, indicándonos que el proceso es ejecutable.
- Tanto para la DQO y DQO_s según los porcentajes están en el intervalo de 60 a 70% aproximadamente, no teniendo un resultado significativo y según los fundamentos teóricos indicarían que se tiene que considerar una variable de mayor significancia
- El 3,5% de SST, nos indica que existe producción de fangos
- En la ejecución del proceso por la energía la temperatura se eleva hasta 23°C, lo que según el fundamento teórico hará que descienda el voltaje.

4.2.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Según el esquema planteado para nuestra muestra de la empresa colaboradora, se realiza primero el proceso de fango activado para luego seguir dos marchas de proceso: primero será coagulación y floculación y carbón activado granular y segundo para micro filtración, cuyo resultado tenemos a continuación.

4.2.3.1. FANGO ACTIVADO

Para la realización de este ensayo se ha tenido que tener en cuenta los parámetros de funcionamiento del equipo. (Ver Anexo C)

Los resultados se dan para dos ensayos y se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FANGO ACTIVADO DEL EFLUENTE FINAL

	PARAMETRO	PRUEBA 1		PRUEBA 2	
		VALOR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR	DESVIACIÓN ESTANDARD
Entrada	DQO (mg/L)	625	2,97	625	2,97
	DBO ₅ (mg/L)	270	1,73	347	2,02
	DBO ₅ /DQO	0,43		0,55	
	SST (mg/L)	2 192		1 956	
Salida	DQO (mg/L)	328	2,57	210	1,68
	DBO ₅ (mg/L)	159		145	
	DBO ₅ /DQO	0,48		0,69	
	SST (mg/L)	614		725	
Rendimiento eliminación	DQO (%)	48	9	66	10
	DBO ₅ (%)	41		58	
	SST (%)	72		63	
Producción de fangos	Producción g SST/L efluente tratado	0,032		0,072	
	Producción g SST/g DQO eliminada	2,06		3,45	

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- El DBO₅/DQO, es mayor en la prueba 2, debido a que la muestra tomada fue la misma y permaneció 3 días ocurriendo posiblemente oxidación de algunas sustancias que empiezan la degradación más rápida.
- En la prueba 1, se nota con menor intensidad la biodegradabilidad y con el tratamiento esta se mantendrá constante indicando que se podría tener una mejor calidad en el vertido.
- El rendimiento de eliminación en ambas pruebas de SST de 63 y 72% son favorables con un efluente inicial, esto puede deberse a la aireación dada al proceso incrementando el OD,

- La producción de fangos se eleva en la prueba 2 y esto es debido a los cambios en la DQO eliminada.

4.2.3.2. FANGO ACTIVADO + COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

El utilizar coagulación y floculación, después de la prueba de fango activado se refiere a un tratamiento de afino. Para este proceso solo se utilizó como coagulante el $Al_2(SO_4)$ en 100 mg/L., con esta dosis se puede incrementar la calidad de vertido en un 71% de DQO y en 81% de DBO_5 , así como eliminar los restos de color que permanecían en el efluente. [14] Los resultados se presentan en la tabla 14, tomando como datos de la prueba 2.

Tabla 14

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN DEL EFLUENTE PROCEDENTE DE UN FANGO ACTIVADO DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO

PARAMETRO	INICIAL		FINAL		Rto. De ELIMINACION (%)	
	Valor	Desviación estándar	Valor	Desviación estándar	Valor	Desviación estándar
DQO (mg/L)	210	2,89	62	1,25	71	0,55
DBO_5 (mg/L)	145	-----	28		0981	---
μ (mS/cm)	2,39	-----	2,59	-----	---	---
Color	Débil	-----	Ausencia	-----	----	---
Lodos	-----	-----	----	-----	0,5g/L	0,1

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- La mejora de este tratamiento se nota en la disminución de los lodos.
- Los valores de reducción en DQO y DBO_5 son bastante favorables que nos indicaría estar dentro de los límites permisibles para el vertido.

4.2.3.3. FANGO ACTIVADO + COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN + CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

En este caso para el proceso de Coagulación y floculación según Crespi. [14]

Se recomienda utilizar 50mg/L del floculante que seguirá siendo el $Al_2(SO_4)_3$ para obtener un sobrenadante claro.

Tabla 15

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN DEL EFLUENTE PROCEDENTE DE UN FANGO ACTIVADO DE UN TRATAMIENTO BIOLÓGICO CON OTRA CANTIDAD DE FLOCULANTE

Parámetro	Inicial		Final		Rto Eliminación (%)	
	Valor	Desviación Estándar	Valor	Desviación Estándar	Valor	Desviación Estándar
DQO (mg/L)	210	2,01	32	1,89	85	0,9
μ (mS/cm)	2,39	0,08	2,56	0,08	--	--
Color	Débil	--	Ausencia	--	--	--
Lodos	---	--	--	--	0,22	--

Fuente: Elaboración propia

Interpretación:

- En este ensayo la eliminación supera el 85% medido como DQO
- El color desaparece en su totalidad, mostrándose totalmente claro.
- Los lodos se han reducido al 0,22%, por tanto la salinidad se ha incrementado.

