



UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA**

“DISEÑO Y OPERACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA PARA
TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS A CAUSA DE PROCESOS DE
TEÑIDO EN LAVADORA ARTESANAL TEXTIL RV”.

Trabajo de titulación Previo a la
Obtención Del Título de:
Ingeniero Químico

AUTORAS:

CAROL DAYANA GÓNGORA SAAVEDRA
C.I: 0105434617

THALIA ELIZABETH ZAPATA TAPIA
C.I.: 1104976947

DIRECTORA:

ING. SONIA MARGOTH ASTUDILLO OCHOA
CI: 010404447-4

Cuenca - Ecuador

2016



RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo reducir la concentración de los principales contaminantes presentes en el agua de descarga del proceso de teñido que se lleva a cabo en la empresa artesanal textil RV.

Para ello se determinó la calidad del agua en base al análisis de parámetros expuestos en el presente caso de estudio, los cuales se basan en diversas normas NTE INEN que se citan de manera correspondiente, todo ello con la finalidad de obtener resultados confiables.

Posteriormente, en base a los resultados obtenidos, se realizó el diseño de un prototipo de sistema, para tratar el agua con los contaminantes que son detectados, empleando diversos métodos y tratamientos químicos con la finalidad de solucionar la problemática en cuestión.

Palabras Claves: agua, efluente, lavadora artesanal, teñido, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, bioadsorción.



ABSTRACT

This research aims to reduce the concentration of major pollutants in water discharge dyeing process is carried out in the textile craft business RV.

It is therefore important to determine the quality of water based on the analysis parameters set forth in the present case study, which are based on various standards cited NTE INEN accordingly, all in order to obtain reliable results.

Subsequently, based on the results, the design of a prototype system are done, to treat water contaminants are detected using various methods and chemical treatments in order to solve the problems in question.

Keywords: water, effluent, artisan washing, dyeing, coagulation, flocculation, sedimentation, filtration, bioadsorción



ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	14
1. Selección y justificación del tema.....	14
2. Delimitación del tema	15
3. Objetivos	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos Específicos	16
MARCO TEÓRICO	17
1.1 El agua.....	18
1.1.1 Definición.....	18
1.1.2 Estructura	18
1.1.3 Propiedades del agua.....	20
1.1.4 Usos industriales	21
1.2 Contaminación del agua	21
1.2.1 Definición.....	21
1.2.2 Principales contaminantes.....	22
1.2.3 Parámetros de la calidad del agua	23
1.2.4 Impacto medio ambiental.....	28
1.3 Tratamiento de efluentes	29
1.3.1 Generalidades	29
1.3.2 Métodos.....	29
INDUSTRIA DE LAVADO TEXTIL.....	40
2.1 Generalidades.....	40
2.2 Descripción de la empresa	40
2.2.1 Procesos.....	41
2.2.2 Equipos empleados	45
PROCESO DE TEÑIDO	46



3.1	Parámetros de calidad del agua	46
3.2	Toma de muestras	46
3.3	Análisis físico – químico.....	47
3.3.1	Parámetros físicos	47
3.3.2	Parámetros químicos.....	52
3.4	Análisis de datos.....	59
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO		63
4.1	Breve descripción	63
4.2	Construcción del prototipo	65
4.2.1	Especificaciones de los materiales y reactivos empleados	65
4.2.2	Dosis óptima de coagulante y floculante	67
4.3	Funcionamiento del prototipo.....	71
4.3.1	Coagulación, floculacion y sedimentación	71
4.3.2	Filtro.....	72
4.4	Resultados y rendimientos.....	73
4.5	Análisis de costos del prototipo.....	76
4.6	Ensayos de bioadsorción	77
4.6.1	Tratamiento de las biomosas.....	77
4.6.2	Procedimientos para ensayos de columna y tanque agitado.....	78
4.6.3	Resultados de los ensayos de biosorción.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		81
5.1	Conclusiones	81
5.2	Recomendaciones	83
BIBLIOGRAFÍA		84



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Molécula de agua.....	18
Figura 2 Polaridad de la molécula de agua.....	19
Figura 3 Atracción entre moléculas de agua.....	19
Figura 4 Esquema de Filtración.....	30
Figura 5 (a) Modelo de la doble capa (b) Estructura de la doble capa.....	32
Figura 6 Fenómenos de coagulación, floculación y sedimentación.....	36
Figura 7 Método de electrocoagulación.....	38
Figura 8 Lavadora textil.....	41
Figura 9 Diagrama del proceso de teñido en lavadora textil.....	44
Figura 10 (a) Tanque de almacenamiento de agua de río (b) Efluente del proceso de teñido (c) Tanque de descarga de los efluentes de todos los procesos.....	47
Figura 11 Esquema de la conductividad de las muestras.....	48
Figura 12 Esquema de la turbiedad de las muestras.....	49
Figura 13 Esquema del parámetro de color en las muestras.....	50
Figura 14 Esquema de sólidos totales presentes en las muestras.....	51
Figura 15 Esquema de sólidos suspendidos presentes en las muestras.....	52
Figura 16 Esquema del valor de pH en las muestras.....	53
Figura 17 Esquema del valor de acidez en las muestras.....	54
Figura 18 Esquema del valor de alcalinidad en las muestras.....	54
Figura 19 Esquema del valor de dureza total de las muestras.....	55
Figura 20 Esquema de la presencia de cloruros en las muestras.....	56
Figura 21 Esquema de la concentración de sodio en las muestras.....	57
Figura 22 Esquema de la concentración de calcio en las muestras.....	58
Figura 23 Esquema de la concentración de cadmio en las muestras.....	58
Figura 24 Esquema de la concentración de plomo en las muestras.....	59
Figura 25 Esquema del prototipo.....	64
Figura 26 Equipo para prueba de jarras.....	68
Figura 27 (a) Columna con relleno (b) Paso del agua a través de la biomasa (c) Recepción del agua.....	78
Figura 28 (a) Erlenmeyer con biomasa y agua a tratar (b) Muestras en equipo de agitación (c) Filtrado de muestras.....	79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Materiales filtrantes	31
Tabla 2	Tipos de coagulantes	33
Tabla 3	Ph óptimos para diferentes coagulantes	34
Tabla 4	Tipos de floculantes	35
Tabla 5	Reactivos y sustancias empleadas en los diferentes stones.....	41
Tabla 6	Datos de conductividad	48
Tabla 7	Datos de turbiedad	49
Tabla 8	Datos de color	50
Tabla 9	Datos de sólidos totales y suspendidos	51
Tabla 10	Datos del valor de pH.....	52
Tabla 11	Datos de acidez y alcalinidad.....	53
Tabla 12	Datos de dureza total, cálcica y magnésica	55
Tabla 13	Datos de la concentración de cloruros	56
Tabla 14	Datos de la concentración de cationes.....	57
Tabla 15	Comparación de datos con límites permisibles del TULSMA.....	60
Tabla 16	Parámetros de referencia de la calidad del agua para calderos	62
Tabla 17	Materiales empleados en el prototipo.....	65
Tabla 18	Reactivos empleados en el prototipo	66
Tabla 19	Materiales y reactivos del filtro	67
Tabla 20	Especificaciones del equipo de prueba de jarras	67
Tabla 21	Experimentos de prueba de jarras	68
Tabla 22	Condiciones de trabajo del prototipo	71
Tabla 23	Especificaciones de los caudales del filtro	73
Tabla 24	Tabla de resultados.....	74
Tabla 25	Tabla de rendimientos.....	75
Tabla 26	Costos de materiales y reactivos	76
Tabla 27	Resultados por el método de columna	79
Tabla 28	Resultados por el método del tanque agitado	80



CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Carol Dayana Góngora Saavedra, autora de la tesis "Diseño y operación de un prototipo de sistema para tratamiento de aguas contaminadas a causa de procesos de teñido en lavadora artesanal textil RV", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención del título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, 18 de Octubre del 2016

Carol Dayana Góngora Saavedra

C.I:0105434617



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Thalia Elizabeth Zapata Tapia autora de la tesis "Diseño y operación de un prototipo de sistema para tratamiento de aguas contaminadas a causa de procesos de teñido en lavadora artesanal textil RV", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención del título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora

Cuenca, 18 de Octubre del 2016

Thalia Elizabeth Zapata Tapia

C.I:1104976947



CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Carol Dayana Góngora Saavedra, autora de la tesis "Diseño y operación de un prototipo de sistema para tratamiento de aguas contaminadas a causa de procesos de teñido en lavadora artesanal textil RV", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 18 de Octubre del 2016

Carol Dayana Góngora Saavedra

C.I:0105434617



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Thalia Elizabeth Zapata Tapia, autora de la tesis "Diseño y operación de un prototipo de sistema para tratamiento de aguas contaminadas a causa de procesos de teñido en lavadora artesanal textil RV", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora

Cuenca, 18 de Octubre del 2016

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Thalia Elizabeth Zapata Tapia'.

Thalia Elizabeth Zapata Tapia

C.I.:1104976947



AGRADECIMIENTO

A Dios, a nuestra directora de tesis la Ing. Sonia Astudillo, a todas las personas que de una u otra forma colaboraron para la realización del presente trabajo de investigación y en especial a nuestros padres por su apoyo y brindarnos la oportunidad de poder estudiar.



DEDICATORIA

El esfuerzo entregado durante varios meses en la realización de este trabajo, se lo dedicamos a nuestros padres, familiares y amigos.



INTRODUCCIÓN

En el campo Industrial Textil, las lavadoras artesanales tienen por objeto llevar a cabo algunos procesos físico - químicos que brindan ciertas características a las prendas, con la finalidad de proveer a sus clientes una solución integral a sus necesidades en cuanto a gustos y tendencias relacionados con la moda.

En Ecuador se conoce muy poco acerca de este tipo de industrias y de los efluentes que éstas genera, así como de sus tratamientos. De no existir el tratamiento adecuado, algunos reactivos químicos presentes en el efluente del proceso de teñido (carbonato de sodio, colorantes reactivos y sal industrial) podrían ocasionar problemas de carácter ambiental reflejados en la contaminación del agua, ya que cada uno de ellos le otorga alta dureza, excesiva coloración y elevado contenido de cloruros, respectivamente.

Dado el caso, es aquí donde se pueden aplicar ciertos conocimientos por parte del Ingeniero Químico, por lo tanto se procederá con el análisis del contenido de sustancias y a partir de ello diseñar y construir un prototipo de sistema que ayude a minimizar la contaminación del efluente de descarga del proceso de teñido.

1. Selección y justificación del tema

El impacto ambiental a causa de los reactivos utilizados en el proceso de teñido, es una necesidad de estudio por parte del propietario de la empresa Textil RV, en base a ello surge el interés de solucionar dicho problema teniendo como punto de partida la experiencia adquirida en el trabajo vinculado con la sociedad, el mismo que está relacionado con el campo de estudio del Ingeniero Químico.

Los impactos nocivos detectados dentro del proceso de teñido, tienen que ver con la presencia de colorantes y reactivos empleados en la industria textil, los cuales ocasionan daño ambiental, como contaminación y alteración de la temperatura del agua, así como emanación de gases y vapores, principalmente. Estos contaminantes presentes en el agua pueden ser minimizados mediante



diversos tratamientos de aguas residuales, mismos que, con conocimiento científico y técnico, pueden ser implementados en busca de la mejora y solución a la problemática detallada.

Específicamente, conocimientos relacionados con las cátedras de análisis de aguas y tecnología del medio ambiente proporcionan las habilidades necesarias para realizar la investigación en base al tema propuesto.

Al existir problemáticas de tipo ambiental y social, se pretende concienciar al personal de la empresa acerca de los daños ocasionados por el mal manejo de sustancias peligrosas y el impacto que generan a corto y largo plazo.

Se conoce de pocos sistemas capaces de disminuir la concentración de contaminantes provenientes del teñido de textiles, específicamente de colorantes, por ello el interés de diseñar un prototipo de sistema que sea el adecuado para la lavadora en cuestión.

2. Delimitación del tema

El tema de estudio se llevó a cabo en “Lavadora Artesanal Textil RV”, empresa ubicada en el sector Guzho (Autopista Panamericana – Circunvalación Sur), dedicada a procesos de acabado, decoloración y teñido de prendas jeans.

En principio, se realizaron muestreos de los efluentes del proceso de teñido para su posterior caracterización o análisis en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca. En base a los resultados obtenidos, se procedió a la construcción del prototipo y posteriormente se inició con la etapa de experimentación con la finalidad de evaluar su función y rendimiento.



3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Disminuir la contaminación de efluentes a causa de procesos de teñido de textiles en “Lavadora Textil RV”.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar la concentración de contaminantes que poseen los efluentes provenientes de los procesos de teñido empleados en la lavadora. Específicamente, contaminación provocada por factores físicos (Color, Turbidez, Sólidos Suspendidos, Conductividad) y químicos (Dureza, pH, Acidez, Alcalinidad, Oxígeno Disuelto, Medidores de Materia Orgánica e Inorgánica.)
- Diseñar un prototipo de sistema que ayude a reducir la contaminación en dichos efluentes.
- Construir y evaluar el funcionamiento del prototipo diseñado.
- Realizar ensayos de bioadsorción.
- Concluir sobre los resultados obtenidos.



MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

1.1 El agua

1.1.1 Definición

El agua es una sustancia indispensable para los seres vivos en especial para los seres humanos, constituyendo el 65% de su peso. Es la sustancia más abundante en la biósfera donde se la encuentra en sus tres estados. (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010)

El agua es considerada como uno de los recursos naturales más fundamentales para el desarrollo de la vida, y junto con el aire, la tierra y la energía, constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo productivo. (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010).

1.1.2 Estructura

Muchas de las propiedades de la molécula de agua se deben a su estructura, en donde los átomos de hidrógeno y oxígeno se acomodan en una geometría no lineal cuyo enlace H-O-H forma un ángulo de 104.5° . (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010).

