

**EVALUACIÓN DE PROPUESTAS TÉCNICAS PARA SELECCIONAR UN
SISTEMA DEPURADOR APROPIADO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS
VERTIMIENTOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA TEXTILERA
APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, UBICADA EN LA ZONA INDUSTRIAL
DEL MUNICIPIO DE GIRÓN, SANTANDER**

LUIS OCTAVIO MALAVER CÁCERES

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISCOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2017

**EVALUACIÓN DE PROPUESTAS TÉCNICAS PARA SELECCIONAR UN
SISTEMA DEPURADOR APROPIADO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS
VERTIMIENTOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA TEXTILERA
APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, UBICADA EN LA ZONA INDUSTRIAL
DEL MUNICIPIO DE GIRÓN, SANTANDER**

LUIS OCTAVIO MALAVER CÁCERES

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director:

**GUILLERMO CARDOZO CORREA
MSc. En Desarrollo Rural Ambiental**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FISCOQUÍMICA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, protector, y luz al final del camino,

A mi querida madre Josefina Cáceres Mayorga por su amor infinito, sin ella no sería nadie y no tendría motivos para seguir luchando,

A mi abuela Lucrecia Mayorga que me cuida y protege desde el cielo,

A mi hermano Carlos Nieves Cáceres por su apoyo, consejos, dedicación y por ser el mejor hermano del mundo,

A mi abuela María de la Cruz Rojas por su amor incondicional,

A mi padre Octavio Malaver Rojas por apoyarme y estar a mi lado,

A mis primos Jonathan Rey Malaver, Omar Rodríguez Malaver, Edwin Rodríguez Malaver por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas,

Al profesor Guillermo Cardozo Correa por su confianza, guía, enseñanzas, comprensión y amistad durante toda la monografía,

A los profesores de la especialización por brindarme sus conocimientos y experiencia.

Luis Octavio Malaver Cáceres

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Guillermo Cardozo Correa por su apoyo, guía y paciencia durante la realización de este trabajo.

A la dueña de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S Clara Gómez Ballesteros por su apoyo, colaboración y paciencia en la realización de este trabajo.

A las hijas de la dueña por su colaboración en el proyecto.

Al profesor Crisóstomo Barajas por su ayuda en la revisión del trabajo.

Al doctor Humberto Escalante Hernández, por ser mi profesor y formador de mi carrera.

A los profesores de la especialización por todos los conocimientos y experiencia que me brindaron.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
2. JUSTIFICACIÓN.....	24
3. OBJETIVOS.....	26
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	26
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
4. ESTADO DEL ARTE.....	27
4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS EFLUENTES RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTILERA.....	27
4.1.1 Colorantes.....	28
4.1.2 Legislación ambiental.....	31
4.1.3. Caracterización fisicoquímica del efluente residual en la textilera APOCALIPSIS SUCESIÓN S.A.S.....	34
4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTILERA.....	38
4.2.1 Precipitación Química.....	39
4.2.2 Filtración por Membranas.....	46
4.2.3 La Adsorción.....	49
4.2.4 Tratamientos Biológicos.....	53
4.2.5 Tratamientos con técnicas electroquímicas.....	54
4.2.6 Tratamientos con procesos de oxidación.....	57

4.2 COMPARACIÓN CUALITATIVA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	58
4.2.1 Precipitación química.....	58
4.2.2 Filtración por Membranas	59
4.2.2 La Adsorción	60
4.2.3 Tratamientos Biológicos.....	60
4.2.4 Tratamientos con técnicas electroquímicas	61
4.2.5 Tratamientos con Oxidación	62
4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO MÁS IDÓNEO PARA LA EMPRESA TEXTILERA APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.....	63
4.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S	66
4.4.1 Localización	66
4.4.2 Estructura laboral de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S....	67
4.4.3 Descripción de la actividad	68
4.4.4 Metodología del sistema de tratamiento propuesta para la textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S	69
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	81
5.1 ESCALAMIENTO DE LOS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL	81
5.2 SEGUIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DBO5, DQO, pH Y TEMPERATURA.....	83
5.3 TABLA DE COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CON LA RESOLUCION 0631 DE 2015 DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	86
6. CONCLUSIONES	89
7. RECOMENDACIONES.....	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

BIBLIOGRAFIA.....95
ANEXOS.....99

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición de efluentes textiles.....	28
Tabla 2. Tipos de colorantes usados en la industria.....	30
Tabla 3. Continuación Tipos de colorantes usados en la industria.....	31
Tabla 4. Parámetros para vertimientos a un cuerpo de agua de fabricación de productos textiles.....	32
Tabla 5. Parámetros para el vertimiento a un cuerpo de agua según el decreto 1594 de 1984 del ministerio del medio ambiente.....	35
Tabla 6. Resultados monitoreo mayo 2015, realizado por Pro análisis PSL, tomado del reporte mayo 2015.....	36
Tabla 7. Caracterización físico-química del efluente residual en la textilera.....	37
Tabla 8. Controles de laboratorio al tratamiento de aguas residuales industrial apocalipsis.....	38
Tabla 9. Comparación cualitativa de la precipitación química.....	58
Tabla 10. Comparación cualitativa de la filtración por membranas.....	59
Tabla 11. Comparación cualitativa de la Adsorción.....	60
Tabla 12. Comparación cualitativa de los tratamientos biológicos.....	61
Tabla 13. Comparación cualitativa de los tratamientos con técnicas electroquímicas.....	62
Tabla 14. Comparación cualitativa de los tratamientos con Oxidación.....	62
Tabla 15. Identificación de procesos.....	69
Tabla 16. Valores de los reactivos químicos.....	83
Tabla 17. Valores de temperatura y pH.....	83
Tabla 18. Valores de Demanda Biológica de Oxígeno ([DBO] _5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	84

Tabla 19. Comparación de resultados con la resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.	86
Tabla 20. Reporte de resultados SIAMA muestra 1.....	101
Tabla 21. Reporte de resultados SIAMA muestra 2.....	102
Tabla 22. Reporte de resultados SIAMA muestra 3.....	103
Tabla 23. Reporte de resultados SIAMA muestra 4.....	104
Tabla 24. Reporte de resultados SIAMA muestra 5.....	105
Tabla 25. Reporte de resultados SIAMA muestra 6.....	106
Tabla 26. Reporte de resultados SIAMA continuación de la muestra 6.	107

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. La doble capa de una partícula coloidal.	41
Gráfica 2. Resultados de pH en el monitoreo de mayo de 2015, tomado del informe de resultados.	45
Gráfica 3. Resultados de temperatura en el monitoreo de mayo de 2015, tomado del informe de resultados.	45
Gráfica 4. Perfil de concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO ₅). ...	85
Gráfica 5. Perfil de concentración de demanda química de oxígeno (DQO).....	85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Recurso hídrico disponible mundial y su consumo.	20
Figura 2. Fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión.	42
Figura 3. Polímero floculante.	43
Figura 4. Micro filtración.....	47
Figura 5. Ultrafiltración.....	47
Figura 6. Nanofiltración.....	48
Figura 7. Osmosis Inversa.....	48
Figura 8. Estructura del material adsorbente.....	50
Figura 9. Electroflotación.....	55
Figura 10. Electrodecantación.....	56
Figura 11. Procesos involucrados en la electrocoagulación.....	57
Figura 12. Organigrama General de APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.....	68
Figura 13. Estructura del equipo en 3D.....	99
Figura 14. Dimensiones del tanque sedimentador.....	100

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Ubicación geográfica de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.	67
Fotografía 2. Clasificación de los químicos utilizados para prueba.....	70
Fotografía 3. Adición del coagulante (punto de corte).	71
Fotografía 4. Mezcla y adición de polímeros.	72
Fotografía 5. Formación de floculo.	72
Fotografía 6. Comparación del agua residual después del tratamiento con coagulante.	73
Fotografía 7. Muestra de agua residual tratada.	74
Fotografía 8. Sedimentador.	75
Fotografía 9. Motor de velocidad constante del Sedimentador.	76
Fotografía 10. Sistema de salida del agua dividido en tres niveles del Sedimentador.....	76
Fotografía 11. Sistema de salida de lodos del Sedimentador.	77
Fotografía 12. Mezcla rápida del agua residual.	78
Fotografía 13. Formación de flóculos.....	78
Fotografía 14. Manto de lodos.	79
Fotografía 15. Tratamiento con oxidación.....	79
Fotografía 16. Descargue del efluente.....	80

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Dimensiones del sedimentador de tipo batch utilizado en el proceso de tratamiento de agua residual en la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S	99
Anexo B. Reporte de resultados hechos por SIAMA LTDA	101

NOMENCLATURA

AOX: Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (mg/L)

BTEX: (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) (mg/L)

DBO5: Demanda bioquímica de oxígeno medidos transcurridos cinco días de reacción (mg O₂/l)

DQO: Demanda química de oxígeno (mg O₂/l)

HAP: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (mg/L)

HTP: Hidrocarburos Totales (mg/L)

PAC: Coagulante de Hidroxicloruro de aluminio (mL/L)

pH: Potencial hidrógeno o potencial de hidrogeniones (unidades de pH)

SAAM: Sustancias Activas al Azul de Metileno (mg/L)

SDT: Sólidos sedimentables totales (mg/L)

SST: Sólidos suspendidos totales (mg/L)

ST: Sólidos totales (mg/L)

T: Temperatura (°C)

TAOs: Técnicas Avanzadas de Oxidación

UASB: Reactores anaerobios de manto de lodos con flujo ascendente

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DE PROPUESTAS TÉCNICAS PARA SELECCIONAR UN SISTEMA DEPURADOR APROPIADO PARA EL TRATAMIENTO DE LOS VERTIMIENTOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA TEXTILERA APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, UBICADA EN LA ZONA INDUSTRIAL DEL MUNICIPIO DE GIRÓN, SANTANDER.

AUTOR: LUIS OCTAVIO MALAVER CÁCERES**

PALABRAS CLAVE: Mitigar, precipitación química, caracterización fisicoquímica, oxidación química, metodología, escalado, optimización.

CONTENIDO:

La problemática ambiental que generan los efluentes residuales de la industria textilera a nivel mundial ha llevado a la investigación de nuevos sistemas de tratamientos de aguas residuales con el propósito de mitigar los daños al medio ambiente. Una gran variedad de técnicas y sistemas de tratamientos se encuentran disponibles hoy en el mercado, la precipitación química que utiliza sulfato de aluminio o sulfato ferroso, La filtración por membranas, ósmosis inversa, La adsorción, tratamientos biológicos, las técnicas electroquímicas, además de los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas o los métodos de bajo coste, se puede utilizar otros métodos los cuales son las Técnicas Avanzadas de Oxidación, estas son unas de las técnicas empleadas para el tratamiento de aguas residuales textiles planteadas por Torres, (2014). En este trabajo se realizó una selección de los sistemas de tratamientos más apropiado teniendo en cuenta unos criterios de selección, limitaciones y caracterización fisicoquímica del efluente de la empresa, para tratar un volumen de agua residual de 7157 litros aproximadamente, el cual es generado por la industria textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S. Siendo la precipitación y la oxidación química las alternativas más viables para tratar estos efluentes. En el proceso de tratamiento del agua empleando estas dos técnicas se propuso una metodología en la cual se distinguen tres etapas importantes: 1. Optimización de las concentraciones de los químicos empleados a escala laboratorio; 2. Escalado de los químicos por medio de un factor de escalamiento volumétrico; 3. Realizar el tratamiento del agua residual a escala industrial. Con estas técnicas de tratamiento y la metodología propuesta se obtuvo una mejora en la calidad del agua residual vertida por la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

* Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: CARDOZO CORREA Guillermo Ing. Civil MSc.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE TECHNICAL PROPOSALS TO SELECT AN APROPRIATE PURIFIER FOR DUMPING OF TOXIC WASTE TREATMENT GENERATED BY THE TEXTILE INDUSTRY APOCALIPSOS 3:20 S.A.S, LOCATED ON THE INDUSTRIAL ZONE OF THE MUNICIPALITY OF GIRON, SANTANDER.

AUTHOR: LUIS OCTAVIO MALAVER CÁCERES**

KEY WORDS: Mitigate, chemical precipitation, characterization, Physicochemistry, chemical oxidation, methodology, scale, optimization.

CONTENT:

The environmental issues that generates waste effluents from the textile industry worldwide has led to the investigation of new waste water treatment systems with the purpose of mitigate the damages to the environment. A great variety of techniques and treatment systems are available in the market, the chemical precipitation which uses aluminium sulphate or ferrous sulphate, membrane filtration, reverse osmosis. Adsorption, biological treatments, electrochemical techniques, besides the traditional water treatment systems or low cost methods, other methods can be used which are the Advanced Oxidation Techniques, these are one of the techniques used for textile waste water treatment suggested by Torres, (2014). On this investigation work, a selection of the most appropriate treatment systems was made taking into account some criteria of selection, limitations and physicochemical characterization of the effluent of the company, to treat a volume of waste water of 7157 liters, which is generated by the textile industry APOCALIPSIS 3:20 SUCESION S.A.S. Being precipitation and chemical oxidation are the most viable alternatives to treat these effluents. In the process of water treatment using these two techniques, a methodology was proposed in which three important ones are distinguished: 1. Optimization of chemical concentration used to a laboratory scale; 2. Chemical scaling by means of volumetric scaling factor; 3. Carry out the waste water treatment at an industry scale. With these treatment techniques and the methodology proposed an improvement was obtained in the quality of residual water discharged by the company APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

* Monograph degree

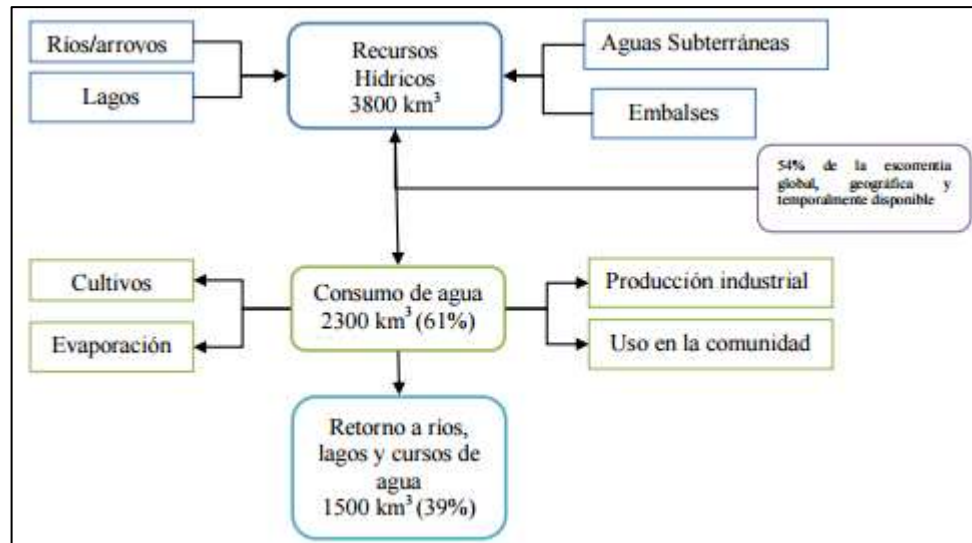
** Physical-chemistry Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director: MSc. Civil engineer CARDOZO CORREA Guillermo.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable para la vida que a lo largo de la historia ha suplido las necesidades de los seres vivos en especial a la del ser humano, el cual la ha utilizado en beneficio propio a través de actividades que ocasionan modificaciones al recurso agua [1].