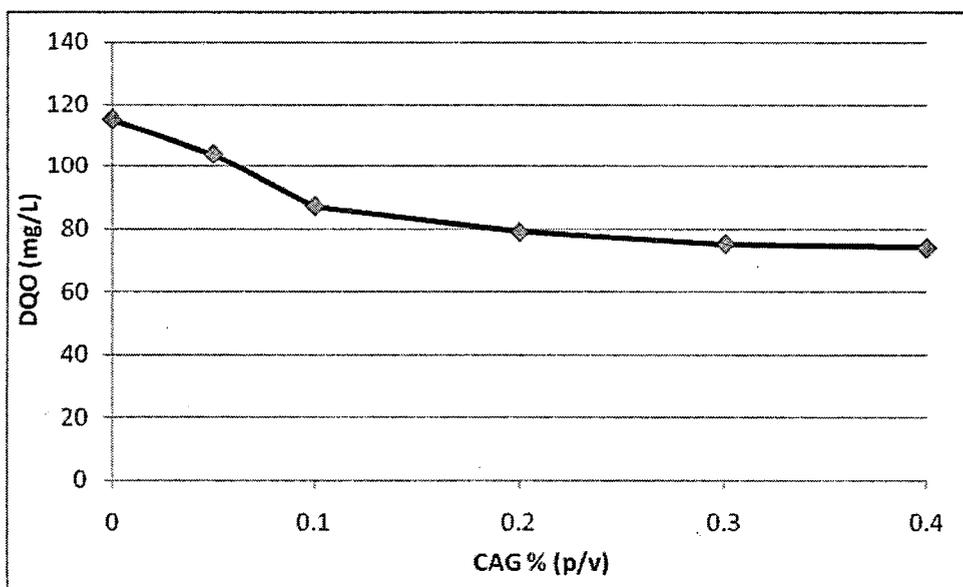
CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

El efluente obtenido tras el proceso de coagulación-floculación se somete a la adsorción mediante carbón activo granular, en diferentes dosis.

El valor de DQO residual tras alcanzar el equilibrio a cada una de los ensayos deja un umbral de 75 mg/L, por debajo del cual no es posible bajar (figura 9)

Figura 9

RESULTADO DEL ENSAYO DE ADSORCIÓN REALIZADO SOBRE EL ELFUENTE PROCEDENTE DEL TRATAMIENTO DE COAGULACIÓN FLOCULACIÓN



Según la isoterma de Freundlich se observa que el valor de DQO es sumamente dependiente de la capacidad de adsorción. Haciendo las pruebas para un DQO de 32 mg/L se alcanza el nivel de saturación

Por tanto 1 litro de efluente con 32 mg/L de DQO requiere un promedio de 0,15 g de CAG, aumentando su masa en un 20% como consecuencia del proceso de adsorción, generando un residuo seco de 0,18 g/L

4.2.3.4. FANGO ACTIVADO + MICROFILTRACIÓN

Los resultados de este ensayo se resumen en:

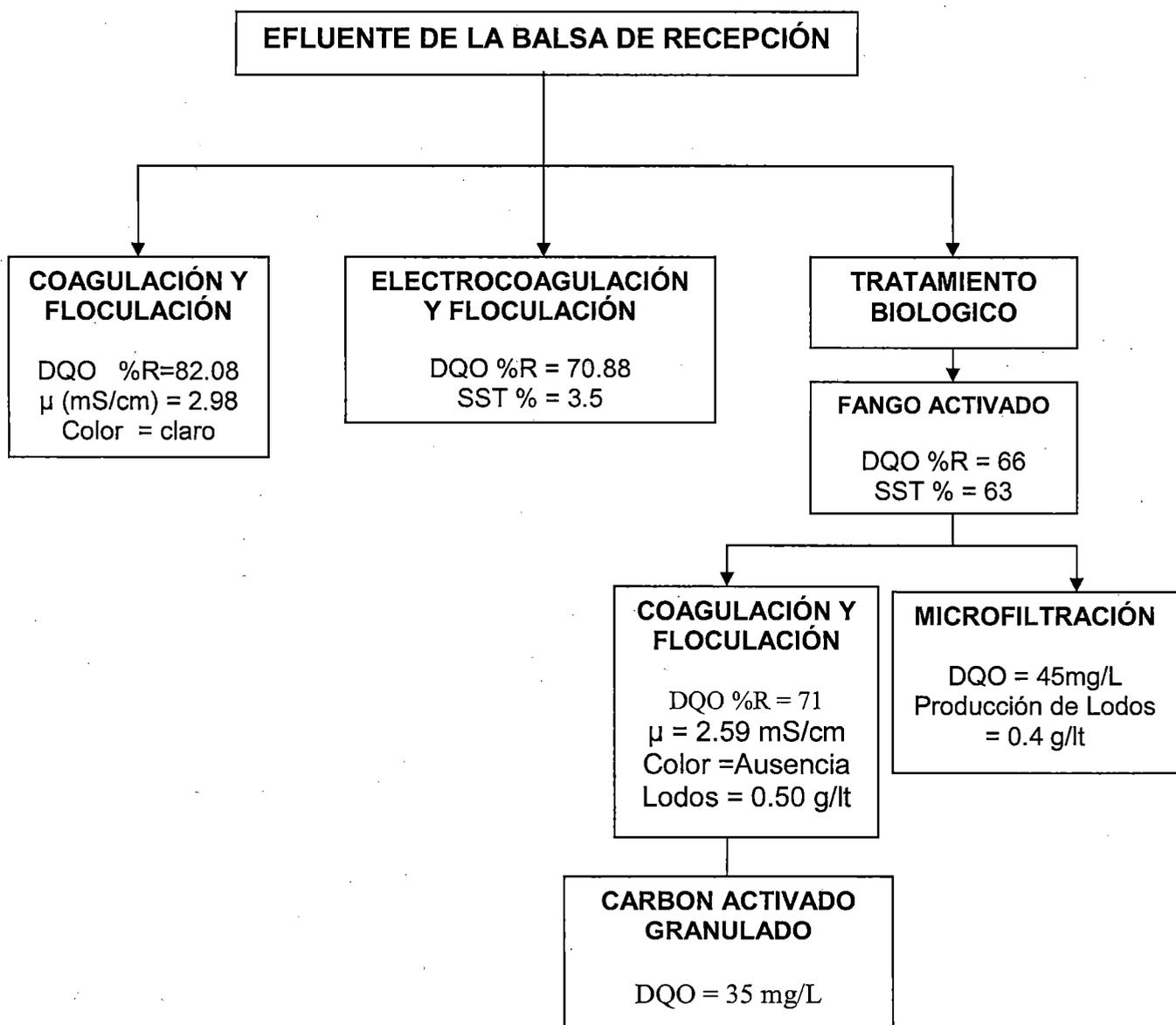
- La DQO ha disminuido de 210 mg/L a 45 mg/L teniendo un buen rendimiento de eliminación.

