

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN DEL EFLUENTE DE LA
INDUSTRIA TEXTIL COOPERATIVA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS
ESPECIALES DE LOS PRODUCTORES DE CAMÉLIDOS ANDINOS Ltda.
(COOPECAN PERÚ), CERRO COLORADO, AREQUIPA, 2016**

PRESENTADO POR LA BACHILLER
MARIBEL MARGOT GONZALES COAQUIRA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL

AREQUIPA – PERÚ

2017

A mis hijos Rogger y Grettel que es lo más
hermoso que la vida me dio.

Al tomar la decisión de iniciar la profesión de Ingeniería Ambiental, fue muy difícil reincorporarme a los estudios; pero con fuerza y tenacidad pude culminarla. Gracias al apoyo de mi madre, hermanas; al cariño de mis hijos, maestros y amigos.

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se pretende contribuir a la solución de un problema técnico y ambiental, como es la optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante el tratamiento fisicoquímico que comprende la floculación y coagulación; evaluar la dosis óptima a través de ensayos, pruebas de laboratorio y en planta; tratar el efluente con resultados que se encuentren dentro de los Valores Máximos Admisibles, lo cual servirá para controlar y mejorar los impactos que genera los procesos del lavado de la fibra de alpaca, la que permitirá cumplir con la normativa vigente como son los Estándares de Calidad Ambiental para el agua y del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA que Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, hacia la responsabilidad social-ambiental.

Los mecanismos de desarrollo limpio contribuirán a la optimización del sistema de tratamiento de los efluentes y por lo tanto a mejorar la producción de la industria textil utilizando tecnologías que reduzcan los contaminantes en el proceso de lavado. Asimismo, los resultados de la presente tesis servirán como aporte teórico y práctico a futuras investigaciones en este campo o procesos similares.

Palabras clave: Optimización, efluentes industriales, floculación, coagulación, valores máximos admisibles, mecanismos de desarrollo limpio.

Summary

The processing of alpaca fiber are of interest to Peru, which is the largest producer of alpaca fiber in the world. Alpaca fiber, according to research carried out, it has a large textile versatility regarding it as a special fiber valuable. The washing process is first wet treatments experienced alpaca fiber during handling and involves the separation of impurities, it could be considered a purification process. Greasy alpaca fiber containing different amounts of insoluble vegetable matter and foreign substances in alkalis, mineral matter and moisture (Wang et al., 2003). The removal of these impurities, both natural and additional, is vital in the manufacture of alpaca fiber, since their presence greatly hinder the subsequent operations of carding, spinning and dyeing. Therefore, the fiber should enter the spinning completely free of foreign matter, so that optimum quality and is set high performance.

The wastewater treatment consists of a series of physical, chemical and biological processes that are designed to remove pollutants in the effluent of domestic and industrial use.

Wastewater from the textile industry can be a problem, discharge to the sewage system it is limited, without treatment, since waste can be pollutants and / or toxic. For this reason, the present study has as its main objective, through testing, testing laboratory and plant treating the effluent with results that are within the VMA also obtain a suitable solid waste or sludge (called biosolids or sludge) for disposal or reuse.

Clean development mechanisms will contribute to the optimization of the effluent treatment system and therefore to improve the production of the textile industry using technologies that reduce pollutants in the washing process. Likewise, the results of this thesis will serve as theoretical and practical contribution to future research in this field or similar processes.

Keywords: Optimization, industrial effluents, flocculation, coagulation, maximum admissible values, clean development mechanisms.

Introducción

Uno de los mayores problemas de la ciudad es la contaminación de las aguas superficiales, por las descargas del servicio de alcantarillado de aguas residuales tanto domésticas como industriales. Las aguas residuales de la industria textil pueden ser un problema técnico ambiental; su descarga al sistema de alcantarillado está ilimitada, sin previo tratamiento, ya que los residuos pueden ser contaminantes y/o tóxicos. Por ello, en el presente estudio se plantea la optimización de los efluentes de la industria textil.

Los procesos de transformación de la fibra de alpaca son de interés para el Perú, que es el mayor productor de fibra de alpaca en el mundo. La fibra de alpaca, de acuerdo a trabajos de investigación realizados, posee una gran versatilidad textil considerándola como una fibra especial valiosa. El proceso de lavado, es el primero de los tratamientos en húmedo que experimenta la fibra de alpaca durante su manipulación y consiste en la separación de las impurezas, pues podría ser considerado como un proceso de purificación. La fibra de alpaca grasienta contiene diferentes cantidades de materia vegetal y sustancias extrañas insolubles en álcalis, materia mineral y humedad (Wang et al., 2003). La remoción de todas estas impurezas, tanto naturales como adicionales, es de vital importancia en la manufactura de la fibra de alpaca, puesto que su presencia obstaculizaría enormemente las operaciones subsiguientes de cardado, hilado y teñido. Por lo tanto, la fibra debe entrar en la hilatura completamente libre de materias extrañas, a fin que sea de óptima calidad y fije alto rendimiento.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes en el efluente del uso doméstico e industrial.

Las aguas residuales de la industria textil puede ser un problema, su descarga al sistema de alcantarillado está limitada, sin previo tratamiento, ya que los residuos pueden ser contaminantes y/o tóxicos. Es por ello, el presente estudio tiene como principal objetivo, a través de ensayos, pruebas de laboratorio y en planta, tratar el efluente con resultados que se encuentren dentro de los VMA; asimismo, obtener un residuo sólido o fango (llamado biosólido o lodo) conveniente para su disposición o reutilización.

Índice de contenidos

Dedicatoria	2
Agradecimiento.....	3
Resumen	4
Summary	5
Introducción	6
Índice de contenidos	8
Índice de cuadros	11
Índice de figuras y gráficos	12
CAPÍTULO I: DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1. Antecedentes de la investigación	13
1.2. Descripción de la realidad problemática	14
1.3. Formulación del problema	16
1.3.1. <i>Problema principal</i>	16
1.3.2. <i>Problema específico</i>	16
1.4. Delimitación de la investigación.....	17
1.4.1. <i>Delimitación espacial</i>	17
1.4.2. <i>Delimitación temporal</i>	17
1.4.3. <i>Delimitación cuantitativa</i>	17
1.5. Objetivos de la investigación	17
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	17
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	17
1.6. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación	18
1.6.1. <i>Justificación de la investigación</i>	18
1.6.2. <i>Importancia de la investigación</i>	19
1.6.3. <i>Limitaciones de la investigación</i>	19
1.7. Hipótesis de la investigación	19
1.8. Variables e Indicadores.....	20
1.8.1. <i>Variable dependiente (x)</i>	20
1.8.2. <i>Variable independiente (Y)</i>	20
1.8.3. <i>Operacionalización de variables e indicadores</i>	20
1.9. Tipo y nivel de investigación.....	20
1.9.1. <i>Tipo de la investigación</i>	20
1.9.2. <i>Nivel de la investigación</i>	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes teóricos de la investigación	22
2.2. Marco legal.....	23
2.3. Marco teórico.....	24
2.3.1. <i>Fibra textil</i>	24
2.3.2. <i>Fibra de alpaca</i>	24
2.3.3. <i>Propiedades de la fibra de alpaca</i>	25
2.3.4. <i>Composición de la fibra de alpaca</i>	26
2.3.5. <i>Estructura de la fibra de alpaca</i>	27
2.3.6. <i>Clasificación de la fibra de alpaca</i>	28
2.3.7. <i>Calidades de fibra de alpaca</i>	29

2.3.8.	<i>Impurezas de la fibra de alpaca</i>	31
2.3.9.	<i>Impurezas naturales (grasas y suint)</i>	31
2.3.10.	<i>Impurezas adicionadas</i>	32
2.3.11.	<i>Mecanismo de remoción de las impurezas</i>	33
2.3.12.	<i>Clasificación de impurezas de acuerdo a su comportamiento en el proceso de lavado</i>	33
2.4.	Lana	34
2.4.1.	<i>Propiedades físicas de la lana</i>	34
2.4.2.	<i>Propiedades químicas de la lana</i>	35
2.4.3.	<i>Propiedades biológicas de la lana</i>	35
2.5.	Industria textil.....	36
2.5.1.	<i>Definición</i>	36
2.5.2.	<i>Procesos en la industria textil</i>	37
2.6.	Aguas residuales	37
2.6.1.	<i>Características de las aguas residuales</i>	38
2.6.2.	<i>Parámetros físicos</i>	38
2.6.3.	<i>Parámetros químicos</i>	39
2.6.4.	<i>Parámetros biológicos</i>	39
2.6.5.	<i>Tipos de tratamiento de aguas residuales</i>	40
2.7.	Aguas residuales de la industria textil.....	43
2.7.1.	<i>Características de los efluentes del lavado de fibra de alpaca</i>	44
2.7.2.	<i>Categorías de los efluentes del lavado de la fibra de alpaca</i>	44
2.7.3.	<i>Tratamiento de los efluentes del lavado de la fibra de alpaca</i>	45
2.8.	Caracterización de los lodos	45
2.8.1.	<i>Caracterización microbiológica de los lodos</i>	46
2.8.2.	<i>Caracterización físico-química de lodos</i>	46
2.8.3.	<i>Caracterización de peligrosidad de los lodos</i>	47
2.9.	Marco conceptual.....	47
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL		49
3.1.	Población y Muestra.....	49
3.1.1.	<i>Población</i>	49
3.1.2.	<i>Muestra</i>	49
3.2.	Definiciones operacionales del proceso industrial textil.....	50
3.2.1.	<i>Transformación de la fibra de alpaca en tops</i>	50
3.2.2.	<i>Recepción y almacenaje de materia prima</i>	50
3.2.3.	<i>Clasificación</i>	50
3.2.4.	<i>Abridora</i>	52
3.2.5.	<i>Lavado</i>	52
3.2.6.	<i>Secado</i>	52
3.2.7.	<i>Cardado</i>	53
3.2.8.	<i>Peinado</i>	53
3.2.9.	<i>Embalaje</i>	53
3.2.10.	<i>Almacenamiento</i>	53
3.3.	Proceso de lavado de la fibra de alpaca	53
3.4.	Características del lavado	54
3.5.	Componentes para lavado de la fibra	55
3.5.1.	<i>Detergente no iónico</i>	55
3.5.2.	<i>Blanqueador</i>	56
3.6.	Método y diseño.....	57
3.6.1.	<i>Análisis de la calidad del efluente</i>	57

3.7.	Metodología de la experimentación	59
3.7.1.	<i>Métodos para identificar el floculante requerido y la dosis óptima</i>	59
3.8.	Experimentación	61
3.8.1.	<i>Prueba de jarras</i>	61
3.8.2.	<i>Ensayos de prueba de jarras</i>	62
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS		65
4.1.	Generalidades	65
4.2.	Presentación y análisis de resultados.....	65
4.2.1.	<i>Resultado de los análisis del efluente</i>	65
4.2.2.	<i>Resultados de la dosis óptima</i>	67
4.3.	Prueba de la hipótesis.....	67
4.4.	Costo beneficio	67
CAPÍTULO V: TECNOLOGÍA Y CÁLCULOS DE INGENIERÍA		68
5.1	Diseño del sistema de tratamiento.....	68
5.1.1	<i>Unidades operativas preliminares</i>	68
5.2	Descripción de los procesos del tratamiento físico-químico propuesto	69
5.2.1	<i>Cribado</i>	69
5.2.2	<i>Desarenado</i>	69
5.2.3	<i>Tanque de coagulación – floculación</i>	70
5.2.4	<i>Sedimentador</i>	70
5.2.5	<i>Cloración</i>	71
5.2.6	<i>Cámara de contacto</i>	71
5.3	Balance de materia y energía.....	72
5.4	Diseño de los procesos de tratamiento.....	75
5.4.1	<i>Diseño del canal de entrada</i>	76
5.4.2	<i>Diseño de rejillas o cribas</i>	78
5.4.3	<i>Diseño del desarenador</i>	80
5.4.4	<i>Producción de lodos</i>	84
5.4.5	<i>Diseño del tanque de coagulación</i>	85
5.4.6	<i>Diseño del sedimentador</i>	86
5.4.7	<i>Producción de lodos</i>	88
5.4.8	<i>Diseño del tanque clarificador</i>	89
5.4.9	<i>Diseño de la cámara de contacto</i>	89
5.5	Conclusiones	90
5.6	Recomendaciones	91
5.7	Bibliografía.....	92
ANEXOS		93
Anexo 1. Matriz de consistencia		94
Anexo 2. Hojas MSDS		97
Anexo 3. Resultado de laboratorio.....		110
Anexo 4. Panel Fotográfico		112
Anexo 5. Planos del Diseño de Planta de Tratamiento		117

Índice de cuadros

Cuadro 1 Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario	16
Cuadro 2. Variables e indicadores	20
Cuadro 3. Clasificación de la fibra de alpaca.....	30
Cuadro 4. Relación de impurezas totales presentes en la lana.	31
Cuadro 5. Composición del efluente.....	44
Cuadro 6. Caracterización microbiológica de lodos	46
Cuadro 7. Caracterización fisicoquímica de lodos.....	46
Cuadro 8. Insumos para operación de lavado	57
Cuadro 9. Resultado análisis antes del tratamiento.....	57
Cuadro 10 Recolección, preservación y almacenamiento de muestras.....	58
Cuadro 11. Equipos de monitoreo de calidad de agua	59
Cuadro 12. Dosis óptima con sulfato de aluminio.....	62
Cuadro 13 Resultados dosis óptima cloruro férrico	63
Cuadro 14. Resultado de análisis del efluente	66
Cuadro 15. Balance de la materia.....	75
Cuadro 17. Características de las rejillas de barras.....	78

Índice de figuras y gráficos

Figura 1. Procesos químicos textiles	37
Figura 2. Proceso biológico	41
Figura 3. Proceso de transformación de la fibra de alpaca en tops	51
Gráfico 1. Dosis óptima sulfato de aluminio	62
Gráfico 2. Dosis óptima cloruro férrico.....	64
Figura 4. Diagrama de bloques cuantitativo del sistema para el efluente líquido.....	74

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación propone la optimización del sistema de depuración del efluente de la industria textil Cooperativa de Producción y Servicios Especiales de los Productores de Camélidos Andinos Ltda. (COOPECAN PERÚ) del distrito de Cerro Colorado, los mismos que actualmente descargan con un tratamiento primario al servicio de alcantarillado de la ciudad.

Las aguas residuales provenientes del lavado de fibra de alpaca resulta ser el aspecto ambiental significativo en la industria textil, porque, requieren mayor volumen del uso de agua, sus descargas contienen alta carga orgánica, posee sólidos sedimentables y en suspensión que tiene como componente principal restos de fibra, grasa, lodo; esta agua debe ser tratada para el vertimiento al alcantarillado de acuerdo a los Valores Máximos Admisibles (VMA) en cumplimiento de las leyes vigentes.

1.1. Antecedentes de la investigación

Existen diversos trabajos relacionados a los procesos textiles, pero se enfocan en la materia prima, su transformación con colorantes del área de tintorería, acabados y control de calidad.

Inicialmente en el área que ocupa la actual empresa perteneció a la empresa Chachani Textiles Industriales S.A.C, fue la razón social que empezó sus procesos de industria textil incluyendo la tintorería; posteriormente, fue transferida las instalaciones a la empresa COOPECAN PERÚ Ltda. quien actualmente realiza las operaciones unitarias de lavado de la fibra de alpaca, secado, cardado y peinado.

En cumplimiento con las normas vigentes, realizan un tratamiento primario para la separación de los residuos sólidos que resultan del lavado principalmente; sin embargo, no es eficiente por los resultados de los VMA obtenidos del laboratorio.

En el estudio realizado sobre el tratamiento físico-químico de aguas residuales de las industrias textiles, donde las concentraciones de los reactivos floculantes y las variaciones de condiciones de tratamiento para alcanzar la dosis óptima de operación, dio como resultados un rendimiento del 70% en la remoción de DQO y DBO5 y el 80% para la remoción de tinte.¹

1.2. Descripción de la realidad problemática

La Cooperativa de Producción y Servicios Especiales de los Productores de Camélidos Andinos Ltda. - COOPECAN PERÚ, es una empresa que se dedica a la industria textil; en su planta de procesos, realiza la transformación de la fibra de camélidos andinos; recepciona la materia prima proveniente de la fibra fina de alpacas y llamas de la sierra sur peruana que habitan sobre los 3 000 a 5 000 m.s.n.m., para realizar procesos de clasificado, lavado, secado, peinado y su distribución.

La materia prima se basa en fibras naturales provenientes de la esquila de camélidos andinos, cuya recolección y selección lo realiza directamente el personal para evitar su maltrato y contaminación; además, no utiliza productos químicos que lo alteren o produzcan daño ecológico, en el proceso de lavado se utiliza detergentes biodegradables.

¹ Tratamiento Físicoquímico de Aguas Residuales de la Industria Textil., G. Salas Colotta, F, Lima

La empresa COOPECAN PERÚ requiere optimizar el sistema de depuración del efluente proveniente de los procesos que realiza la industria textil, que permita enviar el agua residual por el sistema de alcantarillado luego de reposarla, enfriarla y separarla de los sedimentos que puedan contaminarla. Adicionalmente, los productos químicos auxiliares al proceso de lavado son biodegradables y no contaminan el medio ambiente.

La descarga proveniente del lavado resulta ser el aspecto ambiental que causa impactos negativos en la industria textil, porque es donde requiere mayor volumen del uso de agua y posee sólidos sedimentables o en suspensión que tiene como componente principal restos de fibras, considerado compuesto orgánico.

Los valores obtenidos como resultado del monitoreo del efluente, muestran que han sobrepasado en DBO, DQO, aceites y grasas, sólidos sedimentables; por lo tanto, urge la necesidad de tratar su efluente eficientemente e implementar en la planta un sistema de control del afluente y del efluente.

Los contaminantes se separan de las fibras y se convierten en parte del baño del lavado. La grasa tiende a permanecer emulsionada y se debe separar de la solución acuosa para evitar problemas de la contaminación. El material sólido tiende a sedimentarse después de un tiempo en la parte inferior del recipiente del lavado donde puede ser eliminada y separada.