Actualmente se estima un valor del 40% de los habitantes en el mundo no tienen la cantidad de agua mínima necesaria para aseo, y en los próximos 20 años decrecerá a 30% el agua disponible. El recurso agua disponible proviene de ríos, lagos, aguas subterráneas y embalses, del cual el 61% es consumido en su mayoría por actividades de agricultura, industria y consumo humano, como se puede observar en la figura 1 [2].

Figura 1 Recurso hídrico disponible mundial y su consumo.



Fuente Casas, (2012) [2].

A nivel mundial se tiene a disposición 3800 Km³ de agua, de los cuales la mitad se consumen con un 65% en la agricultura, 25% la industria y el 10% para el consumo humano [2].

En Colombia la contaminación del agua se está volviendo un tema preocupante, ya que el continuo crecimiento poblacional así como el desarrollo del comercio, el crecimiento de la industria y la expansión agrícola demandan un volumen exponencial de agua, lo que ha provocado una sobreexplotación del recurso agua y a su vez la generación desmedida de agua residual así como su vertido a los cuerpos de agua los cuales provocan una gran cantidad de efectos negativos hacia el ecosistema [3].

La industria colombiana en el sector de textiles realiza procesos como limpiados, lanzado, estirado, acabado y teñido, para la fabricación de sus productos. Debido a estos procesos se genera agua residual conteniendo fenoles, sulfuros, cromo y colorantes. Estos últimos llaman la atención, por el color y debido a que algunos son de difícil degradación. La forma de tratar aguas residuales industriales, puede ser un problema difícil de resolver, debido a la cantidad de compuestos y niveles de concentración que se puedan presentar. Frente a tal problemática, el ser humano a través de las investigaciones acerca del efecto de ciertos contaminantes, índices económicos y normas ambientales, se está adaptando a la situación desarrollando nuevos sistemas de tratamientos de aguas residuales con el propósito de mitigar los daños al medio ambiente [4].

Una gran variedad de técnicas y sistemas de tratamientos se encuentran disponibles hoy en el mercado, la precipitación química que utiliza sulfato de aluminio o sulfato ferroso, La filtración por membranas, ósmosis inversa, La adsorción, tratamientos biológicos, las técnicas electroquímicas, además de los sistemas tradicionales de tratamiento de aguas o los métodos de bajo coste, se

puede utilizar otros métodos los cuales son las Técnicas Avanzadas de Oxidación (TAOs) [5].

Sin embargo cabe resaltar que se necesita un sistema de tratamiento que por su coste, instalación en espacio reducido, consumo de energía y mínima cantidad volumétrica de lodos para disposición final se destaque entre las otras para crear una acogida en la industria textilera.

Este trabajo tiene como finalidad la selección de un sistema de tratamiento para contaminantes de aguas residuales en la industria textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, para mejorar las condiciones finales del agua tratada y propender a cumplir con los límites permitidos por la norma antes de su vertimiento final evitando provocar un impacto negativo sobre las aguas del cuerpo receptor.

El proyecto obtiene sus bases de información de la industria textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S ubicada en la zona industrial de Girón, Santander, por lo cual se tienen datos que permiten caracterizar fisicoquímicamente los efluentes de dicha industria. Por tal motivo se puede evaluar las propuestas técnicas y seleccionar un sistema apropiado para el tratamiento de estas aguas residuales industriales.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El propósito de la investigación es realizar una revisión bibliográfica acerca de los diferentes sistemas de tratamientos empleados en el tratamiento de aguas residuales en la industria textilera para optar por uno que sea más conveniente a la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S teniendo en cuenta la poca disponibilidad de espacio, los caudales con alto contenido de contaminantes químicos, la necesidad de requerir poco del servicio eléctrico, el bajo presupuesto que se tiene para el proyecto, el mantenimiento y operación del sistema con poco personal posible, un tiempo de retención y tratamiento programado de acuerdo al horario de trabajo de la planta textilera.

Además de las anteriores limitaciones no se cuenta con la capacidad económica para realizar estudios especializados de laboratorio donde muestren todos los parámetros físico-químicos requeridos por las autoridades ambientales, solo se contará con un seguimiento de los parámetros DBO₅, DQO, pH Y temperatura.

2. JUSTIFICACIÓN

El ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible por medio de la nueva resolución 0631 de 17 de marzo de 2015 “por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones” [6].

El cual busca reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de aguas naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público, para de esta forma, aportar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las arterias fluviales del país.

La nueva norma de vertimientos reglamenta el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, actualiza el decreto 1594 de 1984(vigente desde hace 30 años) respondiendo a la nueva realidad urbana, industrial y ambiental del país. Permitirá el control de las sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades productivas presentes en ocho sectores económicos del país.

El control se realizará a partir de la medición de la cantidad de sustancias descargadas, que es lo que impacta en la calidad del agua, y no el proceso de tratamiento. Ahora esta medición se realizará en mg/L y no en kg día, como se venía haciendo [7].

Por tal motivo se necesita plantear alternativas en el tratamiento de las aguas residuales industriales en la industria textilera, se debe tener en cuenta una serie

de variables técnicas, operacionales y económicas para definir la mejor alternativa a utilizar.

Gracias a las pruebas experimentales ya realizadas y documentadas en tesis, se tiene un conocimiento acerca del tratamiento de las sustancias orgánicas peligrosas presentes en los efluentes de salida de este tipo de empresas.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar una cartera de propuestas técnicas para seleccionar un sistema depurador apropiado para el tratamiento de los vertimientos generados por la industria textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, ubicada en la zona industrial del Municipio de Girón, Santander.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización de los efluentes residuales en la textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, en sus condiciones fisicoquímicas de carácter normativo.
- Identificar los diversos sistemas depuradores que se emplean actualmente para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria textilera.
- Valorar cualitativamente los sistemas depuradores consultados y establecer el sistema depurador más idóneo para la reducción de carga contaminante de los vertimientos producto de la tintorería de nylon APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.
- Proponer una metodología del sistema de tratamiento para aplicarla en la textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS EFLUENTES RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTILERA

La forma en que se tratan las aguas residuales industriales contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental. A diferencia de las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales contienen comúnmente sustancias que no se eliminan por un tratamiento convencional, ya sea por sus concentraciones elevadas, o por su naturaleza química. Además, varios de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son de alto grado de toxicidad y tienen efectos biológicos a largo plazo [8].

Los efluentes que se descargan de las industrias textiles pueden ser compuestos orgánicos biodegradables y no biodegradables. Estudios hechos por investigadores revelan que al menos entre 800 y 1000 mg/L de compuestos orgánicos se mantienen en el efluente no habiendo sido fijados en las telas, tejidos, hilos, entre otros [5].

Las aguas residuales producto de la tinción de fibras naturales en la industria textil, normalmente se caracterizan por tener gran variabilidad de caudal, composición, carga contaminante y color [9]. En la siguiente tabla se observa la composición típica de los efluentes textiles.

Tabla 1. Composición de efluentes textiles.

Parámetros	Unidades	Valor
pH	Unidades de pH	11,13
SST	mg/L	240
ST	mg/L	3950
SDT	mg/L	3710
*DQO s	mg/L	1267
*DQO t	mg/L	1341
DBO_5	mg/L	450
Sulfatos	mg/L	72,44
Nitrógeno amoniacal	mg/L	2,24
Nitrógeno total	mg/L	50,12
Grasas y Aceites	mg/L	0,1922

Fuente: Moreno y Ospina, (2008) [9].

*DQO s: DQO de salida.

*DQO t: DQO por tonelada de SST.

Uno de los grupos de contaminantes que están mayormente presentes en este tipo de efluentes son los colorantes los cuales pueden ser de carácter tóxico y mutagénico y que además si no se tratan debidamente se estabilizan y permanecen en el ambiente por mucho tiempo [8].

4.1.1 Colorantes Los colorantes son insumos orgánicos que imparten color a los materiales incoloros sobre los que se aplican y dentro de ellos se distinguen dos tipos: tintes y pigmentos. Los tintes son sustancias solubles, en las que el color tiende a unirse a las fibras del material textil. Por el contrario, los pigmentos son insolubles y dan el color al material sobre el que se aplican a medida que se dispersan en él en forma de partículas muy pequeñas [8].

Las moléculas de los colorantes están compuestas por tres grupos funcionales, el cromóforo, el cual absorbe la luz, dándole la propiedad de color a la molécula; los

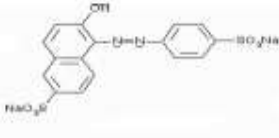
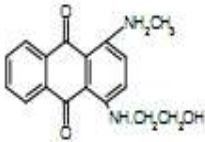
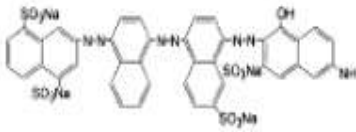
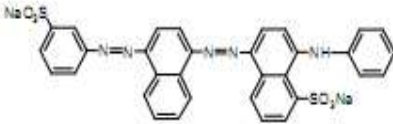
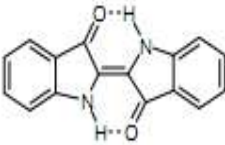
auxocromos, que le dan afinidad por la fibra e intensifican los colores y por último el solubilizador, que le da afinidad a solventes diversos [10].

Los grupos cromóforos más importantes son: azo, carbonilo, metilo, nitrilo y quinoides. Los grupos auxocromos más frecuentes son: amino, carboxilo, sulfonato e hidroxilo [8].

La coloración de aguas residuales se produce como consecuencia del proceso de tinción en la industria textilera principalmente. El 2% de los colorantes utilizados es descartado directamente a los efluentes cercanos y el 10% de colorantes se pierde en el proceso de tinción. Lo cual representa un consumo anual de 7×10^5 Ton de colorantes a nivel mundial. Con un 30% los colorantes de tipo azo son los más utilizados en las textileras.

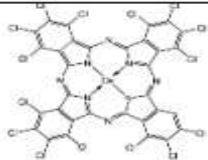
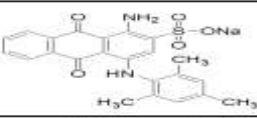
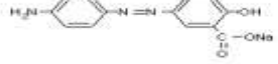
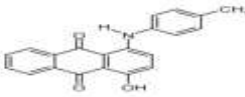
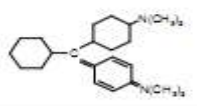

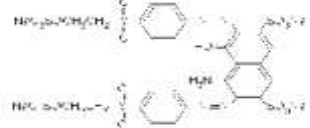
Estos colorantes poseen la característica de dar diferentes tonalidades, además de una gama brillante, se pueden utilizar con diferentes métodos de aplicación y permiten una humectación rápida de la prenda. La siguiente tabla muestra algunos tipos de colorantes utilizados en la industria textilera [10].

Tabla 2. Tipos de colorantes usados en la industria.

Colorante	Estructura	No del color	C.I	Tipo de colorante
Naranja S		Naranja directo 26		Diazo
Azul disperso 3		Azul disperso 3	61505	Antraquinona
Azul supra		Azul directo 71		Diazo
Azul ácido 113		Azul ácido 113	26360	Diazo
Índigo		Azul 2		Indigoide

Fuente: Garzón, (2009) [10].

Tabla 3. Continuación Tipos de colorantes usados en la industria.

Verde G		Verde ácido 27		Antroquinona
Azul PR		Azul ácido 129		Antroquinona
Amarillo MD		Amarillo 12		Azo
Azul MB		Azul 13		Azo
Verde de malaquita		Verde básico 4	42000	Trifenilmetano
Naranja Brillante		Naranja reactivo 16		Azo
Negro B		Negro reactivo 5	20505	Diazo

Fuente: Garzón, (2009) [10].

4.1.2 Legislación ambiental El uso del agua y la disposición de residuos líquidos así como las normas para su vertimiento en cuerpos de aguas y los rangos permitidos de los diferentes parámetros se establecen según la resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, “por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”, en el capítulo sexto artículo 13; parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas-ARND a cuerpos de aguas superficiales, en el sector de actividades de fabricación y manufactura de

bienes. De la anterior resolución se observan los parámetros fisicoquímicos de fabricación de productos textiles los cuales se mencionan en la tabla 4 [6].

Tabla 4. Parámetros para vertimientos a un cuerpo de agua de fabricación de productos textiles.

Parámetro	Unidades	Valor
Generales		
pH	Unidades de pH	6-9
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L O ₂	400
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	mg/L O ₂	200
Sólidos Suspendidos Totales (STT)	mg/L	50
Solidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2
Grasas y Aceites	mg/L	20
Fenoles	mg/L	0,2
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos(HAP)	mg/L	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P – PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Fosforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N – NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (N – NH ₃)	mg/L	Análisis y reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y

Parámetro	Unidades	Valor
		reporte
Iones		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1200
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Análisis y reporte
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1
Metales y Metaloides		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02
Cinc (Zn)	mg/L	3
Cobalto(Co)	mg/L	0,5
Cobre(Cu)	mg/L	1
Cromo(Cr)	mg/L	0,5
Níquel(Ni)	mg/L	0,5
Otros Parámetros para Análisis y Reporte		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y reporte
Color Real	m ⁻¹	Análisis y reporte

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, (2015) [6].

La Unión Europea es bastante rigurosa en la utilización de colorantes azo debido a su efecto cancerígeno en el ser humano; por esto en la directiva 2002/61/EC del Parlamento Europeo del 19 de julio del 2002 se da una lista de 43 aminas y compuestos aromáticos producidos a partir de la degradación de azo colorante, prohibiéndose la comercialización y el uso de dichos colorantes que por su degradación produzcan alguna de estas aminas o compuestos aromático: bifenil-4-ilamina-4-aminobifenil xenilamina, bencidina, 4-cloro-o-toluidina, 2- naftilamina,

o-aminoazotolueno, 4-amino 2',3dimetilazobenceno, 4-o-tolilazoo-toluidina, 5-nitro-o-toluidina, 4-cloroanilina, entre otros [9].