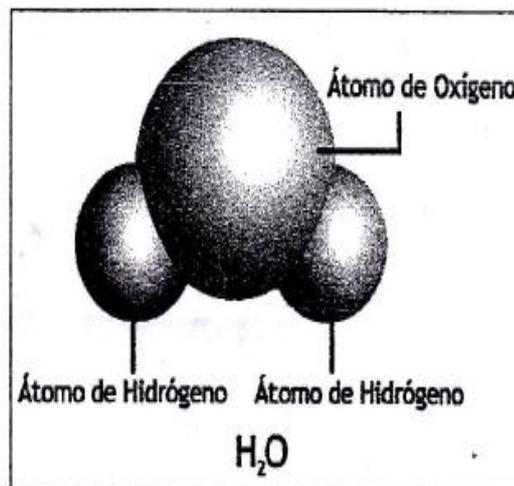
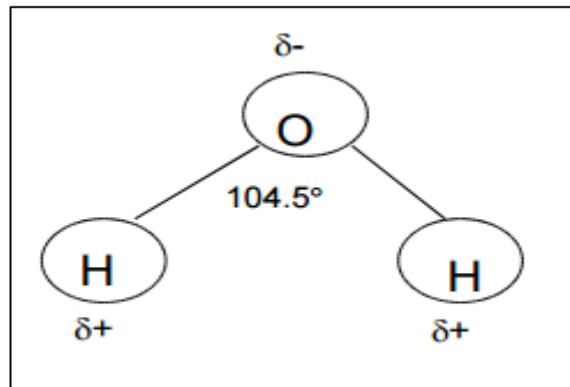


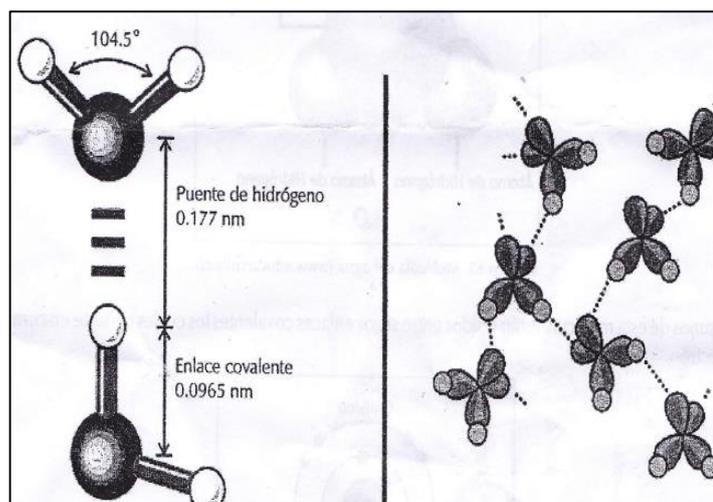
Figura 1 Molécula de agua
(Universidad Técnica Particular de Loja, 2010)

En la molécula de agua cada átomo de hidrógeno comparte un par electrónico con el de oxígeno para formar un enlace covalente simple, además posee una distribución asimétrica de sus electrones, lo que la convierte en una molécula polar, en donde los dos átomos de hidrógeno poseen una carga local parcial positiva y el átomo de oxígeno una carga local parcial negativa. (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010)



*Figura 2 Polaridad de la molécula de agua
(García Pérez)*

La existencia de cargas eléctricas parciales permite que se establezcan interacciones electrostáticas entre moléculas de agua vecinas. El extremo positivo de una molécula atrae el extremo negativo de otras. Estas uniones entre las moléculas de agua se conocen como puentes de hidrógeno. (Universidad Técnica Particular de Loja, 2010)



*Figura 3 Atracción entre moléculas de agua
(Universidad Técnica Particular de Loja, 2010)*



1.1.3 Propiedades del agua

- **Capacidad de disolución:** El agua tiene una capacidad excepcional para disolver biomoléculas presentes en los organismos vivos, disuelve sustancias iónicas, polares y también a las que no tienen carga, por lo que se le conoce como disolvente universal. (García Pérez)
- **Capacidad de disociación:** En moléculas cuyos átomos están débilmente unidos por enlaces iónicos, la interferencia de los puentes de hidrógeno es suficiente para debilitar las fuerzas de atracción y separar o disociar sus átomos.
- **Densidad:** Es de 1 g/cc, cuando el agua se encuentra en su forma líquida a una temperatura de 4 °C.
- **Alto calor específico:** El calor específico es de 1 cal/gramo °C, el cual permite cambios de energía térmica con pequeñas modificaciones de temperatura corporal.
- **Alto calor de vaporización:** Al poseer un calor de 536 cal/gramo, es muy útil para la eliminación de grandes cantidades de energía térmica mediante la vaporización de pequeñas cantidades de agua.
- **Conductividad térmica:** El agua es un buen transmisor del calor, lo cual es muy útil en la industria para igualar temperaturas de equipos.
- **Elevada tensión superficial:** Su tensión es de 72,8 dinas/cm a 20°C, es el valor más alto después del mercurio. (Merino Pérez & Noriega)
- **Constante dieléctrica:** El agua tiene una constante de 78,5 medido a una temperatura de 25 °C.
- **Viscosidad:** Debido a los puentes de hidrógeno, varía con respecto a la temperatura.
- **Altos puntos de ebullición y fusión:** Estas propiedades características del agua son consecuencia de su cohesión interna muy elevada, las moléculas tienden a 'agruparse' debido a que forman una extensa red de puentes de hidrógeno.

Para alcanzar el punto de ebullición se debe incorporar calor, para que se rompa el enlace de hidrógeno antes de que el líquido se transforme



en gas, mientras que para alcanzar el punto de congelamiento, se debe disminuir la temperatura, de manera que el agua se enfríe y produzca la formación de enlaces de hidrógeno. (García Pérez).

1.1.4 Usos industriales

El agua tiene una gran aplicación a nivel industrial y para la mayoría de estas aplicaciones es necesario controlar su calidad, ya que ligeras variaciones en el contenido de alguna de las sustancias presentes, puede variar la calidad del agua y convertirse en inservible o incluso peligrosa.

El agua en la industria es muy útil en:

- Elaboración de bebidas: refrescos, jugos, gaseosas, etc.
- Fuentes de energía: hidroeléctricas, termoeléctricas y nucleares.
- Limpieza de equipos y maquinarias. El agua para limpieza es utilizada primordialmente por las industrias químicas, alimenticias y vinícolas.
- Elaboración de productos de limpieza y refrigerantes.
- Procesos industriales como agente transportador y solvente.
- Minería, al ser utilizada para separar los minerales de las rocas y limpiar los materiales de desechos. (Catalán Lafuente, Química del Agua, 2008)

1.2 Contaminación del agua

1.2.1 Definición

Se puede definir como contaminación del agua a la alteración o modificación de la calidad de la misma, así como la de su composición o estado, por el hecho de introducir materias y formas de energía, provocada directa o indirectamente por la actividad humana, haciendo que ésta se vuelva menos apta para los usos a los que puede estar destinada, tales como: consumo humano, industria, agricultura, pesca y otras actividades. (García Pérez)



Los cuerpos de agua (ríos, lagos, mares) sufren diferentes tipos de contaminación; aparte de la que es causada por las actividades del ser humano, está la que se presenta a causa de fenómenos naturales. (García Pérez)

Los ríos y lagos pueden verse contaminados por exceso de nutrientes provenientes de residuos orgánicos, fertilizantes en zonas agrícolas y actividades industriales. Éstos pueden llegar a los cuerpos de agua por descarga directa o escorrentía superficial. (Mamani, 2003)

1.2.2 Principales contaminantes

- **Contaminantes químicos**

Los contaminantes químicos comprenden tanto sustancias orgánicas como inorgánicas. La contaminación por compuestos orgánicos provocan disminución del oxígeno como resultado de su utilización en el proceso de degradación biológica de los compuestos orgánicos.

En el caso de contaminación por compuestos inorgánicos, el impacto se refleja en el posible efecto tóxico. Otros contaminantes químicos son los iones de metales pesados, éstos se encuentran en aguas residuales industriales. Los más comunes son el mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel, cromo, plomo y cadmio. (Gómez, 2003)

- **Contaminantes físicos**

Algunos contaminantes físicos tienen que ver con alteraciones de temperatura causados por aguas provenientes de plantas industriales. Los organismos acuáticos no son tolerantes a los cambios bruscos de temperatura ya que sus poblaciones pueden verse afectadas. Otros contaminantes son el color, turbiedad, las espumas provenientes de detergentes y la radiactividad. (Gómez, 2003)



- **Contaminantes biológicos**

Los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades por medio de aguas de abastecimiento o agua potable. En su mayoría son patógenos y están representados por las bacterias, virus, protozoarios u hongos, los cuales son descargados al sistema de agua potable por personas infectadas. (Gómez, 2003)

1.2.3 Parámetros de la calidad del agua

La calidad del agua se determina en función de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que la caracterizan en su estado natural y en base a los resultados que se obtienen, se puede determinar la calidad de cierto cuerpo de agua. Para ello se utilizan diferentes pruebas y ensayos de laboratorio con los que se establece, de manera cuantitativa y algunas veces estandarizada, la calidad del agua. (Lapeña, 2000)

1.2.3.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos del agua son aquellos que responden a los sentidos, visual, de tacto, de olor y sabor. Los más analizados son: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura.

- **Sólidos suspendidos**

Se refieren a partículas orgánicas e inorgánicas así como líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. Dentro de las partículas orgánicas se pueden citar las fibras de plantas, células de algas, bacterias, sólidos biológicos, entre otros. Por otra parte, como partículas inorgánicas están consideradas la arcilla y las sales. Los impactos nocivos que puede causar la presencia de sólidos suspendidos en el agua, son los siguientes:



- Provocan efecto visual poco estético.
- Proveen superficies de adsorción para agentes químicos y biológicos.
- Pueden degradarse, lo que daría lugar a productos secundarios perjudiciales.
- Los elementos biológicamente activos pueden ser agentes tóxicos y por ende ser causantes de enfermedades. (Gómez, 2003)

- **Turbiedad**

Este parámetro mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material suspendido, por lo que puede considerarse como una medida del efecto de los sólidos suspendidos presentes en el agua. Cabe recalcar que ésta no es una medida directa, puesto que la turbiedad también está en función de la forma y características de la superficie del material suspendido. El efecto que la turbiedad causa en el agua es el de interferir con la penetración de la luz, hecho que afecta el proceso de fotosíntesis. (Gómez, 2003)

- **Color**

Se supone que el agua pura no tiene color; sin embargo, los sólidos suspendidos, así como los disueltos le otorgan cierta coloración. Los sólidos suspendidos brindan un color denominado aparente, mientras que los sólidos disueltos proporcionan color verdadero.

Los ácidos húmicos, la madera, las hojas, los óxidos de hierro, los óxidos de manganeso son, entre otros, elementos que proporcionan color al agua. Dentro de los impactos que ocasiona el color en el agua, se pueden citar los siguientes:

- No brinda apariencia estética.
- El agua con cierta tonalidad de colores no puede ser utilizada en algunos procesos industriales, como lavado, manufactureras de papel, bebidas, procesos alimenticios, producción textil o plásticos.
- El color verdadero es causado por sustancias orgánicas que demandan cloro, y reducen seriamente la eficacia de éste como desinfectante. (Gómez, 2003)



- **Sabor y olor**

Estos dos parámetros están relacionados entre sí. Las fuentes que otorgan sabor y olor al agua son los minerales, metales, sales del suelo, productos finales de reacciones biológicas y aguas residuales domésticas o industriales. El efecto negativo más directo que se presenta cuando el agua posee sabor y olor es que no se puede considerar como potable ni apta para cualquier proceso. (Gómez, 2003)

- **Temperatura**

Es un parámetro muy importante ya que la existencia del conjunto de especies de plantas, animales y otros organismos que ocupan un área determinada, depende directamente de la temperatura, pues ésta tiene rangos de tolerancia para diferentes factores como la acidez, cantidad de nutrientes, etc. La temperatura también tiene efectos directos o indirectos sobre la mayoría de reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el agua así como en la solubilidad de los gases. El efecto de un cambio brusco de éste parámetro se manifiesta en la cantidad de nutrientes, así como gases solubles, de los cuales el más importante es el oxígeno.

Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que tienen que ver con la disolución de sólidos, pero también se dificulta la solubilidad de los gases, lo que lleva a la oxidación de elementos orgánicos. (Gómez, 2003)

1.2.3.2 Parámetros químicos

Están relacionados con la capacidad de solvencia del agua, por lo que no son tan fáciles de determinar en comparación con los parámetros físicos. Para la determinación de los parámetros químicos, se requiere de un laboratorio en donde se realicen pruebas específicas. Los más importantes para determinar la calidad del agua son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales, sustancias orgánicas y nutrientes. (Lapeña, 2000)



- **Sólidos disueltos**

Son los materiales que quedan o permanecen en el agua luego de que ésta ha sido filtrada con la finalidad de determinar los sólidos suspendidos. Los sólidos disueltos son el resultado de la acción solvente del agua una vez que ésta actúa sobre sólidos, líquidos y gases.

Los efectos más notables de los sólidos disueltos sobre la calidad del agua, son las propiedades cancerígenas o tóxicas que presentan algunos de ellos por combinación con otros elementos. (Gómez, 2003)

- **Alcalinidad**

Es la medida de la cantidad de iones presentes en el agua, los cuales reaccionan para neutralizar los iones de hidrógeno. La alcalinidad también se puede definir como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos.

Los iones más comunes son el carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y óxido de hidrógeno también denominado ión hidróxido (OH^-). Los efectos más notables de alcalinidad se reflejan en el sabor amargo del agua y las reacciones con algunos cationes lo cual provoca obstrucciones en tuberías y sus accesorios, como codos o válvulas. (Gómez, 2003)

- **Dureza**

Representa la cantidad o concentración de cationes metálicos multivalentes en solución, mismos que reaccionan con los aniones presentes en el agua y forman un sólido, todo ello en condiciones de saturación.

Existen dos tipos de dureza conocidas como carbonatada y no carbonatada, éstas reciben su nombre según el tipo de anión con el cual reaccionan. Las fuentes de cationes más comunes son el magnesio y el calcio, además también se pueden mencionar el hierro, manganeso, estroncio y aluminio. El efecto que conlleva su presencia es que los cationes reaccionan con el jabón y restringen el uso del agua para fines potables o industriales. (Gómez, 2003)



- **Metales**

Son elementos que se encuentran en el agua y se clasifican en tóxicos y no tóxicos, según su efecto. Los metales no tóxicos son el sodio, el hierro y el manganeso, sin embargo, cualquiera de ellos en cantidades excesivas se puede convertir en elemento tóxico. Por ejemplo, el sodio en exceso es corrosivo para superficies metálicas y es tóxico para las plantas. Por otra parte, el hierro y manganeso pueden causar problemas de olor y sabor en el agua.

Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc; que causan problemas a la salud humana aún en cantidades pequeñas. Los metales se concentran en la cadena alimenticia y se biomagnifican al pasar de un nivel trófico a otro. (Gómez, 2003)

- **Elementos orgánicos**

Las sustancias orgánicas se clasifican en biodegradables y no biodegradables. Las sustancias biodegradables son aquellas utilizadas como alimento por parte de los microorganismos y los más comunes son los azúcares, grasas, proteínas, alcoholes, ácidos y aldehídos.

La degradación de sustancias orgánicas es llevada a cabo por los microorganismos a través de procesos bioquímicos de oxidación o reducción. Para que dichos procesos ocurran se necesita de oxígeno, y es aquí donde surge el parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el cual mide la cantidad de gas que requieren las sustancias orgánicas para ser degradadas.

Las sustancias no biodegradables son los ácidos tánico y línico, la celulosa, el benceno, los polisacáridos, entre otros.

Otro parámetro utilizado en calidad de agua es la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la cual representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente el carbono orgánico a dióxido de carbono (CO₂). (Gómez, 2003)

- **Nutrientes**

Los dos nutrientes más importantes dentro del análisis de la calidad del agua son el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno es un componente de las proteínas, clorofila



y otros compuestos biológicos. En exceso provoca superpoblación de algas verdes, lo que se conoce como eutrofización. Además, los altos contenidos de nitrato causan metahemoglobina, síndrome que ataca principalmente a los niños pequeños (bebés de hasta 6 meses de edad).

El fósforo en el agua aparece como fosfato (PO_4^{3-}). Existen otras formas: ortofosfato, fosfato condensado y fosfato unido orgánicamente a tejidos animales y vegetales. El fósforo es un nutriente que también se asocia con la eutrofización de los cuerpos de agua, por ello es importante su medición. (Mamani, 2003)

1.2.4 Impacto medio ambiental

La contaminación del agua ocasiona algunos efectos en el medio ambiente, entre los cuales se pueden destacar los siguientes:

- Pérdida progresiva de lagos y ríos lo que se traduce en la reducción de las reservas de agua dulce del planeta.
- Reducción del agua disponible para el consumo de los seres humanos y de los animales.
- Efectos físicos como mal olor, cambio de color, enturbiamiento, fermentación, cambio de temperatura.
- Efectos químicos como la disminución de la concentración necesaria de oxígeno para la vida acuática.
- Efectos biológicos como la muerte de plantas y animales, así como la producción de enfermedades en el hombre.