Los resultados obtenidos del efluente sobrepasan los Valores Máximos Admisibles (VMA) conforme al D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, los cuales se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario

Parámetro	VMA
DBO ₅	500mg/lt
DQO	1000mg/lt
Sólidos Suspendidos Totales	500mg/lt
Aceites y Grasas	100mg/lt
Sólidos Sedimentables (2)	8.5ml/l/h
Sulfuros	5mg/lt
Nitrógeno Amoniacal (2)	80 mg/lt
pH (2)	6-9
Temperatura (2)	<35 °C

Fuente: D.S. N° 021-2009-VIVIENDA

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Cómo se optimizará el sistema de depuración del efluente generado por los procesos que realiza la industria textil de la fibra de camélidos para el control de sus valores máximos admisibles de COOPECAN-PERÚ?

1.3.2. Problema específico

1.3.2.1. ¿Cuáles son las características de los parámetros de las aguas residuales originada por los procesos de la industria textil de la fibra de camélidos?

1.3.2.2. ¿Cuál es el tipo de tratamiento adecuado para reducir los Valores Máximos Admisibles según el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA del efluente?

1.3.2.3. ¿Cuál es el diseño para implementar las instalaciones y/o equipos para optimizar el rendimiento del tratamiento propuesto?

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Delimitación espacial

El proyecto de la optimización del sistema de tratamiento de efluentes industriales textiles se llevó a cabo en el distrito de Cerro Colorado de la provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

1.4.2. Delimitación temporal

El periodo de investigación fue de un año, del mes de setiembre de 2015 a agosto de 2016.

1.4.3. Delimitación cuantitativa

La delimitación está determinada por los resultados de las variables antes y después del tratamiento, efectuando la dosis óptima.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Optimizar la depuración de las aguas residuales industriales del proceso del lavado de la fibra de camélidos de la empresa textil para el control de sus Valores Máximos Admisibles.

1.5.2. Objetivos específicos

1.5.2.1. Evaluar las características de los parámetros de las aguas residuales industriales originadas del proceso de lavado de la fibra de camélidos.

1.5.2.2. Identificar el coagulante adecuado y la dosis óptima.

1.5.2.3. Diseñar un sistema de depuración implementando instalaciones y/o equipos, controlando el efluente de acuerdo a los Valores Máximos Admisibles.

1.6. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

1.6.1. Justificación de la investigación

Para el presente estudio se pretende hallar las técnicas viables para la optimización en el sistema de tratamiento de los efluentes de la industria textil, cuyas descargas van al sistema de alcantarillado público; con la proyección de reducir las concentraciones de grasa, sólidos que forman lodos por debajo de los índices actuales de los VMA correspondientes al área de estudio.

a. Justificación técnica

La presente investigación permite el desarrollo de una técnica para el tratamiento de los efluentes principalmente generado de los baños de lavado de la fibra de alpaca y control en los procesos que tiene la industria textil, aplicando Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL); asimismo, sirve de aporte teórico y práctico a futuras investigaciones en este campo o similares procesos.

b. Justificación económica

La optimización del sistema de depuración de las aguas residuales permite que la empresa cumpla con las políticas y el compromiso ambiental, evitando las sanciones que puedan ser sujetos por el Ministerio de la Producción y el OEFA; asimismo, mejorar la calidad del proceso permitiendo que la empresa sea competitiva para el mercado internacional logrando así incrementar sus ingresos.

c. Justificación ambiental

La industria está en la obligación de disminuir sus impactos hacia el ambiente, razón por la cual se busca alternativas que permita el equilibrio en las relaciones del hombre con la

naturaleza, por lo que la tecnología aplicada accederá la reducción de contaminantes del proceso de lavado, buscando así la implementación de estrategias para reducir los contaminantes de los efluentes residuales a fin de cumplir con las exigencias de la normativa vigente de acuerdo al D.S N° 021-2009-VIVIENDA que Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

1.6.2. Importancia de la investigación

La investigación tiene como propósito encontrar los puntos críticos, tratar las aguas residuales industriales que ocasionan impactos adversos al ambiente, aplicar las medidas correctivas que pueden ser mitigadas.

Además, contribuye a mejorar el sistema de producción y cumplir con las normas vigentes.

Los resultados de esta investigación alcanzan nuevos conocimientos en el campo del tratamiento de aguas residuales, específicamente a los relacionados con los efluentes de la industria textil, lo que busca generar una alternativa para la industria ya que la aplicación será verificada.

1.6.3. Limitaciones de la investigación

El diseño de la planta que utiliza la empresa COOPECAN viene funcionando desde hace quince años, presentando un modelo con características inadecuadas para el sistema actual, siendo limitante para la propuesta del mejoramiento del tratamiento de las aguas residuales industriales.

1.7. Hipótesis de la investigación

La aplicación de métodos fisicoquímicos y la obtención de la dosis óptima del coagulante permiten alcanzar los Valores Máximos Admisibles de los

parámetros del efluente. Para completar el tratamiento adecuado de los efluentes vertidos por la empresa textil se rediseñará el sistema de depuración de los efluentes generados por el proceso de lavado, dando así cumplimiento a la normativa vigente.

1.8. Variables e Indicadores

1.8.1. Variable dependiente (x)

El diagnóstico a través del análisis del efluente industrial textil.

1.8.2. Variable independiente (Y)

Aplicación de técnicas fisicoquímicas para la optimización del sistema de tratamiento de efluentes de la industria textil a base de sulfato de aluminio.

1.8.3. Operacionalización de variables e indicadores

Cuadro 2. Variables e indicadores

VARIABLES	INDICADORES
VARIABLE DEPENDIENTE <i>Diseño del sistema de tratamiento</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Dosis óptima – Concentración del coagulante. – Tiempo de coagulación
VARIABLES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE <i>Efluente industrial textil (sin tratamiento)</i>	<ul style="list-style-type: none"> – pH – Demanda química de oxígeno (DQO) – Sólidos totales (ST) – Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). – Aceites y grasas – Temperatura

Fuente: Elaboración propia

1.9. Tipo y nivel de investigación

1.9.1. Tipo de la investigación

La presente investigación es del tipo experimental debido a que se realizó pruebas analíticas en un laboratorio para evaluar los parámetros a través del monitoreo y tratamiento, de acuerdo a los conocimientos y leyes vigentes.

Asimismo, es correlacional porque se relaciona dos o más parámetros para realizar la implementación del diseño de mejoramiento en el sistema de tratamiento del efluente.

Es condicional según los resultados obtenidos, se mejora la dosis óptima y se genera un adecuado sistema de tratamiento de los efluentes.

1.9.2. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es experimental, correlacional y condicional; identifica los procesos para evaluar y explicar la causa del fenómeno por medio de un contexto teórico; encuentra la vinculación de interdependencia e interrelación que existe entre los fenómenos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos de la investigación

Existen diversos trabajos relacionados a los procesos textiles, pero se enfocan en la materia prima, su transformación con colorantes del área de tintorería, acabados y control de calidad.

- Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar expuesto por Luis Fernando Garcés Giraldo en Colombia. El proceso de destoxificación solar mediante fotocátalisis consiste en la utilización de la parte más energética del espectro solar, como es la radiación ultravioleta, para promover una reacción de oxidación muy enérgica. Esta reacción tiene lugar cuando dicha radiación ultravioleta activa un catalizador semiconductor en presencia de oxígeno. En estas circunstancias, cualquier otra sustancia (tóxica o no) que se encuentre simultáneamente en el mismo medio es sometida a un proceso enérgico de oxidación.
- Introducción a la Industrialización de la lana y las fibras especiales, presentado por el Ing. Oscar G. Adot de la Universidad Católica de Córdoba, Argentina, Red SUPPRAD (2010). Acondicionamiento que se

le da a la fibra al iniciar el proceso de limpieza, los contaminantes de la fibra y su influencia en el proceso de lavado de cada tipo de fibra.

2.2. Marco legal

- Constitución Política del Perú.
- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente, 15/10/2005.
- Decreto Supremo N° 002-2008 MINAM, 31/Jul/08; "Aprueban Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua".
- Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, 18/12/2009; "Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua".
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG, 24/03/2010; Aprueba el Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338.
- Ley N° 29338, 31/03/2009; "Ley de Recursos Hídricos".
- Resolución Ministerial N° 326-2010-PRODUCE; Aprueban Reglamento de Protección Ambiental para el desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera.

Las normas que regulan los Valores Máximos Admisibles son:

- El Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, 21.11.2009; Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.
- El Decreto Supremo N° 003-2011-VIVIENDA, 22/05/2011; Reglamento.
- El Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA, 04/03/2012; Modificación al Reglamento.
- La Resolución Ministerial N° 116-2012-VIVIENDA, 19/06/2012; Parámetros según la CIU.
- El Decreto Supremo N° 001-2015-VIVIENDA, 10/01/2015; Modificación al D.S. 021-2009-VIVIENDA y su Reglamento.
- Resolución de Consejo Directivo N° 025-2011-SUNASS-CD, 20/07/2011; Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración de parámetros.

- Resolución de Consejo Directivo N° 044-2012-SUNASS-CD, 10/01/2013; Directiva sobre Valores Máximos Admisibles.

2.3. Marco teórico

2.3.1. Fibra textil

En la industria textil, se denomina fibra textil al conjunto de filamentos o hebras susceptibles de ser usados para formar hilos; sirve para la fabricación de diversos tipos de tejidos, prendas, artículos domésticos, artículos industriales, bien sea mediante hilado u otros procesos físico-químicos.

Para ser utilizada una fibra como textil, debe reunir varias condiciones estructurales y una serie de cualidades: finura, longitud, carácter, rizado o torcido, color y brillo, elasticidad, resistencia, elongación en las fibras naturales, afinidad tintórea; resistencia al calor, a la luz, a los álcalis y solventes, a la acción de agentes atmosféricos, a los reactivos químicos y a las bacterias.

2.3.2. Fibra de alpaca

Es el pelo que cubre a la alpaca (*Lama pacos*); suave y rizado con alto poder de higroscopicidad, que permite absorber la humedad ambiental entre un 10% y 15%, no afectando su aspecto que en conjunto se denomina vellón; proviene de dos razas, Huacaya y Suri. Estas razas tienen aspectos diferentes y presentan los siguientes colores básicos: blancos, beige, marrón, grises y negros, los que tienen a su vez diversas tonalidades y combinaciones. En sus características, presenta elasticidad y capacidad de tensión del hilado, sensación de suavidad, propiedad térmica, resistencia a tracción y flexibilidad, durabilidad.

2.3.3. Propiedades de la fibra de alpaca

Es importante conocer las propiedades químicas, físicas y mecánicas de la fibra para saber cómo influyen en el proceso de lavado. Existe poca información en relación a la fibra de alpaca; pero tiene cierta similitud a la lana, por ello se complementa con información de la lana.

La fibra de alpaca combina atributos comerciales que la hacen de valor superior respecto a otras fibras de pelos finos:

- Mezclas de fibra pueden producir infinidad de colores naturales.
- Fibra fuerte y resistente: La fuerza de la fibra no disminuye con la finura, haciéndola así ideal para el proceso industrial.
- Contiene bolsas de aire microscópicas que hacen posible crear prendas ligeras de peso y térmicas.
- Es tres veces más fuerte que el pelo de la oveja y siete veces más caliente.
- Es suave y delicada al tacto debido a la estructura celular de la fibra que produce un tacto suave que no puede ser igualado por otras fibras.
- Tiene un brillo natural que le dan a las prendas confeccionadas 100% con alpaca una gran apariencia visual.
- Mantiene su brillo natural luego de ser teñida. Es compatible con sistemas de hilados cardados o peinados. Las telas fabricadas con fibras de alpaca van de un rango de telas gruesas a finas gabardinas.
- Las prendas de alpaca no se rompen, pelan, deforman o crean estática, y son fácilmente lavables.

A. Propiedades químicas de la fibra de alpaca

♦ Acción del agua en la fibra

La fibra se vuelve más susceptible al daño químico en medio acuoso, debido a que las cadenas proteicas pueden ser

ionizadas y atraer pequeñas moléculas de ácidos y álcalis. Las condiciones alcalinas son más dañinas que las condiciones ácidas. Dado que las lanas bien lavadas en un medio alcalino débil poseen un pH de extracto acuoso entre 9 y 10, y que la temperatura no suele superar a 50 °C, durante esta operación no se puede producir una alteración significativa de la fibra.

B. Propiedades físicas de la fibra de alpaca

Las propiedades físicas de las fibras queratínicas dependen de forma marcada de su contenido de agua absorbida, lo que se cumple tanto para la cutícula como para el resto de la fibra. El agua actúa como plastificante, reduciendo la interacción entre grupos ácidos y básicos por ruptura de puentes de hidrógeno, reblandeciendo la queratina. Donde los enlaces disulfuro previenen la disolución de la fibra y limitan su reblandecimiento.

C. Propiedades mecánicas de la fibra de alpaca

Las propiedades mecánicas de la lana de tensión deformación, presenta tres zonas bien definidas.

- La región de Hook. La tensión crece rápidamente hasta una deformación del 12%.
- La región de alta deformabilidad. Las deformaciones crecen ágilmente hasta 25-30% para pequeños aumentos de tensión.
- La región de rotura. El gran aumento de tensión es acompañado por el de las deformaciones, entre 35-55%. Las relaciones de las pendientes en cada región de la curva (-) pueden expresarse como 100:1:10.

2.3.4. Composición de la fibra de alpaca

La composición celular de la fibra de alpaca consiste en un núcleo de células llenas de aire que contribuyen a sus principales beneficios. Proporciona siete veces más calor que la lana de oveja,

absorbe hasta el 35% de la humedad del cuerpo y puede utilizarse en épocas templadas por su alta transpirabilidad. Su elasticidad permite mantener su forma sin ceder y contribuye a su durabilidad

El número de fibras individuales necesario para elaborar una prenda de alpaca se reduce considerablemente en comparación, por ejemplo, con la lana de oveja. Esto explica la suavidad y finura de los tejidos así como su comodidad, ya que pese a proporcionar mucho abrigo, es una prenda muy ligera. Su resistencia al agua es superior a muchas otras fibras, se mantiene limpia más tiempo y es hipoalérgica (no contiene lanolina); siendo idónea incluso para aquellas personas cuya piel no tolera otras fibras.

Existen hasta 22 colores naturales de alpaca que van del blanco al negro a través de grises, leonados y marrones. La definición y uniformidad de los colores no se encuentra en otras fibras de producción textil. Además, se pueden obtener también otros matices mediante tintes vegetales o industriales.

La composición del vellón de la alpaca se caracteriza por ser relativamente seco; es decir, carente de suarda o grasa que llega al 2% a diferencia de los vellones de ovino que exhiben un contenido graso de 8 a 24% de acuerdo al tipo de raza que provenga.

2.3.5. Estructura de la fibra de alpaca

a) Cutícula. Parte exterior de la fibra, consistente en un conjunto de células planas, las mismas que se superponen a manera de un tejado o al ordenamiento de las escamas de un pez. Existe clara diferencia entre la fibra de Suri y Huacaya en relación a las escamas y la cutícula cuando estas son observadas al microscopio o lanómetro. Por c/100 μm de fibra Suri, existen 10-escamas; mientras que para la variedad Huacaya, solo 9.7.

b) Corteza. Constituye la parte de mayor volumen en las fibras, siempre que estas no sean demasiado gruesas.

c) Médula. En la sección transversal de la fibra de alpaca, la médula aparece como una demarcación central oscura de formas variables.

En términos generales, se ha notado que la fibra de alpaca Suri de 25 micras de diámetro presenta mayor medulación que las fibras Huacaya; mientras que en las fibras gruesas, las dos variedades muestran similar medulación.

2.3.6. Clasificación de la fibra de alpaca

Entre los principales factores que se toman en cuenta para la clasificación de la fibra de alpaca y lana son: raza, finura, color, longitud, suavidad y limpieza. Sin clasificación, hay una mezcla de fibras de diferentes longitudes y finuras. En cuanto a la característica de longitud, se puede orientar para el proceso de peinado las fibras largas y para el sistema cardado las fibras cortas.

Existen dos razas de alpaca:

A. La Huacaya. Su vellón está compuesto por fibras finas perpendiculares al cuerpo, buena longitud y presencia de ondulaciones; tiene fibra corta, densa y esponjosa que cubre casi todo su cuerpo dejando su cara y patas ocultas con pelo corto.

B. La Suri. Se caracteriza por tener fibras más finas que la Huacaya, agrupadas en mechales espiraladas o rizadas que crecen paralelas al cuerpo; tiene una fibra sedosa, larga y de excepcional brillo.

El color de la fibra es variado, va del claro al oscuro y presenta tonalidades de marrón claros y oscuros; también el gris plata y el color vicuña. El vellón resultante puede ser de colores únicos o mezclados. Sus fibras presentan una alta variabilidad en color, diámetro medio, longitud, resistencia a la tensión, elasticidad,

flexibilidad y otras características. La producción media de vellón bruto es de 1,6 kg cada dos años.

2.3.7. Calidades de fibra de alpaca

Cada calidad se emplea para crear diferentes productos tales como telas, chalinas, chompas, frazadas, alfombras, etc., mezclándose también con otras fibras generalmente naturales.

Esta fibra es inusualmente fuerte y resistente, y esto se mantiene mientras más fina sea, volviéndola ideal para procesos industriales. Además, es fácil de teñir a cualquier color y siempre mantiene su lustre natural.

Por otro lado la alpaca puede ser trabajada en los sistemas de peinado y cardado, pudiendo obtenerse telas entre tweeds gruesa y gabardina fina. La fibra de alpaca no se rompe, deshilacha, mancha o crea estática, es fácil de lavar. La alpaca tiene un alto grado de limpieza en la fibra después de haber sido procesada (entre 87%-95% versus un 43%-76% de la lana de oveja); además, su proceso es más fácil y barato debido a la carencia de grasa o lanolina en su fibra que no se debe descender como al cashmere.

a) Baby alpaca. Se obtiene del primer esquilado de la vida del animal. Es la variedad de mayor calidad por tratarse de una selección de las mejores fibras de baby alpaca, que normalmente son las situadas en el lomo y más cerca de la piel y presenta mayor calidad, ya que se trata de un pelo más suave que el de los esquilados posteriores. El término "baby" no hace referencia a la edad del animal, pues necesitan alcanzar la edad adulta (3 años) antes de estar listos para su primer esquilado. La Baby Alpaca mide 22,5 μ de diámetro.

b) Alpaca fleece. Se obtiene del esquilado regular del animal, que se realiza habitualmente una vez al año y del que se obtienen aproximadamente 3kg de fibra. Mide 26,5 μ de diámetro.

c) Huarizo. En el Perú, se denomina generalmente Huarizo al cruce de una alpaca con una llama. El resultado es un animal híbrido que tiene fibra algo gruesa y características fenotípicas tanto de la alpaca como de la llama. En la zona alto andina donde la crianza de alpacas está en manos de familias de pastores sin mayores recursos, es común encontrar hatos donde se mezclan las alpacas con las llamas, dando lugar a la aparición de los huarizos. Para efectos industriales, Huarizo es una calidad de fibra de alpaca que no necesariamente proviene del híbrido descrito anteriormente. Se designa con este nombre al producto (top e hilado) que en promedio tiene entre 28 y 29- μm ; pero que puede provenir enteramente de una alpaca pura.

d) Gruesa. Son las fibras cortas por lo general sobre los 32-micrones. La clasificación de la fibra de alpaca según Norma Técnica Peruana (NTP) se presenta en el Cuadro 3. Con respecto a la finura, se refiere que a nivel nacional, el 20% de la producción está dado por fibra de alpaca Huarizo (fibra gruesa, mayor de 29- μm), el 46% por fibra Alpaca Medium Fleece (fibra semifina, entre 26.6 a 29 μm), el 22 % por fibra de Alpaca Fleece (fibra fina, entre 23,1 a 26,5 μm) y sólo el 12% está conformado por fibra de alpaca Baby (fibra extra fina, menor de 23,1 μm).