4.1.3. Caracterización fisicoquímica del efluente residual en la textilera APOCALIPSIS SUCESIÓN S.A.S El proceso en la empresa empieza con la recepción de los hilos de nylon sin coloración los cuales son desenrollados de sus madejas para posteriormente ser tratados con una gran variedad de colorantes a diferentes concentraciones y una gran cantidad de agua, los cuales generan un caudal residual contaminado que debe ser remediado.

Este recurso agua es indispensable para llevar a cabo el proceso de tinción de los hilos, además se necesitan otras condiciones como lo son la temperatura y el pH los cuales están contemplados y restringidos en la nueva resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Por tanto, se requiere de la caracterización del efluente para saber las condiciones en que se encuentra.

El primer referente fue el encontrado por la empresa, en un monitoreo realizado en el mes de mayo de 2015, por la empresa Pro análisis PSL, la cual hace referencia a las exigencias del decreto 1594 de 1984 del ministerio del medio ambiente, el cual establecía condiciones para el proceso mas no para el resultado final.

“Artículo 72: Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas.” [11] .

Tabla 5. Parámetros para el vertimiento a un cuerpo de agua según el decreto 1594 de 1984 del ministerio del medio ambiente.

Parámetro	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
pH (Unidades de pH)	Unidades de pH	5 a 9
Temperatura (°C)	< 40	< 40
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites (%)	Remoción > 80% en carga	Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos (%) domésticos o industriales	Remoción > 50% en carga	Remoción > 80% en carga
Demanda bioquímica de oxígeno (%) :		
Para desechos domésticos	Remoción > 30% en carga	Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción > 20% en carga	Remoción > 80% en carga

Fuente: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, (1984) [11].

Los resultados de este monitoreo evidencia las cargas del afluente de la estructura existente para el tratamiento y su capacidad de tratamiento, en el cual se evidencia dificultades en el cumplimiento de la normatividad. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Resultados monitoreo mayo 2015, realizado por Pro análisis PSL, tomado del reporte mayo 2015.

PARÁMETROS	IDENTIFICACIÓN DE LA(S) MUESTRA(S)			
	Afluente PTAR		Efluente PTAR	
	Concen.	Incertidumbre de la medición	Concen.	Incertidumbre de la medición
Cadmio Disuelto (mg Cd/L)	(0,02) <0,035+	± (0,035)* 0,02	(0,01) <0,035+	± (0,035)* 0,02
Cloruros (mg Cd/L)	14,2	± 1,09	1020	± 78,5
Cromo Total (mg Cr/L)	0,552	± 0,019	0,180	± 0,006
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg O ₂ /L)	2237	± 178	911	± 72,9
Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg O ₂ /L)	3784	± 318	1568	± 132
Fenoles totales (mg/L)	(0,034) <0,06+	±(0,06)* 0,108	(0,002) <0,06+	±(0,06)* 0,108
Grasas y Aceites mg/L	666	± 1,8	51,7	± 1,3
Plomo Disuelto mg Pb/L	(0,001) <0,15+	± (0,15)* 0,03	(0,001) <0,15+	±(0,15)* 0,03
Sólidos Suspendidos Totales mg/L	76,5	± 6,0	57,5	± 4,5

Fuente: Pro análisis PSL, (2015).

De la anterior tabla se debe resaltar la diferencia importante con los referentes bibliográficos referente a la condición del afluente, nótese que la DBO₅ es de una concentración de 2237 (mg deO₂/L) y la DQO es de una concentración de 3784 (mg deO₂/L), bastante altos y considerados. Y que el tratamiento existente alcanzaba niveles aún altos de una concentración de 911 (mg deO₂/L) y la DQO es de una concentración de 1568 (mg deO₂/L). Ahora el otro referente que implico revisar el sistema de tratamiento, son los sólidos suspendidos totales, cuya remoción es realmente baja.

En el año 2016 para el mes de mayo y junio sin cambiar las estructuras de tratamiento y manteniendo el criterio de tratar la totalidad de las aguas recepcionadas en un solo bache de tratamiento se realizan pruebas de jarras y se logran las primeras mejoras en el tratamiento. Sin embargo, los parámetros de DBO₅ y DQO se mantenían en parámetros superiores a los de la nueva

normatividad, resolución 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, antes relacionada, pero las mejoras fueron realmente evidentes. En la tabla 7, se presentan los resultados de estas modificaciones en la química y en los procesos de tratamiento.

Tabla 7. Caracterización físico-química del efluente residual en la textilera.

Parámetro	Unidades	Valor
Datos de laboratorio		
Cloruros (Cl ⁻)	mg Cl ⁻ /L	151
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg O ₂ /L	1255
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	mg O ₂ /L	429
Sólidos Suspendidos Totales (STT)	mg/L	<10
Grasas y aceites	mg/L	<6,3
Datos de campo		
pH	Unidades de pH	5,32
Temperatura de la muestra	°C	35,5
Temperatura ambiente	°C	22,8

Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

La caracterización se realizó con un volumen aproximado de 2142 litros. Los datos de la anterior tabla fueron extraídos del informe de laboratorio SIAMA el cual se puede observar en el anexo B.

Aquí se quiere mostrar las concentraciones encontradas en el mes de junio de 2016, nótese que la DBO₅ es de una concentración de 429 (mg deO₂/L) y la DQO es de una concentración de 1255 (mg deO₂/L) y decir que a efectos de la nueva norma por verter a un sistema de alcantarillado local nos acercamos a las exigencias de la norma respecto de la DBO₅ es de una concentración de 300 (mg deO₂/L), sin embargo, la DQO mantenía niveles altos. Se procedió a modificar la química según prueba de jarras y se realizaron los monitoreos relacionados en la Tabla 8.

Tabla 8. Controles de laboratorio al tratamiento de aguas residuales industrial apocalipsis.

INFORMACION DE CONTROL DEL TRATAMIENTO						
PARAMETROS	jun-13	jul-06	jul-27	jul-29	sep-13	sep-23
DQO	1255	1386	1244	875	887	1339
DBO	429	378	386		197	298
CLOURUROS	151					
GYA	< 6.3					
SST	< 10					
PH	5.32					
TEMPERATURA	35,5					
DQO/DBO	2,9	3,7	3,2		4,5	4,5

Fuente: Reporte de resultados SIAMA, (2016).

Se evidencia que con la modificación de la química y de los procesos llegando se llegan a resultados aceptables de la DBO_5 pero la DQO mantenía resultados no esperados. Cada vez que se lograban niveles más bajos en DBO5 la DQO subía. Encontrando una relación de DQO/DBO_5 hasta de 4,5, cuando la norma solo permite una relación de 2.

Por ello surge la necesidad de revisar la bibliografía existente respecto al tema mediante la presente monografía y recomendar a la empresa APOCALIPSIS 3:20 cuales serían los pasos a seguir.

4.2 SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA TEXTILERA

Entre los procesos que actualmente se utilizan para el tratamiento de aguas residuales de las industrias textiles, están la precipitación química utilizando sulfato de aluminio o sulfato ferroso, La filtración por membranas que permite la remoción de color y contaminante tóxicos, otro proceso conocido es la ósmosis inversa el cual aporta significativamente en la remoción de compuestos iónicos,

color y sales minerales, La adsorción la cual permite remover una diversidad de colorantes y compuestos complejos, las técnicas electroquímicas, que presentan una alta eficacia en la remoción de color de una variedad de tintes y pigmentos, los tratamientos biológicos y las técnicas de oxidación [5].

4.2.1 Precipitación Química Por precipitación química se entiende la formación, por la acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles de los elementos indeseables contenidos en un agua, aplicando las leyes de Berthollet o las de la oxidación-reducción [12].

A. Generalidades de la Precipitación Química Con el propósito de eliminar nutrientes del agua y evitar fenómenos de eutrofización, se implementaron procesos de precipitación Química, con sales metálicas y coagulantes de origen orgánico o polímeros para la eliminación de fósforo principalmente. En la precipitación química, la sal metálica más utilizada es el Sulfato de Aluminio. Esta sal es utilizada debido al bajo costo con relación a otras sales como el Cloruro Férrico o los polímeros y por un tiempo considerable se ha utilizado en la eliminación de fósforo.

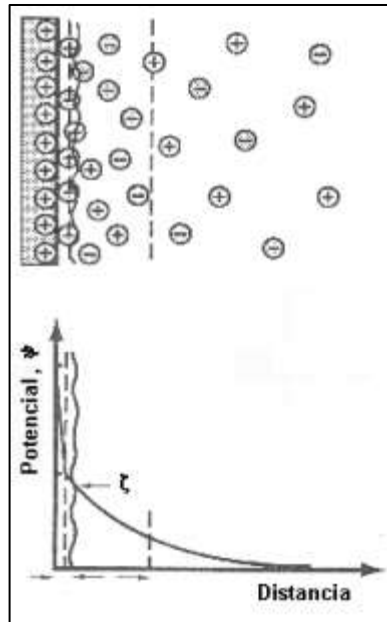
Este tipo de tratamiento lleva consigo la adición de productos químicos con el fin de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y de favorecer su eliminación por sedimentación. En algunos casos, la alteración es mínima, y la eliminación se logra al quedar atrapado en el interior de un precipitado de gran tamaño constituido, principalmente, por el propio coagulante. Otra consecuencia directa de la adición de químicos es el incremento neto en los constituyentes disueltos del agua residual. Los procesos químicos, junto con algunas de las operaciones físicas unitarias, se han desarrollado para proveer un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del nitrógeno, del fósforo, o de ambos al mismo tiempo.

Anteriormente, la precipitación química se utilizaba para mejorar la remoción de sólidos en suspensión y de la DBO en los siguientes casos: cuando se producían variaciones estacionales en la concentración de agua residual, cuando se requería un tratamiento intermedio y como ayuda en el proceso de sedimentación. Las partículas coloidales son las más difíciles de sedimentar y como consecuencia representa un reto para el proceso de precipitación química ya que este proceso está enfocado a la eliminación de estas partículas, las cuales representan la mayoría de los contaminantes presentes en las corrientes de las aguas residuales industriales [13].

B. Los Coloides. Son suspensiones estables, por lo que es muy difícil su sedimentación natural, son sustancias que ocasionan la turbiedad y el color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida. Estas partículas se caracterizan por ser hidrofílicas e hidrófobas, los hidrofílicos se dispersan dentro del agua y las moléculas de agua las rodean causando el aislamiento de estas partículas, las partículas hidrofóbicas no se dejan envolver de las moléculas de agua. Las partículas hidrófobas son en general partículas de materias inorgánicas mientras que las hidrofílicas son materias orgánicas; pero la mayoría de las veces se obtienen partículas hidratadas a diferentes grados.

Las partículas coloidales, tienen una carga eléctrica negativa ubicada sobre su superficie. Estas cargas denominadas cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos que a continuación se observa en la gráfica 1 [13].

Gráfica 1. La doble capa de una partícula coloidal.



Fuente: Rodríguez, (2006) [14].

Las partículas coloidales están sometidas a dos grandes de fuerzas:

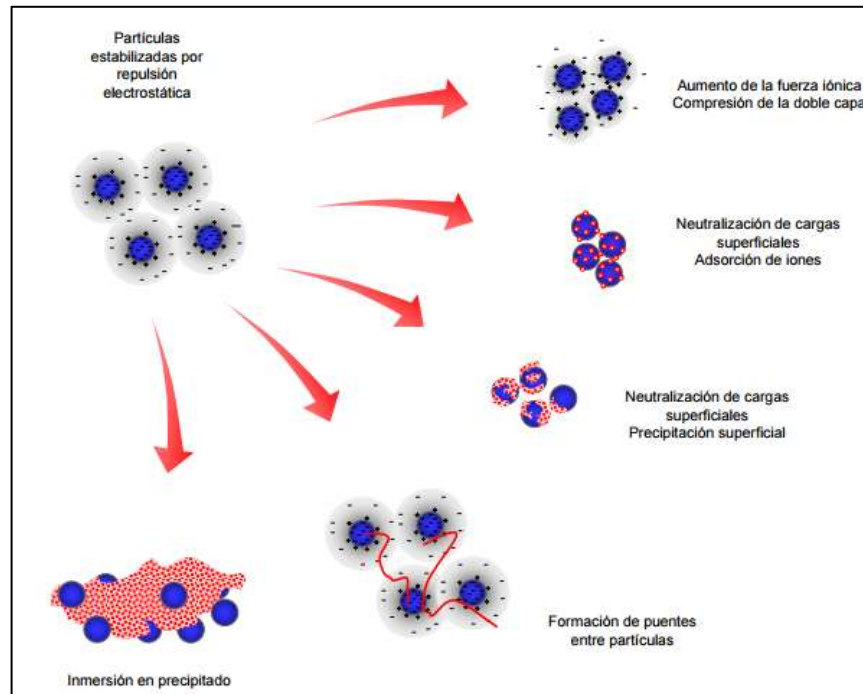
Fuerzas de atracción de Van der Waals: son fuerzas de atracción producidas por el movimiento continuo de las partículas.

Fuerzas de repulsión electrostáticas: son fuerzas que impiden la aglomeración de las partículas cuando estas se acercan unas a otras [13].

C. La Coagulación La coagulación desestabiliza las partículas coloidales que están en suspensión, para facilitar su aglomeración; por lo tanto se eliminan las materias en suspensión estables; la coagulación elimina la turbiedad y disminuye notablemente la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos. La coagulación desestabiliza las partículas coloidales por medio de la adición de los coagulantes químicos y la agitación continua del proceso de mezclado. En la gráfica 2 se muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de

la superficie del coloide permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos, ver figura 2 [13].

Figura 2. Fuerzas de interacción que actúan sobre una partícula en suspensión.



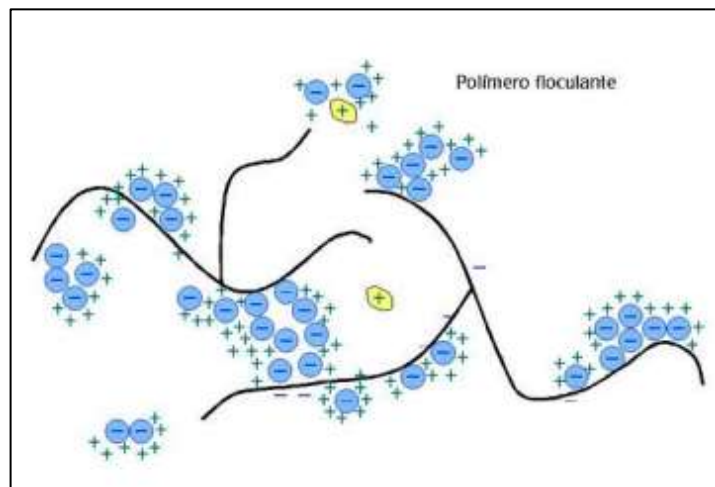
Fuente: Martínez, (2008) [15].