La contaminación del agua es uno de los factores que rompe la armonía entre el hombre y su medio ambiente tanto a corto, mediano y largo plazo, por lo que la prevención y lucha contra la contaminación constituye una necesidad prioritaria. (Gómez, 2003)



1.3 Tratamiento de efluentes

1.3.1 Generalidades

Las aguas naturales rara vez se encuentran en condiciones aptas para ser utilizadas directamente en los procesos industriales. El contenido de impurezas, aún siendo casi siempre pequeño o mínimo con relación al volumen de agua, suele ser inadecuado o excesivo para utilizarla de manera directa sin un tratamiento previo. (Lapeña, 2000)

Antes de poder decidir sobre el tratamiento a ser aplicado, se necesita tener información suficiente acerca de la calidad del agua disponible y lo que exige el proceso como tal. La manera de hacerlo es realizar los análisis respectivos que determinan los parámetros más relevantes. (Lapeña, 2000)

Las muestras obtenidas deben ser representativas para garantizar un buen análisis en el laboratorio. También es importante que estén correctamente conservadas y que los análisis se realicen dentro de los tiempos máximos de conservación.

Otro factor muy importante que influye en la decisión sobre el tratamiento, es también el costo del mismo, ya que en cierta medida éste depende del contenido de impurezas que se deban tratar, con la finalidad de cumplir con lo que exige el TULSMA para el vertido de aguas residuales.

La calidad del agua de descarga del proceso de teñido, aparte de ser una especificación del proceso de fabricación o simplemente una decisión económica se convierte en una exigencia por razones de seguridad. (Mamani, 2003)

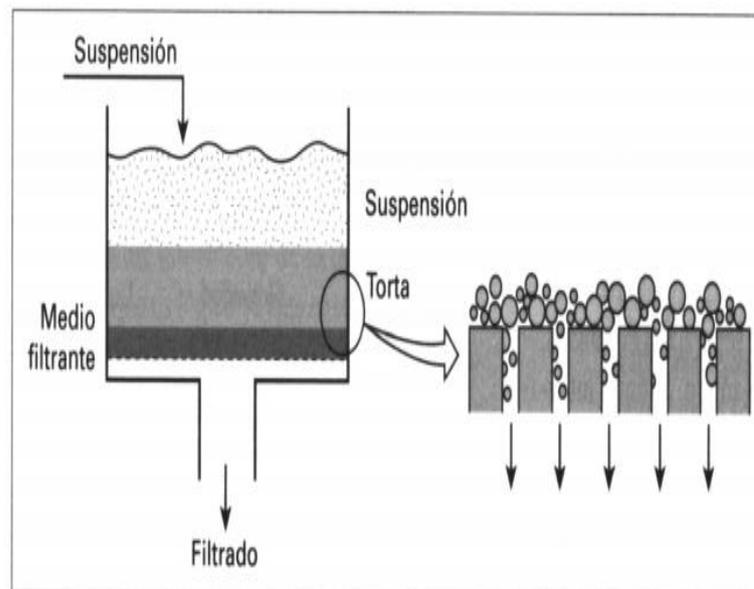
1.3.2 Métodos

Los métodos más empleados para el tratamiento de aguas residuales en la industria textil son: filtración, coagulación y floculación, sedimentación, electrocoagulación, bioadsorción, entre otros.

Uno de los métodos más utilizados para el tratamiento tanto de aguas crudas como residuales es la filtración, la cual ayuda en la remoción del color, turbiedad y olor de dichas aguas.

1.3.2.1 Filtración

Consiste en la retención de sólidos por la acción de un medio filtrante. En la filtración, la fase líquida que pasa a través del medio filtrante (superficie porosa) se la denomina filtrado, mientras que las partículas que se acumulan en una capa sobre la superficie del medio filtrante se la conoce como torta de filtración. (Universidad de Castilla, s/f)



*Figura 4 Esquema de Filtración
(Universidad de Castilla, s/f)*

Medio filtrante: Es uno de los elementos fundamentales ya que es el encargado de separar las partículas sólidas del medio acuoso. Su correcta elección garantiza un buen funcionamiento del proceso.

El tipo de medio filtrante a escoger depende del tipo de sólido que se desea filtrar, teniendo en cuenta las siguientes características:



- Ofrecer mínima resistencia al flujo y tener capacidad de retención de los sólidos.
- Soportar las condiciones del proceso.
- Ser químicamente inertes y no tóxicos.
- Permitir la facilidad del retiro de la torta limpia y completa.
- Tener buena relación de vida útil / costo. (Colina, s/f)

- **Materiales filtrantes**

Los medios filtrantes más empleados son:

Tabla 1 Materiales filtrantes

Tipos de materiales	Ejemplos
Materiales filtrantes sueltos	Algodón, lana de vidrio, pasta de celulosa, grava, sílice, zeolitas.
Materiales porosos	Vidrio fritado, porcelana porosa y sílice.
Tejidos y Membranas	-Fibras de celulosa (Placas, discos, papeles, etc.) -Ésteres de celulosa (Membranas de nitrocelulosa y acetato de celulosa) -Fibra de Vidrio -Fibras sintéticas (Polipropileno, nylon, polisulfona, etc.)

(Buela, s/f)

Además de la remoción de color, turbiedad y olor de las aguas residuales, la reducción de contaminantes como, carbonatos, sólidos totales, cloruros, metales, etc., es muy importante por lo que resulta favorable el método de coagulación y floculación.

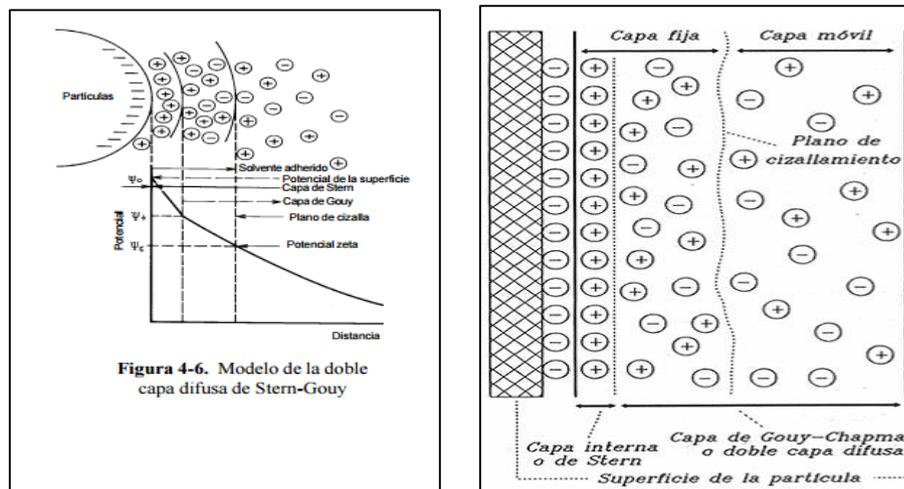
1.3.2.2 Coagulación y floculación

En el agua cruda y residual se encuentran varias especies de coloides como la arcilla, sílice, hierro, metales pesados, sólidos orgánicos, color, entre otros. Éstos necesitan coagularse para tener un tamaño mayor de partícula y por ende mayor rapidez de asentamiento.

Los coloides son suspensiones estables y por eso no sedimentan de forma natural, lo cual provoca turbiedad y color en el agua que los contiene. (Labarces, 2007)

La teoría de la estabilidad de los coloides se conoce como la teoría de la doble capa, la cual está formada por dos regiones:

- La primera región conocida como capa rígida o Stern es más próxima a la superficie, formada por iones firmemente ligados. Como la superficie de la partícula es negativa, hay un cúmulo de iones positivos en la región de interfaz (sólido-liquido) junto con la carga negativa de la partícula.
- La segunda región se denomina capa difusa misma que se forma a partir de la capa rígida. [(Salazar, 2012), (Barrenechea, s/f)]





Las cargas superficiales de la partícula coloidal atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor inmediato.

Como consecuencia de un exceso de cationes en la superficie de la partícula, se genera una diferencia de potencial electrostático, denominado potencial zeta.

La existencia del potencial zeta y de la doble capa impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals entren en acción y agrupen los coloides. (Salazar, 2012)

- **Coagulación**

Es el proceso de formación de partículas mediante la adición de un coagulante y la aplicación de energía de mezclado que desestabiliza las partículas suspendidas. Esto se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse. (Perez & Urrea, 2016).

Es considerado un método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversa naturaleza al menor costo, en comparación con otros métodos.

Los coagulantes más empleados son:

Tabla 2 Tipos de coagulantes

Coagulantes	Descripción	Dosis (g/m³)
Sulfato de Aluminio	- Produce flóculos pequeños. -No se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua.	100 a 300
Sulfato Ferroso	- Se usa junto con la cal o con cloro para llevar a cabo la coagulación efectiva.	200 a 400



Sulfato Férrico	<ul style="list-style-type: none"> - Produce flóculos grandes y densos - Se usa en la precipitación previa como en la precipitación de aguas residuales urbanas o industriales. 	10 a 150
Cloruro Férrico	<ul style="list-style-type: none"> - Se utiliza en aguas residuales. - Alta velocidad de reacción. - Puede dar color y causar precipitación en el agua tratada. - Se suele encontrar de forma líquida en concentraciones al 37% - 47% 	5 a 160

(Rinne, 2000) y (Castillo & Gómez, 2011)

Uno de los factores más importantes en la coagulación es el pH ya que afecta a la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio como también al tiempo de formación del floculo.

Tabla 3 Ph óptimos para diferentes coagulantes

Coagulantes	pH Mínimo	pH Máximo
Sulfato de Aluminio	4	7.8
Sulfato Ferroso	-	8.5
Cloruro Férrico	3.5-6.5	8.5-14
Sulfato Férrico	3.5-7	9

(Labarces, 2007)

- **Floculación**

La floculación es un fenómeno también de carácter físico y químico, que provoca la formación de conglomerados de floculos o partículas a partir de los coágulos formados en el proceso de coagulación.



Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar; es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo éste el principal parámetro.

Una buena floculación depende de la agitación empleada. Una agitación lenta permite la unión de los flóculos mientras que una agitación rápida los rompe. Para mejorar la floculación se suele emplear floculantes, mismos que son polímeros o polielectrolitos de pesos moleculares elevados y que son solubles en agua. (Mayorga , 2014)

Entre los floculantes más empleados se tiene:

Tabla 4 Tipos de floculantes

Floculantes		Descripción
Naturales	Almidones modificados	Tienen un gran peso molecular, forman cadenas largas y pueden tener carga eléctrica.
	Alginatos de sodio	Se utilizan especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas, aunque a veces, también dan buenos resultados con sales de aluminio.
Sintéticos (poli electrolitos)	No iónicos (poliacrilamidas)	Se emplea en soluciones neutras.
	Aniónicos (Polímeros de acrilamida-acrilato)	Su dosis óptima aumenta linealmente con la dosificación de sulfato de alúmina, pero no se modifica el margen de pH óptimo de la coagulación.
	Catiónicos (poliacrilamidas catiónicas y poliaminas)	Se utilizan con coagulantes metálicos.

(Perez & Urrea, 2016)

La coagulación y floculación tiene varias ventajas como:

- Menor tiempo para decantar.
- La operación es simple.
- Se emplean reactivos comunes para la coagulación y/o floculación.
- Posibilidad de aplicación en una gran variedad de matrices.
- Gran adaptación a fluctuaciones de concentraciones de contaminantes contenidos en las aguas a tratar.

Por otro lado, dentro de las desventajas de este método se pueden mencionar la generación de lodos y el costo de equipos y reactivos. (Gobierno de Chile)

• Sedimentación

Se trata de una operación de separación sólido-líquido donde las partículas sólidas de una suspensión, más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad.

Para que la sedimentación sea factible en la práctica, el tamaño de las partículas y su concentración en la suspensión deben tener valores mínimos, del orden de 1-10 micras y 0,2% de sólido en la suspensión.

La diferencia de densidades entre las partículas sólidas y el líquido hace que las partículas sedimenten, depositándose en el fondo y eliminándose en forma de lodos. (Gómez, 2003)

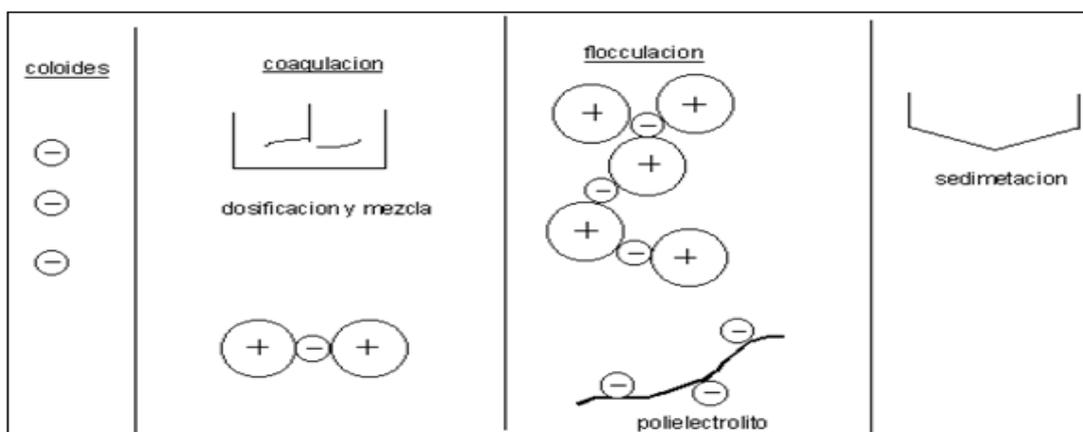


Figura 6 Fenómenos de coagulación, floculación y sedimentación
(Fortunecity 2008)



Para este tipo de ensayos se realiza la prueba de jarras. Esta técnica es muy utilizada a nivel de laboratorios para la determinación de la dosis óptima de coagulante y floculante, para ello se utiliza un equipo denominado “Jar – Test”, el cual está provisto de unidades de tratamiento simultáneas, cada una de las cuales dispone de un agitador de palas normalizado con regulador de velocidad para el mezclado rápido o lento de las etapas de coagulación y floculación respectivamente. Puede o no disponer además de un controlador de tiempos. (Lapeña, 2000)

1.3.2.3 Tratamiento electroquímico de efluentes (electrocoagulación)

Entre los métodos electroquímicos para el tratamiento de aguas residuales están: electro flotación, electrocoagulación y electro decantación, en los cuales se emplean celdas electrolíticas y electrodos por donde se hace circular corriente eléctrica.

De todos los métodos, la electrocoagulación es la de mayor interés para tratamiento de aguas residuales.

La electrocoagulación es un proceso en el cual se utiliza corriente eléctrica misma que es inducida por medio de placas metálicas paralelas que en su mayoría son de hierro o aluminio.

La fuerza electromotriz provocada por la corriente eléctrica da origen a diversas reacciones químicas que desestabilizan las diferentes formas en las que los contaminantes se encuentran presentes.

Los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario.

En la electrocoagulación se da la generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro debido a los electrodos que se utilizan. La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo

hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas. (Arango Ruiz, s/p)

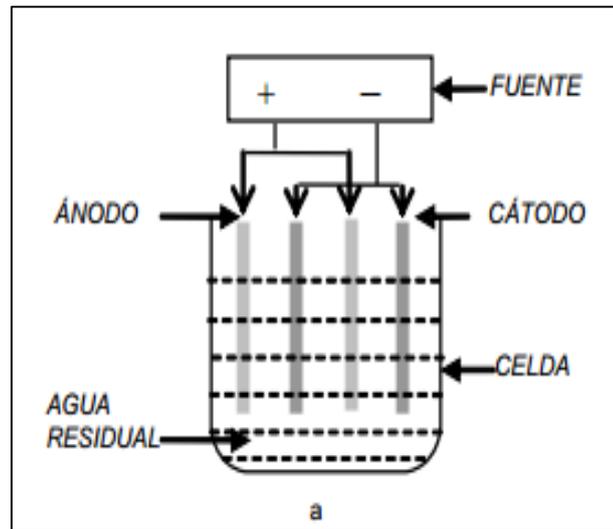


Figura 7 Método de electrocoagulación
(Arango Ruiz, s/p)

1.3.2.4 Bioadsorción

Es una tecnología que representa una alternativa eficiente y de bajo costo a los tratamientos tradicionales en efluentes acuosos, permitiendo la reutilización de residuos procedentes de procesos industriales.