- La producción de lodos ha reducido a 0,4 g/L. Esto se debe a que no se ha utilizado ningún tipo de reactivo.

4.2.4. RESULTADO COMPARATIVO DE LAS ALTERNATIVAS

Los tratamientos alternativos, que entran en comparación se basan en los parámetros que logran caracterizar cada uno de los tratamientos procesos.

Figura 10
ESQUEMA COMPARATIVA DE LA SECUENCIA DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO EN LA EMPRESA TEXTIL COLABORADORA.



Interpretación:

- Se toma el valor de DQO como el más representativo, debido a que en la teoría de vertidos y depuración para efluentes textiles genera mejor explicación y sustentación.
- Las tecnologías utilizadas y en comparación nos indica la producción de lodos en fango activado tanto en coagulación y flotación como en micro filtración y esto eleva los costos sin embargo la recuperación de la materia orgánica es menor.
- La alternativa de electrocoagulación y flotación, es una tecnología selecciona debido a que elimina el material en suspensión y coloidal, pero no en la materia soluble (DQO: 82%) . La cantidad de coagulantes utilizados son bajos lo que nos indicaría que no se generaría mucha cantidad de lodos
- La alternativa de Electrocoagulación y Flotación, en comparación con la coagulación y flotación es menor en cuanto a la recuperación de la materia orgánica, sin embargo la ventaja es el efecto ante la conductividad y la temperatura.
- En la etapa biológica, el 66% para DQO en fangos activados nos indica poder seleccionar la alternativa combinada de electrocoagulación y floculación según Crespi, más no otra alternativa como la de osmosis inversa. Se alcanza buenos resultados al aplicar el fango activado como pre tratamiento para la coagulación
- El planteamiento alternativo de realizar una etapa de afino de micro filtración frente a la de coagulación y floculación esta en auge en muchos procesos de depuración, [49] en este caso se puede no utilizar

coagulantes con lo que se logra mantener los lodos producidos y así abaratar costos. En cuanto a la rebaja del DQO son muy similares.

- La secuencia fangos activos + microfiltración alcanza un rendimiento de depuración ligeramente inferior a la secuencia fangos activos + coagulación y floculación con respecto a la producción de lodos. Los parámetros de DQO quedan por encima para verter a cauce público y por tanto requiere una etapa de afino que consideramos el de carbón activo granular.
- El proceso de coagulación-floculación directo da lugar a rendimientos de depuración inferiores al tratamiento biológico. Y la cantidad de lodos es más alto y generaría mayor inversión.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES CON RESPECTO A LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA.

- ❖ El Programa propuesto, es solo una herramienta para hacer frente al problema de la contaminación, al igual que el caso de la implementación de medidas de otra índole, existe una serie de barreras. Técnicas, económicas e institucionales a ser removidas o reducidas. La adopción de políticas conducentes pueden reducir estas barreras.
- ❖ De acuerdo al diagnóstico de PML realizado en la empresa no se hace uso adecuado del agua teniendo efectos importantes sobre el medio ambiente y la economía y los impactos negativos son tanto productivos como ambientales.
- ❖ En el Plan de Acción de medidas de PML se establecieron las condiciones necesarias para el ahorro y uso eficiente del recurso agua, con lo que se mejorará el desempeño ambiental y productivo de la empresa colaboradora.
- ❖ En cada una de las etapas críticas, se puede realizar un programa de producción más limpia, con tratamiento donde se puede aprovechar el reuso de agua para evitar que confluyan todos en un vertido mezclado.