Como resultado de la coagulación hay un aumento de la fuerza iónica y una neutralización de cargas, las fuerzas de repulsión electrostáticas se hacen más pequeñas que las fuerzas de atracción de Van der Waals, y cuando las partículas coloidales colisionan se unen para formar partículas de mayor tamaño. A este proceso físico que favorece el choque de partículas se le denomina floculación [15].

D. La Floculación. La floculación es el proceso que precede a la coagulación, esta realiza una agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos que se han formado con la intención de aumentar el

tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Si los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no son lo suficientemente grandes como para sedimentar con la rapidez deseada, es necesario el uso de un polímero floculante para reunir los flóculos en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados como se observa en la figura 3 [13].

Figura 3. Polímero floculante.



Fuente: Oyarzo, (2007) [13].

- **Parámetros de la Floculación.** Los parámetros que caracterizan la floculación son los siguientes:
 - Tipo de mezcla (puede ser, Mecánica o Hidráulica).
 - Gradiente de Velocidad (energía necesaria para producir la mezcla).
 - Número de colisiones (choque entre microflóculos).
 - Tiempo de retención (tiempo de retención del agua en la unidad de floculación).
 - Densidad y tamaño del flóculos.
 - Volumen de lodos.

Para que la floculación tenga una mayor eficacia se necesita un mezclado lento el cual permite juntar los flóculos; si se hace un mezclado a altas velocidades los flóculos formados se destruyen y difícilmente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos [13].

• **Factores que influyen en la Coagulación - Floculación.** Estos factores son importantes para el control del proceso y obtener buenos resultados:

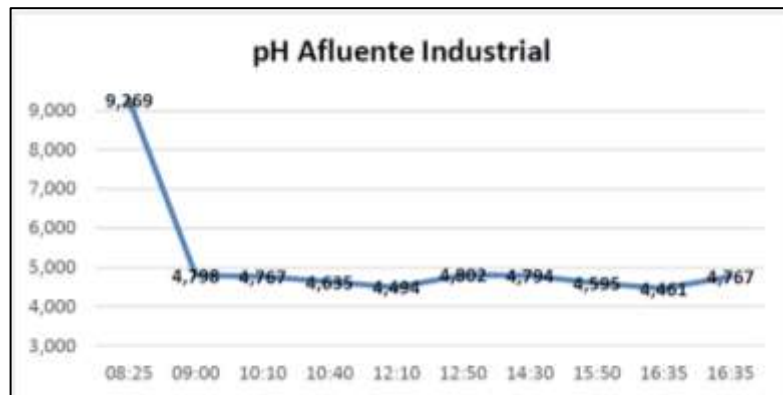
- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- Tipo de coagulante utilizado.
- Condiciones de Mezcla.
- Sistemas de aplicación de los coagulantes.
- Tipos de mezcla y el color [13].

Cada factor está relacionado con los otros, se requiere de todos para calcular las cantidades de los precipitantes y así realizar bien el proceso de coagulación-floculación.

F. La experiencia en APOCALIPIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S Las pruebas de jarras se sujetaron inicialmente a los resultados referidos y anotados del año 2015 respecto de temperatura y pH. Las siguientes gráficas nos muestran las condiciones previas a la consideración química de la prueba:

El pH con el que sale del agua después de la tintura nos muestra resultados bajos lo que implicaría en el uso del Policloruro de Aluminio (hidroxicloruro de aluminio), PAC, subir el pH a niveles básico. Se usó soda caustica y cal.

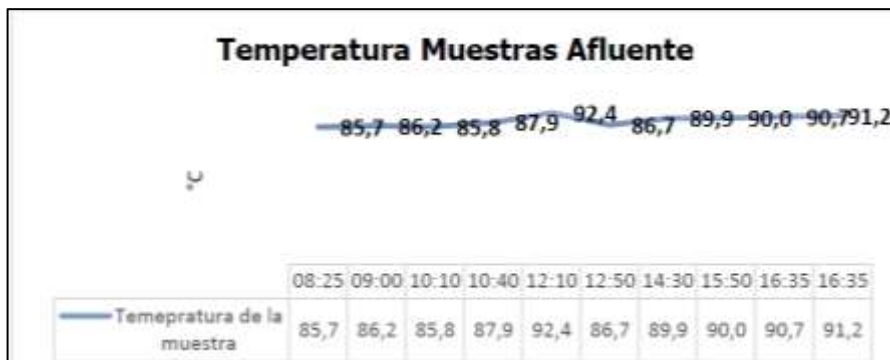
Gráfica 2. Resultados de pH en el monitoreo de mayo de 2015, tomado del informe de resultados.



Fuente: Pro análisis PSL, (2015).

Respecto de las altas temperaturas registradas, represento una gran ayuda al proceso de precipitación química. Véanse los resultados en la siguiente gráfica. Para lograr cumplir la norma fue necesario realizar la aplicación en la tarde y verter en la mañana cuando la temperatura lograba valores menores de 40°C.

Gráfica 3. Resultados de temperatura en el monitoreo de mayo de 2015, tomado del informe de resultados.



Fuente: Pro análisis PSL, (2015).

Respecto de los coloides se usó un coadyuvante en el proceso de coagulación realizado por el PAC. Se usó de Poli(acrilamida) catiónica (CPAM)[†] es una especie de poli electrolito soluble en agua, que es no tóxico, insípido, soluble en agua.

A efectos de garantizar la mínima DBO₅ en la prueba de jarras se procede a oxidar con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrogeno, alcanzando los resultados destacados en la Tabla 7. Sin embargo, la DQO mantiene niveles superiores a los referidos en la norma. Por ello se destacan los siguientes tratamientos adicionales.

4.2.2 Filtración por Membranas La filtración por membranas son empleadas para la concentración de disoluciones o suspensiones, Los procesos de membrana es un proceso de separación basado en propiedades moleculares. Una membrana es una lámina fina de material que actúa como un filtro muy específico. Muchos procesos de separación de efluentes han notado que la filtración por membrana es una alternativa de manejo sencillo, que permite una construcción por etapas ó módulos, y no requiere adicionar ningún químico. Además, la operación de la técnica de filtración con membranas requiere normalmente un bajo consumo energético [16].

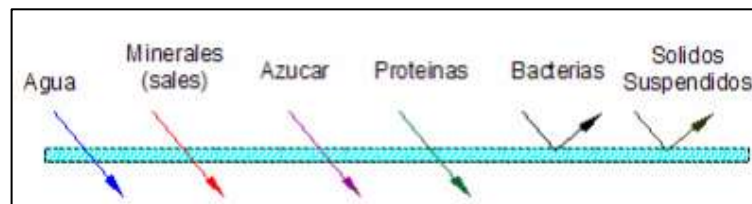
A. Operación con membranas Una operación de membrana se puede decir que es una operación que tiene una corriente de alimentación la cual es dividida en dos: un permeado conteniendo el material que ha pasado a través de la membrana y rechazo o concentrado conteniendo las especies que no la atraviesan.

Como tratamiento primario de aguas residuales se utiliza la filtración simple, seguido de un tratamiento más avanzado, como la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración u ósmosis inversa [17].

[†] Poli(acrilamida) catiónica se puede utilizar para el tratamiento de las aguas residuales domésticas y orgánicas, tales como elaboración de papel, pasta, alimentos, sacarosa, forraje, impresión, teñido de textiles, etc.

- **Microfiltración** La microfiltración es un proceso de flujo de baja presión, a través de la membrana para la separación de coloides y partículas suspendidas en el rango de 0.05 – 10 micrones. La microfiltración se puede emplear para eliminar turbidez, bacterias y protozoos de aguas residuales, ya sea totalmente o de manera significativa [17].

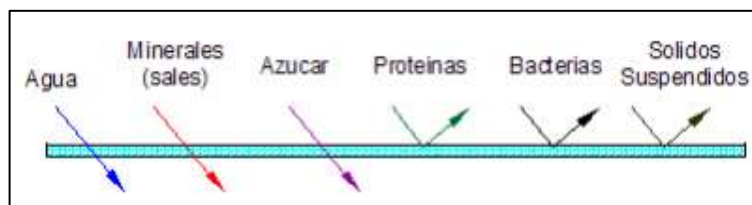
Figura 4. Micro filtración.



Fuente: Lara, (2002) [18].

- **Ultrafiltración** La ultrafiltración es utilizada para retirar partículas y desinfectar el agua, esta operación no altera la composición química del agua, elimina contaminantes hasta 0,01 μ . Estas membranas son porosas y retienen quistes, bacterias, virus, sólidos en suspensión, partículas de hierro y manganeso, pero no son eficaces en la eliminación de compuestos orgánicos naturales o sintéticos [17].

Figura 5. Ultrafiltración.

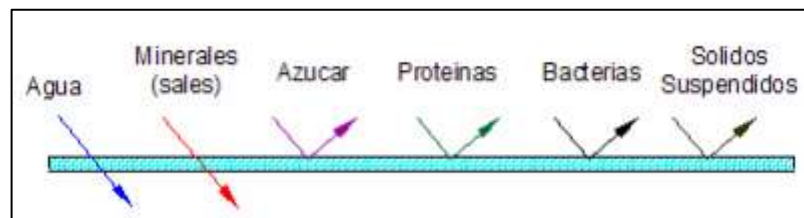


Fuente: Lara, (2002) [18].

- **Nanofiltración** La nanofiltración, denominada ósmosis inversa a baja presión, la cual está diseñada para eliminar iones polivalentes (calcio y magnesio) en operaciones de ablandamiento. Actualmente ha sido empleada para separar la

materia orgánica; así como en la desmineralización, remoción de color y desalinización. En concentraciones de solutos orgánicos, sólidos en suspensión y iones polivalentes. En esta técnica los iones monovalentes son rechazados débilmente por la membrana. Esto explica por qué la nanofiltración permite una contrapresión osmótica mucho menor que la osmosis inversa. También elimina contaminantes de hasta 0,001 μ de tamaño. Esto incluye quistes, bacterias, virus, materia orgánica, sales, dureza, patógenos, pesticidas, turbidez, pesticidas y casi todos los contaminantes conocidos [17].

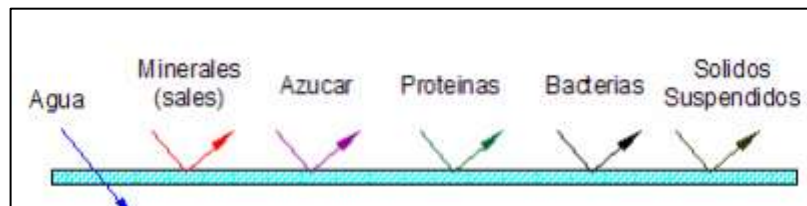
Figura 6. Nanofiltración.



Fuente: Lara, (2002) [18].

- **Osmosis Inversa** La osmosis inversa es una operación que maneja una presión para impulsar el solvente de una solución a través de una densa membrana diseñada únicamente para retener sales y solutos de bajo peso molecular [18].

Figura 7. Osmosis Inversa.



Fuente: Lara, (2002) [18].

La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, de sus propiedades y de la concentración del agua a tratar. Una

membrana para realizar ósmosis inversa debe resistir presiones mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones.

La membrana tiene que ser permeable al agua para que el flujo pase y retener un porcentaje elevado de sales. En la ósmosis inversa, se recurre a la filtración tangencial, es decir, la dirección de flujo del agua a tratar es paralela a la superficie de la membrana, lo que implica que tan sólo una parte del agua sucia de alimentación pasa realmente a través de ella [16].

Este proceso es simple, solo se necesitan las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de osmosis inversa tiene sus problemas, las membranas se ensucian con la operación continua y necesita un pretratamiento intensivo, que comprende entre otros:

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua a tratar.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.
- Microfiltración y ultrafiltración en el caso de aplicaciones industriales muy específicas ó en reutilización de aguas residuales [16].

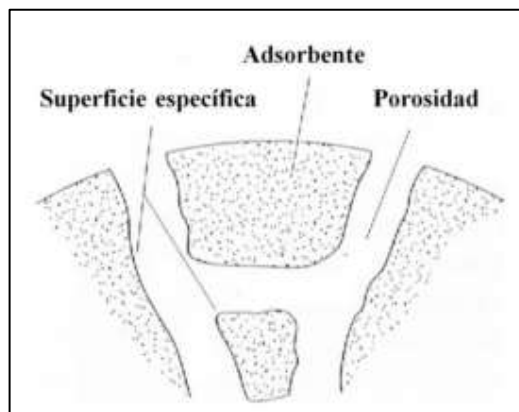
4.2.3 La Adsorción La adsorción se da entre un sólido y un fluido (líquido o gaseoso), es un fenómeno superficial que tiene como principal característica el enriquecimiento de uno o más componentes en la capa interfacial [19].

La adsorción sólido-líquido es un proceso utilizado comúnmente en el tratamiento de aguas residuales. Se emplea para retener contaminantes de naturaleza

orgánica presentes en concentraciones bajas, lo que dificulta su eliminación por otros procedimientos.

La adsorción también elimina compuestos fenólicos, metales pesados, hidrocarburos aromáticos nitrogenados, derivados clorados y sustancias coloreadas. La adsorción es un proceso de separación y concentración de uno o más componentes (adsorbatos) presentes en una fase líquida o gaseosa sobre la superficie de una fase sólida insoluble en ella (adsorbente). El adsorbente puede estar suspendido en el fluido o soportado en un lecho fijo por el cual circula la fase fluida. Sobre su superficie se produce la adhesión de átomos, iones o moléculas del adsorbato, distribuyéndose de forma selectiva entre ambas fases. El proceso se realiza en la superficie externa del material y en su superficie interna, para lo que el adsorbato debe penetrar en el interior de los poros del adsorbente [8].

Figura 8. Estructura del material adsorbente.



Fuente: Galán, (2013) [8].

Las fuerzas intermoleculares en la adsorción son de la misma naturaleza que las fuerzas existentes en el seno de los líquidos y sólidos. En la parte interna de una fase, las fuerzas que mantienen unidas las diferentes partes de la misma se hallan compensadas en todas direcciones [19].

La naturaleza de las fuerzas impulsoras en la adsorción puede ser de diferentes tipos. En función de la intensidad de estas fuerzas, los fenómenos de adsorción se pueden clasificar en dos tipos fundamentales:

A. Fisisorción El proceso es reversible, ya que las interacciones que se establecen son de naturaleza física, sin que se compartan ni transfieran electrones entre moléculas, los calores de adsorción son bajos. Estas interacciones suelen ser fuerzas de Van der Waals [8].