Cuadro 3. Clasificación de la fibra de alpaca.

Clasificación	Finura (μ)	Largo (mm)	Humedad Máx. (%)	Sólidos Minerales Máx. (%)	Grasa Máx. (%)
Alpaca baby	Hasta 23	65	8	6	4
Alpaca fleece	23,1 a 26,5	70	8	6	4
Alpaca médium fleece	26,6 a 29	70	8	6	4
Alpaca huarizo	29,1 a 31,5	70	8	6	4
Alpaca gruesa	Más de 31,5	70	8	6	4
Alpaca corta	***	20 a 50	8	6	4

Fuente: NTP 231.301 – 2004

2.3.8. Impurezas de la fibra de alpaca

La lana usualmente contiene grasas (excreción de las glándulas sebáceas), suint (excreción de las glándulas sudoríparas), impurezas inorgánicas (arcilla y arena), impurezas orgánicas (orina, excremento, componentes orgánicos de la tierra), materia vegetal y agua (Wood, 1985). La fibra de alpaca contiene las mismas impurezas pero en diferente proporción, la fibra de alpaca contiene menos grasa y suint que la lana sucia. Es necesario tener un conocimiento exacto de estas impurezas para su adecuada remoción durante el proceso de lavado (ver cuadro 4).

Cuadro 4. Relación de impurezas totales presentes en la lana.

Clases de impurezas	Tipos de impureza	Observaciones	Formas de remover las impurezas
Naturales	Secreciones como: El sudor o suint Las grasas o ceras	Siempre están presentes en todos los tipos de lana	Mediante el lavado o descrudado en baños acuosos y otras formas
	Acreciones: Fibras Negras Kemps, etc. Pelos Canizos	Impurezas características o por generación - fibras dañadas	Mediante la clasificación de la fibra
	Excreciones: Estiércol, Orina, etc.	Siempre están presente	Mediante clasificación y lavado o descrudado
Adquiridas	De origen animal como: Insectos, bichos (garrapata, piojo), etc.	---	Mediante cardado (en hilandería)
	De origen vegetal como: Restos de hojas, semillas, paja, grama seca, etc.	Cogidos por el animal durante el pastoreo	Mediante el cardado y también el carbonizado con ácido sulfúrico
	De origen mineral: Tierra, arena, polvo y sales	Son impurezas tomadas del medio ambiente	Mediante el lavado, sacudido, etc.
Aplicadas	Brea, pintura, tizas, sellos, insecticidas y otros	Para identificación, como antisépticos	Mediante la clasificación y lavado o descrudado

Fuente: Fuertes 1993

2.3.9. Impurezas naturales (grasas y suint)

Son debidas a la secreción de las glándulas sudoríparas y sebáceas, variando su cantidad con el régimen alimenticio del animal. Se pueden subdividir en suint y grasa.

- a) Grasas.** Los principales componentes de la “grasa” son ésteres de alto peso molecular, formados por una mezcla de esteroides, alcoholes alifáticos y dioles, combinados con cadenas rectas, ramificadas y ácidos grasos hidroxilos. Algunos constituyentes menores son alcoholes libres y ácidos (Stewart, 1985).
- b) Suint.** Está formada por sales inorgánicas y orgánicas, así como por algo de úrea y aminoácidos y un gran porcentaje de sales de potasio de ácidos orgánicos como la lisina y tirosina. Todas estas sales son solubles en agua caliente (>30°C), por lo que se eliminan con ella dando una solución cuyo pH oscila de 5,5 a 7,8 pudiendo actuar como jabón a un pH > 9. En consecuencia, el suint tiene un rol importante como detergente en condiciones alcalinas. El suint es un jabón en sí mismo. Consecuentemente, el primer baño del lavadero suele ser usado para eliminar el suint, siempre y cuando se utilice este tipo de baño y se desee aprovechar las propiedades detergentes del suint, el primer baño de desuintado (suint bowl) debe mantener un pH mínimo de 9,0. Es posible que el contenido del suint de las fibras justifica dedicar el primer baño a desarrollar su poder de detergente.

La fibra de alpaca contiene impurezas de tierra, grasa, suint y materia vegetal; en promedio 6 % en alpacas Huacaya y 5% en alpacas Suri. Estos sólidos quedan en la primera etapa del lavado, de la cual se hace una descarga de aguas residuales del proceso de lavado.

2.3.10. Impurezas adicionadas

La alpaca al igual que la oveja, durante su existencia, recoge materias extrañas a la fibra y a sus propias secreciones, que la impregnan o se adhieren a ella, como son: tierra, arena, partículas vegetales de diversas especies, algunas veces otros pelos de animales con los cuales ha estado en contacto, etc. El contenido de impurezas de la fibra de alpaca, impurezas de tierra y materia

vegetal es de un promedio de 7,0 % en alpacas Huacaya (de 1-año de edad) y en Suris un promedio de 6,2 %.²

2.3.11. Mecanismo de remoción de las impurezas

Es un proceso rápido que depende del tiempo de permanencia de la fibra en un medio acuoso. Cuando la agitación se aplica, la suciedad y la grasa son desalojados dentro de la solución de lavado y la suciedad remanente se encuentra en suspensión debido a los tensoactivos adsorbidos que actúan estabilizando las emulsiones y suspensiones. Por lo tanto, los contaminantes se separan de las fibras y se convierten en parte del baño del lavado. La grasa tiende a permanecer emulsionada y se debe separar de la solución acuosa para evitar problemas de la contaminación. La suciedad tiende a sedimentarse después de un tiempo en la parte inferior del recipiente del lavado donde puede ser eliminada y separada. La proporción de polvo que no está asociada a la grasa se puede eliminar antes de lavado, de lo contrario se colocara en la parte inferior de las tinajas durante el lavado.³

2.3.12. Clasificación de impurezas de acuerdo a su comportamiento en el proceso de lavado

Las impurezas de la lana grasienta pueden clasificarse en impurezas fáciles y difíciles de remover. La grasa sin oxidar, la mayoría de la grasa oxidada, el suint fácilmente soluble y la suciedad orgánica, proteínica, y mineral son las impurezas que son fáciles de eliminar. Una pequeña fracción de la grasa oxidada, el suint difícilmente soluble, la suciedad mineral y las capas proteínicas adheridas a la lana son los contaminantes que son difíciles de remover. Cerca del 90% de las impurezas son fáciles de remover. Dado que las impurezas se eliminan en un medio acuoso, otra forma de clasificarlas, es agruparlas en relación con su

² Villarroel, 1959; citado por Marín, 2007

³ Wang et al., 2003.

solubilidad en el agua y a su reactividad con las soluciones detergentes; pues de esta forma, aquellas que son solubles en agua, no necesitarían el concurso de agentes tenso activos, al menos teóricamente. Las que no cumplen dicha condición, requerirán la acción de compuestos químicos que reaccionan con ellas según su afinidad química o captándola mediante fenómenos tenso activos, darían origen al proceso de su eliminación.

2.4. Lana

Es el pelo que recubre el cuerpo de las ovejas, las dos características más valoradas de la lana son su elasticidad y su capacidad para absorber la humedad. La raza más extendida es la oveja merina; otras razas valoradas por ser de lana larga son Lincoln y Cheviot.

La lana es un material elástico, ignífugo y resiliente proviene de la oveja doméstica, el espesor de su fibra es de 12.5 μ hasta la más gruesa 40 μ .

2.4.1. Propiedades físicas de la lana

- 1. Resistencia.** Es la propiedad que le permite a la lana estirarse en gran proporción, antes de romperse. Esto es muy importante, desde el punto de vista textil, donde procesos de industrialización como cardado, peinado e hilado, someten a considerables tensiones a las fibras de lana, que deben poseer extensibilidad suficiente para conservarse íntegras a través de los mencionados procesos.
- 2. Elasticidad.** Esta propiedad está íntimamente relacionada con el interior, referido al hecho que la lana regresa a su largo natural, luego de estirarse, dentro de ciertos límites, ya que llega un momento donde al romperse los enlaces químicos, la lana no vuelve a su largo original. La elasticidad se debe a la estructura helicoidal de sus moléculas. Gracias a esta propiedad de recobramiento de extensión, la lana tiene la habilidad de retener la forma de vestimentas, y mantener la elasticidad de alfombras.

- 3. Higroscopicidad:** Todas las fibras naturales absorben la humedad de la atmósfera y, entre ellas, la lana es la que lo realiza en mayor proporción; la lana es higroscópica, es decir, que absorbe vapor de agua en una atmósfera húmeda y lo pierde en una seca. La fibra de lana es capaz de absorber hasta un 50% de su peso en escurrimiento.
- 4. Flexibilidad:** Es la propiedad de las fibras de lana, por lo cual se pueden doblar con facilidad, sin quebrarse o romperse. Esta propiedad es de gran importancia para la industria, tanto en hilandería como en tejeduría, para lograr tejidos resistentes.

2.4.2. Propiedades químicas de la lana

- 1. Efecto de los álcalis:** La proteína de la lana, que recibe el nombre de queratina, es particularmente susceptible al daño de álcalis. Por ejemplo, soluciones de hidróxido de sodio al 5%, a temperatura ambiente, disuelven la fibra de lana.
- 2. Efecto de los ácidos:** La lana es resistente a la acción de los ácidos suaves o diluidos; pero los ácidos minerales concentrados, como sulfúrico y nítrico provocan desdoblamiento y descomposición de la fibra. Sin embargo, soluciones diluidas de H_2SO_4 son usados durante el proceso industrial de la lana para carbonizar la materia vegetal adherida en las fibras.
- 3. Efecto de los solventes orgánicos:** La mayoría de los solventes orgánicos usados para limpiar y quitar manchas de tejidos de lana son seguros, ya que no dañan las fibras de lana.

2.4.3. Propiedades biológicas de la lana

- A. Microorganismos.** La lana presenta cierta resistencia a las bacterias y los hongos; sin embargo, estos microorganismos pueden atacar las manchas que aparecen en la lana. Si la lana es almacenada en una atmósfera húmeda, aparecen hongos, que incluso pueden llegar a destruir la fibra. Por otra parte, las

bacterias que producen podredumbres pueden destruir la fibra, si la lana permanece mucho tiempo en humedad y polvo.

B. Insectos. Desde el momento que la lana es una proteína, que por lo tanto puede ser considerada un producto alimenticio modificado; presenta una fuente de alimento para distintos tipos de insectos. Las larvas de la polilla de la ropa y del escarabajo de las alfombras son los predadores más comunes de la lana; se estima que estos insectos dañan varios millones de kilos de tejido de lana cada año. Se han sugerido varios tratamientos para prevenir este daño; la fumigación de tejidos de lana con insecticidas, la aplicación de productos químicos que reaccionen con las moléculas de la lana y causen que la fibra no sea palpable para los insectos. Otro sistema es poner cerca de la lana sustancias que despidan olores nocivos para los insectos.

2.5. Industria textil

La industria textil incluye varios servicios involucrados en el desarrollo o producción de fibras, como es el caso de los productores de ovejas o de algodón, la transformación de las fibras en hilos; el hilo, en tejido y quienes tiñen, blanquean y terminan las telas. La industria textil también incluye compañías químicas que hacen fibras sintéticas y todos los productos derivados. Además, están los vendedores mayoristas y revendedores minoristas de todas estas telas y los productos textiles derivados de ellas.

2.5.1. Definición

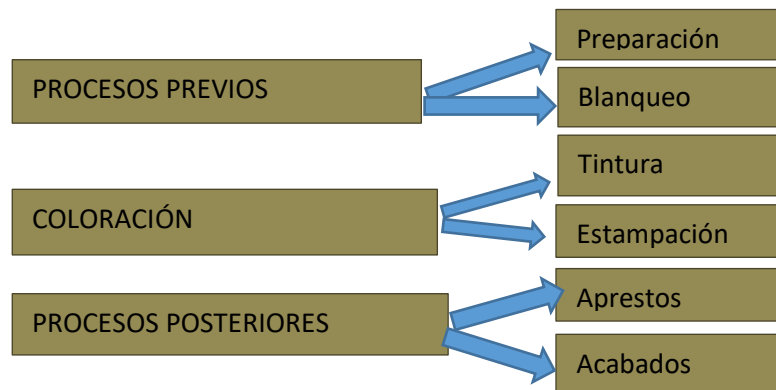
Con origen en el vocablo latino, el concepto de industria hace referencia al grupo de operaciones que se desarrollan para obtener, transformar o transportar productos naturales. El término también se aprovecha para nombrar la instalación que se reserva a esta clase de operaciones y al conjunto de las fábricas de un mismo género o de una misma región.

2.5.2. Procesos en la industria textil

La industria textil comprende multitud de procesos y/o tratamientos específicos destinado a dar a los hilos y a los tejidos propiedades y características concretas.

Dependiendo del tipo de fibra, o del efecto de acabado que se desea dar, se utilizan variados métodos físicos y químicos.

Figura 1. Procesos químicos textiles



Fuente: Elaboración propia

2.6. Aguas residuales

Las aguas residuales son las que resultan después de haber sido utilizadas en nuestros domicilios, fábricas, actividades ganaderas, etc., que estas aguas son sucias y contaminadas; llevan grasas, detergentes, materia orgánica, residuos de la industria y de los ganados, herbicidas y plaguicida y en ocasiones algunas sustancias muy tóxicas.

Las aguas residuales provenientes de la industria, antes de volver a la naturaleza, deben ser depuradas. Para ello se conducen a las plantas o estaciones depuradoras, donde se realiza el tratamiento más adecuado para devolver el agua a la naturaleza en las mejores condiciones posibles.

Clasificación de aguas residuales

- a. Aguas residuales domésticas
- b. Aguas residuales industriales
- c. Aguas municipales

2.6.1. Características de las aguas residuales

La contaminación de las aguas puede ser causada por compuestos en estado sólido, líquido o gaseoso, los cuales pueden disolverse, quedar en suspensión, ser inmiscibles o reaccionar entre otros.

Las impurezas procedentes del proceso de lavado pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos; por su composición física, química y biológica.

2.6.2. Parámetros físicos

Los principales parámetros físicos son la temperatura, sólidos, olor, turbiedad y color.

- **Temperatura:** Las aguas residuales pueden presentar variación en la temperatura debido a la incorporación de aguas calientes desde residencias e industrias. La variación de la temperatura está relacionada con la influencia que tiene en la velocidad de reacciones químicas, la actividad de microorganismos, la solubilidad de sales.
- **Color:** La coloración anormal de las aguas residuales se debe a la presencia de sustancias disueltas o coloidales (color real) y en suspensión (color aparente).
- **Turbidez:** Está relacionada con la materia coloidal y en suspensión, presentes en las aguas residuales: arcilla, material orgánico finamente dividido e inorgánico y microorganismos.
- **Sólidos:** Están cargadas de sólidos, materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta de origen orgánico e inorgánico. Pueden ser sólidos totales o sólidos suspendidos.
- **Olor:** Se originan de los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. Los principales compuestos olorosos de las aguas residuales son amoníaco, cloro, sulfuros, mercaptanos y aminas.

2.6.3. Parámetros químicos

Los principales parámetros químicos presentes en las aguas residuales son pH, materia orgánica, alcalinidad y gases.

- **pH.** Las aguas residuales industriales presentan diferentes valores en función de sus actividades, el valor inadecuado del pH puede afectar el desarrollo de los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos, el pH debe mantenerse dentro de los límites para garantizar la efectividad de los procesos químicos.
- **Materia orgánica.** La materia orgánica presente en las aguas residuales tiene origen vegetal, animal y de las actividades humanas. Su presencia representa una de las alteraciones de mayor importancia por sus efectos sobre el ambiente.

En las sustancias orgánicas se encuentran proteínas, carbohidratos, aceites y grasas. En la mayoría de los casos se mide en función de la DQO y de la DBO.

En un medio receptor, las bacterias degradan la materia orgánica consumiendo oxígeno, al ser un sistema dinámico este se repone por aireación.

- **Alcalinidad.** Resulta de la presencia de hidróxidos, carbonatos, magnesio, sodio y potasio; también radicales como el amonio.
- **Gases.** Los gases presentes en las aguas residuales que se encuentran en contacto con la atmósfera son nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono; y producto de la descomposición de la materia orgánica son el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano.

2.6.4. Parámetros biológicos

Los principales grupos de organismos presentes en las aguas residuales son las eucariotas, bacteria y arqueobacterias.

Los microorganismos presentes son los hongos, algas, protozoos y virus.

Las bacterias desempeñan un papel importante en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica.

2.6.5. Tipos de tratamiento de aguas residuales

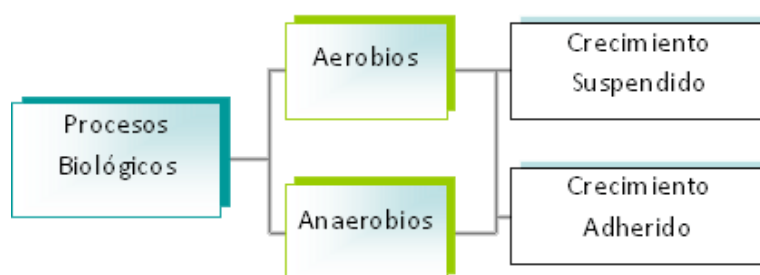
Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes; existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos, procesos fisicoquímicos, y en ocasiones se presentan ambos.