El proceso de bioadsorción involucra una fase sólida (bioadsorbente) y una líquida (solvente) que contiene las especies que serán adsorbidas. El proceso depende de muchas variables de estudio, así se tienen: tamaño de partícula del bioadsorbente, pH, caudal, temperatura, altura del lecho (en caso de columnas de lecho fijo), concentración de sustancias a remover, entre otros. (Pérez, 2013)

La bioadsorción es una técnica que empezó a desarrollarse a principios de los 90. En los últimos años se ha comenzado a utilizar la biomasa muerta o productos derivados de ella, ya que se eliminan muchos problemas relacionados con la toxicidad. Sin embargo, las células vivas pueden presentar una variedad más amplia de mecanismos para la acumulación de contaminantes.

Es una de las tecnologías más prometedoras para eliminar metales tóxicos en el tratamiento de aguas residuales ya que, al tratarse de un proceso con



características únicas, se convierte en una alternativa potencial puesto que es generalmente rápida y resulta muy interesante para la extracción de iones metálicos a bajas concentraciones en grandes volúmenes de agua. El método puede ser llevado a cabo en contenedores de tanque agitado o de flujo continuo, que tienen en común algunas características pero que, en general, difieren bastante entre sí. (Gómez, 2003)

Algunas de las ventajas de la bioadsorción son:

- Los materiales son residuos o subproductos de bajo o ningún costo.
- El proceso es independiente de las limitaciones biológicas de las células vivas.
- No requiere condiciones asépticas.
- El lodo biológico se minimiza.
- Los metales se depositan en un estado químico alterado.

Las desventajas son:

- Las características de los bioadsorbentes no pueden ser biológicamente controladas.
- Se requiere ciclos de adsorción y desorción debido a la saturación que ocurre en la biomasa.
- Rápida saturación.
- Se pueden remover los metales mientras se encuentren en bajas concentraciones. (Pérez, 2013)

1.3.2.5 Otros procesos naturales de purificación

Existen otros procesos que pueden ser de interés, entre ellos se tiene:

- Procesos físicos, dentro de los cuales están la dilución, transferencia de gases, transferencia de calor.
- Procesos químicos de óxido- reducción.
- Procesos bioquímicos donde se sintetizan las sustancias contaminantes y pasan a ser alimento de microorganismos. (Gómez, 2003)



CAPÍTULO II

INDUSTRIA DE LAVADO TEXTIL

2.1 Generalidades

Por años, las prendas jeans se han convertido en uno de los productos mas comprados en el mundo, ya que actualmente existe mucha variedad de diseños con los que se ha llegado abarcar gran parte del mercado textil. Debido a la exigencia del mercado por nuevos y novedosos productos de calidad, día a día se implementan más mecanismos de producción con el fin de satisfacer las necesidades del cliente y poder conseguir un mejor acabado en las prendas.

El diseño y acabado de las prendas depende de los diferentes procesos de lavado que se realizan en este tipo de industria, según las especificaciones que el cliente requiere y con previos análisis de calidad de la tela. La combinación de procesos genera más de cien posibles acabados que de cierta forma cumplen con las expectativas del mercado y del cliente. (Rosnel, 2014)

Las lavadoras industriales y artesanales se dedican principalmente al lavado y teñido de telas jeans, en donde los diferentes procesos que son llevados a cabo requieren del empleo de sustancias químicas sumamente complejas. (Medina, 2015)

2.2 Descripción de la empresa

“Lavadora Textil RV” es una empresa artesanal ubicada en el sector Guzho (Calvario y Autopista Panamericana – Circunvalación Sur). El servicio que realiza esta empresa artesanal es el lavado y acabado de jeans, como: tinturados, manchados, aspecto de envejecimiento, reducción de color, blanqueo, entre otros, que contribuyen al diseño y aspecto de cada prenda según la orden del cliente.



Figura 8 Lavadora textil

2.2.1 Procesos

Los procesos que se llevan a cabo en la lavadora son:

- **Desengomado**

Este proceso ayuda a remover y eliminar agentes engomantes y otros productos que han sido aplicados al hilo de urdimbre.

- **Stone**

Es un proceso que consiste en reducir la tonalidad del color en los jeans, dejando puntos más blancos en la superficie de manera aleatoria. Según el tipo de stone se utilizan diferentes cantidades de reactivos y sustancias. (Medina, 2015)

Tabla 5 Reactivos y sustancias empleadas en los diferentes stones

Tipos de Stone	Reactivos y Sustancias
Stone 1 – Stone 1 ½	Enzima ácida, Meta bisulfito de sodio, Detergente, Brillo y Suavizante
Stone 2 - Stone 2 ½ - Stone 3	Enzima, Sosa, Dextrosa, Ácido acético, Detergente, Brillo y Suavizante.



- **Blanqueo**

Es una operación de decoloración de la prenda en donde las fibras de celulosa se blanquean casi exclusivamente por métodos oxidativos. Para ello se utilizan el peróxido de hidrógeno y también el hipoclorito o clorito de sodio. (Medina, 2015)

- **Suavizado**

Es un proceso con el que se logra suavizar la textura de la prenda mediante la utilización de agentes que brindan dicha característica.

- **Centrifugado**

El objetivo de este proceso es la eliminación del agua de las prendas por medio de máquinas centrifugadoras.

- **Secado**

Luego del proceso de centrifugado, el secado permite eliminar toda la humedad restante de las prendas. Además en este proceso se suele rociar silicona con el objetivo de dar brillo a las prendas.

- **Neutralizado**

Elimina los productos utilizados en el blanqueo y otros procesos, como por ejemplo las sales alcalinas, con el fin de evitar problemas relacionados con la calidad, apariencia y resistencia de la tela. (Medina, 2015)

- **Negro sulfuroso**

Este proceso es empleado en telas de celulosa para conseguir tonos oscuros, utilizando reactivos y sustancias como: humectantes, sulfuro de sodio, negro sulfuroso, carbonato de sodio, sal industrial, ácido acético y suavizante.

- **Teñido**

Existen diferentes métodos de teñido y esto se debe a la variedad de tintes o colorantes, así se tienen:

- Colorantes Reactivos



- Colorantes Tina
- Colorantes Directos
- Colorantes Azoicos
- Colorantes con Cromo
- Colorantes Pre - metalizados
- Colorantes Dispersos

Se hace énfasis en el teñido con colorantes reactivos, debido a que la lavadora artesanal “Textil RV” utiliza dichos colorantes para el proceso en cuestión.

Los colorantes reactivos tienen grupos químicos que se unen por enlace covalente a la tela, en donde estos grupos (pirimidina, triazina o sulfonas) experimentan una reacción con los grupos hidróxilos de la celulosa por sustitución o adición nucleofílica.

El teñido se debe realizar dentro de un rango de pH comprendido entre 9,5 y 11. Para ello se emplean reactivos como el Carbonato de Sodio o el Hidróxido de Sodio.

Generalmente, un 40% del colorante puede hidrolizarse con el agua y el resto se vuelve inerte, dado el caso se emplea sal industrial para aumentar la liberación del colorante durante el proceso. (Walters, 2015)

El proceso de teñido en la lavadora “Textil RV” se da de la siguiente manera:

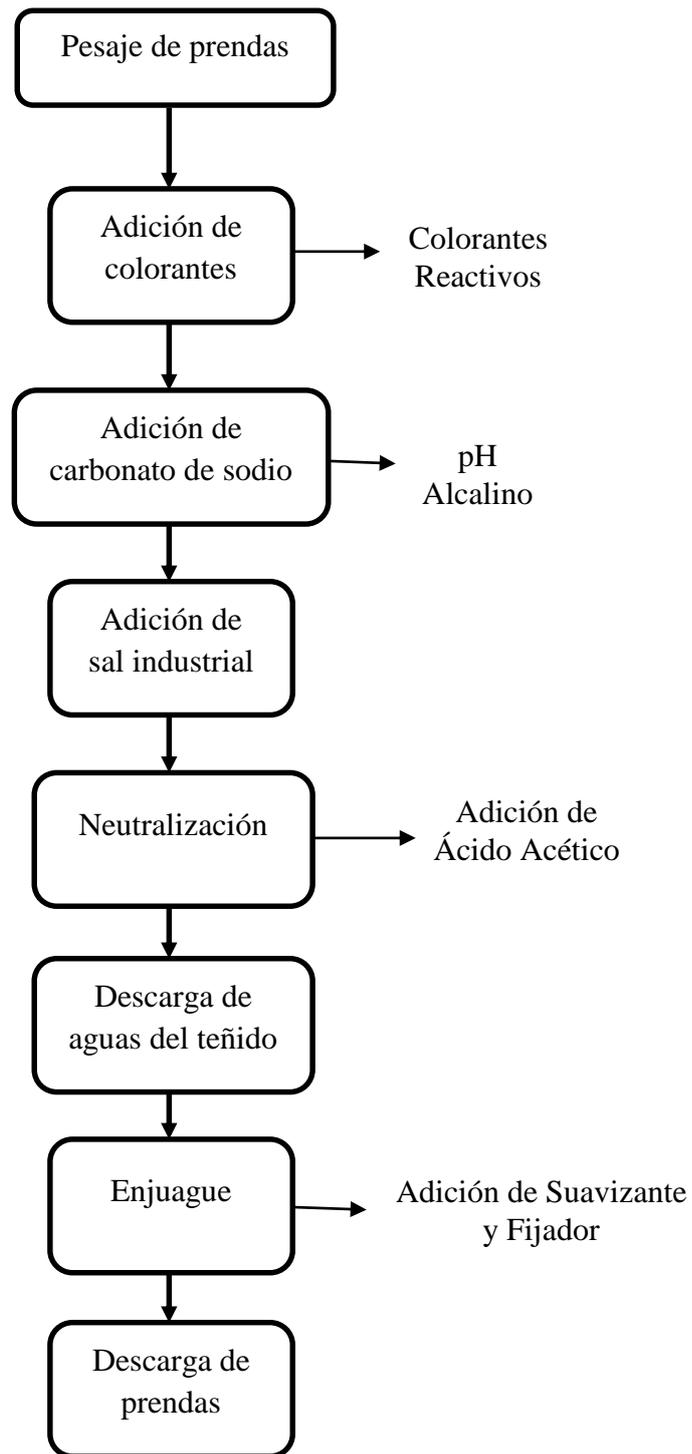


Figura 9 Diagrama del proceso de teñido en lavadora textil



- **Fijación**

Consiste en la aplicación de productos químicos después del proceso de teñido con el objetivo principal de mejorar la resistencia del color frente a los efectos de lavados y la luz. (Walters, 2015)

2.2.2 Equipos empleados

- **Caldero o caldereta**

Son empleados para calentar el agua que ingresa a las lavadoras (máquinas) para la realización de los diferentes procesos.

- **Lavadoras**

En estos equipos se realizan cada uno de los procesos antes mencionados. Deben ser de acero inoxidable para resistir a la acción corrosiva de los reactivos.

- **Centrifugadora**

El objetivo principal de este equipo es la eliminación del agua de las prendas y así facilitar la operación del secado.

- **Secadoras**

Estos equipos se encargan de eliminar totalmente el agua y la humedad contenida en las prendas que una vez secas, pueden ser despachadas.



CAPÍTULO III

PROCESO DE TEÑIDO

3.1 Parámetros de calidad del agua

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas que deben tomarse en cuenta para precautelar el buen manejo, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de este tipo de aguas y con ello minimizar los efectos adversos de su vertimiento a otras aguas naturales o al suelo, obteniendo así un mejor manejo ambiental de la calidad del agua.

Para analizar las características del efluente de estudio es necesario conocer cuáles son los reactivos empleados como materia prima en el proceso de teñido así como la disponibilidad de equipos, materiales y reactivos para los análisis físico - químicos. Por último, es indispensable conocer las especificaciones detalladas en el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundario del Ministerio del Ambiente), para tomar en cuenta la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua.

Además, los parámetros de calidad sirven como indicador para conocer el grado de contaminación del efluente en condiciones normales de trabajo y en base a ello plantear el respectivo tratamiento.

3.2 Toma de muestras

Las muestras se tomaron en tres puntos diferentes:

- Tanque de almacenamiento del agua de río que ingresa a los diferentes procesos.
- Canal de descarga directa del efluente del proceso de teñido.
- Tanque de recepción donde se reúnen los efluentes de todos los procesos.

Nota: Con fines comparativos, se analiza el comportamiento del efluente del proceso de teñido (efluente de interés) con respecto a los demás puntos donde se toman las muestras.



Figura 10 (a) Tanque de almacenamiento de agua de río (b) Efluente del proceso de teñido (c) Tanque de descarga de los efluentes de todos los procesos

3.3 Análisis físico – químico

3.3.1 Parámetros físicos

- **Análisis de conductividad**

La conductividad permite determinar la concentración de iones, lo que lleva a tener una idea del contenido de sólidos disueltos presentes en el agua. Según la norma NTE INEN 2169 el análisis debe realizarse en un lapso de tiempo máximo de 24 horas con la muestra refrigerada a 4 °C.

Los valores detectados en cada una de las muestras son los siguientes:



Tabla 6 Datos de conductividad

Muestras	Valor de conductividad (umhos)
Toma de Río	40
Descarga del Proceso de Teñido	100
Descarga de todos los procesos	7000

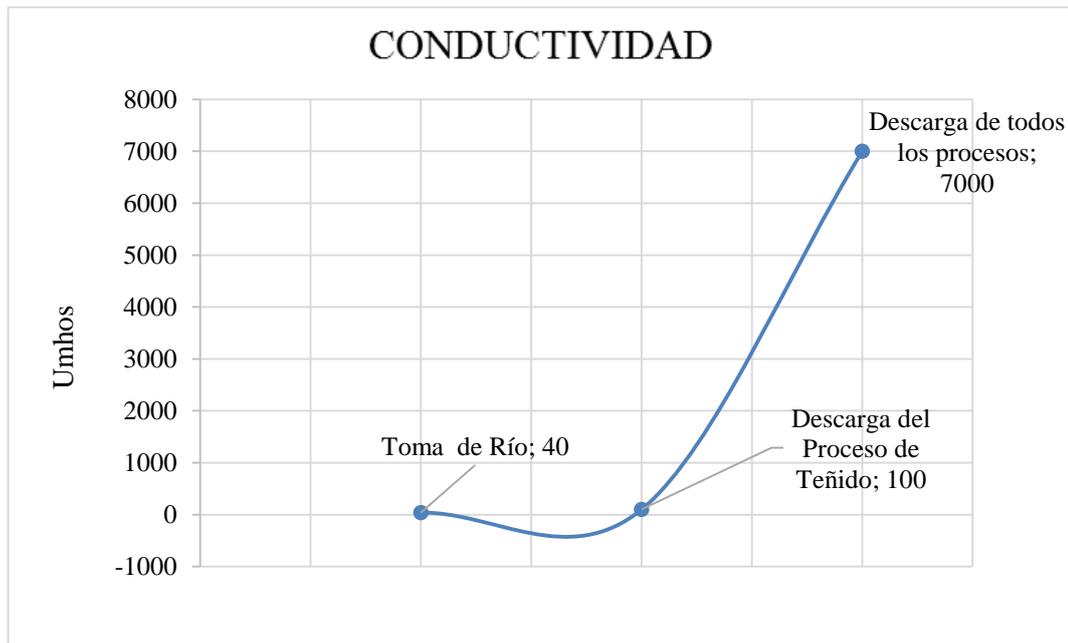


Figura 11 Esquema de la conductividad de las muestras

En la figura se observa que el agua va adquiriendo mayor cantidad de sales disueltas en el transcurso del proceso de teñido. El contenido de estas sales es mucho mayor una vez que llega al tanque donde se reúnen los efluentes de todos los procesos.