- ❖ Los parámetros SST, DBO₅, DQO evaluados al vertido final no cumple con lo límites tolerables exigidos por las normas, lo que conlleva al estudio de las alternativas de tratamiento.

CONCLUSIONES CON RESPECTO A LAS ALTERNATIVAS DE EFLUENTES DE LA EMPRESA COLABORADORA

- ❖ El Programa de producción más limpia ejecutada, nos conduce al tratamiento de los efluentes en las etapas críticas; lavado y teñido, sin embargo debido a que la empresa colaboradora ya definió la recepción de sus efluentes en un pozo que tomara el nombre de balsa, a partir de ahí se estudia las alternativas de tratamiento del efluente final
- ❖ Las alternativas seleccionadas para este tratamiento son:
 - Alternativa 1. Coagulación – floculación;
 - Alternativa 2. Electrocoagulación - flotación;
 - Alternativa 3. Tratamiento biológico en dos líneas de proceso.- Primero el fango activado-coagulación floculación - carbón activado granular; y segundo fango activado-micro filtración para el tratamiento de efluente final,
- ❖ Coagulación y floculación: El rendimiento de la materia orgánica valorado en DQO es del 82%, es un valor aceptable para alcanzar el vertido a red de alcantarillado, pero no del cauce público donde el vertido es de 20 a 30mg/l. Este rendimiento esta en acorde con la referencia de Crespi M y Huerass J.A. 1985.
- ❖ Electrocoagulación y flotación. La eliminación de la materia orgánica en DQO no alcanza a la etapa de coagulación y floculación quedando en un

70.88%, las reacciones de oxidación y reducción no introducen mejoras en la calidad del efluente debido a que se cuenta con un sobrenadante turbio.

- ❖ El tratamiento biológico es aconsejable y eficaz según Crespi M y Huertas J.A. 1985, mejora la reciclabilidad del agua, reduciendo la carga en un 34% al utilizar fangos activos.
- ❖ El sistema de afino de coagulación y floculación aplicado al efluente procedente del fango activado permitió aumentar de un 66 a 71% el rendimiento de depuración y la rebaja del DQO en 62 mg/L.
- ❖ La incorporación de la tecnología de carbón activado granular, reduce en un 65% la materia orgánica con un rendimiento del 35%, esto es para permitir el vertido y cumplir con los límites permisibles.
- ❖ La secuencia fango activado + coagulación-floculación + carbón activado granular permite obtener un efluente con calidad suficiente (35 mg/L de DQO) para ser vertido en los cauces públicos y puede ser utilizado para un reciclaje.
- ❖ La micro filtración como sistema de afino podría sustituir a la de coagulación y floculación por costes de explotación, aunque proporciona unos rendimientos de depuración ligeramente inferiores.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para garantizar el desarrollo del programa de PML y asegurar su calidad y continuidad es recomendable que las empresas las conozcan, las acepten y trabajen comprendiendo que genera mejoras en toda producción.
- ❖ Se recomienda valorar cuantitativamente el consumo desde una fuente subterránea dado que el costo es importante para valorar el impacto ambiental que se genera.
- ❖ Se recomienda que para los ensayos de las tecnologías se cuente con equipos, instrumentos diseñados o que garanticen que la prueba tendrá un buen rendimiento, especialmente si se toma cantidades más altas de vertidos.
- ❖ Se recomienda en otros estudios similares una estimación de costos asociados a los diferentes tratamientos dado que vendría a ser un factor determinante para toma de decisiones en un tratamiento.

BIBLIOGRAFIA

AENOR UNE (2002). Métodos Normalizados para Aguas y Aguas Residuales e Industriales. Publicación: Asociación Española de Normalización – AENOR/ Unión de las Naciones Unidas – UNE; Madrid España [1]

ATKINS P W. (1991) Química General. Ediciones Omega. .1ra. Edición Barcelona España [2]

(AWWA) AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (2002) Calidad y tratamiento del agua. Manual de suministros de agua comunitaria. Traducción de la 5^{ta} edición. Mc Graw Hill Professional México [3]

AVILA CARHUALLANQUI, Gladis Maritza (2006) Diagnóstico de las aguas residuales tratadas para el teñido de la Cooperativa Manufacturera del Centro de Huamanga Perú. [4]

BARTON, Geoffrey W.; HOLT, Peter K. and MITCHELL, Cynthia A. (2005) The future for electrocoagulation as a localized water treatment technology. En: Chemosphere. Vol. 59, No. 3); p. 355-367 [5]

BBC Mundo. (2002) La crisis mundial del agua.
.www.bbc.co.uk/spanish/especiales/agua/ default.stm. [6]

BELTRAN DE HEREDIA, Jesús y GONZALES, María Concepción. Tratamiento de las aguas residuales en la industria textil. En Ingeniería Química. Vol. 23, No.273 (dic. 1991); p. 131-134. [7]