1. Biológicos

Conjunto de tratamientos de las aguas residuales contaminadas basados en la descomposición de la materia orgánica por organismos vivos, produciendo compuestos de menor poder contaminante. Reciben también el nombre de tratamientos secundarios. Aunque en teoría la degradación podría llegar a CO₂ o metano y agua, en la práctica producen una insolubilización de la materia orgánica, en forma de microorganismos que sedimentan formando flóculos, pudiendo ser retirados como fango biológico. Los tratamientos biológicos pueden ser aerobios o anaerobios, según intervenga el oxígeno como oxidante o no.

Ya en la clasificación dada por el tipo de crecimiento (adherido y/o suspendido), los sistemas de tratamiento son nombrados de acuerdo al principio de operación (lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, filtros percoladores, etc.).

Figura 2. Proceso biológico



Fuente: Ingeniería de aguas residuales (2015)

2. Físicoquímicos

El tratamiento físico-químico puede constituir una única etapa dentro del tratamiento del agua residual o bien puede interponerse como proceso de depuración complementario entre el pre tratamiento y el tratamiento biológico, para romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, es necesario realizar tres operaciones: coagulación, floculación y decantación o flotación posterior.

A. Coagulación. Consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo. La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un coagulante. Normalmente, se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y aluminio.

Mecanismos básicos en este proceso

- **Neutralización de la carga del coloidal**

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

- **Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido**

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales

sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado.

Los factores que influyen en el proceso de coagulación

a) pH. El pH es un factor crítico en el proceso de coagulación.

Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran:

- Cal viva
- Cal apagada
- Carbonato sódico
- Sosa cáustica
- Ácidos minerales

b) Agitación rápida de la mezcla. Para que la coagulación sea óptima, es necesario que la neutralización de los coloides sea total antes que comience a formarse el flóculo o precipitado. Por lo tanto, al ser la neutralización de los coloides, el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es necesario que el reactivo empleado se difunda con la mayor rapidez posible, ya que el tiempo de coagulación es muy corto (1sg).

c) Tipo y cantidad de coagulante. Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro. Las reacciones de precipitación que tienen lugar con cada coagulante son las siguientes:

- Sulfato de aluminio (también conocido como sulfato de alúmina) ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).
- Sulfato ferroso (FeSO_4)
- Sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)
- Cloruro férrico (FeCl_3)

B. Floculación

La floculación trata la unión entre los flóculos ya formados con el fin de aumentar su volumen y peso de forma que pueden decantar. Consiste en la captación mecánica de las partículas neutralizadas dando lugar a un entramado de sólidos de mayor volumen. De esta forma, se consigue un aumento del tamaño y la densidad de las partículas coaguladas, aumentando la velocidad de sedimentación de los flóculos.

Factores que influyen en la floculación

- a) Coagulación previa lo más perfecta posible.
- b) Agitación lenta y homogénea.
- c) Temperatura del agua. Las temperaturas bajas dificultan la clarificación del agua, por lo que se requieren periodos de floculación más largos o mayores dosis de floculante.
- d) Características del agua. Un agua que contiene poca turbiedad coloidal es, frecuentemente, de floculación más difícil, ya que las partículas sólidas en suspensión actúan como núcleos para la formación inicial de flóculos.
- e) Tipos de floculantes. Según su naturaleza, los floculantes pueden ser minerales (sílice activada) y orgánicos: son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

2.7. Aguas residuales de la industria textil

Efluente industrial se denomina a las descargas residuales derivadas de los vertidos originados por distintos usos del agua industrial, como ser aguas

de purgas de circuitos cerrados o semicerrados de la refrigeración, de producción de vapor, de recirculación de aguas de proceso, aguas de condensados, limpieza de equipos, entre otros. La composición de los efluentes varía con el tipo de industria y el proceso que se lleva a cabo

2.7.1. Características de los efluentes del lavado de fibra de alpaca

Los efluentes están constituidos principalmente por componentes orgánicos solubles y emulsionados, materiales sólidos relativamente inertes, tensoactivos no iónicos y pesticidas incorporados en la materia prima.

Cuadro 5. Composición del efluente

Grasa de lana	Suint	Suciedad	Detergente
0,4 – 1,0 %	0,4 – 0,6 %	0,4 – 1,2 %	0,04 -0,06 %

Fuente: Christoe, 1999.

La grasa es difícilmente biodegradable, y constituye el principal material emulsionado en el lavado. Los sólidos inertes representan una alta proporción de los contaminantes y están constituidos principalmente por micropartículas de materiales arcillosos. La suarda, compuesta por sólidos orgánicos solubles y materiales poliméricos coloidales (proteínicos), es un componente importante, biodegradable. La suciedad está compuesta por materiales húmicos (moléculas muy grandes y complejas extraídas de la materia orgánica) y principalmente por micropartículas de materiales arcillosos relativamente inertes, capaces de formar suspensiones altamente estables.

2.7.2. Categorías de los efluentes del lavado de la fibra de alpaca

Los efluentes pueden ser divididos en tres categorías:

- **El efluente pesado.** Contiene altas concentraciones de sólidos solubles en agua (suint), solventes solubles (grasa) y suciedades en emulsión estable.

- **El Efluente de enjuague.** Presenta bajos niveles de suciedad, pero contiene cerca de dos tercios de volumen de agua (6 a 7 L/kg de lana sucia).
- **Los Residuos sólidos.** Incluyen el material removido en las operaciones de apertura; ellos contienen suciedad, fibras cortas y materia vegetal.

2.7.3. Tratamiento de los efluentes del lavado de la fibra de alpaca

Los tratamientos tienden a remover estas impurezas y a menudo incluyen dos pasos; uno de remoción de partículas emulsificadas y suspendidas, y otro subsiguiente de disolución de las impurezas.

Los tratamientos de los efluentes pueden ser divididos en:

- Biológicos (aeróbicos y anaeróbicos)
- Químicos (coagulación, floculación, precipitación)
- Físicos (membranas, evaporación, incineración)
- Combinación de los métodos mencionados

El mayor problema de todos estos métodos ha sido la eliminación de lodos, debido a que la cantidad generada y los potenciales problemas asociados con los contaminantes presentes en los lodos.

2.8. Caracterización de los lodos

La caracterización fisicoquímica, microbiológica y de peligrosidad del lodo generado por la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial es útil para establecer una buena gestión de los lodos tanto al interior de la empresa como respecto a las opciones externas de gestión.

Para conocer las características exactas, la textilera debe realizar un estudio de la caracterización⁴ de los lodos en los siguientes aspectos:

⁴ Salmerón Ramírez Albert Willians, Gestión Ambiental de Lodos Industria Textil.

- Microbiológica
- Físicoquímica
- De peligrosidad

2.8.1. Caracterización microbiológica de los lodos

Los resultados obtenidos para los parámetros microbiológicos, son los determinados:

Cuadro 6. Caracterización microbiológica de lodos

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO DETECTABLE
Coliformes fecales	4,900	NMP/g	Menor que 1,000 NMP/g (en base seca)
Salmonella sp	---	NMP	Menor de 3 NMP (en 4 g. En base seca)
Helminfos y vermiformes viables	---	NMP	Menor que 1 (en 4 g. En base seca)
Virus entéricos	---	UFP*	Menor que 1 UFP (en 4 g. En base seca)

Fuente: Salmerón Ramírez Albert Willians, Gestión Ambiental de Lodos Industria Textil

*Unidades Formadoras de laca

2.8.2. Caracterización físico-química de lodos

A continuación la caracterización físico-química de los lodos de tipo especial:

Cuadro 7. Caracterización físicoquímica de lodos

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO DETECTABLE
Humedad	22.8	%	10 a 20
pH	7.6		6 – 9.6
Sodio	3,012	mg/Kg	---
Arsénico	6.5	mg/Kg	15 – 75
Aluminio	15,818	mg/Kg	---
Bario	85.6	mg/Kg	1300
Cadmio	0.13	mg/Kg	0,7 - 85
Cobre	282.6	mg/Kg	600 - 4300
Cromo total	6.0	mg/Kg	70 - 3000
Mercurio	8.4	mg/Kg	1 - 57
Molibdeno	3.9	mg/Kg	20 - 75
Níquel	2.0	mg/Kg	25 - 420
Plomo	4.6	mg/Kg	140 - 1600
Selenio	>0.1	mg/Kg	36 - 100
Zinc	147.6	mg/Kg	2000 - 7500
Nitrógeno total	2.6%	mg/Kg	40.00

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	RANGO DETECTABLE
Fosforo	1,850	mg/Kg	---
Hierro	602.3	mg/Kg	---
Manganeso	183.3	mg/Kg	---

Fuente: Salmerón Ramírez Albert Willians, Gestión Ambiental de Lodos Industria Textil

2.8.3. Caracterización de peligrosidad de los lodos

Los lodos se consideran lodos peligrosos si presentan alguna de las características establecidas en sus parámetros:

1. Corrosividad
2. Reactividad
3. Inflamabilidad
4. Toxicidad
5. Toxicidad ambiental
6. Toxicidad aguda
7. Toxicidad crónica
8. Explosividad
9. Combustión espontánea
10. Oxidante
11. Biológico infeccioso (actividad biológica)
12. Bioacumulación
13. Ecotóxico
14. Radioactividad
15. Otras características que ocasionen peligro

2.9. Marco conceptual

- **VMA.** Valores Máximos Admisibles (VMA) es el valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

- **Depuración.** Del agua, consiste en diversas operaciones químicas, biológicas y físicas cuyo objetivo es reducir o eliminar la contaminación.
- **Sulfato de aluminio:** es una sal de fórmula $Al_2 (SO_4)_3$, es sólido y blanco (en el caso del sulfato de aluminio tipo A, con un contenido de hierro inferior 0.5%) y marrón para el caso del sulfato de aluminio tipo B (contenido de hierro inferior al 1,5%). Es ampliamente usada en la industria, comúnmente como coagulante en la purificación de agua potable y en la industria del papel.
- **Cloruro férrico:** El cloruro férrico en solución al 40% se utiliza como coagulante para tratamiento de aguas y efluentes, se comercializa habitualmente a granel.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

3.1. Población y Muestra

3.1.1. Población

El universo de la presente investigación lo constituye el tratamiento de efluentes de la planta industrial textil COOPECAN que es vertido al sistema de alcantarillado regular de la ciudad de Arequipa teniendo que cumplir con los valores máximos admisibles (VMA) dados por el Ministerio de Vivienda.

3.1.2. Muestra

Es un subconjunto fielmente representativo de la población. La muestra para el estudio de la población se realizó mediante un muestreo sistemático que consistió tomando unas muestras al finalizar cada turno midiendo parámetros in situ (temperatura, pH) y acumulando el efluente para obtener una muestra más representativa del día. Este método se repitió tres días interdiariamente durante una semana de producción normal.

3.2. Definiciones operacionales del proceso industrial textil

La Empresa COOPECAN PERÚ tiene una planta procesadora de fibra de camélidos andinos, es una industria textil que provee dicha materia prima de la sierra, los procesos que comprende la obtención de la fibra o lana para su comercialización se describe a continuación:

- Recepción
- Clasificación
- Abridora
- Lavado de la fibra cruda
- Secado
- Cardado-peinado
- Embalaje
- Almacenamiento

3.2.1. Transformación de la fibra de alpaca en tops

La esquila es el proceso por el cual se corta y separa el vellón o conjunto total de la fibra que cubre a la alpaca. Entre los vellones, tenemos el manto que es la fibra que se encuentra en el lomo y los flancos; y las bragas, en la región pectoral, extremidades y cabeza. Junto con la fibra se extrae la guarda que está compuesta por la secreción de las glándulas sudoríparas y sebáceas, luego empieza el proceso industrial de la fibra de alpaca pasando por diferentes etapas antes del paso de lavado.

3.2.2. Recepción y almacenaje de materia prima

Ingreso de la materia prima a la planta industrial textil, en el área de almacenaje para ser pesada inicialmente y luego pasa al proceso de clasificación.

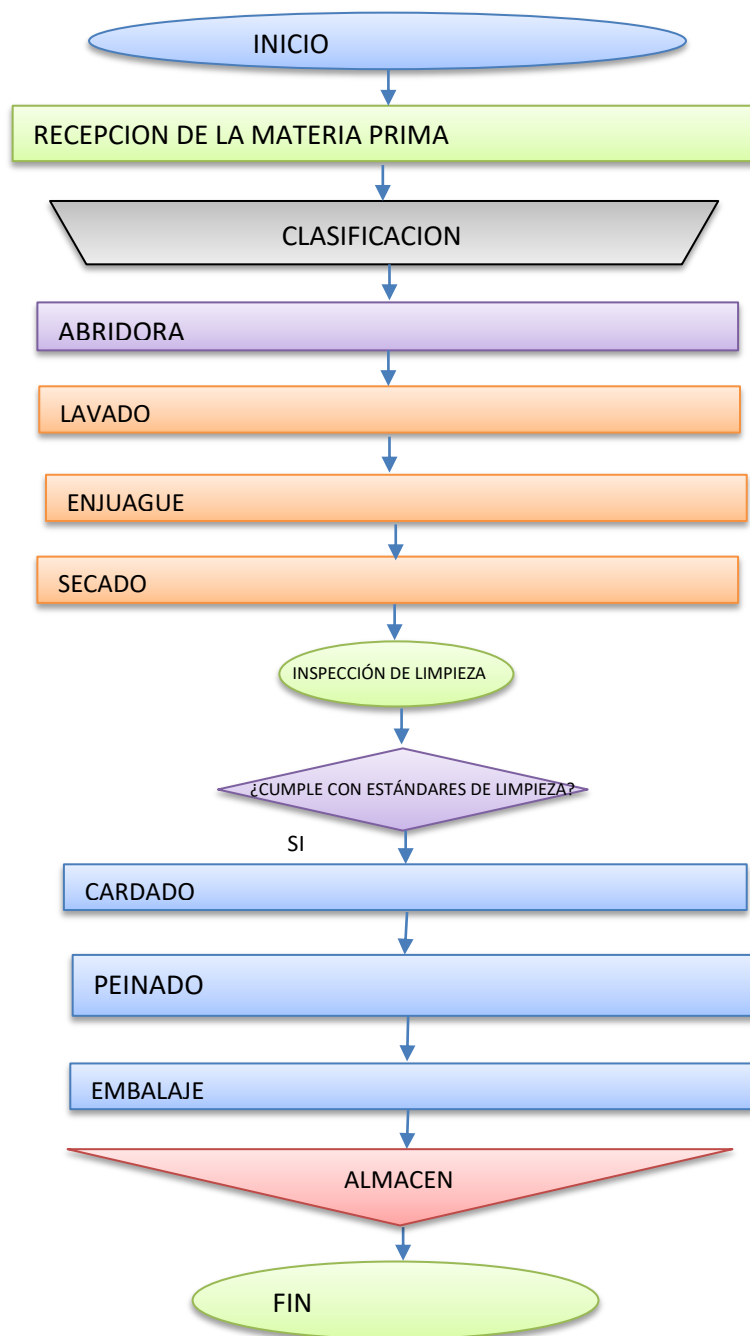
3.2.3. Clasificación

Se revisan los lotes de la materia prima por personal especializado, para la separación y clasificación de la fibra de alpaca; se realiza

partiendo el vellón por sus calidades, separando las finas de sus partes gruesas; retirando la tierra, guano, pintura, pitas, plásticos, entre otros restos que lo contaminen.

De acuerdo a la Norma Técnica Peruana NTP 231.302.2004, los criterios para la clasificación de la fibra son su finura, longitud y color.

Figura 3. Proceso de transformación de la fibra de alpaca en tops



Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Abridora

La materia prima se somete a un proceso mecánico de apertura y sacudido; en la cual se separa tierra, polvo (de 100 kg. un 5% es tierra), residuos orgánicos de la fibra.

3.2.5. Lavado

Dentro del proceso productivo de la fibra de alpaca, el lavado y limpieza es un paso fundamental donde se remueve la grasa y sustancias extrañas, en medio acuoso. Para ello, a través de procesos químicos o mecánicos, se destruye las materias vegetales sin afectar las fibras. Esto permite contar con materia prima lista para iniciar el proceso de hilado quedando suave y agradable al tacto.

Esta etapa se realiza en un tren de lavado que consiste en 3 baños de lavado con detergente y 2 baños de enjuague con un sistema de arrastre y sumersión de la fibra, transportando está a unos rodillos exprimidores ubicados al final de cada tina ejerciendo presión para que se escurra el agua e ingrese a la siguiente tina.

La descarga proveniente del lavado resulta ser el aspecto ambiental significativo en la industrialización de la fibra de alpaca.

3.2.6. Secado

La materia prima lavada, ingresa a la secadora con una humedad de 60% y debe salir de esta aproximadamente con un 10% de humedad; luego se le aplica enzimaje para evitar la ruptura de la fibra y así obtener un producto suave y pueda ser trabajable en las siguientes etapas.

3.2.7. Cardado

La fibra de Alpaca pasa a través de máquinas cardadora mecánicas, que se encargan de eliminar los pelos cortos y basuras pequeñas dando como producto el velo de cardar.

3.2.8. Peinado

La fibra de alpaca pasa a través de máquinas peinadoras en las cuales se terminan de paralelizar, estirar y eliminar el resto de impurezas a las fibras para dar como resultado una mecha denominada Top.

3.2.9. Embalaje

En este proceso, los tops son embalados y cubiertos con plásticos para la entrega o venta.

3.2.10. Almacenamiento

Se almacena el producto terminado y se planifica los despachos y entregas a los clientes finales para la elaboración de las prendas.

3.3. Proceso de lavado de la fibra de alpaca

El proceso de lavado que se realiza es un tren de lavado de 5 tinas, se emplean soluciones con detergente a temperatura adecuada de acuerdo a la calidad de la materia prima que se esté lavando (oveja, alpaca). Del resultado de este proceso, se eliminan en medio acuoso sólidos sedimentables en suspensión (tierra, impurezas de la fibra de alpaca) y grasas.

El agua para este proceso es subterránea, previamente se realiza tratamiento de ablandamiento con sal y por filtros naturales de grava, realizada por una empresa especializada en este tipo de tratamiento.

- **Primera tina:** La función principal de la primera tina es la de eliminar impurezas sólidas con agua caliente, con un contenido de agua de

$3m^3$ a una temperatura de $55^{\circ}C$ y aplicación de detergente Wooldet Eco 100.