- **Análisis de turbiedad**

Este ensayo permite medir el efecto de los sólidos suspendidos en el agua. Según la norma NTE INEN 2169 el análisis debe realizarse dentro de un lapso de 24 horas y el método empleado se basa en la norma NTE INEN 971.

Tabla 7 Datos de turbiedad

Muestras	Valor de Turbiedad (NTU)
Toma de Rio	9,61
Descarga del Proceso de Teñido	44,1
Descarga de todos los procesos	89,6

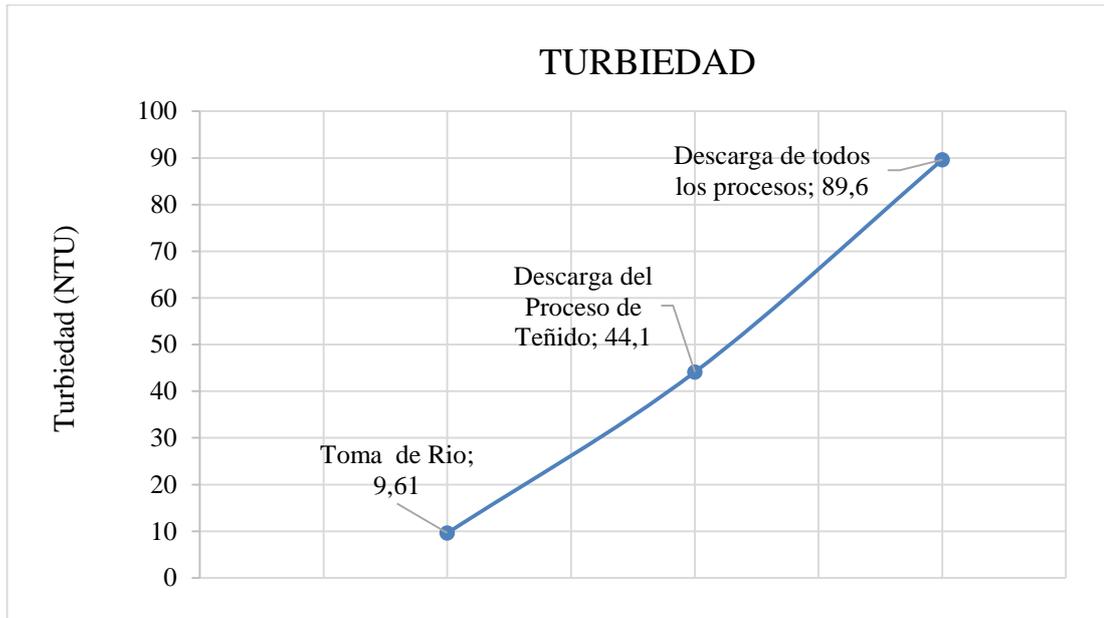


Figura 12 Esquema de la turbiedad de las muestras

La turbiedad del agua aumenta conforme se realiza el proceso de teñido, siendo mayor en la descarga total. Cabe recalcar que ésta no es una medida directa, puesto que la turbiedad es también función de la forma y características de la superficie del material suspendido.

- **Análisis de color**

El color es un parámetro que ayuda a determinar si se trata de aguas contaminadas. Para el análisis se utiliza el colorímetro y la metodología se basa en la norma NTE INEN 970.

Tabla 8 Datos de color

Muestra	Valor de Color (UC)
Toma de Río	60
Descarga del Proceso de Teñido	40000
Descarga de todos los procesos	300

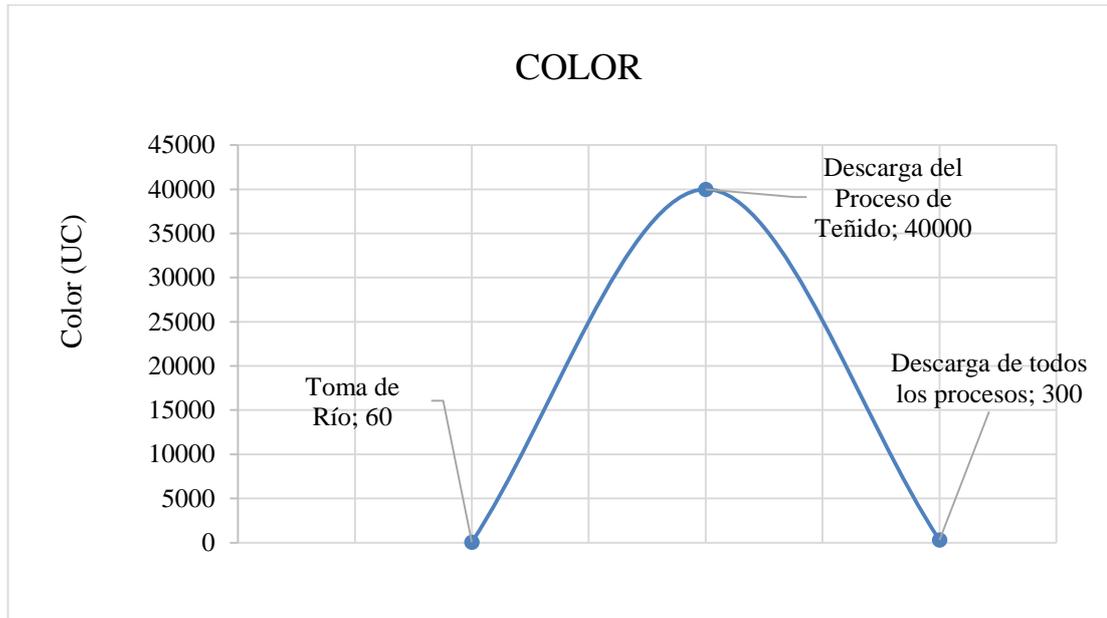


Figura 13 Esquema del parámetro de color en las muestras

Las unidades de color del agua del proceso de teñido es mayor que las aguas de descarga total y la de río, esto se debe a que el agua del proceso de teñido contiene colorantes reactivos que son solubles en ella y en cierta parte no logran fijarse en la prenda. Por lo tanto al realizar la descarga del efluente del proceso de teñido, tiene una gran cantidad de color, pero al llegar a la descarga total éste disminuye debido a que se mezcla con los efluentes de los demás procesos.

- **Sólidos totales y suspendidos**

Los sólidos totales indican contenidos de sólidos suspendidos y disueltos en el agua, mientras que los sólidos en suspensión indican el material que se



encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas. (Rodier, s/f)

Tabla 9 Datos de sólidos totales y suspendidos

Muestra	Sólidos (mg/L)	
	Totales	Suspendidos
Toma de Río	202	68
Descarga del Proceso de Teñido	57368	1964
Descarga de todos los procesos	3128	130

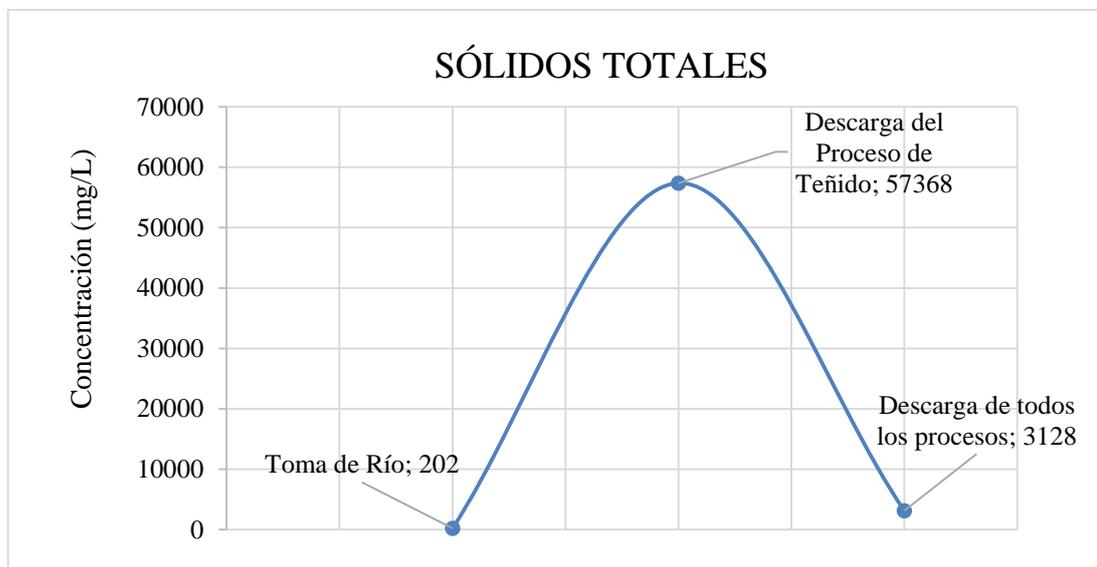


Figura 14 Esquema de sólidos totales presentes en las muestras



Figura 15 Esquema de sólidos suspendidos presentes en las muestras

Se puede observar que el agua adquiere más sólidos totales y suspendidos en el proceso de teñido. Al llegar a la descarga total, el contenido de sólidos disminuye considerablemente ya que se mezcla con las descargas de los demás procesos.

3.3.2 Parámetros químicos

- **Análisis de pH**

En las aguas residuales el valor del pH define si las condiciones de éstas son ácidas o básicas. El análisis es aplicado en base a la norma NTE INEN 973 y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 10 Datos del valor de pH

Muestra	Valor de pH
Toma de Río	5,65
Descarga del Proceso	9,79
Descarga Total	9,39

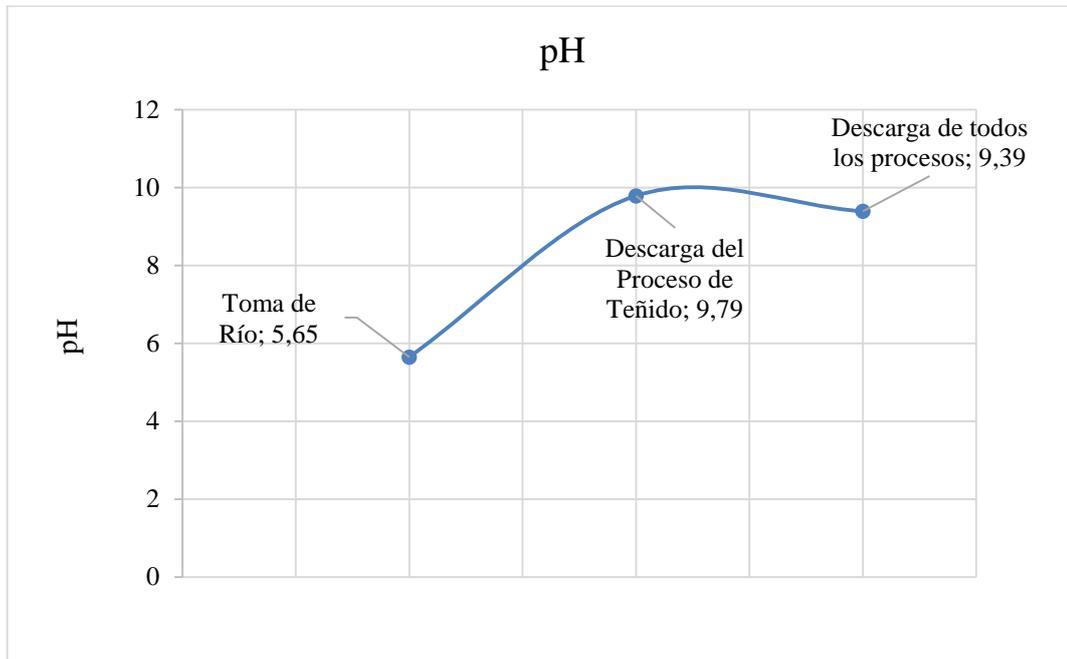


Figura 16 Esquema del valor de pH en las muestras

El pH del proceso de teñido es mayor que el de la descarga total y la del agua de río, este valor es básico y es una característica que puede afectar la calidad de la tela.

- **Acidez y alcalinidad**

La acidez y alcalinidad son la capacidad de reaccionar con iones OH^- e H^+ o neutralizar bases y ácidos respectivamente. La determinación de acidez y alcalinidad según la norma NTE INEN 2169 se debe realizar en un período máximo de 24 horas.

Tabla 11 Datos de acidez y alcalinidad

Muestra	Acidez (mg/L CaCO_3)	Alcalinidad (mg/L CaCO_3)
Toma de Río	3,15	112,45
Descarga del Proceso de Teñido	0	46800
Descarga de todos los procesos	0	557,05

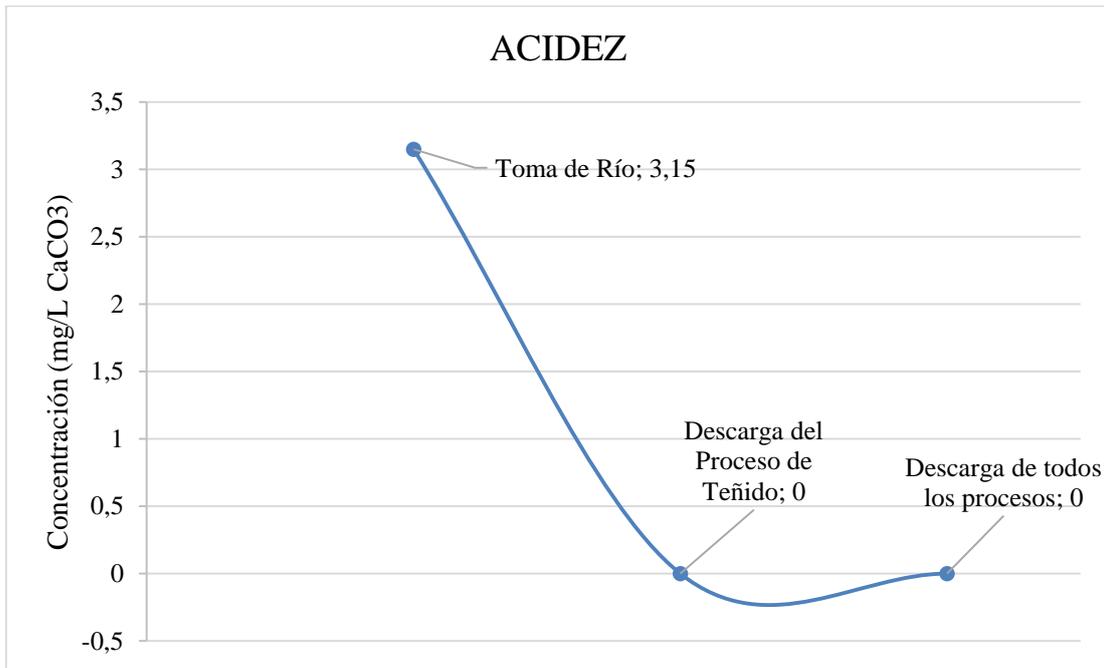


Figura 17 Esquema del valor de acidez en las muestras



Figura 18 Esquema del valor de alcalinidad en las muestras

No hay presencia de acidez en el agua de descarga del proceso de teñido, mientras que la alcalinidad tiene un elevado valor debido a la gran concentración de sales básicas utilizadas en el proceso.

- **Dureza**

Permite conocer la concentración de calcio y magnesio presente en el agua. El ensayo tiene que realizarse dentro de 24 horas según la norma NTE INEN 2169 y su método se basa en las normas NTE INEN 974 para dureza total y NTE INEN 1107 para dureza cálcica.