BOTERO SANIN, Luis Fernando. Industria textil y medio ambiente. Parte I. En : Colombia Textil. Vol. 32, No.121 (jul.–sep. 1996); p. 49-56. [8]

BURIEL F. / LUCENA F. (1985) Química Analítica Cualitativa. Edic. Técnicos Asociados 12^o Edición. Madrid España. [9]

CASTAÑO, Eliana y REINA, Jenny. (1998) Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de textiles FARO LTDA. Medellín. 1998, 170p. Tesis (Ingeniería Química). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química. [10]

CASTRO DE ESPARZA, MARIA LUISA. (1983) Procedimientos simplificados de

Análisis Químicos de Aguas Residuales. 1ra Edición. Publicación: Cepis/Ops/Oms
Lima Perú [11]

CEGARRA, José. (1980) Fundamentos y Aplicados de la Tintura de materias textiles. Universidad Politecnica de Barcelona. España [12]

CENTRO INTERNACIONAL DE TCHONOLOGIC DE ENVIRONMET DE TUNEZ (2000) Producción más limpia en la industria Textil. En línea disponible en: WWW.<http://europa.er.int/comm/environment/youth/waste/contents7_.html
[13]

CRESPI M, (1999) Optimización de la depuración fisicoquímica en efluentes textiles, completándola con procesos biológicos. Tecnología del agua. Vol 195: 18-28 Tesis Universitaria de Valencia España [14]

CRESPI M./ GUTIÉRREZ M C. (1995) Tratamiento electroquímico de efluentes coloreados. Revista de la industria textil. . Vol. 331: 90-93. España [15]

CRESPI M. y HUERTAS J.A. (1994) Industria Textil. ¿Depuración biológica o fisocoquímica. En Boletín Intextar del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial Vol 2 Nro. 82 Valencia España p 75-90 [16]

CRESPI M, VALLDEPERAS J / SÁNCHEZ J. (1986) Posibilidad de reciclar las aguas residuales textiles después de un tratamiento biológico con carbón activado. Tecnología del agua. .Revista de la Industria Textil. Vol. 25: 45-53 Madrid España [17]

CRITES, Ron y TCHOBANOGLIOUS, George. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Bogotá : Mc Graw Hill, 2000. p. 241-242. [18]

Centro de Promoción de tecnologías Sostenibles CPTS (2005) Guía Técnica General de Producción más Limpia. PGD Impresiones. 1ra. Edición USAID Bolivia y embajada Real de Dinamarca. [19]

DECRETO SUPREMO N° 613 (1997) Código del Medio Ambiente y los recursos naturales [20]

DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (1996) "Directiva 96/61/CE del consejo de la Unión Europea, N° L257/26 del 24 de septiembre de 1996. [21]

EPA (1993) Standard for the Use Anddiposal of Sewage Slude – 40 Code of Federal Regulations Part 503. 1ra. Edición Publication ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), Washington D.C. / U.S. [22]

Faña J.N. Riós (2002) Contaminados. Causas Ambiente Ecológico. www. Ambiente-ecológico com/revist57b.htm [23]

FERNANDEZ, G. FREY, G. (1995). Taller sobre minimización de residuos y producción más limpia en América Latina y el Caribe. México, D.F. [24]

GEANKOPLIS C. (1998) Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias 3ra Edición. Editorial. Continental S.A. México [25]

G. CCOPER (1978) The Textile Industry Environmental Control and Energy Conservation NOYES DATA CORPORATION, Revista de la Industria Textil España [26]

GROSO G. (1997) El carbón activado granular en el tratamiento del agua. Ediciones y Publicaciones Aconcagua México. [27]

H.R. JONES (1973) Pollution Control in the Textile Industry NOYES DATA CORPORATION, Revista de la Industria Textil Vol 125 España [28]

HUERGA PEREZ, Efraín (2005) Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes. Departamento de Biología y antropología. Ediciones Servei de Publicacions Universidad de Valencia España [29]

KEMMER F. (1989) The Nalco water handbook Ediciones Mc Graw Hill Interamericana 2da. Edición México [30]

KOVALENKO Y.A. / OTLETO V.V. (1987) Differences of Chemical and electrochemical coagulation Mechanisms. Editorial Wiley – VCH 1ra. Edición Berlin Germany [31]

Merck E. Análisis del agua. Darmstadt. [32]

MERCADO MARTINEZ, Iván Darío. La electrocoagulación, una nueva alternativa para el tratamiento de aguas residuales Medellín 2005. 72 p. Proyecto de Grado (Especialista en Ingeniería Ambiental) Universidad Pontificia Bolivariana de Ingenierías. [33]

MESEGUER C, CABEZA R, COLL M Y CRESPI M. (1995) El filtro percolador: Un tratamiento secundario alternativo para las aguas residuales industriales. Revista de química textil. 1995. N°. 121:100-106. [34]

NEMEROV N.L. Y DASCUPTA A. (1998) Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos Van Nostrand Reinhold. A división of wadsworth, Inc 1991. Traducción al castellano. Ediciones Diaz Santos. Madrid España [35]