- **Segunda tina:** La función del proceso de esta tina es penetrar en los intersticios y bordes de los sedimentos de las fibras, poros y hendiduras de la superficie de la fibra, removiendo contaminantes mediante la disolución y emulsificación, con un contenido de agua de $3m^3$ a una temperatura de $50^{\circ}C$ y aplicación de detergente Wooldet Eco 100.
- **Tercera tina:** Con la finalidad de volver a penetrar en los intersticios y bordes de los sedimentos de las fibras, poros y hendiduras de la superficie de la fibra, removiendo contaminantes mediante la disolución y emulsificación.
- **Cuarta tina:** Proceso de enjuague para terminar de eliminar los contaminantes de la fibra, con un contenido de agua de $3m^3$ a una temperatura de $35^{\circ}C$.
- **Quinta tina:** Último enjuague con contenido de agua de $3m^3$ a una temperatura ambiente de $17^{\circ}C$.

3.4. Características del lavado

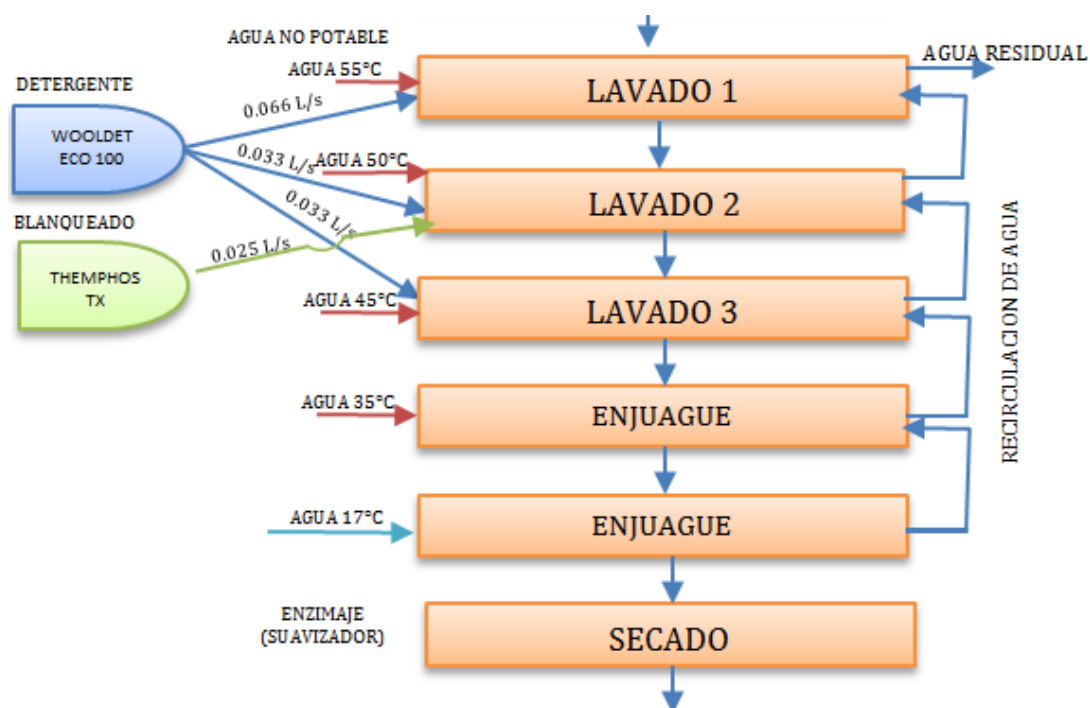
El tiempo de inmersión de la fibra en cada una de las tinas es de 3 a 5 minutos, la circulación de la fibra en este proceso sucede aproximadamente en unos 15 a 18 minutos. En este proceso, se pierde la materia prima de 5 a 6% del peso total inicial.

El sistema de lavado es continuo, el ingreso de agua se inicia en la tina 5 y va en secuencia hasta la tina 1, donde se realizan descargas cada 10 minutos con un caudal de 28 m/s.

Un turno de lavado dura siete horas de las cuales la última hora es para la limpieza y renovación del agua de las tinas.

En la figura 4, se puede apreciar la recirculación del agua, en el proceso de lavado en la industrial textil en estudio.

Figura 4. Recirculación de agua



Fuente: Elaboración propia

3.5. Componentes para lavado de la fibra

3.5.1. Detergente no iónico

WOOLDET ECO 100, es un detergente no iónico biodegradable y libre de APEO (Alquil Fenoles Etoxilados); es una mezcla de surfactantes biodegradables muy eficaz para el lavado de las fibras naturales y sintéticas, especialmente en medio neutro. Gran capacidad para emulsionar las grasas propias de las fibras naturales de origen animal, como también los aceites minerales provenientes de los procesos textiles, su alta capacidad de dispersión y detergencia de impurezas naturales y polvo permiten lograr un buen grado de blancura de la fibra.

- **Componentes del detergente no iónico, Wooldet Eco 100**

Alquil poliglicol eter y derivados terpénicos.

5-cloro, 2-metil, 2H isotiazol, 3 ona, 2 metil, 2H Isotiazol, 3 ona.

Biocidad en cantidades insignificantes, aproximadamente 0,02%.

♦ **Características**

- Apariencia: Líquido viscoso incoloro
- Olor: Característico
- Ionicidad: No iónico
- Composición: Mezcla de alcoholes lineales etoxilados
- pH: 7.0 - 8.0

♦ **Ventajas**

- WOOLDET ECO 100 es una mezcla de surfactantes biodegradables muy eficaz para el lavado de la lana, especialmente en medio neutro.
- Gran capacidad para emulsionar las grasas propias de las fibras naturales de origen animal, como también los aceites minerales provenientes de los procesos textiles.
- Su alta capacidad de dispersión y detergencia de impurezas naturales y polvo permiten lograr un buen grado de blancura de la lana.
- Sus cualidades como lubricante hacen que la fibra no se maltrate.
- Estable en medios neutros alcalinos, ácidos y electrolitos.
- Su gran versatilidad también le permite ser usado en los tratamientos alcalinos de las fibras celulósicas y sus mezclas.
- Compatible con productos aniónicos y catiónicos.
- Posee un HLB ligeramente mayor a 13.
- Es una eficiente dispersante y humectante. Propiedades que se reflejan por el HLB que posee el producto.
- El producto es biodegradable y libre de APEO.

3.5.2. Blanqueador

THEMPHOS TX es un producto higroscópico soluble en agua con desprendimiento de calor, polvo blanco, cristalino e inodoro, mezcla de fosfatos y dispersantes para uso doméstico e industrial,

actuando como secuestrante de la suciedad. No es peligroso para el medio ambiente.

“Los detergentes no-iónicos pueden ser enjuagados de manera fácil y rápida, de todas maneras hay que tener en cuenta que son un muy eficiente agente antiestático en la lana” (Anon., 1952b).

▪ **Composición Thempos TX**

- $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 92%
- Otros fosfatos (8 máx) :
 - Fosfato Trisodico 90%
 - Fosfato Disodico 8%

Cuadro 8. Insumos para operación de lavado

ITEM	DESCRIPCION	PROCESO	CANTIDAD DIARIA
1	Detergente Wooldeteco 100	Lavado	24 Kg
2	Blanqueador Thempos	Lavado	12 Kg
3	Agua	Lavado	28 m ³

Fuente: COOPECAN PERU Ltda.

3.6. Método y diseño

3.6.1. Análisis de la calidad del efluente

En base al caudal a tratar, se realizó en base al caudal a tratar, análisis físico-químico y la normativa a cumplir (calidad de agua).

Según el diagrama de procesos la industria textil, genera un promedio de 28.00 m³/día de agua residual industrial.

El agua industrial a tratar tiene las siguientes características:

Cuadro 9. Resultado análisis antes del tratamiento

Parámetros	Unidad	Resultado
Aceites y Grasas	mg/L	8,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	511
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	2743
pH	Unid. pH	7,48

Parámetros	Unidad	Resultado
Temperatura de la muestra	°C	49

Fuente: Resultado CORPLAB

Según los resultados, analizando la cantidad del DBO y el DQO, se deduce que existen limitaciones severas a la biodegradabilidad de este efluente. Esta composición y características muestran que estamos ante un efluente de alta carga, con una fracción importante de materiales inertes en suspensión, una pequeña fracción orgánica soluble, y compuestos orgánicos de baja biodegradabilidad.

Se evalúa el cociente DBO/DQO:

$$\frac{DBO}{DQO} = \frac{511}{2743} = 0,19$$

La teoría indica que si $DBO/DQO < 0,2$ el efluente no es biodegradable; por lo que se recomienda un tratamiento físico-químico.

El efluente tratado será vertido al alcantarillado por lo que se tendrá que cumplir la normativa vigente D.S. N° 021-2009-VIVIENDA - Valores Máximos Admisibles (VMA) de las Descargas de Aguas Residuales no Domesticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario; con lo que el sistema de tratamiento tendrá procesos que reducirán los parámetros para adecuarlos a la normativa.

Cuadro 10
Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

Parámetros Físicoquímicos	Volumen Mínimo	Recipiente	Preservación	Tiempo de almacenamiento
Temperatura	25 ml	Polietileno o vidrio	-	Inmediato
DBO5	100 ml	Polietileno	Refrigerar	48 horas
pH	100 ml	Polietileno o vidrio	-	inmediato
Sólidos Totales Suspendidos SST	300 ml	Polietileno o vidrio	Refrigerar	2 - 7 días
Aceites y Grasas	500 ml	Vidrio	Refrigerar H ₂ SO ₄ , pH<2	28 días

Parámetros Físicoquímicos	Volumen Mínimo	Recipiente	Preservación	Tiempo de almacenamiento
DQO	100 ml	Polietileno o vidrio	Refrigerar H ₂ SO ₄ , pH<2	28 días

Fuente: Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos – MITINCI

- **Etapa de muestreo**

- ♦ **Medición in situ**

Estas mediciones se realizaron en el momento que se realizó la toma de muestras; se realiza mediante instrumentos o equipos portátiles, los que se presentan a continuación:

Cuadro 11. Equipos de monitoreo de calidad de agua

EQUIPO	MARCA	MODELO
pH, Temperatura Conductividad	HANNA Instruments	HI-98129

Fuente: Elaboración propia

3.7. Metodología de la experimentación

3.7.1. Métodos para identificar el floculante requerido y la dosis óptima

- **Prueba de jarras**

La prueba de jarras intenta simular las condiciones en las cuales se coagula el agua en una planta de tratamiento.

La prueba de jarras constituye la reproducción del proceso que se efectúa; además, en el ensayo no se puede simular el flujo continuo, el pequeño volumen (1 a 3 litros) que los vasos de precipitados contienen en comparación con el gran volumen de los tanques de floculación reales, como ocurre en la planta de tratamiento.

A pesar de estas diferencias esta prueba sigue siendo el mejor método que se dispone para controlar las dosis óptimas y

correctas de sustancias químicas que debe aplicarse para coagular el agua.

a. Materiales y equipos

❖ Materiales

- Termómetro
- Cintas para medir pH
- Frascos de muestreo
- Reloj
- Efluente a tratar
- Cuatro vasos de precipitado de 2 litros
- Sulfato de aluminio
- Cloruro férrico
- Fiolas
- Balanza
- Pipeta
- Agua destilada

❖ Equipos

- Equipo de prueba de jarras
- pHmetro
- Guantes de látex
- Zapatos de seguridad
- Mandil

b. Descripción del equipo de prueba de jarras

- Vasos de precipitado de 1000 ml, previamente enjuagados con agua destilada.
- Paletas de agitación del equipo limpias
- Motor con revoluciones
- Preparar las soluciones de los coagulantes a utilizar: sulfato de aluminio al 500ppm y cloruro férrico al 500 ppm.

▪ **Acondicionamiento para el tratamiento con la dosis óptima**

Para generar las concentraciones, se preparó dos soluciones patrón, una de sulfato de aluminio y otra de cloruro férrico de 500ppm en un litro de agua.

Para una concentración de 100 ppm, se adicionó 200 ml de solución de sulfato de aluminio, para una concentración de 120 ppm, se adicionó 240 ml de solución; para una concentración de 150ppm, se adiciono 300 ml de solución; para una concentración de 180ppm, se adiciono 360 ml de solución y para una concentración de 200ppm se adiciono 400 ml de solución.

3.8. Experimentación

3.8.1. Prueba de jarras

- Se procede a colocar 1 litro del efluente industrial en cada uno de los vasos de precipitado del equipo de ensayo.
- Dosificar el coagulante (sulfato de aluminio y/o cloruro férrico) con un tiempo de mezcla rápida de un minuto y a la velocidad ajustada a 1000 revoluciones por minuto.
- Transcurrido el tiempo, se disminuye la velocidad a 60 rpm por un espacio de 15 minutos, para realizar la mezcla lenta.
- Apagar el equipo y se deja en reposo por 30 minutos, durante este período debe observarse las características físicas del coágulo; así como la velocidad relativa de sedimentación en los distintos vasos.
- Finalmente, prender la luz y observar físicamente el vaso que presente mayor transparencia.
- Decantar cada vaso de precipitados y medir la turbidez de cada muestra.

3.8.2. Ensayos de prueba de jarras

A. Ensayo con sulfato de aluminio

Esta prueba tiene por objeto, encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio; asimismo, poder evaluar la turbiedad residual. Inicialmente, se preparó una solución de sulfato de aluminio 500ppm.

Cuadro 12. Dosis óptima con sulfato de aluminio

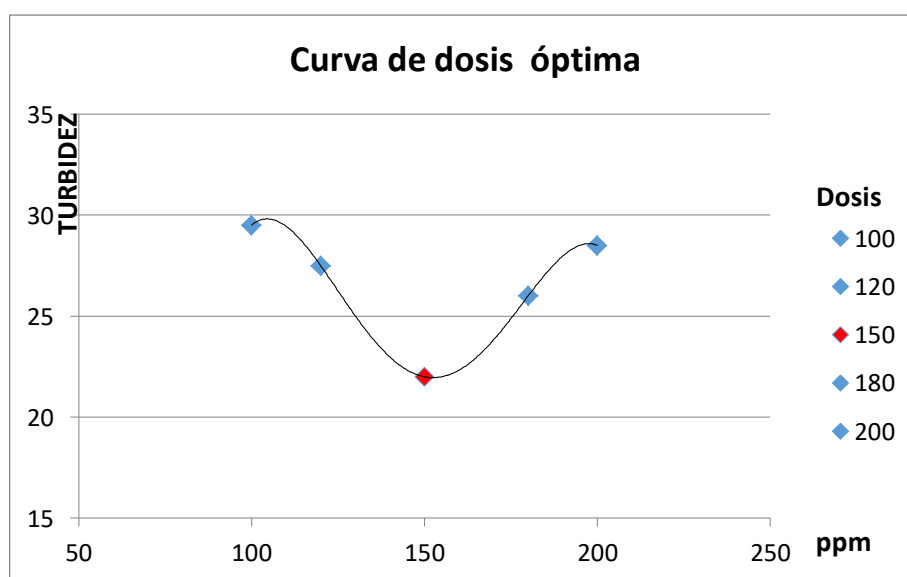
CONCENTRACIÓN SULFATO DE ALUMINIO (PPM)	TURBIDEZ NTU
100	29.5
120	27.5
150	22
180	26
200	28.5

FUENTE: Elaboración propia

♦ Gráfico

Del Gráfico, se observa que la dosis óptima de sulfato de aluminio fue de 150ppm.

Gráfico 1. Dosis óptima sulfato de aluminio



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los resultados

Analizando el Gráfico anterior se observó que a 100 y 120ppm la turbiedad fue 29,5 y 27,5 NTU; pero a 150ppm la turbidez baja hasta 22 NTU y si se aumenta la concentración, se valida lo que indica la teoría que el sulfato de aluminio en exceso enturbia el agua y por defecto no coagula. Quedando como dosis óptima 150ppm.

B. Ensayo con cloruro férrico

En recipientes por separado, se preparó la solución de cloruro férrico al 500ppm, y se calcula la cantidad solución a adicionar a cada vaso para obtener las concentraciones de 100, 120, 150, 180 y 200ppm.

Cuadro 13
Resultados dosis óptima cloruro férrico

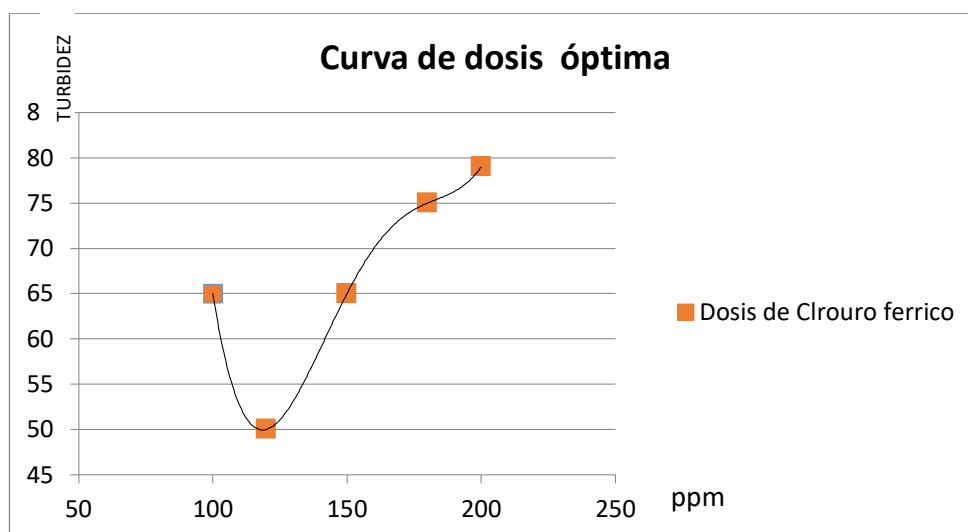
CONCENTRACIÓN DE CLORURO FÉRRICO (PPM)	TURBIDEZ NTU
100	65
120	50
150	65
180	75
200	79

Fuente: Elaboración propia

◆ Gráfico

Del Gráfico se observa que la dosis de 120ppm, resultaría ser más eficiente, pero incrementaría los gastos.