B. Quimisorción El proceso es irreversible, ya que las interacciones que se establecen son enlaces químicos con los centros activos de la superficie. Debido a que se producen enlaces químicos los calores de adsorción son mayores que los de la fisisorción [8].

C. Etapas de la Adsorción La primera es la difusión hasta la superficie del adsorbente, seguida de la difusión hasta el interior de los poros y por último la adsorción sobre la superficie libre de los poros. Las etapas de transferencia de materia son las que limitan el proceso, ya que la adsorción es prácticamente instantánea.

Es primordial que los poros del adsorbente tengan un tamaño apropiado para que las moléculas de adsorbato puedan pasar sin dificultad. Para alcanzar una alta capacidad de equilibrio también es fundamental que exista una fuerte afinidad entre el adsorbato y el adsorbente.

La capacidad de adsorción no sólo se relaciona con el sólido, sino que también con los solutos que han de adsorberse y las condiciones del medio de adsorción, por tal razón las variables del proceso de adsorción se podrían agrupar en [8]:

- **Propiedades del sólido**

- La superficie específica: es uno de los factores importantes debido a que la adsorción es un fenómeno superficial.
- La distribución de tamaño de poros: afecta a la adsorción porque determina la accesibilidad del adsorbato a la superficie interna del adsorbente.
- El tamaño de partícula: influye en la cinética del proceso de adsorción.

- **Naturaleza del adsorbato**

- La solubilidad en el disolvente: de ella depende la afinidad del adsorbente por la fase fluida, que se opone al proceso de adsorción.
- La concentración en la fase fluida: determina el gradiente de concentración con la fase sólida, que actúa como fuerza impulsora del proceso.
- La estructura, grupos funcionales y naturaleza iónica: marca el tipo e intensidad de las interacciones que se establecen entre el adsorbato y el adsorbente.
- Tamaño molecular: de él depende la accesibilidad de las moléculas de adsorbato al interior de los poros del adsorbente.

- **Características de la fase líquida**

- pH y fuerza iónica: condicionan las interacciones que se establecen entre el adsorbato y el adsorbente.
- Temperatura: influye según el carácter endotérmico o exotérmico del proceso, favoreciendo o desfavoreciendo el proceso de adsorción.
- Propiedades del disolvente: de entre todas ellas las más importantes son la tensión superficial y su naturaleza química.

El equilibrio de adsorción se alcanza tras el reparto del adsorbato entre las dos fases (líquido y sólido), de forma que ya no existe la fuerza impulsora (gradiente de concentración) necesaria para que continúe la adsorción [8].

4.2.4 Tratamientos Biológicos Son utilizados para tratar los efluentes líquidos de la industria textil, e incluyen básicamente tratamientos aeróbicos que pueden ser combinados por una o más etapas de tratamiento, como sedimentación, tamizados, coagulación o cualquier otro tratamiento fisicoquímico avanzado, como ultrafiltración o adsorción sobre carbón activado [20].

A. Generalidades de los tratamientos biológicos La eficiencia del tratamiento biológico depende directamente de la relación DBO5/DQO para obtener una disminución notable de la DQO. El valor medio de esta relación en una industria textil es de 0,35, lo que hace difícil la eliminación total de la DQO. Es conveniente llevar esta relación a un valor no menor de 0,6 para lograr una biodegradabilidad aceptable en el efluente [20].

Estos tratamientos son una solución muy eficaz para la eliminación de un gran número de contaminantes. Pero posee algunas desventajas como lo es su lento proceso de degradación, que no permite alcanzar un alto grado de eliminación del contaminante si la concentración es elevada y no es adecuado para tratar efluentes que contengan compuestos tóxicos para los microorganismos [21].

B. Tipos de tratamientos biológicos

- **Las lagunas aireadas** Son sistemas de baja profundidad donde la mayoría de las bacterias son aerobias y algas fotosintéticas como las principales responsables de la degradación de la materia orgánica. Este sistema se emplea muy poco ya que es bastante lento, se necesita gran cantidad de espacio y puede que emita malos olores [21].

- **Los contactores rotatorios (RBC)** Los contactores rotatorios se han empleado para tratar las aguas contaminadas con fenol. Este tipo de reactores utiliza un soporte fijo (discos de plástico que giran sobre un eje), donde se acumula y desarrolla la biomasa (biopelícula) que degrada la materia orgánica [21].
- **Filtros biológicos (“Sequencing batch biofilter”)** Otro tipo de reactores basados en biopelículas. Este sistema utiliza una combinación de técnicas como la biopelícula fija y la biomasa en suspensión, los cuales pueden alcanzar rendimientos más altos en la eliminación de la DQO, con elevadas cargas orgánicas. Se han utilizado con éxito para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con fenol y distintos clorofenoles [21].
- **Lodos activos** Los lodos activos son los más utilizados para la degradación biológica de materia orgánica y otros contaminantes, en este sistema el agua con contaminantes que se va a tratar es alimentada a un reactor donde se mantiene un cultivo bacteriano en suspensión. Se emplean varios tipos de reactores, entre los que se destacan los UASB.

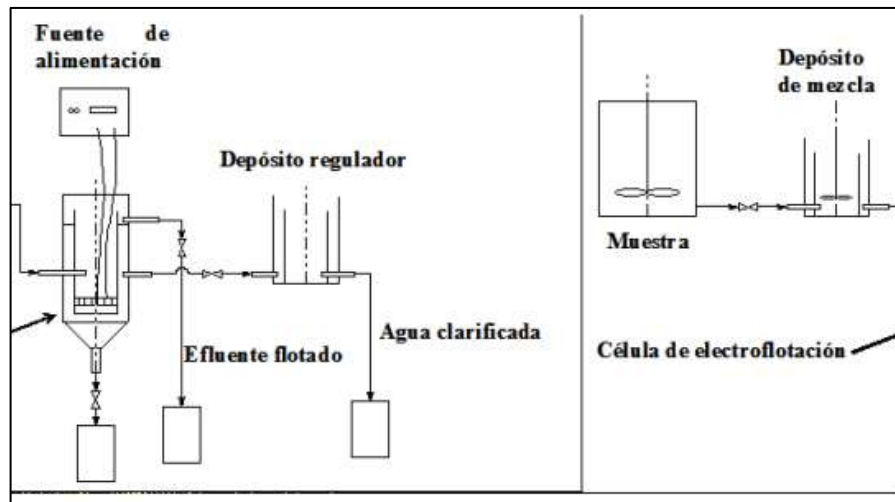
Los UASB o reactores anaerobios de manto de lodos con flujo ascendente se han empleado para el tratamiento de efluentes complejos generados por la industria de pasta y papel, petroquímica, química, farmacéutica y textil [21].

4.2.5 Tratamientos con técnicas electroquímicas Estas técnicas para el tratamiento de aguas residuales utilizan una celda electrolítica y un par de electrodos metálicos por los cuales circula una corriente eléctrica. Estos sistemas electroquímicos a pequeña escala son viables y suplen la necesidad de utilizar químicos y organismos ya que el sistema utiliza electrones para realizar el tratamiento. Estas técnicas emplean una instrumentación robusta y compacta,

fáciles de obtener en el mercado y tienen la posibilidad de reemplazar otros procesos más sofisticados [1].

A. Electroflotación Esta técnica se realiza en un tanque por el cual pasa un efluente a tratar, en el fondo se encuentran los electrodos donde la posición del cátodo está por encima del ánodo. A través de estos electrodos, pasa una corriente eléctrica que provoca la electrólisis del agua, la cual forma burbujas de oxígeno en el ánodo y de hidrogeno en el cátodo. Las burbujas formadas arrastran las pequeñas partículas que se encuentran en el efluente a tratar [1].

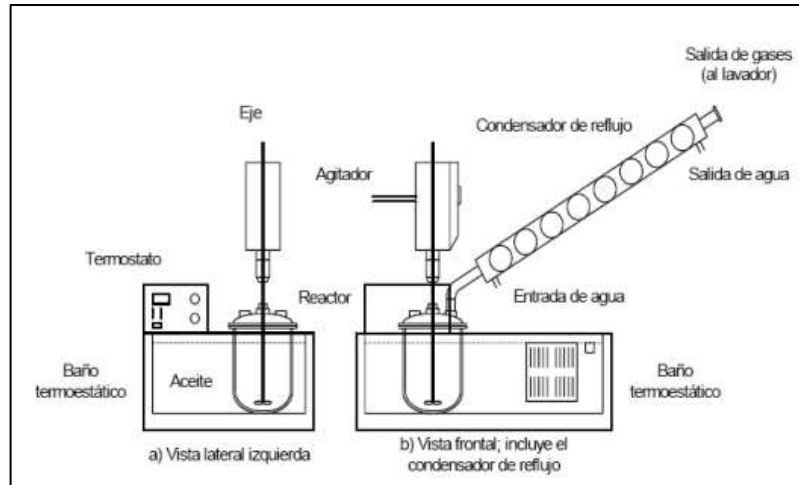
Figura 9. Electroflotación.



Fuente: Maldonado y Molina, (2011) [1].

B. Electrodecantación Esta técnica utiliza la separación por gravedad acelerado con campo electromagnético. La electrodecantación se realiza en un sedimentador de alta tasa, placas paralelas con barras de electrodos para campo magnético [1].

Figura 10. Electrodecantación.



Fuente: Maldonado y Molina, (2011) [1].

C. Electrocoagulación Es un proceso electroquímico que utiliza la disolución de un ánodo para obtener compuestos los cuales se usan en la agrupación de materia coloidal existente en un agua residual (o se rompe una emulsión), posibilitando su separación del agua mediante técnicas convencionales de separación sólido-líquido (decantación, flotación) [15].

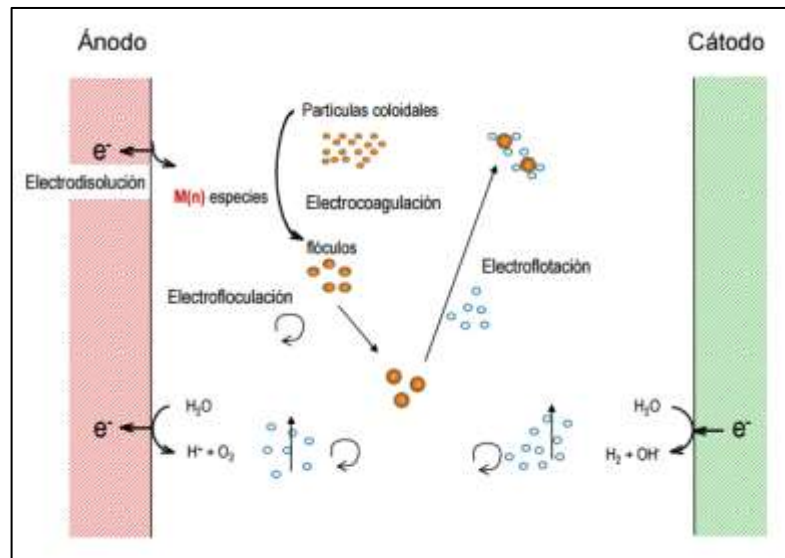
El material anódico utilizado son placas de aluminio o de hierro generalmente. Con la aplicación de una diferencia de potencial a la celda, se consigue la generación de iones en disolución. Como resultado se obtienen:

- hidróxidos insolubles sobre los que quedan retenidos los contaminantes.
- hidroxocomplejos catiónicos o aniónicos, que desestabilizan las fuerzas de repulsión electrostáticas existentes en la materia coloidal (o en las microgotas de una emulsión), bien por neutralización de cargas o bien por formación de enlaces intrapartícula.

Un reactor electroquímico que realiza la electrocoagulación, consta de un depósito, en el que se sumergen los dos electrodos (el ánodo o electrodo de trabajo, y el cátodo o electrodo inerte), y de la fuente de alimentación donde se

conectan los electrodos. Al establecerse una diferencia de potencial entre los electrodos de la celda, comienzan los procesos de reducción en el cátodo (generalmente, conversión de los protones del agua en hidrógeno), y los de oxidación en el ánodo (generándose el ión Al^{3+} si el ánodo es de aluminio, o el Fe^{3+} si el ánodo es de hierro). Estos iones de aluminio o hierro se hidratan rápidamente y comienzan a formar tanto hidróxidos insolubles del metal, sobre los que quedan retenidos los contaminantes, como hidroxocomplejos cargados, positiva o negativamente, que permiten la coagulación por neutralización de cargas [15].

Figura 11. Procesos involucrados en la electrocoagulación.



Fuente: Martínez, (2007) [15].

4.2.6 Tratamientos con procesos de oxidación Las Técnicas Avanzadas de Oxidación (TAOs) han sido desarrollados con el propósito ofrecer una alternativa más eficiente a los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales, logrando oxidar una gran variedad de contaminantes orgánicos. Los procesos convencionales de aguas residuales tales como tratamientos biológicos, químico-físicos convencionales, adsorción con carbón activado u otros adsorbentes, no logran detoxificar en su totalidad las aguas residuales industriales. Las TAOs

generan radicales OH. Este radical se genera por medios fotoquímicos o por otras formas de energía capaces de degradar sustancias tóxicas al convertir compuestos orgánicos en dióxido de carbono, agua y sustancias inorgánicas debido a que tienen un elevado potencial de oxidación. Estas técnicas se han caracterizado por tener altos niveles de eficiencia y han sido propuestos como métodos de tratamiento en condiciones de producción de efluentes por lotes [5].

4.2 COMPARACIÓN CUALITATIVA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

4.2.1 Precipitación química En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de la precipitación química.

Tabla 9. Comparación cualitativa de la precipitación química.

Ventajas de usar la precipitación química:	Desventajas de la precipitación química:
A lo largo de la historia ha sido un tratamiento empleado en diferentes tipos de efluentes contaminados.	Según el tipo de coagulante químico que se utilice puede generar cantidades significativas de lodos.
Fácil operación y no requiere de mantenimiento constante.	Necesita de un sitio idóneo para la disposición final de los lodos.
Se pueden manejar caudales grandes con este tipo de tratamiento.	Dependiendo de las características físico-químicas del efluente a tratar se pueden generar malos olores.
Es un tratamiento que se realiza con bajo presupuesto ya que los químicos empleados son relativamente baratos y fáciles de conseguir.	Se necesita de un control de las características físicoquímicas para establecer la dosis óptima de coagulante químico a utilizar.
El tiempo de reacción y separación del	

Ventajas de usar la precipitación química:	Desventajas de la precipitación química:
contaminante son relativamente cortos comparados con los procesos biológicos o físicos.	
No necesita de grandes espacios para el montaje del equipo.	
La reacción química con el contaminante es visible y rápida.	
A través del tiempo los químicos empleados en la precipitación química han evolucionado y son más eficientes.	

Fuente: modificado de Oyarzo, (2007) [13].