Tabla 12 Datos de dureza total, cálcica y magnésica

Muestra	Dureza (CaCO_3 mg/L)		
	Total	Cálcica	Magnésica
Toma de Río	33,17	20,49	12,68
Descarga del Proceso de Teñido	9755	2926,5	6828,5
Descarga de todos los procesos	136,57	122,91	13,66

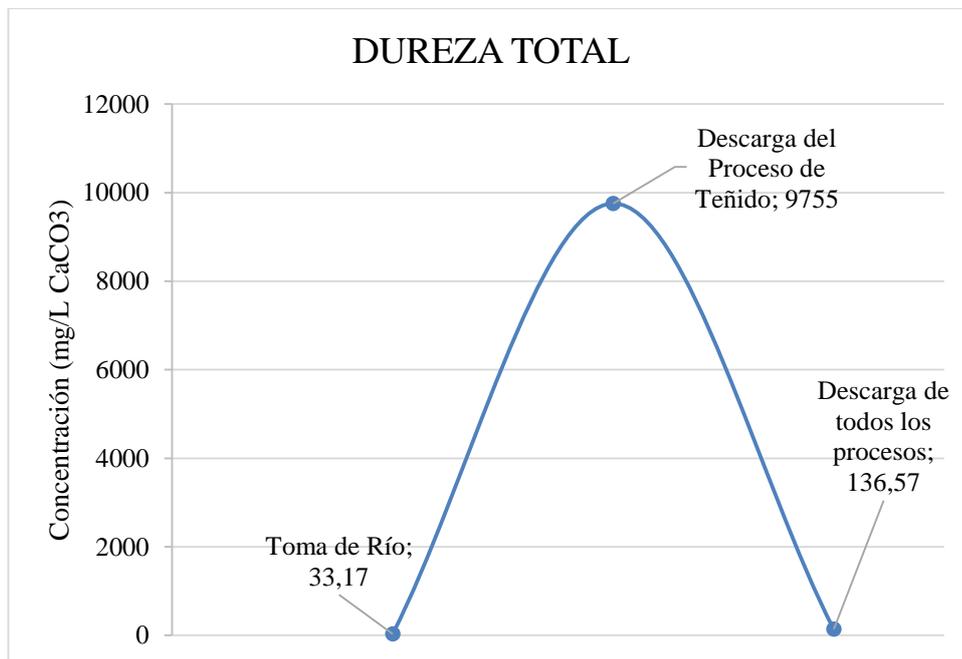


Figura 19 Esquema del valor de dureza total de las muestras

El agua adquiere el valor más alto de dureza total en el proceso de teñido, lo mismo ocurre con la dureza cálcica y magnésica.



- **Cloruros**

La presencia elevada de cloruros en el agua, provoca daños en las diversas estructuras metálicas de los equipos en donde ésta se utiliza. El ensayo debe realizarse dentro de un tiempo límite de 1 mes según la norma NTE INEN 2169 y el método se basa en la norma NTE INEN 976.

Tabla 13 Datos de la concentración de cloruros

Muestra	Cloruros (mg/L Cl⁻)
Toma de Río	3,73
Descarga del Proceso de Teñido	52185
Descarga de todos los procesos	2732,26

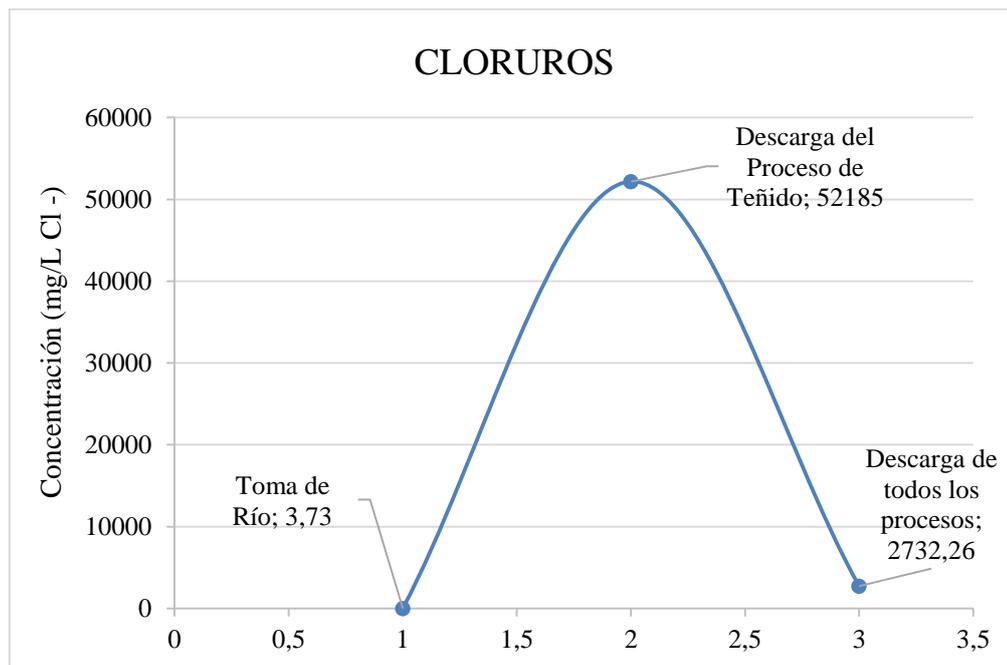


Figura 20 Esquema de la presencia de cloruros en las muestras

El contenido de cloruros en el proceso de teñido resulta ser el mayor, pues se utiliza gran cantidad de sal industrial.



- **Determinación de cationes Na⁺, Ca⁺⁺, Cd⁺⁺ y Pb⁺⁺**

La determinación de metales se realiza mediante el método espectrométrico de absorción atómica. Se basa en la norma NTE INEN-ISO 7980 para calcio y NTE INEN ISO 5961 para cadmio. Se obtienen las siguientes concentraciones:

Tabla 14 Datos de la concentración de cationes

Muestra	Concentración (ppm)			
	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Cd ⁺⁺	Pb ⁺⁺
Toma de Río	15,56	1,198	0	0
Descarga del Proceso de Teñido	9780	8,74	0,01	0,01
Descarga de todos los procesos	1554	6,03	0	0

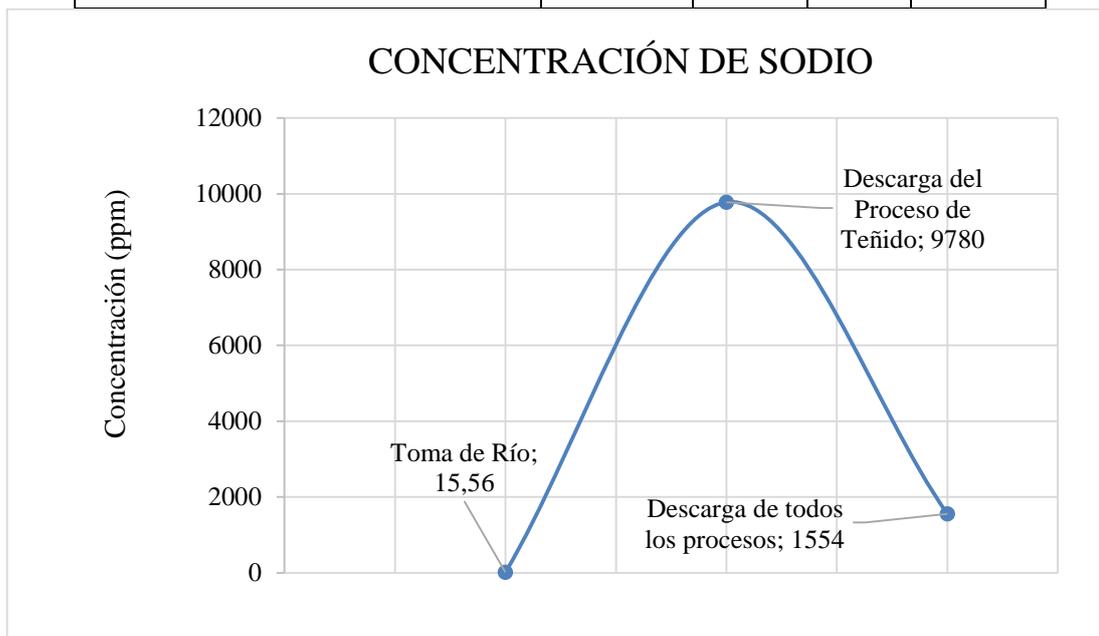


Figura 21 Esquema de la concentración de sodio en las muestras

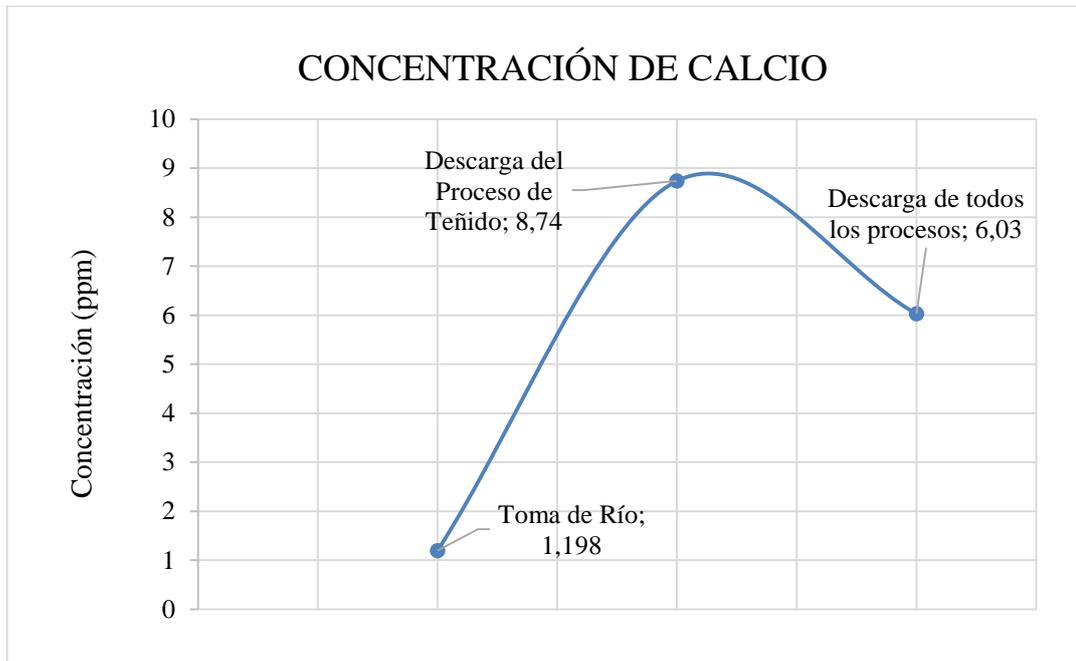


Figura 22 Esquema de la concentración de calcio en las muestras

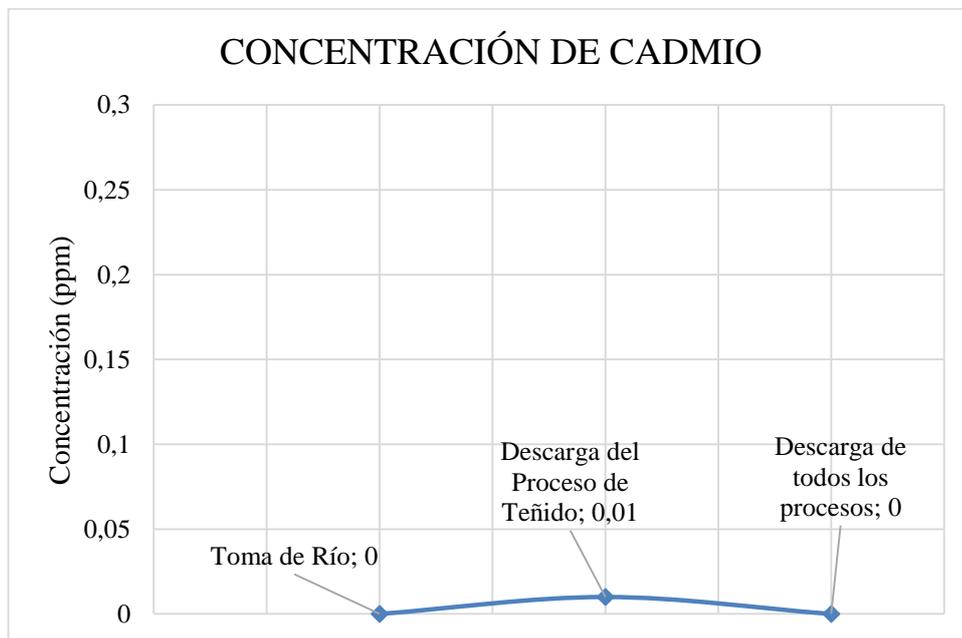


Figura 23 Esquema de la concentración de cadmio en las muestras.

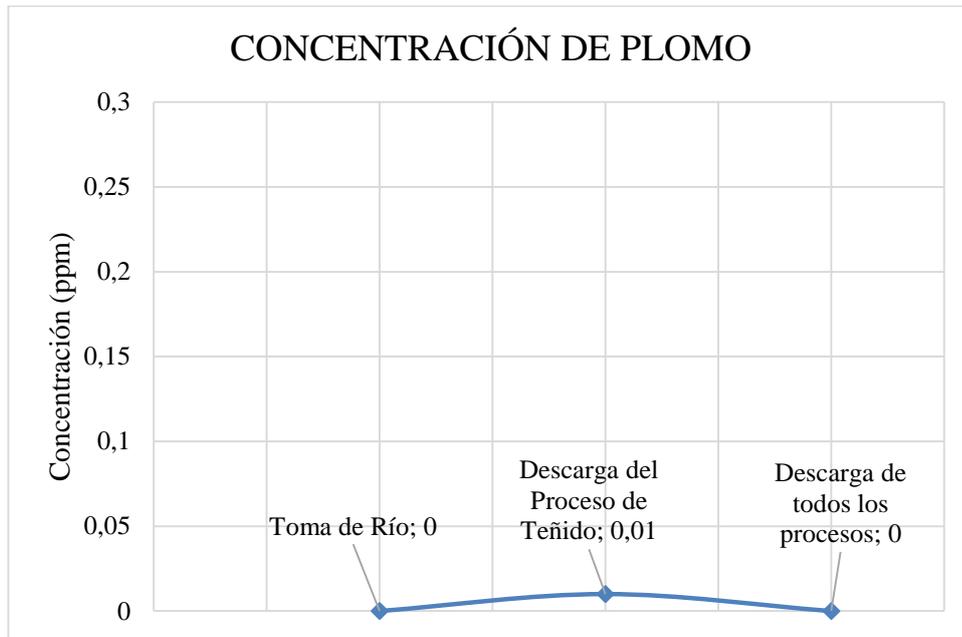


Figura 24 Esquema de la concentración de plomo en las muestras.

El contenido de sodio y calcio aumenta en el proceso de teñido debido a que se utilizan sales como carbonato de sodio y cloruro de sodio para mantener un pH alcalino, el valor disminuye cuando el efluente se une con la descarga total.

Se detecta la presencia de pequeñas cantidades de plomo y cadmio en el agua de descarga del proceso de teñido, que están bajo los límites permisibles que expone el TULSMA.

3.4 Análisis de datos

Según el TULSMA Libro VI Anexo 1 “se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Así se tiene:

- Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc.



- Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.
- Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- Fosgeno, cianuro, ácido hidrónico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas”.

Comparando los datos obtenidos de las muestras con los límites permisibles de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado según el TULSMA, se tiene:

Tabla 15 Comparación de datos con límites permisibles del TULSMA

Parámetro	Proceso de teñido	Límites permisibles
Conductividad (umhos)	100	---
Turbiedad (NTU)	44,1	---
Color (UC)	40000	---
Sólidos Totales (mg/l)	57368	1600
Sólidos suspendidos (mg/l)	1964	220
pH	9,79	5-9
Acidez (mg/L CaCO₃)	0	0



Alcalinidad contenido de Carbonatos (mg/L CaCO₃)	46800	0,1
Dureza total (mg/L CaCO₃)	9755	---
Cloruros (mg/L Cl⁻)	52185	---
Sodio (ppm)	9780	---
Calcio (ppm)	8,74	---
Cadmio (ppm)	0,01	0,02
Plomo (ppm)	0,01	0,5

Los datos de los análisis del agua de descarga del proceso de teñido son superiores a los límites permitidos por el TULSMA para los parámetros, sólidos totales, sólidos suspendidos, pH y alcalinidad. Por ello se debe disminuir su concentración para que posteriormente el agua pueda ser descargada a través del alcantarillado.