Gráfico 2. Dosis óptima cloruro férrico



Fuente: Elaboración propia

Interpretación de los resultados

Del cuadro anterior se observa que a 100ppm la turbidez es de 65 NTU; pero a 120 ppm la turbidez baja hasta 50 NTU, muestra el equilibrio en la dosis ya que al aumentar la concentración, se incrementa la turbidez.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Generalidades

En este capítulo, se analiza e interpreta los datos obtenidos de las pruebas realizadas del tratamiento de las descargas del efluente; los resultados del proceso de experimentaciones realizadas de acuerdo a los objetivos planteados para luego establecer las conclusiones del presente estudio y así poder implementar el sistema de tratamiento de los efluentes textiles.

4.2. Presentación y análisis de resultados

4.2.1. Resultado de los análisis del efluente

En el cuadro 14, se puede apreciar los resultados de los análisis antes y después del tratamiento:

Cuadro 14. Resultado de análisis del efluente

Métodos	Unidad	VMA D.S. N° 021- 2009- VIVIENDA	Resultado Antes del Tratamiento	Resultado Después del Tratamiento 1 muestra	Resultado Después del Tratamiento 2 muestra
Aceites y Grasas	mg/L	100	8,2	4.6	36.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	500	511	341	427
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000	2743	1145	918
SST	mg/lt	500	--	178	348
Ph	Unid. pH	6-9	7,48	7.05	7,9
Temperatura de la muestra	°C	<35°C	49	29,5	32,5

Fuente: Resultado CORPLAB, elaboración propia

De los resultados obtenidos que se muestran en el cuadro N° 14 se describe:

▪ **Efluente inicial. Sin tratamiento**

Analizando la calidad del agua residual industrial a tratar y la normativa de los VMA, se tiene:

- a. De los resultados obtenidos, se muestra que para el parámetro de aceites y grasas se tiene 8,2 mg/l; es decir, la cantidad de grasa no llega ni al 10% del valor que nos da los VMA y, debido a las características del tipo del uso del detergente biodegradable, no siendo necesario implementar diseño o tratamiento de grasas.
- b. El pH se encuentra dentro del rango de 6 a 9.
- c. El DBO supera en 11mg, excede en pequeña cantidad los valores máximos admisibles.
- d. El DQO está elevado y se tendrían que remover más de 1743mg/l para cumplir con la normativa; la alta concentración de DQO respecto al DBO indica que el efluente tiene una biodegradabilidad baja.

e. La temperatura excede en 14°C debido al proceso de lavado porque es necesario aplicar un proceso de tratamiento que disminuya la temperatura.

▪ **Efluente final. Después del tratamiento**

Del análisis de la calidad de agua después del tratamiento; se observa que los valores de los parámetros están por debajo de los valores máximos admisibles.

4.2.2. Resultados de la dosis óptima

Del ensayo de la prueba de jarras se determina que por efectos de eficiencia en la coagulación se decide trabajar con sulfato de aluminio porque con una concentración 150ppm remueve una turbidez hasta 22 Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

4.3. Prueba de la hipótesis

De la aplicación del método fisicoquímico usando sulfato de aluminio se determina que la dosis óptima del coagulante es de 150ppm, para la optimización del sistema de depuración de los efluentes generados en la industria textil y de esta forma se daría cumplimiento a los valores máximos admisibles vigentes.

4.4. Costo beneficio

De la evaluación de costos con respecto al insumo químico a utilizar, se determina que el sulfato de aluminio resultaría menos costoso que el cloruro férrico; siendo su costo por kilogramo de S/.1.50 y el cloruro férrico en solución, el litro es de S/.3.00.

$$\begin{aligned} & 150 \text{ mg} \text{ -----} 1 \text{ L} \\ & X \quad \text{-----} 28000\text{L} \\ X = & 4200000 \text{ mg} = 4200 \text{ g} = 4,2 \text{ Kg} \\ & 4,2 \text{ kg} \text{ -----} 1 \text{ día} \\ & X \quad \text{-----} 30 \text{ días} \\ X = & 126 \text{ kg Sulfato de aluminio} \end{aligned}$$

CAPÍTULO V

TECNOLOGÍA Y CÁLCULOS DE INGENIERÍA

5.1 Diseño del sistema de tratamiento

En la optimización del diseño del sistema de tratamiento, se considera principalmente el caudal promedio y el tiempo de retención para alcanzar los Valores Máximos Admisibles.

5.1.1 Unidades operativas preliminares

- El volumen promedio es de 28m³/día
- El caudal proyectado será $28 \times 2 = 56\text{m}^3/\text{día} = 0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$.
- El caudal promedio diario (Qp) es 0.0013 m³/s
- Densidad de flujo es 1.5
- Factor de amplificación es 2.5

El caudal máximo horario (Qmax) será calculado de la siguiente manera:

$$Q_{max} = 1.50 \times 2.50 \times Q_p$$

Entonces, el $Q_{max}=1.50 \times 2.50 \times 0.0013\text{m}^3/\text{s} = \mathbf{0.0049 \text{ m}^3/\text{s}}$.

5.2 Descripción de los procesos del tratamiento físico-químico propuesto

5.2.1 Cribado

Las rejas se encuentran ubicadas al inicio del sistema constituyendo de esta manera la primera operación unitaria dentro de todo el proceso de tratamiento; el objetivo principal de este elemento es el de brindar protección a las siguientes unidades que conforman a cada uno de los elementos de la planta de tratamiento, al retener objetos (trapos, pelos, lanas, entre otros.) cuando el agua residual está circulando a través de ellas. Se considera por cuestiones de diseño con una velocidad mínima de 0.60m/s.

Los sólidos removidos por las rejillas se colocaran sobre una loseta perforada para su deshumedecimiento y serán dispuestos en contenedores de residuos sólidos orgánicos.

5.2.2 Desarenado

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 100 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones y evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0.20 mm. Para el efecto se debe tratar de controlar y mantener la velocidad del flujo alrededor de 0.3 m/s con una tolerancia + 20%. La tasa de aplicación deberá estar entre 45 y 70 m³/m²/h, debiendo verificarse para las condiciones del lugar y para el caudal máximo horario (según Norma OS.090).

La separación de los sólidos se realiza por diferencia de densidades por lo que se diseñó con una velocidad horizontal máxima de 0.76 cm/s y una velocidad de sedimentación de 0.002·m/s.

5.2.3 Tanque de coagulación – floculación

Luego del desarenador, el efluente pasará al tanque de coagulación – floculación. El fenómeno mediante el cual se logra desestabilizar el coloide y su aglomeración posterior, es lo que se conoce como coagulación y floculación, de hecho es un proceso en dos etapas.

En la primera etapa de coagulación, se elimina la doble capa eléctrica que caracteriza a los coloides, y la floculación se da a continuación y consiste básicamente en la aglomeración de los coloides mediante la atracción de las partículas.

La coagulación-floculación de los coloides se puede lograr mediante uno o varios de los siguientes mecanismos:

- Compresión de la doble capa
- Neutralización de la carga
- Aglutinamiento
- Entrampamiento.

Para el efluente en estudio, se realizó la prueba de jarras y se determinó la dosis óptima de sulfato aluminio es 150 ppm.

El proceso de coagulación y la floculación serán del tipo mecánico mediante mezcladores del tipo turbina, cada uno con el respectivo número de rotaciones para producir el grado de mezcla y la agitación requeridos.

5.2.4 Sedimentador

Luego del tanque de coagulación, el efluente pasará al sedimentador. La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y el material flotante del agua residual; por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua. Una importante proporción de sólidos sedimentan cuando el líquido está en reposo o escurre a una

velocidad relativamente baja. Los lodos retirados del estanque de sedimentación se vacían y se disponen en un lecho de secado.

En un sedimentador primario, se eliminan: Sólidos sedimentables, aceite libre, grasas, y otras materias flotantes y parte de la carga orgánica no soluble. Los tanques de sedimentación eliminan entre el 50 y el 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25 y el 40% de la DBO₅.

En el sedimentador, se depositarán las partículas floculentas eliminando de esta forma a las partículas disueltas y a los coloides que fueron desestabilizados y aglomerados por el proceso de coagulación y floculación.

5.2.5 Cloración

La principal función del cloro para este tratamiento será la oxidación de la materia orgánica y de otros compuestos, de esta forma reducir la cantidad de DQO; se aprovecha para ello la alta capacidad oxidante del cloro.

Se utilizará como desinfectante una solución de hipoclorito de sodio, se le dosificará la cantidad necesaria para obtener un efluente con una concentración de cloro residual de 0.5 mg/L; el tiempo de contacto que se ha proyectado es de 20 minutos.

5.2.6 Cámara de contacto

Pretende aumentar la calidad del agua, eliminando contaminantes no deseados y así esta sea apta para ser descargada en cuencas superficiales.

Es importante resaltar que la cloración también permitirá eliminar olores, decolorar y desinfectar el efluente

Etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que este sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) “DESINFECCIÓN”.

5.3 Balance de materia y energía

Según la conservación de la masa se asume el balance de 12 h de trabajo.

A. CRIBADO

Retención de sólidos suspendidos (R): 1%

- Q : 28 m³/día
- $V_{ss} = 28 \times 0,01 = 0,28$ m³/día
- $E = S + A$
- $28 = 0,28 + A$
- $A = 27,72$ m³/día

B. DESARENADOR

- Sólidos suspendidos (Ss): 35 ml/l
- Caudal (Q): 27,72 m³/día = 27720 l/día
- Porcentaje de remoción de lodo (R): 47,29%

Lodo producido:

$$lp = \frac{Ss \times Q \times R}{1000}$$
$$lp = \frac{35 \times 27720 \times 0,4729}{1000}$$
$$lp = 458,81 \text{ l/día}$$

Concentración de lodo: 10%

$$V_{lodo} = \frac{458,81 \times 0,1 \times 10}{1000}$$
$$V_{lodo} = 0,459 \text{ m}^3/\text{día}$$
$$E = S + A$$
$$27,72 = 0,459 + A$$

$$A = 27,261 \text{ m}^3/\text{día}$$

C. TANQUE DE COAGULACIÓN

- Sol. $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 = 0,064 \text{ m}^3/\text{día}$
- Caudal (Q): 27,261

$$E = S + A$$

$$e_1 + e_2 = A$$

$$A = 0,064 + 27,261$$

$$A = 27,325 \text{ m}^3/\text{día}$$

D. SEDIMENTADOR

- Sólidos suspendidos (Ss): 60 ml/l
- Caudal (Q): $27,325 \text{ m}^3/\text{día} = 27325 \text{ l/día}$
- Porcentaje de remoción de lodo (R): 75%
- Lodo producido:

$$lp = \frac{Ss \times Q \times R}{1000}$$

$$lp = \frac{60 \times 27325 \times 0,75}{1000}$$

$$lp = 1229,63 \text{ l/día}$$

Concentración de lodo: 3%

$$V_{\text{lodo}} = \frac{1229,63 \times 0,03 \times 10}{1000}$$

$$V_{\text{lodo}} = 0,37 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$E = S + A$$

$$27,325 = 0,37 + A$$

$$A = 26,955 \text{ m}^3/\text{día}$$

E. TANQUE DE CLORACIÓN

Sol. CaClO : $0,065 \text{ m}^3/\text{día}$

Caudal (Q): $26,955 \text{ m}^3/\text{día}$

$$E = S + A$$

$$e_1 + e_2 = A$$

$$A = 0,065 + 26,955$$

$$A = 27,02 \text{ m}^3/\text{día}$$

F. EVAPORACIÓN DURANTE EL PROCESO

% de evaporación: 1%

Caudal (Q): $28 \text{ m}^3/\text{día}$

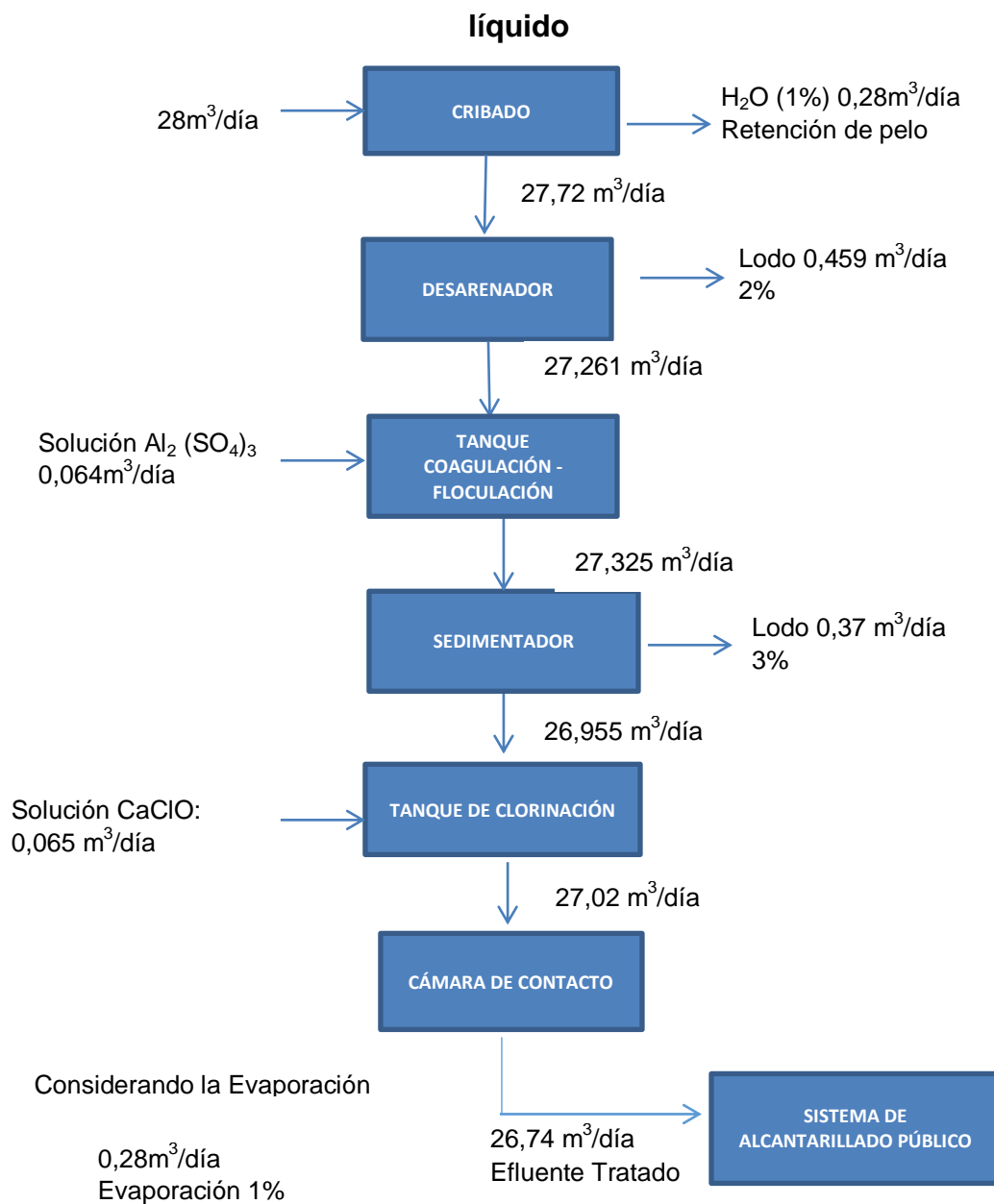
V evaporación = $28 \times 0,01 = 0,28 \text{ m}^3/\text{día}$

$$E = S + A$$

$$A = 27,02 - 0,28$$

$$A = 26,74 \text{ m}^3/\text{día}$$

Figura 4. Diagrama de bloques cuantitativo del sistema para el efluente



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Balance de la materia

ETAPA	ENTRADA		SALIDA	
	MATERIAL	CANTIDAD (m ³ /día)	MATERIAL	CANTIDAD (m ³ /día)
CRIBADO	Efluente	28.00	Efluente	27.72
			Solidos (R=1%)	0.28
	Sub Total	28.00	Sub Total	28.00
DESARENADO	Efluente	27.72	Efluente	27.26
			Lodos	0.46
	Sub Total	27.72	Sub Total	27.72
COAGULACIÓN	Efluente	27.26	Efluente + Coagulante	27.32
	Sol. Al ₂ (SO ₄) ₃	0.06		
	Sub Total	27.32	Sub Total	27.32
SEDIMENTACIÓN	Efluente + Coagulante	27.32	Efluente	26.67
			Lodos	0.37
			Efluente Evaporado	0.28
	Sub Total	27.32	Sub Total	27.32
DESINFECCIÓN	Efluente	26.67	Efluente + Cloro	26.74
	Sol. Cloro	0.07		
	Sub Total	26.74	Sub Total	26.74
TOTAL		274.20		274.20

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16. Balance de la energía

ETAPA	ENTRADA		SALIDA	
	MATERIAL	CANTIDAD (KW)	MATERIAL	CANTIDAD (KW)
COAGULACIÓN	Energía Eléctrica	0,53	Energía	0,37
			Pérdida Energía	0,16
	TOTAL	0,53	TOTAL	0,53

Fuente: Elaboración propia

5.4 Diseño de los procesos de tratamiento

Para la implementación de los procesos en el tratamiento de las aguas residuales de la Planta Textil, propuesta en la presente investigación, se ha diseñado las siguientes unidades operativas que se adjunta en el Anexo 4 como:

- Plano de la rejilla
- Plano de desarenador

- Plano de sedimentador
- Plano cámara de contacto

5.4.1 Diseño del canal de entrada

Para el dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual, es necesario diseñar el canal por el cual será conducida el agua hacia el proceso de tratamiento, para posteriormente compararlo con parámetros de velocidad y abertura de barras sugeridos.

a. Parámetros obtenidos en campo

Caudal promedio diario es de 28 m³/día en un periodo de operación de 12 horas. El diseño se proyecta tratar el efluente, el doble del volumen que tiene en la actualidad. El material de construcción del canal será de concreto simple.

Caudal proyectado será:

$$28 \times 2 = 56 \text{ m}^3/\text{día} = 0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal máximo: } 1.5 \times 2.5 \times 0.0013 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0049 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Cálculo del canal de entrada

Aplicando la fórmula de Manning

$$\frac{Qn}{S^{1/2}} = ARh^{2/3} \quad (1)$$

Donde:

- Q: caudal del diseño o caudal máximo diario (QMD)
- S: pendiente del caudal (adimensional)
- Rh: radio hidráulico (m)
- A: área del canal (m²)
- n: coeficiente de rugosidad

El radio hidráulico se calcula de la siguiente manera:

$$Rh = \frac{bh}{(b+2h)} \quad (2)$$

Reemplazando 2 en 1 empleando el criterio de sección rectangular óptima tenemos que $b = 2h$; (b : ancho y h : altura); por lo tanto:

$$h = \left(\frac{2^{2/3} Q n}{2S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

c. Datos

- $Q = 0.0049 \text{ m}^3/\text{s}$
- $S = 0.1\% = 0,001$
- $n = 0.013$ (coeficiente de Manning para concreto simple)

d. Calculando “h” (altura)

$$h = \left[\frac{2^{2/3} \times 0,00488 \times 0,013}{2 \times 0.001^{1/2}} \right]^{3/8} = 0.09\text{m}$$

Por seguridad aumentamos 0.03 (30% de h) con lo cual $h = 0.12\text{-m}$.