METCALF AND EDY (2003) Ingeniería de Aguas Residuales – Tratamiento, Vertido y Reutilización. 4ta. Edición. Ediciones Mc Graw hill Interamericana S.A. Madrid España [36]

MOLLAH, Mohammad et al. (2004) Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. En : Journal of Hazardous Materials. Vol. 114, No. 1-3 p. 199-210. [37]

MONTOYA ARAGON J.A. (2007) Oportunidades de Producción más limpia en Tintorerías Sector Textil. Tesis. Universidad Valladolid [38]

NORMAS PERUANAS. (2007) Disponible
[Http://www.fonamperu.org/general/documentos/leyambiente.pdf](http://www.fonamperu.org/general/documentos/leyambiente.pdf).. [39]

OPTI (2001 – 2002) Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial y Ministerio de Ciencia y Tecnología. Medio Ambiente Industrial. Tercer informe del prospectiva tecnológica Industrial. Futuro tecnológico en el horizonte del 2015. Madrid OPTIL [40]

QUERAL T.R. /MARTINEZ E. I. (1997) Aguas residuales en la industria de tintes y acabados textiles. Su origen en proceso de producción. Tecnología del agua. Revista de Industria Textil. Vol 171: 41-49 [41]

PERRY JOHN H. (1979) Manual del Ingeniero Químico Editorial Unión tipográfica Hispano Americana 3ra. Edición México. [42]

PNUMA-ONUDI PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (1996) Manual auditoria y Reducción de Emisiones y –residuos Industriales del PNUMA-ONUDI Reporte Técnico Nro. 07 [43]

RAIMONDO COSTA, Marko (1990) Las fibras Textiles y su Tintura. Concytec. Volumen II Lima Perú [44]

RODRÍGUEZ, Oscar y ROLDAN, Jhon Jairo. Alternativas para el tratamiento de aguas residuales en tintorerías textiles : Caso PANTEX S.A. Medellín, 1997, 189p. Tesis (Ingeniero Químico). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Química. [45]

RON CRITES / GEORGE TCHOBANOGLOUS, (2000) Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 1ra. Edición en español; Edit. McGraw – Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá Colombia. [46]

RAMALHO R S. (1996) Tratamiento de aguas residuales. 2ª edición. Ed. Reverte. Barcelona. [47]

RONDINEL, P. E. (1990). Minimización de residuos peligrosos generados en la industria textil de algodón y fibras artificiales. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería. 80 p. [48]

SALAS COLLOTTA, G (2003) Tratamiento Fisicoquímico de Aguas Residuales de la Industria Textil. De la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima Perú [49]

SOCIEDAD NACIONAL DE INDUSTRIAS (1998). Problemas Ambientales – Comisión del Medio Ambiente. Boletín Nro. 37. Lima Perú [50]

WESLEY E, Jr. (1989) Industrial Water Pollution Control. 2nd Edition McGraw-Hill. Madrid España [51]

WRCSA, LDE y AWWARF. (1999) Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. McGraw Hill Ibero América. Water Research Commission of South Africa, Lyonnaise Des Eaux and vAm. Water Works Association Research Foundation. [52]

ANEXOS

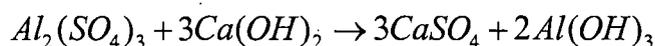
ANEXO A:

Proceso de obtención de los coagulantes

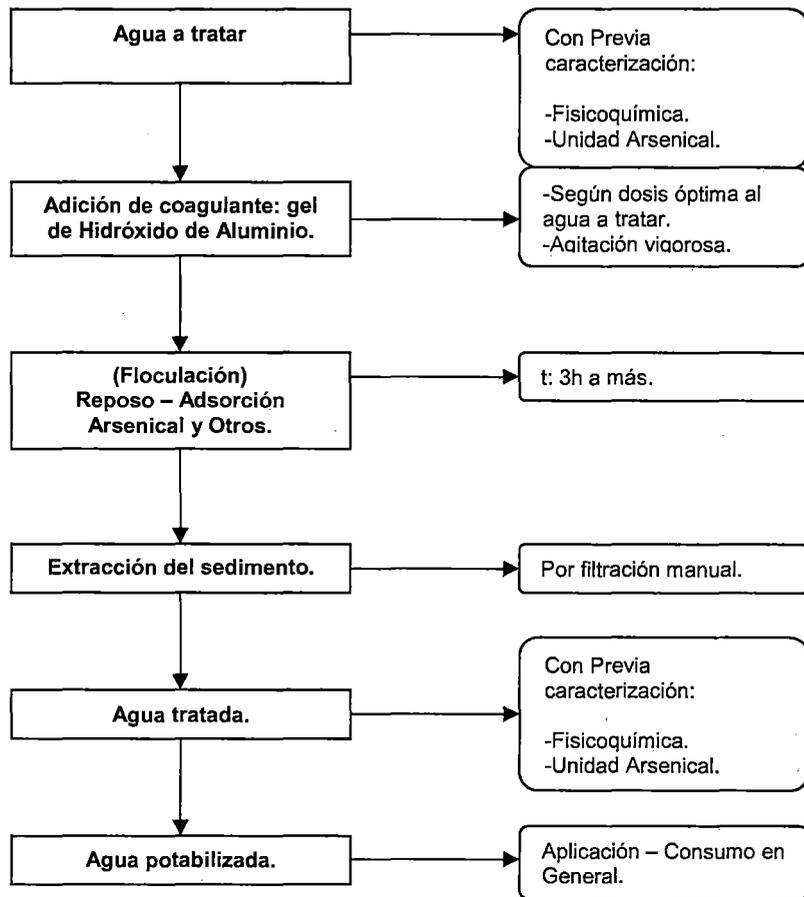
El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- Se preparó una solución concentrada de sulfato de aluminio y cloruro de hierro (se recomienda al 10%) a pH 5.0 – 6.0, para evitar la hidrólisis de esta sal, se calentó a 65 a 70° C, con una agitación aproximada de 100 RPM * un tiempo aproximado de 10 – 15min.
- Se agregó lentamente una solución de hidróxido de calcio (se recomienda al 25 %) por goteo, hasta provocar la precipitación del gel de hidróxido de aluminio, siguiendo continuamente el valor del pH hasta lograr el punto óptimo de hidrólisis de sulfato de aluminio (El punto final de la hidrólisis del sulfato de aluminio se encuentra entre 5.5 – 8.5).
- Se lavó el gel coagulante en condiciones de estricta higiene con agua obtenida por destilación convencional, esta operación se realizó centrifugando y suspendiendo el gel.
- Seguidamente se envasa el hidrogel (según convenga) y se esteriliza con vapor fluyente durante 15min a punto de ebullición.