Además de ello, cabe mencionar que la empresa utiliza un caldero que puede verse afectado en su tiempo de vida útil, puesto que según las especificaciones que se observan en la *Tabla 16*, las características del agua de río que ingresa al caldero no son favorables, es muy dura y posee un pH ácido bajo.



Tabla 16 Parámetros de referencia de la calidad del agua para calderos

Parámetros	Agua de Río (mg /L)	Índices de calidad de agua para caldero (mg /L)
Carbonatos	117	200 - 1000
Dureza Total	33,17	0 - 5
pH	5,65	10.5 – 11.5

(Universidad de Cuenca, 2015)

Por esta razón es importante que el agua sea previamente tratada con la finalidad de mejorar las condiciones de pH y dureza.



CAPÍTULO IV

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

4.1 Breve descripción

En base a los diferentes tratamientos detallados en el marco teórico, la elección del prototipo se enfoca en varios factores:

- Bajo costo de los materiales empleados para su construcción en comparación con la electrocoagulación donde el costo de los electrodos o placas metálicas es elevado.
- Fácil adquisición de materiales y reactivos.
- Mayor información bibliográfica sobre procesos de coagulación, floculación y sedimentación para el tratamiento de aguas con colorantes reactivos emplados en la industria textil.
- Fácil operación.
- Se lo puede implementar en la empresa textil RV ya que el caudal a tratar es de 150 litros y el proceso del teñido no se lleva a cabo muy seguido, mientras que otros métodos como la bioadsorción no resulta factible ya que aún sigue siendo estudiado a nivel de laboratorio.

Todos estos factores influyen en la elección, diseño y construcción del prototipo, el cual se basa en dos etapas como se observa en la **Figura 25**, cuyo objetivo principal es reducir los contaminantes del efluente del proceso de teñido.

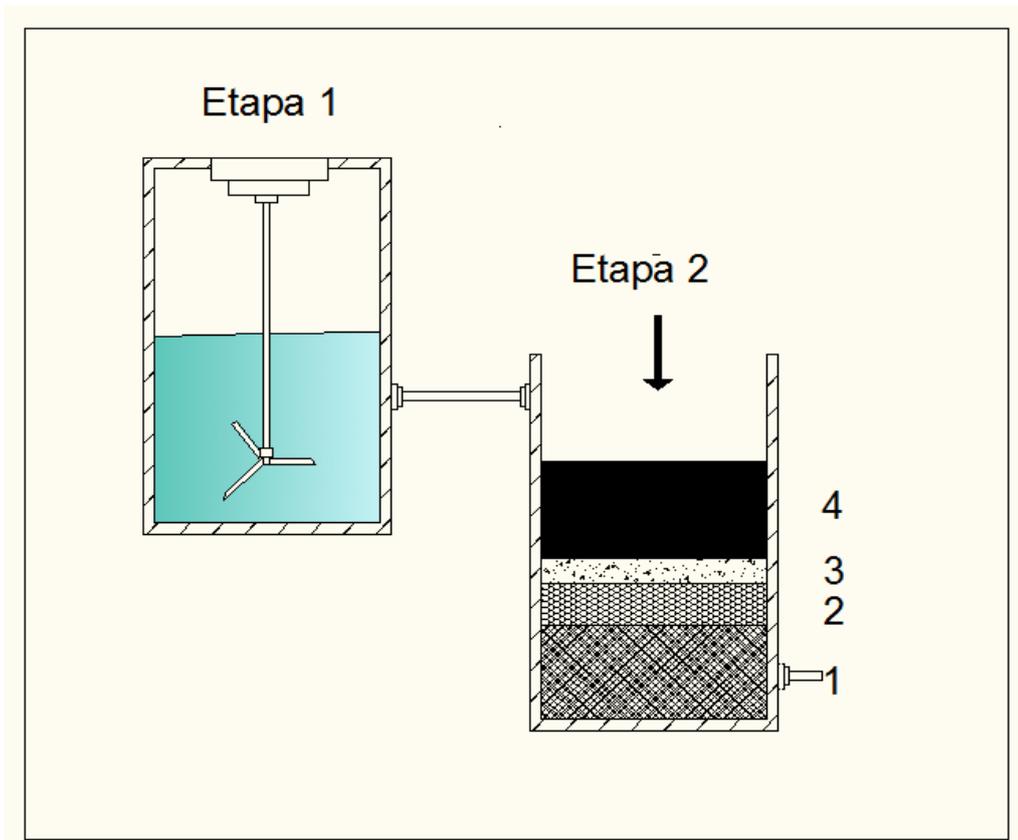


Figura 25 Esquema del prototipo

En la primera etapa del sistema se llevan a cabo los procesos de coagulación, floculación y sedimentación, con la finalidad de disminuir pH, carbonatos, dureza, alcalinidad, cloruros, metales (sodio y calcio), color, turbiedad, sólidos totales y suspendidos.

La segunda etapa consta de un filtro, cuyo objetivo es disminuir el color, turbiedad y olor del agua, que pueden no haberse reducido de manera significativa en la primera etapa.

El filtro está compuesto por 4 capas de diferentes materiales, éstas son:

- 1 Grava gruesa
- 2 Grava
- 3 Arena Fina
- 4 Carbón Activado



4.2 Construcción del prototipo

Para la construcción del prototipo se utilizan varios materiales, sustancias y reactivos mismos que son seleccionados al considerarse ciertos factores como:

- Costo
- Condiciones del efluente a tratar
- Volumen del efluente a tratar

4.2.1 Especificaciones de los materiales y reactivos empleados

Los materiales empleados en el prototipo para el tratamiento de 2 litros del efluente proveniente del proceso de teñido, son los siguientes:

Tabla 17 Materiales empleados en el prototipo

Cant.	Materiales	Especificaciones	Función:
2	Recipientes	-Polipropileno de baja densidad. - Altura =22 cm - Radio = 7,4 cm	En ellos se lleva a cabo la primera y segunda etapa del proceso.
1	Tubería	- Manguera de PVC	Conecta los dos recipientes y permite la circulación del agua dentro del sistema.
1	Válvula	-Tipo Ballo top – ¼ - Modelo RF-100	Controla el flujo de entrada hacia la segunda etapa.
2	Adaptadores	-Tipo racor recto QS- ¼-8 CH.	Permite conectar y desconectar la tubería al desarmar el sistema.
1	Agitador	- Acero inoxidable. - Dos aspas planas	Realiza la función de mezclado entre el coagulante y el agua en la primera etapa del proceso.



1	Motor	-Motor de corriente continua.	Permite el funcionamiento del agitador.
1	Adaptador variable	- Marca AC-ADAPTOR - Modelo GEA500J - Entrada AC110 60 Hz - 2 Sentidos de giro -Variación de Voltaje de 1.5 a 12 V	Permite el movimiento del motor con giros a diferentes revoluciones.
1	Base	- Material de Hierro	Se dispone de tal manera que el agua que sale de la primera etapa caiga por acción de la gravedad y reciba el siguiente tratamiento.
1	Extención	-Aplicado a corriente de 110 V	Sirve de conexión para abastecer de energía al sistema.
1	Interruptor	- Sencillo	Permite el encendido y apagado del equipo.
1	Lata de pintura	-Color plata -Spray	Mejora la apariencia estética de la base.

Los reactivos que se emplean en la primera etapa (coagulación, floculación y sedimentación) son:

Tabla 18 Reactivos empleados en el prototipo

Reactivos	Solución
Cloruro férrico	40 % P/V
Polímero	0.2 % P/V



Para el filtro que se implementa en la segunda etapa del sistema, se dispone de la utilización de 4 capas de material, a los cuales se les realiza un lavado y secado previo, excepto al carbón activado. Se tienen las siguientes especificaciones:

Tabla 19 Materiales y reactivos del filtro

Material y reactivos	Altura del lecho	Volumen (cm³)	Cant (g)	Granulometría
Carbón activado	1 cm	172,03	223,63	50-150 um
Arena fina	5 cm	860,15	1290,22	0,2-0,5 mm
Grava	4 cm	688.12	1370,87	10 mm
Grava gruesa y piedras	7 cm	1204,21	1512	>20 mm

4.2.2 Dosis óptima de coagulante y floculante

Para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante se realizan ensayos mediante prueba de jarras.

Tabla 20 Especificaciones del equipo de prueba de jarras

Especificaciones del equipo de Prueba de Jarras	
Marca	ORBECO HELLIGE
Modelo	ET 740
Capacidad Máxima	4 litros

Procedimiento:

- Disponer de 4 vasos de precipitación de 1000 ml de capacidad, mismos que deben estar previamente lavados y secados.

- Colocar 500 ml del agua a tratar (bien homogenizada) en cada uno de los vasos.
- Añadir el coagulante (cloruro férrico) y homogenizar la mezcla mediante una agitación rápida (100 rpm) durante 1 minuto.
- Añadir el floculante (polielectrolito) manteniendo la agitación rápida por 1 minuto, seguido de una agitación lenta (20 rpm) durante 15 minutos.
- Después del tiempo de agitación lenta, retirar los agitadores y dejar reposar la mezcla por 30 minutos, de manera que los flóculos formados sedimenten.



Figura 26 Equipo para prueba de jarras

En este equipo se llevaron a cabo 24 ensayos que se detallan a continuación:

Tabla 21 Experimentos de prueba de jarras

Número de ensayo	Dosis FeCl₃	Polielectrolito	pH de trabajo
1	2 ml	0 ml	10,14
2	4 ml	0 ml	10,14



3	6 ml	0 ml	10,14
4	8 ml	0 ml	10,14
5	10 ml	0 ml	10,14
6	12 ml	0 ml	10,14
7	4 ml	0 ml	7,13
8	6 ml	0 ml	7,13
9	8 ml	0 ml	7,13
10	10 ml	0 ml	7,13
11	4 ml	2 ml	7,13
12	6 ml	2 ml	7,13
13	8 ml	2 ml	7,13
14	10 ml	2 ml	7,13
15	8 ml	1 ml	7,01
16	8 ml	3 ml	7,01
17	8 ml	4 ml	7,01
18	8 ml	1 ml	7,09
19	8 ml	1 ml	7,09
20	8 ml	1 ml	7,09



21	8 ml	1ml	7,15
22	8 ml	1ml	7,15
23	8 ml	1 ml	7,15
24	8 ml	1 ml	7,15

El ensayo que presentó el mejor resultado se obtuvo con una modificación del pH, de esta manera, la dosis óptima es de 8 ml de coagulante y 1 ml de polielectrolito (floculante).

- **Cálculo de la dosis óptima a ser utilizada en el prototipo**

Como punto de partida se emplea la dosis óptima que se obtuvo en la prueba de jarras, así se tiene:

Dosis óptima FeCl ₃	Cant. De agua
8 ml	500 ml
X	2000 ml
$X = 32 \text{ ml}$	

Dosis óptima Polielectrolito	Cant. De agua
1 ml	500 ml
X	2000 ml
$X = 4 \text{ ml}$	

La dosis óptima para el prototipo es: 32 ml de cloruro férrico y 4 ml de polielectrolito para el tratamiento de 2 litros de agua.



4.3 Funcionamiento del prototipo

Para su funcionamiento se emplearon 2 litros del efluente del proceso de teñido de la empresa, mismo que pasa por las dos etapas del prototipo. Éstas últimas, se detallan a continuación.

4.3.1 Coagulación, floculación y sedimentación

El agua ingresa al primer tanque en donde se realiza una agitación durante 1 minuto para su correcta homogenización, seguidamente se adiciona el coagulante, el cual debe ser agitado a una velocidad rápida para después añadir el floculante manteniendo la misma velocidad de agitación y lograr que se disperse uniformemente por todo el tanque; finalmente se disminuye la velocidad de agitación para ayudar a la formación de los flóculos.

Tabla 22 Condiciones de trabajo del prototipo

Parámetro	Velocidad de agitación	Tiempo de agitación
Adición de FeCl ₃	90 rpm	1 min
Adición del Polímero	90 rpm	1 min
Formación del Flóculo	20 rpm	15 min

Una vez que se termina el tiempo de agitación se deja reposar la mezcla para que los flóculos formados se sedimenten y el agua pase a la siguiente etapa del proceso.

Cabe notar que el tiempo que toma las partículas en sedimentar es de 25 minutos aproximadamente.



4.3.2 Filtro

Al ingresar el agua a la segunda etapa, ésta entra en contacto con las diferentes capas del filtro, las cuales cumplen con la función de retener el resto de partículas flotantes que pudieran permanecer en la misma, incluso después de haber recibido el primer tratamiento.

- La primera capa que entra en contacto con el agua es el carbón activado, provocando un fenómeno de adsorción, en donde las partículas del carbón son capaces de atraer ciertas moléculas presentes en el agua como sustancias cloradas (Cl), color y olor logrando su disminución, además de mejorar la sedimentación de los sólidos en el agua contaminada. [(Gestión de Aguas y residuos, s/f), (Chemvicon carbon, 2016)]
- Luego, el agua pasa a través de la segunda capa la cual consiste en arena fina cuyo objetivo es retener sustancias orgánicas, acumulando grandes cantidades de contaminantes. (Arqueous Solutions, s/f)
- Finalmente el agua pasa por la tercera y cuarta capa, las cuales son de grava fina y gruesa respectivamente, dichas capas casi no retienen sólidos, pero su función es soportar a las dos primeras capas y generar varios espacios para que el agua circule fácilmente debido a la gravedad.

Las condiciones bajo las que opera el filtro se calculan de la siguiente manera:

- **Caudales de trabajo**

Para la determinación del caudal se utilizó el método volumétrico mismo que permite medir pequeños caudales, para ello es necesario un recipiente de volumen conocido (vaso de precipitación de 100 ml) y un cronómetro para medir el tiempo que tarda el agua en llenar el recipiente. La operación se repite de 2 a 3 veces con el fin de asegurar una mayor exactitud. (Universidad Nacional UNAD, 2016)

$$Q = \frac{V}{T}$$



En donde:

- Q es el caudal
- V es el volumen del cilindro (100 ml)
- T es el tiempo en segundos.

Con esto, al determinar los caudales de entrada y salida se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 23 Especificaciones de los caudales del filtro

Caudal de:	Volumen (cm ³)	Tiempo (segundos)	Q (cm ³ /s)
Entrada	100	26	0.09 cm ³ /s
Salida	100	18	0.2 cm ³ /s

- **Tiempo de filtrado**

Para determinar el tiempo de filtrado se utilizó un cronómetro, obteniendo así un tiempo de filtrado total de 455 minutos para 2 litros de agua.

Cabe mencionar que el tiempo de filtrado que se obtuvo es muy largo y resulta ser una desventaja en caso de que se requieran tratar mayores cantidades de agua.