Si $b = 2h$ entonces:

$$b = 2(0.12) = 0.24 \text{ m.}$$

El área es: $A = b.h$ entonces

$$A = (0.12 \times 0.24) = 0.0288 \text{ m}^2$$

La velocidad será:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0049}{0.0288} = 0.17\text{m/s}$$

Entonces, se tiene como medidas para el canal de entrada una altura de 0.12 m, por ancho 0.24 m, dando un área de 0.0288 m².

5.4.2 Diseño de rejillas o cribas

El cribado es una operación utilizada para separar material grueso del agua, mediante el paso de ella por una criba o rejilla. La criba o rejilla a utilizar será de limpieza manual y una rejilla gruesa hecha de barras redondas de acero.

Cuadro 17. Características de las rejillas de barras

Características	De Limpieza Manual	De Limpieza Mecánica
Ancho de las barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de la barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0° - 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Perdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Fuente: Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño

a. Dimensionamiento de la rejilla

Se adopta barrotes de $\frac{1}{4}$ " (0.00635 m) con una separación de 0.02 m, por otra parte la velocidad entre barrotes es igual a 0.15 m/s que es la velocidad de aproximación al canal.

Se tiene como **datos**:

- Constante (C) : 0.9
- Separación (a) : 0.02 m
- Espesor de barrotes (t) : 0.00635 m
- V : 0.22 m/s
- L rejilla – 0.04 (Lr) : 0.20 m
- Angulo : 45°

b. Cálculo del área neta

$$An = \frac{Q}{C.V} = \frac{0.0049}{0.9 \times 0.20} = 0.027m^2$$

c. Cálculo del ancho de la rejilla

Se supone una rejilla similar al ancho del canal menos 4cm con el fin de dejar 2cm de lado y lado para instalar una pestaña de agarre de la rejilla en el canal; por lo tanto, la longitud de la rejilla será: $0.24 - 0.04 = 0.20$ m.

$$B = \frac{An \times (a + t)}{a \times Lr}$$
$$B = \frac{0.027 \times (0.02 + 0.00635)}{0.02 \times 0.20} = 0.178 \text{ m.}$$

Se adopta 0.178 m de ancho de rejilla. Recalculando se tiene:

$$An = \frac{a}{a + t} \times B \times Lr = \frac{0.02}{0.02 + 0.00635} \times 0.178 \times 0.20 = 0.027 \text{ m}^2$$

d. Calculando el número de orificios

$$N = \frac{An}{a \cdot B} = \frac{0.027}{0.02 \times 0.20} = 6.75$$

Se adopta 7 orificios separados entre sí a 0.02 m con lo cual se tiene:

e. Recalculando el área neta

$$An = a \times b \times N = 0.02 \times 0.178 \times 7 = 0.025 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{0.9 \times An} = \frac{0.00488}{0.9 \times 0.027} = 0.20 \text{ m/s}$$

f. Chequeo de la velocidad neta

$$V = \frac{Q}{0.9 \times An} = \frac{0.00488}{0.9 \times 0.027} = 0.20 \text{ m/s}$$

g. Chequeo de la longitud de la rejilla

$$L = \frac{An(a + t)}{a \cdot B} = \frac{0.025(0.02 + 0.00635)}{0.02 \times 0.2} = 0.17 \text{ m}$$

h. Cálculo de pérdidas en rejilla

Según Kirschmer

$$H = \frac{K.V^2}{2g} \quad \text{y} \quad K = \beta \left(\frac{t}{a}\right)^{4/3} \times \sin \theta$$

Donde:

- H: pérdida de energía
- β : factor de formas de barra (1,79 para barras circulares)
- t: ancho de la barra (0.635 cm)
- a: separación mínima entre barra (2 cm)
- θ : ángulo de la rejilla con la horizontal (45°)

$$K = 1.79 \left(\frac{0.635}{2}\right)^{4/3} \times \sin 45^\circ = 0.33$$

$$H = 0.33 \left(\frac{0.17^2}{2 \times 9.81}\right) = 0,00048 = 0.048\text{cm}$$

Chequeo con la tabla debe ser menor de 0.15 m, por lo tanto, el diseño es correcto.

Entonces, se tiene como dimensiones para el Diseño de la Rejilla de largo 0.17 m por un ancho de 0.178 m, con un área de 0.030 m², con 7 unidades como separadores, con un ángulo de inclinación de 45°.

5.4.3 Diseño del desarenador

Se tiene como datos:

- Caudal de Diseño: **7,28 l/s**
- Densidad relativa de la arena: **2,65**
- Diámetro de la partícula: **0,02 cm**
- Temperatura del agua: **49 °C**

Entonces:

- Viscosidad Cinemática (η) = 0,006711 cm²/seg

Luego, de la fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2$$

Siendo:

- V_s : Velocidad de sedimentación (cm/seg)
- d : Diámetro de la partícula (cm)
- η : Viscosidad cinemática del agua (cm²/seg)
- ρ_s : densidad de la partícula
- g : aceleración de la gravedad

$$V_s = 5,35 \text{ cm/s}$$

Se comprueba el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_s \cdot d}{\eta} \quad Re = 15.94$$

$Re = 15.94 > 0,5$; por lo tanto, no se encuentra en la zona de la ley de Stokes. Se realiza un reajuste mediante el gráfico de valores de sedimentación.

Término del diámetro:

$$\left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} d = 6.6$$

Término de la velocidad de sedimentación

$$\frac{V_s}{[g(\rho_s - 1)\eta]^{1/3}} = 1 \quad V_s = 2.21 \text{ cm/s}$$

Comprobamos nuevamente el $Re = 5.02$

Entonces, se encuentra en la zona de transición (ley de Allen).

Se determina el coeficiente de arrastre:

$$Cd = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34 \quad Cd = 5.14$$

Entonces, la velocidad de sedimentación será:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_d} (\rho_s - 1) d} \quad \mathbf{V_s = 2.9 \text{ cm/s}}$$

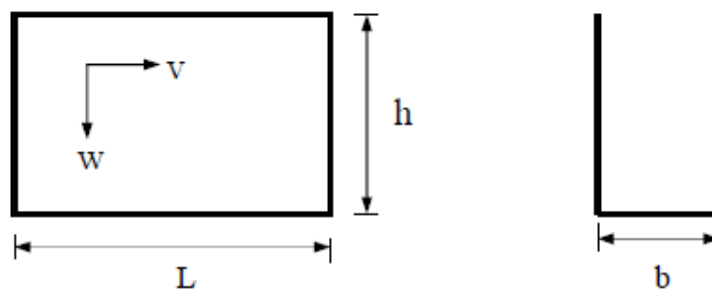
Si se asume una eficiencia del 75%, se adopta un coeficiente de seguridad igual a 1,75.

$$V_s = \left(\frac{Q \times \text{coefic. segur}}{A_s} \right) \quad \mathbf{A_s = 0.44 \text{ m}^2}$$

Se determina las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando a los criterios de diseño.

Velocidad de flujo: $\mathbf{V = 0,17 \text{ m/s}}$

Aplicando la teoría de simple sedimentación:



Asumiendo que $\mathbf{h = 0,8 \text{ m}}$

Calculo de la longitud del tanque:

$$\mathbf{L = \frac{hv}{w}} \quad \mathbf{L = 4,69 \text{ m}}$$

Por seguridad, se adopta un 20% más de la medida calculada que será $\mathbf{5,628 \text{ m}}$.

Cálculo del ancho del tanque. De acuerdo a la relación largo/ancho, debe ser entre 10 y 20, asumimos que la $L/B = 10$

$$\mathbf{b = \frac{L}{10}} \quad \mathbf{b = 0,469 \text{ m}}$$

Por seguridad, se adopta un 20% más de la medida calculada que será **0,5628m**.

Luego la velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Q}{A_t} \quad V_h = 2,3 \text{ cm/s}$$

Se determina el valor de rugosidad de la cámara mediante:

$$R = \frac{4R_m \times V_h}{\eta} \quad \frac{4R_m}{K}$$

Donde se tiene **f = 0,027**

Se determina la velocidad de desplazamiento o resuspensión:

$$V_d = \sqrt{\frac{8k}{f} g(\rho_s - 1)d} \quad V_d = 19,58 \text{ cm/s}$$

Siendo:

- K: Factor de forma (0.04, Arenas unigranulares no adheribles)
- Vd: Velocidad de desplazamiento (cm/s)
- F: Factor de rugosidad de la cámara
- **Lo que indica que no habrá resuspensión pues Vd > Vh.**
- Se determina el periodo de retención:

$$PR = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} \quad PR = 348,07 \text{ s}$$

- Se determina la longitud del tramo de transición:

$$L_t = \frac{B - b}{2tg\theta}$$

Siendo: θ :

- Ángulo de divergencia ($12^\circ 30'$)
- B : Ancho del sedimentador (m)
- b : Ancho del canal de llegada a la transición (m)

$$L_t = 0,93 \text{ m}$$

▪ **Si se tiene un control por vertedero proporcional (sutro)**

- Caudal máximo: 20 lps
- Caudal medio: 10 lps
- Caudal mínimo: 5 lps
- Ancho máximo, $l_{max} = 0.04 \text{ m}$
- Área transversal media, $A_{tmedia} = 0.1 \text{ m}^2$
- Área transversal mínima, $A_{tmin} = 0.05 \text{ m}^2$
- Altura media, $h_{media} = 0,2 \text{ m}$
- Altura mínima, $h_{min} = 0,1 \text{ m}$
- Valor de $K = 0,027$

Entonces, $l_{media} = 0,061 \text{ m}$

- $l_{min} = 0,086 \text{ m}$

▪ **Si se tiene un control por garganta o Parshall**

Se asume el ancho de la garganta, $b = 0,08 \text{ m}$

Entonces se tiene:

- Altura máxima, $h_{max} = 0,26 \text{ m}$
- Altura mínima, $h_{min} = 0,10 \text{ m}$
- Ancho máximo, $w_{max} = 1,14 \text{ m}$
- Ancho mínimo, $w_{min} = 0,72 \text{ m}$

Entonces se tiene como dimensiones para el diseño del desarenador de largo 5.628 m, por un ancho de 0.5628, una altura de 0.80 m, con un área de 3.17 m², para un volumen de 2.53 m³, con un periodo de retención de 5.8 minutos.

5.4.4 Producción de lodos

- Sólidos Sedimentables: 35 ml/l
- Q_p : 56000 l/día

- R: 47,29 % (% de lodo removido)
- Lodo producido: $(35\text{ml/l} \cdot 56000\text{l/día} \cdot 0.4729 \cdot 1\text{L}/1000\text{mL}) = 926,884 \text{ L/día}$
- Concentración de lodos: 2%
- 2% = 20 000 mL/L (cantidad efectiva de lodos)
- Volumen de lodos: $(926,884 \text{ L/día}) / (20\ 000\text{mL/L}) = 0.0463\text{m}^3/\text{día}$

5.4.5 Diseño del tanque de coagulación

Con una turbina de 6 paletas planas

- $Q_{\text{diseño}} = 0,65 \text{ l/s}$
- **Tanque o reactor**
 - $K = 1.30$
 - $T = 90 \text{ s}$
 - $V = 58,50 \text{ L}$
 - Diámetro = 0,42 m
- **Turbina**
 - Diámetro de la turbina (d): 0,14 m
 - Velocidad del impulsor: 5,00 rev/s
 - Potencia (P): 42,73 W, Eficiencia: 70%
 - $P = 0.06 \text{ KW}$
 - $P = 5.98 \text{ kg.m/s}$
 - Gradiente (G): 357.6 s⁻¹
 - Altura (H): 0.42
 - Diámetro (D) 0.42
 - Largo de paleta (r): 0.04 m
 - Ancho de paleta (w): 0.028 m
 - Se instalaran 4 pantallas montadas verticalmente
 - Ancho de pantalla (e): 0.042 m
 - Diámetro disco central (dc): 0.105 m
 - Altura disco central (h): 0.105 m

Entonces, se tiene como dimensiones para el diseño del tanque de coagulación un diámetro de 0.42 m, una altura de 0.42, con un área de 0.139 m², para un volumen de 0.0585 m³, con un tiempo de retención de 90 segundos.

5.4.6 Diseño del sedimentador

Se tiene como datos:

- Caudal de diseño: $Q = 0.00728 \text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad de sedimentación: $V_s = 0.002 \text{ m/s}$
- Se determina el área superficial de la unidad (A_s).

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

Siendo:

- V_s : Velocidad de sedimentación (m/s)
- Q : Caudal de diseño (m³/s)

$$A_s = 3.64 \text{ m}^2$$

Se asume un ancho del sedimentador y se determina la longitud de la zona de sedimentación.

$$B = 0.8 \text{ m}$$

$$L_2 = \frac{A_s}{B} \quad L_2 = 4.55 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora.

$$L_1 = 0.7 \text{ m}$$

Entonces, se tiene como longitud de la unidad:

$$L = L_1 + L_2 \quad L = 5.25 \text{ m}$$

Se verifica si cumple la relación de L/B de los criterios de diseño:

$$L/B = 6.56$$

Se asume la profundidad

$$H = 1.2 \text{ m}$$

Verifica si cumple la relación L/H de los criterios de diseño:

$$L/H = 4.38$$

Se determina la velocidad horizontal V_H .

$$V_H = \frac{100Q}{BH} \quad V_H = 0.76 \text{ cm/s}$$

Se determina el periodo de retención:

$$T_o = \frac{AsH}{3600Q} \quad T_o = 0.17 \text{ h} = 10.2 \text{ min}$$

Con una pendiente de 10% en el fondo de la unidad se tiene como altura máxima:

$$H' = H + 0.1H = 1.32 \text{ m}$$

Con un vertedero de salida de longitud de cresta igual al ancho de la unidad, se tiene como altura de agua sobre el vertedero.

$$H_2 = \left[\frac{Q}{1.84B} \right]^{2/3} \quad H_2 = 0,03 \text{ m}$$

▪ Para el diseño de la pantalla difusora se tiene:

Se asume una velocidad de paso entre los orificios:

$$V_o = 0,17 \text{ m/s}$$

Se determina, el área total de los orificios

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad A_o = 0,04 \text{ m}^2$$

Se adopta un diámetro de orificio:

$$d_o = 0,07 \text{ m}$$

Entonces, se determina el área de cada orificio:

$$a_o = 0,0038 \text{ m}^2$$

Se determina el número de orificios:

$$n = \frac{A_o}{a_o} \quad n = 11$$

Se determina la porción de altura de la pantalla difusora con orificios:

$$h = H - 2/5 H = 0,72 \text{ m}$$

Se asume un número de filas de orificios $n_f = 4$

Entonces, se tiene el número de columnas $n_c = 3$

Se determina el espaciamiento entre filas:

$$a_1 = \frac{h}{n_f} \quad a_1 = 0,18 \text{ m}$$

Se determina el espaciamiento entre columnas:

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} \quad a_2 = 0,22 \text{ m}$$

Entonces, se tiene como dimensiones para el diseño del sedimentador un área de 4.2 m², de 5.25 m de largo por un ancho de 0.80 m y una altura de 1.2 m, para un volumen de 5.04 m³, con un periodo de retención de 10.2 minutos.

5.4.7 Producción de lodos

- Sólidos sedimentables: 60 ml/l
- Q_p: 56000 l/día
- R: 75.00 %
- Lodo producido: (60ml/l*56000l/día*0.75*1L/1000mL)=2520 L/día
- Concentración de lodos: 3%

- Volumen de lodos: $0.38 \text{ m}^3/\text{día}$

5.4.8 Diseño del tanque clarificador

- Ancho de cámara b : 0.60
- Tiempo de contacto t : 20 minutos
- Altura de agua : 0.25 m
- Longitud de cámara L : 0.60 m

Entonces, se tiene las dimensiones para el diseño del tanque clarificador de un área de 0.36 m^2 , de longitud 0.6 , por un ancho de 0.6 m con una altura de 0.25 m , para un volumen de 0.117 m^3 , con un tiempo de retención de 20 minutos.

5.4.9 Diseño de la cámara de contacto

- Caudal (Q_p): $0.00065 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tiempo de contacto (T_c): 20 min.
- Volumen (V): 0.78 m^3
- Ancho de una cámara (a): 0.80 m
- Altura del agua (h): 0.25 m
- Longitud total de la cámara (L): 3.9 m
- Número de cámaras (n): 5

Entonces, se tiene como dimensiones para el diseño de la cámara de contacto con un número de 5 cámaras, un área de 3.12 m^2 , de longitud 3.9 m por un ancho de 0.80 m y una altura de 0.25 m , para un volumen de 0.78 m^3 , con un tiempo de retención de 20 minutos.

5.5 Conclusiones

PRIMERA: De los procesos que realiza la empresa textil para evaluar la salida del efluente y comparar con los valores máximos admisibles, se tiene como resultado que los parámetros variaron significativamente en la temperatura de 49°C a 29.5°C, el pH de 7.48 a 7.05, los sólidos suspendidos totales de 382mg/lit a 178 mg/lit; aceite y grasas de 8,2mg/L; a 4,6mg/L, DQO de 511mg/L a 341mg/L. Por lo tanto, están dentro de los valores máximos admisibles.

SEGUNDA: Se realizó pruebas con sulfato de aluminio y cloruro férrico como coagulantes a través de la prueba de Jarras, resultando que el coagulante eficiente es el sulfato de aluminio con una dosis óptima de 150ppm para un caudal de 1.30L/s en un horario de doce horas.