La reacción química del proceso de obtención del coagulante: gel de hidróxido de aluminio es la siguiente:



La preparación experimental del coagulante: gel de hidróxido de aluminio y gel de cloruro de hierro se realiza en el Laboratorio de Aguas de la FIQ UNA Puno



ANEXO B : Estándares Nacionales

ANEXO I

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,68	0,68	0,68	0,68	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm ²⁵	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrógeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT ²⁰	5	100	**	100	**
INORGÁNICOS						
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,005	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**
ORGÁNICOS						
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES						
Hidrocarburos totales de petróleo, HTP	mg/L	0,05	0,2	0,2		
Trihalometanos	mg/L	0,1	0,1	0,1	**	**
Compuestos Orgánicos Volátiles COVs						
1,1,1-Tricloroetano - 71-55-6	mg/L	2	2	**	**	**
1,1-Dicloroetano - 75-35-4	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Dicloroetano - 107-06-2	mg/L	0,03	0,03	**	**	**
1,2-Diclorobenceno - 85-50-1	mg/L	1	1	**	**	**
Hexaclorobutadieno - 87-69-3	mg/L	0,0005	0,0005	**	**	**
Tetracloroetano - 127-18-4	mg/L	0,04	0,04	**	**	**
Tetracloruro de Carbono - 56-23-5	mg/L	0,002	0,002	**	**	**
Tricloroetano - 79-01-6	mg/L	0,07	0,07	**	**	**
BETX						

DESCARGO DE LA WWW.SINERGIA.COM.VE

Endrin	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloropóxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parafón	ug/L	7,5
Biológicos		
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000
Coliformes Totales	NMP/100mL	5 000
Enterococos	NMP/100mL	20
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	100
Huevos de Helminfos	huevo/filtro	<1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausente	
<i>Vibrio cholerae</i>	Ausente	

NOTA :

NMP/100: Número más probable en 100 mL.

Vegetales de Tallo alto: Son plantas cultivables o no, de porte arbustivo o arbóreo y tienen una buena longitud de tallo. las especies leñosas y forestales tienen un sistema radicular pivotante profundo (1 a 20 metros). Ejemplo; Forestales, árboles frutales, etc.

Vegetales de Tallo bajo: Son plantas cultivables o no, frecuentemente porte herbáceo, debido a su poca longitud de tallo alcanzan poca altura. Usualmente, las especies herbáceas de porte bajo tienen un sistema radicular difuso o fibroso, poco profundo (10 a 50 cm). Ejemplo: Hortalizas y verdura de tallo corto, como ajo, lechuga, fresas, col, repollo, apio y arveja, etc.

Animales mayores: Entiéndase como animales mayores a vacunos, ovinos, porcinos, carnívoros y equinos, etc.

Animales menores: Entiéndase como animales menores a caprinos, cuyes, aves y conejos

SAAM: Sustancias activas de azul de metileno

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RIOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacoal	mg/L	<0.02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius				delta 3 °C	
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	—
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	—
Clorofila A	mg/L	10	—	—	—	—
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		—	—
Niquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Piomio	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	—	—	—	—	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,061
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacoal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrilo (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL.