4.2.2 Filtración por Membranas En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de la Filtración por Membranas.

Tabla 10. Comparación cualitativa de la filtración por membranas.

Ventajas del tratamiento por filtración con membranas:	Desventajas de la filtración por membranas:
Reducción del número de procesos en sistemas de tratamiento.	Altos costes de fabricación.
Potencial para la automatización de procesos y compacidad de las plantas.	Requiere de energía para generar presión.
Reducción o eliminación de productos químicos.	Reducida vida útil de las membranas.
Menos producción de fangos.	Control y mantenimiento de las membranas.
Reutilización de aguas y reciclado.	El embrutecimiento de las membranas.
	No maneja grandes caudales.
	La producción de elevada de fangos.
	Requiere de un espacio para la disposición final de los fangos.

Fuente: modificado de Sánchez, (2007) [16].

4.2.2 La Adsorción En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de la Adsorción.

Tabla 11. Comparación cualitativa de la Adsorción.

Ventajas del tratamiento por adsorción:	Desventajas de la adsorción:
Elimina residuos a bajas y altas concentraciones.	Tratamiento no destructivo del contaminante.
Bajo coste inicial del tratamiento.	Requiere de limpieza y disposición final de los residuos concentrados del contaminante.
Flexibilidad frente a variaciones de caudal.	Coste de operación elevada.
Sencillo diseño y operación.	Los costes de los adsorbentes son elevados dependiendo del tipo de material.
Requiere de poco espacio.	Después de la colmatación del lecho se debe reemplazar o hacer mantenimiento periódico si es posible.
No consume reactivos químicos.	
No hay formación de sustancias nocivas.	

Fuente: modificado de Galán, (2013) [8].

4.2.3 Tratamientos Biológicos En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de los tratamientos biológicos.

Tabla 12. Comparación cualitativa de los tratamientos biológicos.

Ventajas de utilizar los tratamientos biológicos:	Desventajas de los tratamientos biológicos:
Eliminan una amplia gama de contaminantes orgánicos.	Procesos muy lentos.
Concentran los contaminantes para un manejo más fácil.	Requieren gran espacio.
No consume reactivos químicos.	Se pueden producir malos olores dependiendo del tipo de efluente a tratar o del tipo de microorganismo que se utilice.
Bajo coste inicial del tratamiento.	Se requiere de un espacio para la disposición final del lecho cuando este se halla colmatado.
Fácil operación y mantenimiento.	Se requiere de la adaptación del microorganismo al nuevo medio ambiente.
El costo de plantas, algas o microorganismos son significativamente bajos.	El arranque del proceso es demorado y requiere de constante control.
	No elimina todos los contaminantes nocivos y puede que estos produzcan la muerte del lecho si están muy concentrados y son muy tóxicos.

Fuente: modificado de Bautista, (2008) [21].

4.2.4 Tratamientos con técnicas electroquímicas En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de los Tratamientos con técnicas electroquímicas.

Tabla 13. Comparación cualitativa de los tratamientos con técnicas electroquímicas.

Ventajas de utilizar tratamientos con técnicas electroquímicas:	Desventajas del tratamiento electroquímico:
No requieren del uso de reactivos químicos.	Utiliza gran cantidad de energía eléctrica.
La instrumentación es robusta y compacta.	El costo de operación es significativo.
No necesitan de mucho espacio.	Se requiere cambiar los ánodos de sacrificio periódicamente.
El material utilizado como ánodo de sacrificio no tiene un alto coste.	Se utiliza a baja escala y con caudales bajos.
El tiempo de reacción con el contaminante es relativamente rápido.	

Fuente: modificado de Maldonado y Molina, (2011) [1].

4.2.5 Tratamientos con Oxidación En la siguiente tabla se comparan las diferentes ventajas y desventajas de los Tratamientos con Oxidación.

Tabla 14. Comparación cualitativa de los tratamientos con Oxidación.

Ventajas que se han observado de la aplicación de los procesos de oxidación:	Desventajas de las técnicas de oxidación:
Interviene en el tratamiento de contaminantes empleando reactivos a baja concentración.	Se desarrollan en sistemas de tratamiento por lotes.
El proceso impide la formación de subproductos o se forman en baja concentración.	Se utilizan en instalaciones industriales pequeñas.
El contaminante no solo cambia de fase sino que a su vez es transformado químicamente.	Requiere de reactivos químicos.
El proceso resulta útil en la remoción de contaminantes refractarios tolerantes a procesos	

Ventajas que se han observado de la aplicación de los procesos de oxidación:	Desventajas de las técnicas de oxidación:
biológicos.	
Es empleado para disminuir la concentración de compuestos formados en pre tratamientos alternativos.	
El tiempo de reacción es relativamente corto en comparación con otros métodos de tratamiento, como el tradicional uso de sulfato de aluminio.	
Se elimina casi totalmente el color de efluentes cuya matriz es fuertemente coloreada.	

Fuente: modificado de Torres, (2014) [5].

4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO MÁS IDÓNEO PARA LA EMPRESA TEXTILERA APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S

Por lo general, como primer paso se aplican tratamientos para la eliminación de las partículas de mayor tamaño (sólidos en suspensión). Se utilizan normalmente tratamientos como el desbaste, sedimentación, flotación, filtración, y coagulación – floculación. Posteriormente, se tratan los contaminantes disueltos en el agua por distintos procedimientos: oxidación química, filtración con membranas, oxidación/reducción electroquímica, electrodiálisis, precipitación, intercambio iónico con resinas y adsorción.

La experiencia en el tratamiento de aguas residuales ha demostrado que no es posible mediante un único procedimiento eliminar todos los contaminantes de estos efluentes, debido a la gran variabilidad y complejidad de colorantes y otros

contaminantes. Por ello, suelen combinarse diferentes técnicas para obtener mayor eficiencia en el proceso y en la calidad del agua a la salida del tratamiento [8].

Según lo anterior, se requiere utilizar una combinación de técnicas para tratar el efluente de la textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S ya que la caracterización realizada evidencia un alto contenido de contaminantes. También existen otros factores a tener en cuenta para la selección del sistema de tratamiento adecuado como lo es el bajo presupuesto que se dispone para la construcción del equipo, la poca disponibilidad de espacio, la variabilidad de los caudales, la necesidad de requerir poco del servicio eléctrico, el mantenimiento y operación del sistema con poco personal posible, un tiempo de retención y tratamiento cortos, los cuales dependen del tiempo laboral de trabajo de la planta textilera.

Teniendo en cuenta los alcances de la empresa textilera y las ventajas y desventajas de cada técnica de tratamiento de agua residual, se elimina la posibilidad de utilizar el método de filtración por membranas ya que es un tratamiento costoso tanto para su instalación como para la operación y mantenimiento, el método de adsorción permite remover contaminantes a diferentes concentraciones pero requiere de limpieza periódica, el coste de operación es elevada y los costes de los adsorbentes son altos haciendo que el proceso sea poco viable económicamente para la textilera, los tratamientos biológicos son una de las opciones más amigables con el medio ambiente y requiere de poco presupuesto para su montaje y operación, sin embargo necesitan de gran espacio, son procesos con tiempos de retención lentos, el arranque del proceso es demorado, se deben adaptar los microorganismos al medio y existe la probabilidad que la carga contaminante sea demasiado toxica provocando la muerte de los microorganismos.

También están los tratamientos con técnicas electroquímicas las cuales tienen un tiempo de retención relativamente corto no requieren de mucho espacio y tienen una alta tasa de remoción de contaminantes pero utilizan una gran cantidad de energía eléctrica, se requiere del cambio de los ánodos de sacrificio periódicamente haciendo que el costo de operación sea alto, además este método se ha empleado a baja escala imposibilitando la adecuación del proceso frente al volumen del efluente a tratar de la textilera.

Por tanto se opta por implementar el uso de dos de los tratamientos evaluados anteriormente, ya que sus ventajas se adecuan a las necesidades de la textilera. Como primer paso se utiliza un tratamiento de precipitación química mediante el uso de un proceso de coagulación-floculación el cual tiene la ventaja de eliminar los sólidos suspendidos y los coloides de forma eficaz, su operación es fácil y no requiere de mantenimiento constante, se pueden manejar caudales de gran tamaño, es un tratamiento que se realiza con bajo presupuesto ya que los químicos empleados son relativamente baratos y fáciles de conseguir, no necesita de grandes espacios para el montaje del equipo y la reacción química con el contaminante es visible y rápida haciéndola una propuesta atractiva para las empresas.

Como segundo paso se requiere el uso de tratamientos con oxidación ya que existen contaminantes disueltos en el efluente los cuales no son totalmente eliminados con el tratamiento de precipitación química.

Este método impide la formación de subproductos o si se forman lo hacen en baja concentración. Además de que el contaminante no solo cambia de fase sino que a su vez es transformado químicamente, este proceso resulta útil en la remoción de contaminantes refractarios tolerantes a procesos biológicos, también es empleado para disminuir la concentración de compuestos formados en pre tratamientos alternativos, el tiempo de reacción es relativamente corto en comparación con

otros métodos de tratamiento, como el tradicional uso de sulfato de aluminio y se elimina casi totalmente el color de efluentes cuya matriz es fuertemente coloreada [5].

Para esta oxidación se emplea el uso de peróxido de hidrogeno (H_2O_2) el cual es comúnmente usado por su eficacia para oxidar y descontaminar aguas residuales de todo tipo.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S

Apocalipsis 3:20 inicia labores el 1 de junio de 1997, como una adquisición de Trenzahilos Bucaramanga. Su fundador Harvey Porras Ferro, comienza labores en un establecimiento comercial ubicado en la calle 23 N° 16-39. En el año 2010 se inicia el proyecto de compra y adecuación de una bodega propia liderado por su fundador que tras su fallecimiento Apocalipsis 3:20 se ve obligada a cambiar de razón social, convirtiéndose en lo que es hoy en día: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S [22].

4.4.1 Localización Las instalaciones se encuentran ubicadas en la Cra13 No 57-134 Zona Industrial de Girón, Latitud $7^{\circ} 5' 1.22''$, Longitud $73^{\circ} 9' 42,73''$ [22].

Fotografía 1. Ubicación geográfica de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

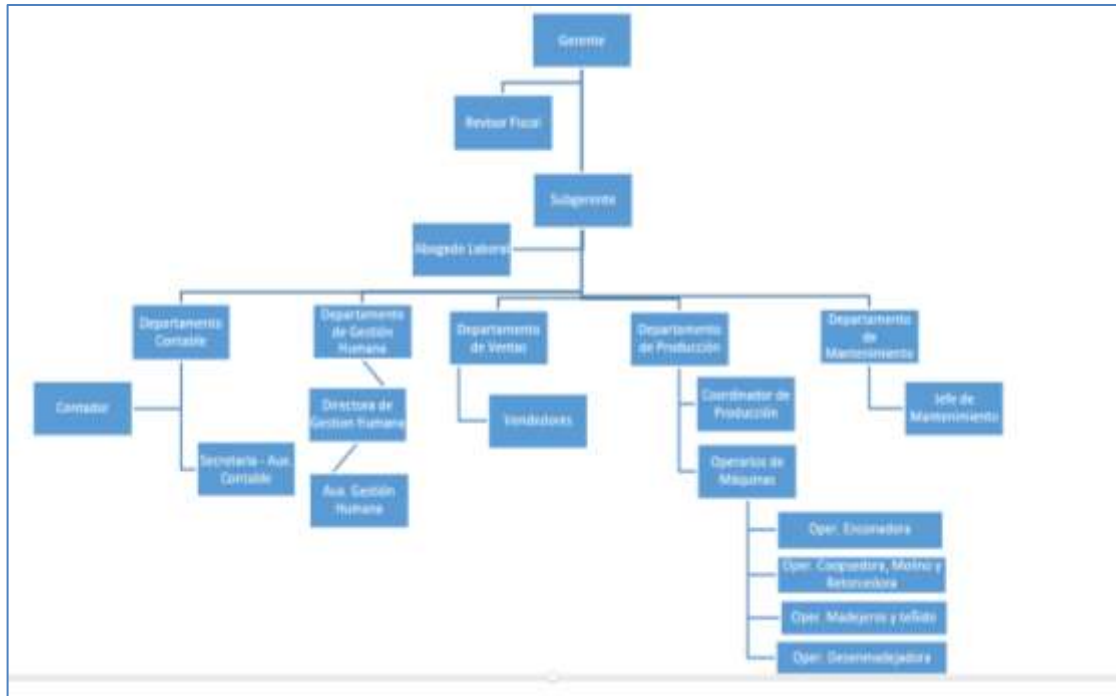


Fuente: modificado de Google Earth (2015).

4.4.2 Estructura laboral de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S

La siguiente figura describe por medio de un diagrama de flujo la organización general de la empresa.

Figura 12. Organigrama General de APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.



Fuente: Cardozo, (2016) [22].

4.4.3 Descripción de la actividad La empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, produce en el mercado del Nylon, cuerda cruda y de color, con sistema de gestión de la calidad que garantiza la producción de seis 6 calibres de Nylon y 1 deslizado, adaptables a diferentes presentaciones (gramajes) y colores; todo se integra a dar solución a las necesidades específicas de cada uno de los clientes.

Se tienen 72 colores en todas las gamas y 26 matizados, en teñidos con 3000 combinaciones posibles de fibras e hilos a cualquier requerimiento del cliente. Los procesos que generan valor son básicamente recepción de materia prima, teñido, primera torsión, segunda torsión, enconado y empaque y sellado, apoyado con subprocesos administrativos de compras y mantenimiento. La siguiente Tabla presenta los procesos realizados por la textilera [22].

Tabla 15. Identificación de procesos.

Procesos Identificados	
Tipo de Proceso	Proceso Identificado
Procesos Administrativos	<ul style="list-style-type: none"> • Gerencia Integral • Recursos Humanos
Procesos de Agregación de Valor	Recepción de materia prima: <ul style="list-style-type: none"> • Se recibe del proveedor actual la materia prima requerida para el proceso de teñido.
	Teñido: <ul style="list-style-type: none"> • Primera Torsión • Segunda Torsión • Enconado
	Empaque y sellado: <ul style="list-style-type: none"> • Se ubica sello correspondiente con el logotipo de la empresa y es empacado en cajas
Procesos de Apoyo	Mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> • Electromecánico
	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales: <ul style="list-style-type: none"> • Planta por baches
	Administrativos/ Compras
	Gestor Externo de Residuos

Fuente: Cardozo, (2016) [22].

Como se observa la empresa dentro de sus procesos de apoyo enuncia el tratamiento de aguas residuales, el cual se realiza dentro de la textilera. A continuación se describe el proceso realizado para el tratamiento de estos efluentes generados por la empresa.