4.4 Resultados y rendimientos

- **Resultados**

Se analizaron nuevamente, en el agua tratada del proceso de teñido, cada uno de los parámetros de calidad mencionados en el CAPÍTULO III, así se tiene:



Tabla 24 Tabla de resultados

Parámetro	Resultados
Conductividad (umhos)	50
Turbiedad (NTU)	8.94
Color (UC)	800
Sólidos Totales (mg/l)	7060
Sólidos suspendidos (mg/l)	380
pH	6.11
Acidez (mg/L CaCO ₃)	0
Alcalinidad contenido de Carbonatos (mg/L CaCO ₃)	165.1
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	47.71
Cloruros (mg/L Cl ⁻)	111.825
Sodio (ppm)	8100
Calcio (ppm)	26.16

- **Rendimientos**

Según los resultados obtenidos, se calcula el rendimiento del equipo para cada uno de los parámetros analizados mediante la siguiente ecuación: (Zurita, 2014)



$$n = \frac{F1 - F2}{F1} \times 100$$

En donde:

- F1 es el parámetro del agua antes de ingresar al sistema.
- F2 es el parámetro del agua a la salida del sistema (agua tratada).
- n es el rendimiento.

De esa manera se obtienen los siguientes rendimientos:

Tabla 25 Tabla de rendimientos

Parámetro	Rendimiento (%)
Conductividad	54.54
Turbiedad	80.26
Color	97.33
Sólidos Totales	87.82
Sólidos suspendidos	81.17
pH	100
Alcalinidad	99.65
Dureza total	99.51
Cloruros	99.78
Sodio	19.4
Calcio	15



4.5 Análisis de costos del prototipo

Los costos de materiales y reactivos son:

Tabla 26 Costos de materiales y reactivos

Materiales y Reactivos	Costo (\$)
Materiales del prototipo	58,72
Cloruro férrico (40 g)	0,48
Polielectrolito (1g)	0,10
Ácido Clorhídrico (30 cc)	0,71
Carbón Activado	16,87
Arena	0,09
Grava	0,03
COSTO TOTAL	77,00

Se debe tomar en cuenta que con 40 g de cloruro férrico se prepara una solución al 40% (100 ml) , es decir, pueden realizarse 3 ensayos con dicha cantidad de reactivo en el prototipo. Con el polielectrolito (1g) se prepara una solución al 2 % (50ml), éste puede emplearse para 12 ensayos. Mientras que con el ácido clorhídrico se debe preparar una solución 2 N (500 ml) que pueden emplearse para 5 ensayos.

El tiempo de vida efectivo del carbón activado en el filtro depende de la calidad del mismo, así como de las características del agua a tratar. Se conoce que los filtros de carbón activado generalmente se cambian cada año, pero una forma de saber si éste ya no es efectivo, es cuando los resultados del agua tratada ya no varían.

El mantenimiento de los filtros de arena se lo hace una vez que ésta se sature. En cuanto a las piedras y grava, éstas no requieren de un cambio excepto



cuando haya obstrucción de tuberías o si los sedimentos de agua a tratar son demasiado altos. (Arqueous Solutions, s/f)

4.6 Ensayos de bioadsorción

Una alternativa para reemplazar el carbón activado en el sistema, es la utilización de biomasa mediante procesos de bioadsorción, con la finalidad de determinar si es posible disminuir el color del agua.

Se conoce que la bioadsorción es una de las técnicas más empleadas en la remoción de colorantes, en virtud de la simplicidad del diseño, facilidad de operación e insensibilidad a las sustancias tóxicas pero depende de muchos factores para que ésta se lleve a cabo, así tenemos: diámetro de partícula, diámetro de columna, altura de la biomasa en la columna, pH, caudal y el tipo de biomasa. (Vizcaíno, 2014)

En base a ello se realizaron ensayos preliminares con diferentes bioadsorbentes (biomasas) como: hojas de maíz, mazorca, bagazo de caña, cáscara de cacao y fibras de cáscaras de coco. Los métodos aplicados son el de columna y tanque agitado con el objetivo de observar cuál de las biomasas brinda un mejor resultado.

4.6.1 Tratamiento de las biomasas

Las biomasas fueron lavadas y después secadas en una estufa hasta llegar a peso constante, con el objetivo de que el material esté completamente seco.

Luego se sometieron a procesos de molienda y tamizado para reducir el tamaño de partícula con la finalidad de lograr una mayor superficie de contacto entre la biomasa y el agua a tratar.

4.6.2 Procedimientos para ensayos de columna y tanque agitado

- **Ensayos para el método de columna**

- Pesar una cantidad de biomasa de tal manera que se puedan completar 25 cm de altura para el relleno de la columna (bureta).
- Dejar caer lentamente el agua a tratar por las paredes de la columna.
- Hacer la recepción de la misma a la salida de la columna para realizar el análisis en el colorímetro.

Nota: El relleno debe estar compacto para no dejar espacios que provoquen excesiva canalización e impidan que el agua tenga mayor tiempo de contacto con la biomasa.



Figura 27 (a) Columna con relleno (b) Paso del agua a través de la biomasa (c) Recepción del agua

- **Ensayos por el método de tanque agitado**

- Pesar de 3 a 5 gramos de biomasa y colocar en un erlenmeyer.
- Medir 100 ml de agua a tratar y añadir al erlenmeyer que contiene la biomasa.
- Colocar en el equipo de agitación por un tiempo de 30 minutos a 150 rpm (revoluciones por minuto).
- Filtrar y medir el color.



Figura 28 (a) Erlenmeyer con biomasa y agua a tratar (b) Muestras en equipo de agitación (c) Filtrado de muestras

4.6.3 Resultados de los ensayos de biosorción

Los resultados obtenidos con el método de columna son los siguientes:

Tabla 27 Resultados por el método de columna

Biomasa	Diámetro de columna	Rendimiento (%)
Hojas de maíz	1.5 cm (1era pasada)	0
Hojas de maíz	1.5 cm (2da pasada)	0
Hojas de maíz	3 cm	0

Nota: Para este método únicamente se realizaron pruebas con hojas de maíz ya que los diámetros de columna no son factibles para poder experimentar con los demás tipos de biomasa. Se presentan problemas de estancamiento y excesiva canalización.

Mientras que, para el método de tanque agitado se tienen los siguientes resultados:



Tabla 28 Resultados por el método del tanque agitado

Biomasa	Rendimiento
Hojas de maíz secas (1era pasada)	25%
Hojas de maíz secas (2da pasada)	25%
Bagazo de caña	50%
Cáscaras de cacao	50 %
Fibras de cáscaras de coco	25%
Mazorca ($\emptyset < 0,023$)	68,75%
Mazorca ($\emptyset > 0,023$)	56,25%

Nota: Para el cálculo del rendimiento se mide el color antes (F1) y después (F2) del proceso de bioadsorción y se utiliza la ecuación: (Zurita, 2014)

$$n = \frac{F1 - F2}{F1} \times 100$$



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La lavadora Textil utiliza el agua de río para sus procesos de teñido, la misma que no tiene ningún tratamiento previo, afectando así la vida útil de los equipos y en especial del caldero.
- De acuerdo al estudio realizado se puede evidenciar la disminución de la contaminación del efluente del proceso de teñido textil al aplicar los tratamientos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Mediante la realización de análisis físico-químicos cuyos parámetros de calidad, permitieron evaluar aspectos como conductividad, turbiedad, color, sólidos totales, sólidos suspendidos, pH, acidez, alcalinidad, dureza total, cloruros y contenidos de sodio y calcio.
- Con la implementación del prototipo se disminuyó la concentración de los contaminantes. Según lo planteado, se cumple con el diseño, construcción y operación del prototipo que consiste en reducir los contaminantes establecidos y más aún, con buenos rendimientos. Así se tiene: 54.54% en conductividad, turbiedad 80.26 % , color 97.33 % , sólidos totales 87.82 % , sólidos suspendidos 81.17 % , 100 % en pH y acidez, alcalinidad 99.65 % , dureza total 99.51%, cloruros 99.78 % mientras que los rendimientos de sodio y calcio son de 19.4 % y 15 % respectivamente.
- El carbón activado tiene dos desventajas en el prototipo: la primera es su costo y la segunda el tiempo de filtrado, mismo que no es favorable para el volumen de agua que requiere tratar la empresa (150 litros).



- Con la finalidad de reducir costos, se realizaron ensayos reemplazando el carbón activado por biomasa, cumpliendo así con un proceso de bioadsorción que incluso puede sustituir al filtro y cumplir la misma función al reducir el color en el agua.
- Al realizar los ensayos de bioadsorción se pudo observar que con el método de columna no se logra ningún resultado debido a que los diámetros de las columnas utilizadas no son los adecuados. Para el diámetro de columna grande (3 cm) se presenta mucha canalización y con la columna de diámetro pequeño (1.5 cm) se produce un descenso del agua demasiado lento provocando estancamiento.
- Con el método de tanque agitado, utilizando biomásas de bagazo de caña, cáscaras de cacao y mazorca se obtuvieron mejores resultados en cuanto a los rendimientos de remoción de color, así: 50% para bagazo de caña y cacao y con la mazorca 68,75% y 56,25% para diámetros de partícula $< 0,023$ y $> 0,023$ respectivamente.
- La biomasa reduce el costo del prototipo pero en los ensayos se observó que la saturación de ésta es rápida lo que impide su continua utilización y a su vez genera grandes cantidades de residuo.



5.2 Recomendaciones

- La fábrica debe controlar parámetros de calidad tanto en el agua que ingresa a cada uno de los procesos, como también en el proceso de teñido con la finalidad de evitar un mal teñido de las prendas, desperdicio de reactivos y por último aportar con el cuidado de los equipos.
- Los polímeros o polielectrolitos se deben preparar en soluciones de baja concentración ya que tienden a formarse soluciones tipo gel de alta viscosidad pudiendo afectar la dosificación a ser empleada en el prototipo.
- Para garantizar la calidad y buen funcionamiento del prototipo se deben emplear las cantidades óptimas de coagulante y floculante, así como también asegurar una buena limpieza y renovación del material del filtro.



BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, H. J. (s.f.). *Investigación Aplicada*. Recuperado el 20 de Febrero de 2016, de Investigación Aplicada: <http://www4.inti.gov.ar/GD/4jornadas2002/posters/pdf/cit-146.pdf>
- Ambiente, M. d. (2012). Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.
- Anónimo. (15 de Febrero de 2016). *Portal del coneixement obert de la UPC*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Anónimo. (s.f.). *Bionova*. Recuperado el 5 de Febrero de 2016, de <http://www.bionova.org.es/biocast/documentos/tema04.pdf>
- Anónimo. (s.f.). <http://www.oocities.org>. Recuperado el 29 de Febrero de 2016, de <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
- Arango Ruiz, Á. (s/p). Recuperado el 1 de Junio de 2016, de <http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/Revista/vol2n1/electrocoagulacion.pdf>
- Arqueous Solutions. (s/f). Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <http://www.aqsolutions.org/images/2013/03/portable-water-system-handbook-spanish.pdf>
- Barrenechea, A. (s/f). Recuperado el 6 de Junio de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/cuatro.pdf>
- Buela, M. (s/f). Recuperado el 20 de Junio de 2016, de <http://procesosbio.wikispaces.com/Filtraci%C3%B3n>
- Cardona Gutiérrez, A., Cabañas, D., & Zepeda, A. (12 de Febrero de 2013). Recuperado el 15 de Abril de 2016, de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/Vol%2017/evaluacion.pdf>
- Castillo, J., & Gómez, G. (Noviembre de 2011). Recuperado el 21 de Abril de 2016, de <http://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>
- Catalán Lafuente, J. (2008). *Química del agua*. Madrid: Editorial Blume .
- Catalán Lafuente, J. (2008). *Química del Agua*. En J. Catalán Lafuente, *Química del Agua* (págs. 11-12). Madrid: Blume.



- Chemviron carbon. (2016). Recuperado el 24 de Junio de 2016, de <http://www.chemvironcarbon.com/es/aplicaciones/tratamiento-de-aguas-residuales>
- Colina, L. (s/f). Recuperado el 20 de Junio de 2016, de <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/filtracion.pdf>
- Cubillos, A. (s/f). *Parámetros de calidad del agua*. Recuperado el 31 de Marzo de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>
- García Pérez, Á. (s.f.). *Plataforma de la UNAM*. Recuperado el 5 de Febrero de 2016, de http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_bioquimica/Unidad_2.pdf
- Gestion de Aguas y residuos. (s/f). Recuperado el 24 de Junio de 2016, de http://www.gedar.com/PDF/Industrial/GEDAR-Carbon_Activo_Aguas_Residuales.pdf
- Gobierno de Chile. (s.f.). Recuperado el 01 de Junio de 2016, de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_05.pdf
- Gómez, I. C. (2003). Saneamiento Ambiental. En I. C. Gómez, *Saneamiento Ambiental* (págs. 48-49-50). San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia .
- Labarces, E. (2007). Recuperado el 4 de Junio de 2016, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7053/2/124931.pdf>
- Lapeña, M. R. (2000). Tratamientos de aguas industriales. En M. R. Lapeña, *Tratamientos de aguas industriales: aguas de proceso y residuales* (págs. 27-28-29-30). Barcelona: Marcombo, S.A.
- MAM, M. (2016). *Telas Metálicas*. Recuperado el 2016 de Abril de 15, de <http://www.mallasmedina.com/telas.htm>
- Mamani, W. (2003). Contaminación del Agua. En W. Mamani, *Contaminación del Agua* (págs. 17-18). Bolivia: Offset Boliviana Ltda.
- Mayorga , G. (2014). Recuperado el 6 de Junio de 2016, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3413/1/96T00247.pdf>
- Medina, M. (15 de Agosto de 2015). Recuperado el 20 de Febrero de 2016, de http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/1472/1/Tesis_Milton_final_2015.pdf
- Merino Pérez, J., & Noriega, M. (s.f.). *Open Course ware de la Universidad de Cantabria*. Recuperado el 4 de Febrero de 2016, de



<http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-general/materiales-de-clase-1/bloque-ii/Tema%201-Bloque%20II-El%20Agua%20Volumenes%20y%20Composicion.pdf>

Perez , F., & Urrea, M. (2016). Recuperado el 6 de Junio de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/306180755/Coagulacion-y-floculacion-pdf>

Pérez, J. (2013). *BIOADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO*. Xalapa.

Propia, Autoria. (2015). *Fichas tecnicas de Procesos*. Cuenca.

Rinne, T. (2000). Recuperado el 19 de Abril de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>

Rodier, J. (s/f). *Análisis del Agua*. Omega.

Rosnel, J. (2014). *Prezi*. Obtenido de https://prezi.com/sqdngyodk4_d/procesos-industriales/

Ruiz, O. (s/f). Recuperado el 19 de Abril de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0196.pdf>

Ruiz, O. (S/f). Recuperado el 19 de Abril de 2016, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0196.pdf>

Salazar, L. (2012). *Plataforma de la Universidad Nacional UNAD*. Recuperado el 6 de junio de 2016, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html

Universidad de Castilla. (s/f). Recuperado el 20 de Junio de 2016, de http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema10.pdf

Universidad de Cuenca. (2015). Datos de Caldero.

Universidad Nacional UNAD. (2016). Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358003/Residuales_Contento_en_linea/leccin_17__medicin_de_caudales_de_descarga.html

Universidad Técnica Particular de Loja. (2010). Agua. En *Guía Didáctica: Ecológica* (págs. 45-47). Loja: Editorial Universidad tecnica Particular de Loja.

Vargas Rodríguez, M. (2009). Evaluación del proceso de biosorción con biomasas para la eliminación de colorantes. *Redalyc*, 39-43.

Vizcaíno, L. (2014). BIOSORCIÓN DE Cd, Pb y Zn POR BIOMASA PRETRATADA DE ALGAS.

Walters, A. S. (Junio de 2015). Recuperado el 21 de Febrero de 2016



Walters, A. S. (Junio de 2015). Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de <http://www.greenpeace.org/espana/global/espana/report/other/el-tratamiento-de-textiles-y-s.pdf>

Walters, A. S. (Junio de 2015). Recuperado el 21 de Febrero de 2016, de <http://www.greenpeace.org/espana/global/espana/report/other/el-tratamiento-de-textiles-y-s.pdf>

Zurita, S. (2014). Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3508/1/96T00261%20UDCTFC.pdf>