TERCERA: Del análisis de la calidad del efluente obtenido utilizando la dosis óptima, se propone el tratamiento de depuración a implementar en las instalaciones de la empresa textil, que tiene las siguientes unidades:

- Canal de entrada con un área de 0.0288m²
- Diseño de rejillas o cribas con un área neta de 0.03026m²
- Diseño del desarenador con un área de 3.17m²
- Diseño del tanque de coagulación con un área de 0.14m²
- Diseño del sedimentador con un área de 4.20m²
- Diseño del tanque de clarificación con un área de 0.117m²
- Diseño de la cámara de contacto con un área de 3.12m²

5.6 Recomendaciones

PRIMERA: Controlar eficientemente los parámetros y las variables en todo el proceso del sistema de tratamiento para la depuración de los contaminantes de los efluentes mediante fichas técnicas.

SEGUNDA: Aplicar un sistema de aireación para la disminución de la temperatura; así obtener mejores resultados en los procesos de tratamiento y enviar efluentes óptimos al sistema de alcantarillado de la ciudad.

TERCERA: Plantear alternativas para el aprovechamiento de los lodos secos, ya que son un componente orgánico y puede ser manejable.

5.7 Bibliografía

- Reglamentos D.S. 011-2006-VIVIENDA
- Norma OS.090, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores, OMS, Lima 2005
- http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_quimica/vol5_n2/a11.pdf
- Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño, Jairo Alberto Romero Rojas
- http://www.uccor.edu.ar/portalucc/archivos/File/Agropecuarias/SUPPRA D/2010/Documentos_Internos/introduccionindustrializacionlanayfibrases peciales.pdf
- http://www.ecured.cu/index.php/Fibra_textil
- http://www.desco.org.pe/sites/default/files/publicaciones/files/manual_esquila_VF.pdf
- <https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/6266/1/Article06.pdf>
- http://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Tratamiento_f%C3%ADsico-qu%C3%ADmico
- Estudio de las Principales características de la fibra de alpaca grasienta y de las condiciones de su proceso de lavado, Ania Rosas Espejo, UNI
- NTP 231.109:2005 (Método de ensayo para determinar el contenido de grasa en la cinta de fibra de alpaca)
- NTP 231.301:2004 (Fibra de alpaca clasificación y definiciones)
- NTP 231.370:2010 (Buenas prácticas de esquila y manejo del vellón de la fibra de alpaca)

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Cuadro 18. Matriz de consistencia

Título del Plan de Tesis:	“OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE DEPURACIÓN DEL EFLUENTE DE LA INDUSTRIA TEXTIL COOPERATIVA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS ESPECIALES DE LOS PRODUCTORES DE CAMÉLIDOS ANDINOS Ltda – (COOPECAN PERÚ) CERRO COLORADO - AREQUIPA”	
Problema	La empresa COOPECAN PERU, requiere optimizar el sistema de depuración del efluente proveniente de los procesos que realiza la industria textil, que permita enviar el agua residual por el sistema de alcantarillado de acuerdo a la normativa vigente.	
Formulación del problema	Problema principal	1. ¿Cómo se optimizará el sistema de depuración del efluente generado por los procesos que realiza la industria textil de fibra de camélidos para el control de sus valores máximos admisibles de COOPECAN-PERU?
	Problema específico	1. ¿Cuáles son las características de los parámetros de las aguas residuales originada por los procesos de la industria textil de fibra de camélidos? 2. ¿Cuál es el tipo de tratamiento adecuado para reducir los Valores Máximos Admisibles según el D.S. 021-2009-VIVIENDA, del efluente? 3. ¿Cuál es el diseño para implementar las instalaciones y/o equipos para optimizar el rendimiento del tratamiento propuesto?
Objetivos	Objetivo general	Optimizar la depuración de las aguas residuales industriales del proceso de lavado de la fibra de camélidos de la empresa textil para el control de sus Valores Máximos Admisibles.
	Objetivos específicos	1. Evaluar las características de los parámetros de las aguas residuales industriales originadas del proceso de lavado de la fibra de camélidos. 2. Identificar el coagulante adecuado y la dosis óptima. 3. Diseñar un sistema de depuración implementando instalaciones y/o equipos, controlando el efluente de acuerdo a los Valores Máximos Admisibles.
Hipótesis	La aplicación de métodos fisicoquímicos y la obtención de la dosis óptima del coagulante, permitirá alcanzar los Valores Máximos Admisibles de los parámetros del efluente. Para completar el tratamiento adecuado de los efluentes vertidos por la	

	empresa textil se rediseñara el sistema de depuración de los efluentes generados por el proceso de lavado, dando así cumplimiento a la normativa vigente.	
Variables	Variabes independientes (X) <i>Efluente industrial textil (sin tratamiento)</i>	- El diagnóstico a través del análisis del efluente industrial textil.
	Variable dependiente: (Y) <i>Diseño del sistema de tratamiento</i>	- Aplicación de técnicas para la optimización del sistema de tratamiento de efluentes de la industria textil.
Indicadores:	Variabes independientes: Efluente industrial textil	- pH - Demanda química de oxígeno (DQO) - Sólidos totales (ST) - Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). - Aceites y grasas - Temperatura
	Variable Dependiente: Diseño del Sistema del Tratamiento del Efluente	- Dosis óptima - Concentración del coagulante. - Tiempo de Coagulación.
Metodología de la investigación	La metodología es experimental, correlacional y condicional que permita identificar los procesos para evaluar y explicar la causa del fenómeno por medio de un contexto teórico, encontrar la vinculación, interdependencia e interrelaciones que existen entre los fenómenos.	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2
Hojas MSDS



EMPRESA : AUXILIARES TEXTILES S.A.C.
DIRECCION : CALLE LOS ROSALES, MZ.C1, LOTE 9,
URB. LA CAPITANA, SANTA MARIA DE HUACHIPA
LIMA - PERU
CONTACTO : auxitex@auxitex.com
REPRESENTANTE: Ing. Juan Chavarría P.


DECLARACION

AUXILIARES TEXTILES S.A.C. - AUXITEX - DECLARA QUE SU PRODUCTO:

WOOLDET ECO 100

FABRICADO, ENVASADO Y COMERCIALIZADO PARA SU USO SEGURO EN LA INDUSTRIA TEXTIL, CONTIENE EXCLUSIVAMENTE INSUMOS QUE NO AFECTAN NEGATIVAMENTE A LA SALUD HUMANA Y AL MEDIO AMBIENTE, AL NO ESTAR COMPUESTO POR APEO (ALQUIL FENOLES ETOXILADOS) Y SUSTANCIAS QUIMICAS CON PROPIEDADES PELIGROSAS COMPRENDIDAS EN LAS NORMAS INTERNACIONALES, Y SER ELABORADO Y ENVASADO BAJO LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL MAS Estrictos.

Lima, 20 de septiembre de 2014



Ing. Juan Chavarría Patiño
Gerente General

HOJA DE SEGURIDAD
(Concordante con 91/155/EEC – ISO 11014-1)

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA.

Rótulo NFPA

Nombre Comercial: **WOOLDET ECO 100**

Código Interno de Identificación del Producto: HS – 500/143 – 2013

Fabricante:

AUXITEX SAC

Dirección: Calle los Rosales, Mz C1, Lote 9. Urb. La Capitana, Huachipa, Lima - Perú

Teléfonos: 371-0594 / 358-1964

Web: www.auxitex.com



2. INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES.

Compuesto a base de alquil poliglicol éter y derivados terpénicos.

Componentes peligrosos:

5-cloro-2-metil-2H-isotiazol-3-ona y 2-metil-2H-isotiazol-3-ona (Biocida en cantidades insignificantes. Aprox. 0,02%).

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.

- ✓ Inhalación: No representa un riesgo significativo en las condiciones de uso normal.
- ✓ Contacto con la Piel: No representa un riesgo significativo en las condiciones de uso normal. Puede causar irritación y dermatitis en casos de contacto prolongado.
- ✓ Contacto con los Ojos: Posible irritación en caso de contacto directo.
- ✓ Ingestión: Grandes cantidades pueden producir dolor gastrointestinal y efectos al sistema nervioso central.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS.

- ✓ Inhalación: Llevar a la persona afectada al aire libre. Por precaución, acudir a un médico.
- ✓ Contacto con la Piel: Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada y lavar cuidadosamente la zona afectada con abundante agua.
- ✓ Contacto con los Ojos: Lavar cuidadosamente los ojos con los párpados abiertos con abundante agua durante 15 minutos. Por precaución, acudir a un médico.
- ✓ Ingestión: Enjuagar cuidadosamente la boca con abundante agua. NO INDUCIR AL VÓMITO. Acudir inmediatamente al médico.

Fecha de Elaboración: 2014
Fecha de Última Revisión: 2014

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.

- ✓ Medios de Extinción Adecuados: Dióxido de Carbono, Polvo Químico Seco.
- ✓ Equipamiento Protector: Utilizar aparato de respiración autónomo.

6. MEDIDAS EN CASO DE DERRAMES ACCIDENTALES.

- ✓ Precauciones Personales:
Evitese todo tipo de contacto directo con los ojos y la piel (Usar equipo de protección e impedir que se acerquen personas no protegidas).
Los derrames son muy resbaladizos.
- ✓ Limpieza:
Cercar con material absorbente (arena, turba, tierra), recoger en recipientes todo lo que se pueda y dejar completamente cerrado lo recuperado.
Lavar con abundante agua el área del derrame.
- ✓ Protección del Medio Ambiente:
Evitar que la solución ingrese a desagües sanitarios, cursos de agua ó alcance el suelo.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.

- ✓ Manejo: Abrir y manipular los recipientes utilizando implementos de seguridad.
- ✓ Exigencias técnicas para almacenes y recipientes:
Para evitar la degradación del producto y la corrosión del equipo, no utilizar contenedores ni equipo metálico (hierro, cobre ó aluminio).
Mantener los recipientes herméticamente cerrados y guardarlos en un sitio fresco y bien ventilado.

8. LÍMITES DE EXPOSICIÓN Y MEDIDAS DE PROTECCIÓN PERSONAL.

- ✓ TLV - TWA: No disponible.
- ✓ Medidas de Higiene Laboral:
No comer, beber ó fumar durante el trabajo.
Al término del trabajo, lavarse inmediata y minuciosamente las manos con abundante agua y jabón (dado el caso, ducharse).
Re-utilizar la ropa solamente después de una limpieza a fondo.
- ✓ Protección Respiratoria: Necesaria en caso de ventilación insuficiente y exposición prolongada (mascarilla con filtro adecuado).
- ✓ Protección de las Manos: Utilizar guantes de nitrilo.
- ✓ Protección Ocular: Utilizar gafas de seguridad con protección lateral.
- ✓ Protección Corporal: Utilizar ropa protectora y botas de PVC (según sean las operaciones, considerar el uso de botas de PVC con puntera reforzada en acero).

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

- ✓ Estado Físico: Líquido viscoso.
- ✓ Color: Incoloro.
- ✓ Olor: Característico.
- ✓ pH: 7 – 8
- ✓ Ionicidad: No iónico.

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

- ✓ Estabilidad: Buena en condiciones normales de almacenamiento.
- ✓ No ocurre polimerización en condiciones normales.
- ✓ Materiales a Evitar: Agentes muy fuertemente oxidantes y reductores.
- ✓ Productos de Descomposición Peligrosos: CO, CO₂

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.

- DL50 oral: No disponible.
CL50 por inhalación: No disponible.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA.

- LMP: No disponible.

13. DISPOSICIÓN DE RESIDUOS.

- ✓ Los envases ó embalajes contaminados deben ser tratados como un residuo y deben ser eliminados ó tratados para su reciclado, de acuerdo con las normas locales vigentes en instalaciones autorizadas por las autoridades medioambientales.
- ✓ Los residuos generados por el tratamiento de los embalajes deben ser procesados a fin de evitar la contaminación del medioambiente.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE.

Este producto no es considerado peligroso en su transporte.

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA. (UNIÓN EUROPEA)

- ✓ Frases de Riesgo (R):
R42/43: Posibilidad de sensibilización por inhalación y en contacto con la piel.
- ✓ Frases de Seguridad (S):
S16: Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas.
S20/21: No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.
S24/25: Evítase el contacto con la piel y con los ojos.
S36/37/39: Úsense indumentaria, guantes adecuados y protección para los ojos/cara.
S62: En caso de ingestión, no provocar el vómito. Acúdase inmediatamente al médico.

16. OTRAS INFORMACIONES.

La información contenida en esta hoja de seguridad fue obtenida de fuentes que consideramos fidedignas; sin embargo, se proporciona sin garantía en cuanto a su exactitud.

Las condiciones de manipuleo, almacenamiento, uso o eliminación de este producto están fuera del control de AUXITEX S.A.C.; por tanto, no asumimos ninguna responsabilidad por pérdidas y daños personales o ambientales.

Si este producto es usado como un componente de otro, es muy probable que esta hoja de seguridad no sea aplicable.

Fecha de Elaboración: 2014
Fecha de Última Revisión: 2014



WOOLDET ECO 100

Detergente no iónico biodegradable para el lavado de fibras naturales y sintéticas

• CARACTERÍSTICAS

- Apariencia	:	Líquido viscoso incoloro
- Olor	:	Característico
- Ionicidad	:	No iónico
- Composición	:	Mezcla de alcoholes lineales etoxilados
- pH	:	7.0 - 8.0

• VENTAJAS

- WOOLDET ECO 100 es una mezcla de surfactantes biodegradables muy eficaz para el lavado de la lana, especialmente en medio neutro.
- Gran capacidad para emulsionar las grasas propias de las fibras naturales de origen animal, como también los aceites minerales provenientes de los procesos textiles.
- Su alta capacidad de dispersión y detergencia de impurezas naturales y polvo permiten lograr un buen grado de blancura de la lana.
- Sus cualidades como lubricante hacen que la fibra no se maltrate.
- Estable en medios neutros alcalinos, ácido y electrolitos.
- Su gran versatilidad también le permite ser usado en los tratamientos alcalinos de las fibras celulósicas y sus mezclas.
- Compatible con productos aniónicos y catiónicos.
- Posee un HLB ligeramente mayor a 13.
- Es un eficiente dispersante y húmectante. Propiedades que se reflejan por el HLB que posee el producto.
- El producto es biodegradable y libre de APEO.

• APLICACION - DOSIFICACION

- En fibras de origen animal recomendamos hacer ensayos previos, pues las diferencias de contaminación e impurezas son tan marcadas entre las diferentes especies (como por ejemplo entre el carnero y la alpaca) que no es posible sugerir una dosificación estándar.



- Sin embargo podemos recomendar como pauta para el jabonado de la lana:

0.5 - 2.0 gr/lit WOOLDET ECO 100
1.0 - 2.0 gr/lit Carbonato de sodio
pH: 9
Temperatura: 60°C
tiempo: 30'
Luego enjuague en tibio y otro en frío.

- En tratamientos alcalinos del algodón usar:

1.0 - 2.0 gr/lit WOOLDET ECO 100
2.0 gr/lit Soda cáustica al 50 %

• ALMACENAMIENTO - EMBALAJE

- En condiciones normales de almacenamiento WOOLDET ECO 100 conserva su estabilidad hasta por 24 meses.
- En climas extremadamente fríos, WOOLDET ECO 100 puede enturbiarse y sufrir un ligero espesamiento. Esto se corrige con una breve agitación. Las propiedades y eficiencia del WOOLDET ECO 100 no se ven alteradas por este cambio físico.
- WOOLDET ECO 100 se ofrece en tambores de 120 Kg. y 200 Kg.

La información presentada es hecha a conciencia y se considera acertada. Nuestra garantía cubre la composición y pureza del producto. Recomendamos a nuestros usuarios el desarrollo de pruebas antes de su empleo a escala comercial. Ya que el uso y aplicación de nuestros productos escapan a nuestras posibilidades de control, el usuario asume toda la responsabilidad.

Anexo 3
Resultado de laboratorio

INFORME DE ENSAYO: 17869/2015

RESULTADOS ANALITICOS

Muestras del ítem: 1

N° ALS - CORPLAB
Fecha de Muestreo
Hora de Muestreo

210193/2015-1.0
05/06/2015
11:15:00

Tipo de Muestra

Agua Residual
Doméstica
E1

Identificación

Parámetro	Ref. Mét.	Unidad	LD	
001 DATOS DEL CLIENTE				
pH*	2209	Unidades pH	---	7,05
Temperatura de la Muestra*	2210	°C	---	19,5
003 ANALISIS FISICOQUIMICOS				
Aceites y Grasas	8833	mg/L	1,0	4,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1828	mg/L	2	341
Demanda Química de Oxígeno	8803	mg O2/L	2	1145
Sólidos Totales Suspendidos	1843	mg/L	2	178

Observaciones

* Los métodos indicados no han sido acreditados por INDECOPI-SNA

CONTROLES DE CALIDAD

Control Blancos

Parámetro	LD	Unidad	Resultado	Fecha de Análisis
Aceites y Grasas	1,0	mg Aceites y Grasas/L	< 1,0	10/06/2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	mg/L	< 2	08/06/2015
Demanda Química de Oxígeno	2	mg O2/L	< 2	09/06/2015
Sólidos Totales Suspendidos	2	mg Sólidos Totales Suspendidos/L	< 2	08/06/2015

Control Estandar

Parámetro	% Recuperación	Límites de Recuperación (%)	Fecha de Análisis
Aceites y Grasas	93,5	85-115	10/06/2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno	95,6	85-115	08/06/2015
Demanda Bioquímica de Oxígeno	97,6	85-115	08/06/2015
Demanda Química de Oxígeno	93,0	85-115	09/06/2015
Demanda Química de Oxígeno	99,8	85-115	09/06/2015
Sólidos Totales Suspendidos	104,0	90-110	08/06/2015
Sólidos Totales Suspendidos	100,8	90-110	08/06/2015

La fecha de análisis de los controles de calidad corresponde a la fecha de inicio de análisis de las muestras.

LD = Límite de detección

DESCRIPCION Y UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Estación de Muestreo	Resp.del Muestreo	Tipo de Muestra	Fecha de Recepción	Fecha de Muestreo	Ubicación Geográfica UTM WGS84	Condición de la muestra	Descripción de la Estación de Muestreo
E1	Cliente	Agua Residual Doméstica	06/06/2015	05/06/2015	---	Proporcionado por el cliente	Reservado por el cliente

Anexo 4
Panel Fotográfico



Equipo Leviatan de lavado para fibra de alpaca



Canal actual de salida del efluente



Preparación de solución con sulfato de aluminio



Prueba de ensayo de Jarras



Ingreso de fibra de alpaca para lavado



Salida de fibra de alpaca lavada



Medición in situ del pH y temperatura



Lodos residuales de la industria textil

Anexo 5
Planos del Diseño de Planta de Tratamiento