4.4.4 Metodología del sistema de tratamiento propuesta para la textilera APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S La metodología empleada en la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, consta de dos partes: una etapa de

laboratorio de campo en la cual se realiza una prueba de jarras para determinar la dosis optima de los químicos que se utilizan (esta prueba se realiza todos los días ya que la concentración y el tipo de colorantes hace que el efluente residual no sea el mismo por tanto no se puede generalizar la dosis exacta de los reactivos utilizados). Después se hace un escalado volumétrico de las concentraciones obtenidas en pruebas de jarras y por último se realiza la etapa de tratamiento del agua residual.

A. Etapa de laboratorio (prueba de jarras) Para iniciar la prueba de laboratorio se escoge un sitio apartado y fuera de peligro dentro de las instalaciones, luego se clasifican cada reactivo a utilizar en la mesa de trabajo y los implementos de seguridad del operario. La siguiente fotografía muestra la clasificación de los químicos.

Fotografía 2. Clasificación de los químicos utilizados para prueba.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Después de tomar la muestra de un litro de agua residual del sedimentador de tipo batch se miden las condiciones iniciales como o son el pH y la temperatura (como demostración del método empleado se hará una suposición de pH= 3,70 y T= 49,1 °C los cuales son parámetros aproximados de los reales).

Cuando estén establecidos los parámetros iniciales se adiciona el hidróxido de sodio (NaOH) conocida comercialmente como soda caustica el cual se agrega en dosis pequeñas (concentración aproximada de 0.42 mL/L) hasta estabilizar el pH a 7 (neutro) puesto que el coagulante reacciona mejor a esas condiciones.

Luego de tener el agua a estas condiciones se le agrega el coagulante hidroxiclورو de aluminio comercialmente llamado PAC (concentración aproximada de 0.38 mL/L), para conseguir la dosis óptima de coagulante se hace de forma visual hasta que se observa lo que comúnmente denominan los operarios “el corte del agua”, y también se tiene en cuenta el historial de pruebas hechas de la empresa. Este proceso de adición del coagulante se hace con agitación del agua ya que se necesita una buena mezcla para que se formen los flóculos. Ver fotografía 3.

Fotografía 3. Adición del coagulante (punto de corte).



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Para conseguir mayor eficiencia en la coagulación se adicionan unos ayudantes de sedimentación los cuales son polímeros que en el comercio se denominan Rapiced aniónico (concentración aproximada de 0.10 mL/L) y Rapiced catiónico (concentración aproximada de 0.10 mL/L). La concentración de estos polímeros se

obtiene de una relación con el coagulante establecida por la textilera en base a las pruebas de jarras realizadas. La fotografía 4 muestra la adición de polímeros.

Fotografía 4. Mezcla y adición de polímeros.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Después de incorporar todos los reactivos químicos anteriores se empieza a observar la formación de flóculos después de 2 minutos aproximadamente.

Fotografía 5. Formación de floculo.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Al cabo de un tiempo no mayor de 15 minutos se evidencian los flóculos sedimentados producto de la química aplicada. Ver fotografía 6.

Fotografía 6. Comparación del agua residual después del tratamiento con coagulante.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Posteriormente del tratamiento con coagulante se extrae el agua residual tratada sin lodos, para aplicarle el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (concentración aproximada de 0,38 mL/L) y el hipoclorito de sodio (NaClO) (concentración aproximada de 0.2 mL/L) los cuales se adicionan y se dejan actuar por 45 minutos.

Fotografía 7. Muestra de agua residual tratada.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Los resultados del tratamiento aplicado se observan después de cierto tiempo no mayor a 5 horas, donde se destaca la falta de color aparente de la muestra.

B. Escalado Luego de hacer la prueba de jarras enunciada anteriormente, se realiza el escalado volumétrico de los datos obtenidos.

Primero se debe conocer la cantidad de agua que se va a tratar, para esto se saben las medidas del sedimentador (las medidas del sedimentador se pueden ver en el anexo A), y se hace la medición del nivel del agua faltante en el sedimentador. La altura del sedimentador en la parte cilíndrica es de (2,30 metros), radio de (1,14 metros) y en la parte cónica tiene un volumen de 1360 litros aproximadamente.

El volumen de agua residual a tratar es igual al volumen total del sedimentador menos el volumen que no se alcanzó a llenar.

Con el volumen hallado de agua residual y con las concentraciones obtenidas en las pruebas del laboratorio se halla la cantidad volumétrica de cada reactivo químico para el proceso.

C. Etapa de tratamiento del agua residual El tratamiento del agua residual se realiza en un sedimentador de tipo batch (ver anexo A) con unas características específicas de diseño en el cual se adicionan las concentraciones de cada reactivo químico que se obtienen del escalado.

- **Estructura del equipo** El proceso para el tratamiento de las aguas residuales de la textilera se realiza en un sedimentador de concreto tipo batch que está ubicado a la entrada de la empresa. Las dimensiones del equipo se pueden ver en el anexo A.

Fotografía 8. Sedimentador.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Este sedimentador de tipo batch tiene un motor que funciona a una velocidad constante, el cual hace girar un aspa de hélices rectas para proporcionar la mezcla rápida necesaria para el proceso de coagulación-floculación del proceso.

Fotografía 9. Motor de velocidad constante del Sedimentador.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

El sedimentador de tipo batch cuenta con una entrada de agua en la parte superior y un sistema de salida del agua dividido en tres niveles los cuales se unen en una corriente de salida final que está conectada al tubo principal de vertimientos de la zona industrial. La fotografía 10 muestra el sistema de salida del sedimentador.

Fotografía 10. Sistema de salida del agua dividido en tres niveles del Sedimentador.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

En la parte inferior del tanque de sedimentación la estructura tiene una forma de cono con el fin de poder agilizar la aglomeración de las Partículas concentradas en el floculo, además esta estructura tiene una salida de lodos los cuales son

depositados en un contenedor para ser reembolsados y transportados a un sitio de disposición final (la disposición final se hace cargo una empresa contratada por la textilera). La fotografía 11 muestra el sistema de salida de lodos.

Fotografía 11. Sistema de salida de lodos del Sedimentador.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

- **Proceso de tratamiento del agua residual** El sedimentador de tipo batch empieza a llenarse durante el horario laboral de la empresa, teniendo en cuenta no pasar el nivel máximo del sedimentador, para que esto no suceda se cuenta con un tanque de almacenamiento antes de la entrada al sedimentador y el diseño del mismo está sobredimensionado para el volumen diario generado por la empresa.

Después de estar el sedimentador cargado se procede a la mezcla previa con el fin de homogenizar el agua residual para su tratamiento, esta mezcla se realiza durante una hora aproximadamente. Durante la mezcla se adiciona el hidróxido de sodio (NaOH) hasta estabilizar el pH a 7 (neutro). La fotografía 12 muestra la mezcla.

Fotografía 12. Mezcla rápida del agua residual.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Cuando se logra estabilizar el pH a neutro se agrega el coagulante PAC y los ayudantes de sedimentación Rapiced aniónico y catiónico, estos reactivos químicos se dejan reaccionando con una mezcla constante durante una hora aproximadamente. Luego de realizar la mezcla el motor se apaga y comienza el proceso de formación de flóculos. La fotografía 13 muestra la formación de flóculos.

Fotografía 13. Formación de flóculos.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Después de un tiempo no mayor de 8 horas los flóculos formados se sedimentaran formando en la parte cónica inferior un manto de lodos los cuales serán extraídos y depositados en un tanque de almacenamiento para su posterior disposición final. La fotografía 14 muestra el manto de lodos.

Fotografía 14. Manto de lodos.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

El tratamiento con oxidación empleando peróxido de hidrógeno (H_2O_2), se realiza después de las 8 horas de la sedimentación y la purga de lodos, en esta etapa también se adiciona el hipoclorito de sodio ($NaClO$) y se dejan actuar por 4 horas. La fotografía 15 muestra el tratamiento con oxidación.

Fotografía 15. Tratamiento con oxidación.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Finalmente se procede a realizar la descarga del efluente tratado al tubo principal de la zona industrial, esta descarga se hace secuencial en tres diferentes niveles del tanque para evitar que los restos de lodos en la parte inferior del sedimentador

se dispersen nuevamente (estos lodos se purgan y se dirigen a un tanque de almacenamiento). La fotografía 16 muestra el descargue del efluente.

Fotografía 16. Descargue del efluente.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 ESCALAMIENTO DE LOS QUIMICOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Los siguientes datos son parte de un tratamiento realizado en la textilera, pero estos pueden variar según las condiciones fisicoquímicas del efluente y el volumen de agua a tratar.

Altura cilíndrica del sedimentador: 2,30 metros

Volumen del cono: 1360 litros

Radio del cilindro: 1,14 metros

Nivel de agua faltante: 0,88 metros

(Altura cilíndrica del sedimentador) – (Nivel de agua faltante) = (nivel del agua a tratar)

Nivel del agua a tratar = 2,30 – 0,88 = 1,42 metros

Nivel del agua a tratar: 1,42 metros

Ahora se halla el volumen de agua a tratar:

Volumen del cilindro = $\Pi * r^2 * h$

h= altura del cilindro

r= radio del cilindro

$$\text{Volumen del cilindro} = 3,1416 * 1,14^2 * 1,42 = 5,7975 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del cilindro} = 5,7975 \text{ m}^3 = 5797 \text{ litros}$$

Volumen de agua a tratar = Volumen del cilindro + Volumen del cono

$$\text{Volumen de agua a tratar} = 5797 \text{ litros} + 1360 \text{ litros} = 7157 \text{ litros}$$

$$\text{Volumen de agua a tratar} = 7157 \text{ litros}$$

Con el volumen de agua a tratar y las concentraciones de la prueba de jarras se obtienen la cantidad de cada reactivo a utilizar en el proceso.

$$7157l * 0,42 \frac{ml}{l} = 3005,9 \text{ ml} = 3,0059 \text{ l} \text{ de NaOH (esta cantidad es aproximada).}$$

$$7157l * 0,38 \frac{ml}{l} = 2719,6 \text{ ml} = 2,7196 \text{ l} \text{ de PAC.}$$

$$7157l * 0,10 \frac{ml}{l} = 715,7 \text{ ml} = 0,7157 \text{ l} \text{ de Rapiced aniónico.}$$

$$7157l * 0,10 \frac{ml}{l} = 715,7 \text{ ml} = 0,7157 \text{ l} \text{ de Rapiced catiónico.}$$

$$7157l * 0,38 \frac{ml}{l} = 2719,6 \text{ ml} = 2,7196 \text{ l} \text{ de } H_2O_2.$$

$$7157l * 0,20 \frac{ml}{l} = 1431,4 \text{ ml} = 1,4314 \text{ l} \text{ de NaClO.}$$

Como resultado del escalamiento del proceso se obtuvieron los valores de los reactivos químicos mostrados en la tabla 16.

Tabla 16. Valores de los reactivos químicos.

Reactivo químico	Unidad	Valor
NaOH	3,0059	L
PAC	2,7196	L
Rapiced aniónico	0,7157	L
Rapiced catiónico	0,7157	L
H_2O_2	2,7196	L
NaClO	1,4314	L

5.2 SEGUIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DBO5, DQO, pH Y TEMPERATURA.

En las pruebas de campo realizadas se tomaron datos de los parámetros pH y temperatura a la salida del proceso de tratamiento ya que se necesita un control de estos y según la nueva norma exigen un límite máximo de cada uno para el vertimiento del efluente. La tabla 17 muestra los valores de temperatura y pH.

Tabla 17. Valores de temperatura y pH.

No. De muestra	Temperatura		pH	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	35,5	°C	5,32	Unidades de pH
2	36,1	°C	6,48	Unidades de pH
3	37,5	°C	6,43	Unidades de pH
4	33,8	°C	6,35	Unidades de pH
5	37,2	°C	7,21	Unidades de pH
6	37,4	°C	6,37	Unidades de pH

Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Para observar los avances en la optimización del proceso de tratamiento del agua residual se tomaron muestras para analizarlas en el laboratorio, el seguimiento y control se realizó teniendo en cuenta dos parámetros importantes como lo son la DBO₅ y la DQO. La tabla 18 muestra los valores de DBO₅ y DQO a la salida del proceso.

Tabla 18. Valores de Demanda Biológica de Oxígeno ([DBO] ₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

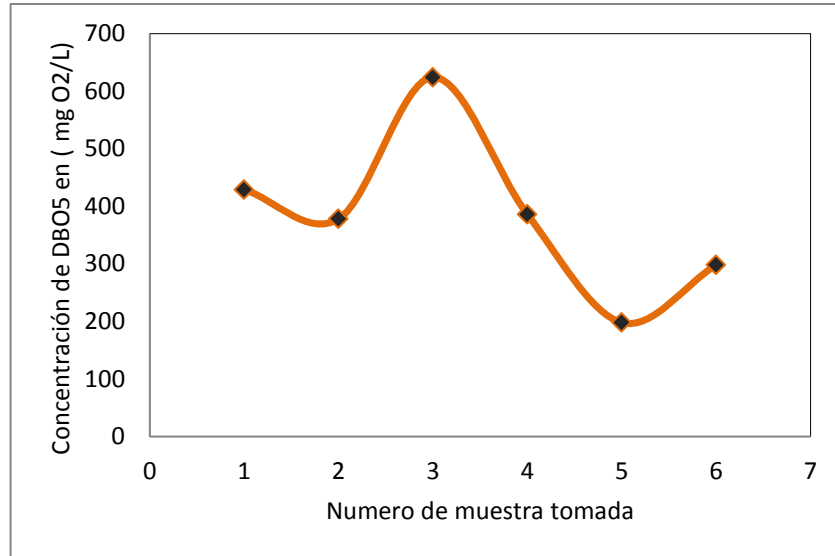
No. De muestra	Demanda Biológica de Oxígeno(<i>DBO₅</i>)		Demanda Química de Oxígeno(DQO)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	429	mg O ₂ /L	1255	mg O ₂ /L
2	378	mg O ₂ /L	1386	mg O ₂ /L
3	624	mg O ₂ /L	1347	mg O ₂ /L
4	386	mg O ₂ /L	1244	mg O ₂ /L
5	198	mg O ₂ /L	877	mg O ₂ /L
6	298	mg O ₂ /L	1339	mg O ₂ /L

Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

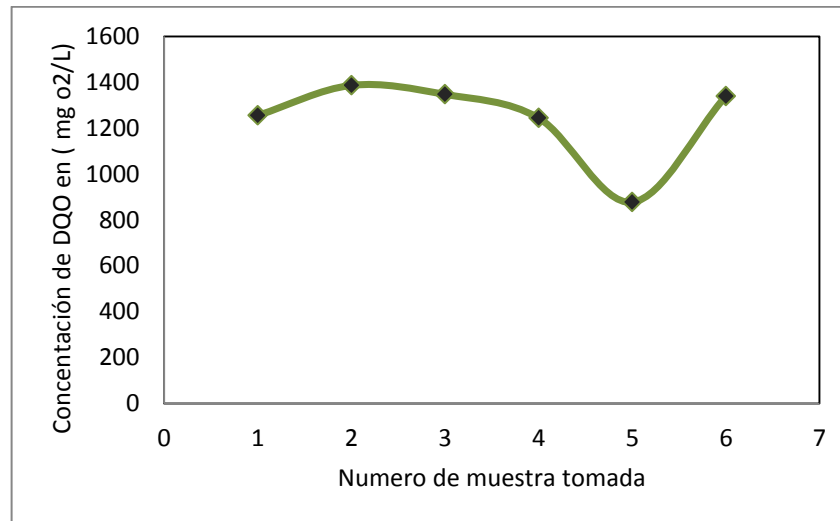
Los datos de la anterior tabla fueron extraídos del informe de laboratorio SIAMA el cual se puede observar en el anexo B.