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afecten a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

Descargado desde www.elseguro.com.pe

ANEXO C: Parámetros de Funcionamiento del Equipo de Fango Activado

El equipo fue ajustado para nuestro problema experimental. El modelo para fango activado consta de un tanque rectangular de vidrio doble de 0.60m de largo , 0,25 m de ancho y 0,35 m de altura total, con un volumen útil de 38,625 L aproximadamente de los cuales 30 corresponden al reactor o tanque de aireación y 8,625 L al sedimentador, el vidrio es inerte y no contribuye a contaminación. En la parte media del reactor existe un orificio de 0,5 cm de diámetro con una manguera que permite la extracción del licor mezclado con objeto de regular el tiempo de residencia celular. La recirculación del lodo desde el fondo del sedimentador hacia el tanque de aireación se realiza por gravedad a través de una abertura transversal de 0,5 cm de alto dispuesto a lo ancho del modelo. El aire fue suministrado por una bomba de aire de membrana a través de un dispositivo con conductos para la bomba de aire que finalizan en difusores porosos.

Cabe destacar que durante la operación del sistema se considera ciertos aspectos que aseguran las condiciones adecuadas para el satisfactorio desempeño de sistema. En estos aspectos a controlar fueron;

- Fijación de etapas de evaluación del sistema,
- Caudal de alimentación al sistema, por medio de la altura de agua tratada en el tanque de aireación.
- Control del tiempo de residencia celular fijado
- Captación de muestra de afluente.
- Mantenimiento y limpieza de equipos y materiales, mediante la z el sistema.

ANEXO D: Control y Análisis

Se enumeran las metodologías de determinación de los diversos parámetros que caracterizan los efluentes antes y después de ser sometidos a las etapas de tratamiento, así como de los lodos generados. Asimismo, en determinadas ocasiones la evaluación de algunos parámetros ha servido para controlar de modo indirecto el funcionamiento de los equipos de tratamiento.

- Conductividad: Conductímetro modelo 522 Crison
- DBO₅: Según APHA, AWWA Y WEF, 1998
- DQO: Kit de reactivos COD
- Oxígeno Disuelto Oxímetro marca WTW
- pH
- Producción de Lodos, mediante filtración en papel Whatman 42 de un volumen de muestra y posterior pesada en balanza analítica del residuo obtenido tras 2 horas en estufa a 105°C
- Sedimentación para V₃₀ v/v en pera de decantación
- Sólidos en suspensión totales (SST), mediante filtración en papel Whatman 42 de un volumen de muestra y posterior pesada en balanza analítica del residuo obtenido tras 2 horas en estufa a 105°C

ANEXO F : FOTOGRAFIAS.

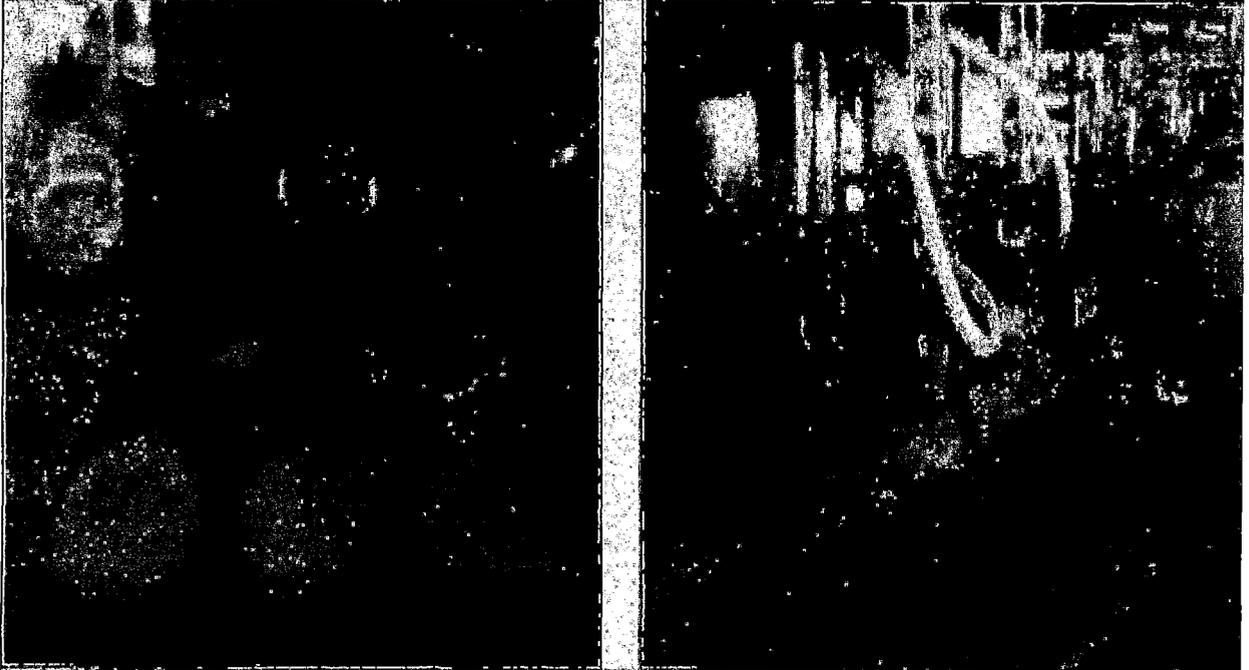
Equipo de tratamiento Biológico



Reactor biológico



ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD



Equipo para la Electrocoagulación



Muestra final de Agua