En las gráficas 4 y 5 se pueden observar los perfiles de concentración por cada muestra tomada de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO), las cuales ayudaron a optimizar el proceso aportando un seguimiento y control sobre el efluente residual tratado.

Gráfica 4. Perfil de concentración de demanda biológica de oxígeno (DBO₅).



Gráfica 5. Perfil de concentración de demanda química de oxígeno (DQO).



Se observa en las anteriores graficas que el comportamiento de los perfiles tiene una tendencia decreciente en los parámetros (DBO₅) Y (DQO) excepto en la última muestra tomada. La adición de oxígeno puro al final del proceso de tratamiento del agua puede ser la causa del incremento en los perfiles de concentración.

5.3 TABLA DE COMPARACIÓN DE PARÁMETROS CON LA RESOLUCION 0631 DE 2015 DEL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

La tabla 19 compara los valores de los parámetros de la última muestra realizada contra los máximos valores de parámetros que establece la resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Tabla 19. Comparación de resultados con la resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Parámetro	Unidades	Res 631 de 2015	Datos SIAMA	Observación
		Valor	Valor	
Generales				
pH	Unidades de pH	6-9	6,37	Cumple
Temperatura de agua	°C	--	37,4	--
Temperatura ambiente	°C	--	25,4	--
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L O ₂	400 /600	1339	No cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno(DBO ₅)	mg/L O ₂	200 / 300	298	Cumple
Sólidos Suspendidos Totales (STT)	mg/L	50	<10	Cumple
Sólidos Sedimentables (SSED)	mL/L	2	<0,1	Cumple
Grasas y Aceites	mg/L	20	9,7	Cumple
Fenoles	mg/L	0,2	<0,02	Cumple
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	A y R	<0,27	Análisis y Resultados
Caudal	L/s	--	2,011	--
Hidrocarburos				
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10	3,18	Cumple
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos(HAP)	mg/L	A y R	<0,002	Análisis y Resultados

Parámetro	Unidades	Res 631 de 2015	Datos SIAMA	Observación
		Valor	Valor	
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	A y R	<0,100	Análisis y Resultados
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	µg/L	A y R	824	Análisis y Resultados
Compuestos de Fósforo				
Ortofosfatos ($P - PO_4^{3-}$)	mg/L	A y R	<0,03	Análisis y Resultados
Fosforo Total (P)	mg/L	A y R	0,09	Análisis y Resultados
Compuestos de Nitrógeno				
Nitratos ($N - NO_3^-$)	mg/L	A y R	4,10	Análisis y Resultados
Nitrógeno Amoniacal ($N - NH_3$)	mg/L	A y R	<0,5	Análisis y Resultados
Nitrógeno Total (N)	mg/L	A y R	46,5	Análisis y Resultados
Iones				
Cloruros (Cl^-)	mg/L	1200	133	Cumple
Sulfatos (SO_4^{2-})	mg/L	A y R	66,8	Análisis y Resultados
Sulfuros (S^{2-})	mg/L	1	<1	Cumple
Metales y Metaloides				
Cadmio (Cd)	mg/L	0,02	<0,005	Cumple
Cinc (Zn)	mg/L	3	<0,025	Cumple
Cobalto(Co)	mg/L	0,5	<0,004 6	Cumple
Cobre(Cu)	mg/L	1	0,05	Cumple
Cromo(Cr)	mg/L	0,5	<0,05	Cumple
Níquel(Ni)	mg/L	0,5	<0,05	Cumple
Otros Parámetros para Análisis y Reporte				
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	A y R	7,90	Análisis y Resultados
Alcalinidad Total	mg/L	A y R	65,2	Análisis y

Parámetro	Unidades	Res 631 de 2015	Datos SIAMA	Observación
		Valor	Valor	
	CaCO ₃			Resultados
Dureza Cálrica	mg/L CaCO ₃	A y R	54,6	Análisis y Resultados
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	A y R	71,2	Análisis y Resultados
Color Real (long onda 436,525,620 nm)	m ⁻¹	A y R	0,224 0,063 0,037	Análisis y Resultados

Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Los datos de la anterior tabla fueron extraídos del último informe de laboratorio realizado por SIAMA el cual se puede observar en el anexo B.

6. CONCLUSIONES

En el tratamiento de agua residual industrial de la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, solo el parámetro de DQO de la nueva resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, no cumple con el estándar allí establecido.

Los resultados obtenidos en la prueba realizada por SIAMA y que es exigible para el trámite de permiso de vertimientos, garantiza que el proceso de tratamiento por precipitación y oxidación química cumple con 33 de los 34 parámetros exigidos por la resolución 0631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Con el sistema de tratamiento seleccionado (precipitación y oxidación química) se obtuvo una mejora en la calidad de agua residual vertida por la empresa APOCALIPSIS SUCESIÓN S.A.S.

Es posible que con las condiciones del procedimiento logrado en la prueba de jarras se generó una reacción química que estabiliza la DQO y no permite que decrezca como si lo hace la DBO₅.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar nuevamente el método que se tenía establecido sin la adición de oxígeno puro para tomar una muestra y compararla con la anterior prueba de laboratorio ya que la última muestra tomada evidencia un aumento significativo en la DQO.

Dentro de las posibilidades económicas y de espacio, en esta monografía se recomendaría de manera inicial realizar un ajuste del tratamiento de oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), agregando sulfato ferroso ($FeSO_4$) para mejorar la eficiencia en remoción del contaminante.

Si el sulfato ferroso no mejora el proceso se recomienda un nuevo tratamiento con el proceso de absorción, que se puede hacer con carbón activado. Para ello se requiere la adquisición de un equipo de bombeo que permita generar 2,5 litros por segundo de caudal y así poder evacuar en un tiempo menor a una hora. Los filtros deben ser a presión y se puede optar un sistema que permita el mayor contacto del agua con el carbón.

La empresa APOCALIPSIS 3:20 debe presentar el resultado de la presente monografía a la autoridad ambiental AMB a efectos de que se permita continuar con la implementación del sistema de absorción.

Para ello se requiere de las respectivas pruebas antes de escalar a un sistema de filtración por absorción. Si estas pruebas no dan el resultado esperado respecto a la DQO, parámetro a monitorear se debe optar por la osmosis inversa, con un caudal inferior, para ello se debe contar con un sistema de almacenamiento previo al vertimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MALDONADO ROGEL, Andrea Nathaly y MOLINA AYALA, Renato Miguel. Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos. Cuenca- Ecuador, 2011. Tesis pregrado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. pág. 15.

- [2] CASAS FORERO, Ana Mercedes. Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. Bogotá, 2012. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. págs. 6-7.

- [3] PIÑA MONDRAGÓN, Scherezada. Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaerobio/aerobio. México, 2007. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

- [4] GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y PEÑUELA MESA, Gustavo Antonio. Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. Antioquia, 16 de 11 de 2007. Revista Lasallista de Investigación. Vol. 4,núm. 2 pág. 25.

- [5] TORRES ANDRADE, Guillermo Francisco. Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. España, 2014. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. pág. 339.

- [6] MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. RESOLUCIÓN No. 0631 17 de MARZO de 2015. [En línea].2015. [Consultado 9 de Diciembre de 2016] http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.
- [7] MINAMBIENTE. Minambiente presenta nueva norma de vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país. [En línea]. 18 de Marzo de 2015. [Consultado 9 de Diciembre de 2016.] <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>.
- [8] GALÁN DEL ÁLAMO, José. Preparación y síntesis de materiales adsorbentes para la eliminación de contaminantes en efluentes acuosos. Madrid, 2013. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. págs. 30-31.
- [9] MORENO SANDOVAL, Nataly y OSPINA VELANDIA, Ximena Alexandra. Evaluación de inductores metálicos y co-sustratos para la remoción de negro reactivo 5 empleando *Pleurotus ostreatus* inmovilizado en fique. Bogotá D.C., 2008. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. págs. 19-20.
- [10] GARZON JIMENEZ, Rossana Catherine. Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de *agave tequilana* webber var. azul. Bogota D.C., 2009. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de

Ciencias. págs. 4-5.

- [11] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. DECRETO 1594 DE 1984 Usos de agua y residuos líquidos. [En línea]. 1984. [Consultado 8 de Febrero de 2017.]
http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f.
- [12] DEGRÉMONT. Manual técnico del agua. s.l., 1979. Urmo S.A de ediciones. [En línea]. 1979. [Consultado 8 de Febrero de 2017.]
<http://www.frbb.utn.edu.ar/sysacad/archivos/448483-12%20Precip%20-%20Degremont.pdf>
- [13] OYARZO VARGAS, Mauricio Javier. Precipitación química del fósforo mediante la adición de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de aguas. Chile, 2007. Tesis de pregrado. Universidad de Magallanes. Facultad de Ingeniería. pág. 17.
- [14] RODRÍGUEZ, Licesio J. Estabilidad de los Sistemas Coloidales. Castilla y Leon, 2006. Universidad de Salamanca. Facultad de Farmacia. pág. 22. [En línea]. [Consultado 8 de Febrero de 2017.]
http://campus.usal.es/~licesio/Sistemas_Coloidales/SC_05.pdf
- [15] MARTÍNEZ NAVARRO, Fabiola. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Ciudad Real, 2007. Tesis doctoral. Universidad de Castilla- La Mancha. Facultad de Ciencias Químicas. pág. 20.

- [16] SÁNCHEZ FON, Francesc. Estudio y diseño de una planta de producción de membranas cerámicas de coste reducido. Cataluña, 2007. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica de Cataluña. págs. 9-13.
- [17] TREJO VALENCIA, Radamés. Investigación sobre eliminación de sales metálicas por procedimientos avanzados. Madrid, 2008. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. págs. 35-36.
- [18] LARA BORRERO, Jaime Andrés. Eliminación de nutrientes mediante procesos de membrana. Madrid, 2002. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. págs. 23-24.
- [19] OVÍN ANIA, Maria Concepción. Depuración de efluentes industriales con carbón activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente. Oviedo, 2003. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. pág. 25.
- [20] BLANCO JURADO, José. Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. Cataluña, 2009. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña. pág. 4.
- [21] BAUTISTA CARMONA, Patricia. Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/ γ -Al₂O₃/H₂O₂. Madrid, 2008. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. pág. 25.
- [22] CARDOZO CORREA, Guillermo. Plan de Gestion Integral de Residuos Peligrosos. Giron, 2016. APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

BIBLIOGRAFIA

BAUTISTA CARMONA, Patricia. Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante el proceso Fenton y con el sistema Fe/ γ -Al₂O₃/H₂O₂. Madrid, 2008. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. pág. 25.

BLANCO JURADO, José. Degradación de un efluente textil real mediante procesos Fenton y Foto-Fenton. Cataluña, 2009. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña. pág. 4.

CARDOZO CORREA, Guillermo. Plan de Gestion Integral de Residuos Peligrosos. Giron, 2016. APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S.

CASAS FORERO, Ana Mercedes. Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá. Bogotá, 2012. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. págs. 6-7.

DEGRÉMONT. Manual técnico del agua. s.l., 1979. Urmo S.A de ediciones. [En línea]. 1979. [Consultado 8 de Febrero de 2017.] <http://www.frbb.utn.edu.ar/sysacad/archivos/448483-12%20Precip%20-%20Degremont.pdf>

GALÁN DEL ÁLAMO, José. Preparación y síntesis de materiales adsorbentes para la eliminación de contaminantes en efluentes acuosos. Madrid, 2013. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. págs. 30-31.

GARCÉS GIRALDO, Luis Fernando y PEÑUELA MESA, Gustavo Antonio. Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar. Antioquia, 16 de 11 de 2007. Revista Lasallista de Investigación. Vol. 4,núm. 2 pág. 25.

GARZON JIMENEZ, Rossana Catherine. Cinética de degradación de colorantes textiles de diferentes clases químicas por hongos y bacterias inmovilizados sobre fibra de *agave tequilana* webber var. azul. Bogota D.C., 2009. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. págs. 4-5.

LARA BORRERO, Jaime Andrés. Eliminación de nutrientes mediante procesos de membrana. Madrid, 2002. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. págs. 23-24.

MALDONADO ROGEL, Andrea Nathaly y MOLINA AYALA, Renato Miguel. Estudio para la reducción de colorantes de las aguas residuales de la industria textil a través de procesos electroquímicos. Cuenca- Ecuador, 2011. Tesis pregrado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. pág. 15.

MARTÍNEZ NAVARRO, Fabiola. Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional. Ciudad Real, 2007. Tesis doctoral. Universidad de Castilla- La Mancha. Facultad de Ciencias Químicas. pág. 20.

MINAMBIENTE. Minambiente presenta nueva norma de vertimientos que permitirá mejorar la calidad agua del país. [En línea]. 18 de Marzo de 2015. [Consultado 9 de Diciembre de 2016.] <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1700-minambiente-presenta-nueva-norma-de-vertimientos-que-permitira-mejorar-la-calidad-agua-del-pais>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. RESOLUCIÓN No. 0631 17 de MARZO de 2015. [En línea].2015. [Consultado 9 de Diciembre de 2016] http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. DECRETO 1594 DE 1984 Usos de agua y residuos líquidos. [En línea]. 1984. [Consultado 8 de Febrero de 2017.] http://www.ideam.gov.co/documents/24024/36843/Dec_1594_1984.pdf/aacbcd5d-fed8-4273-9db7-221d291b657f.

MORENO SANDOVAL, Nataly y OSPINA VELANDIA, Ximena Alexandra. Evaluación de inductores metálicos y co-sustratos para la remoción de negro reactivo 5 empleando *Pleurotus ostreatus* inmovilizado en fique. Bogotá D.C., 2008. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. págs. 19-20.

OVÍN ANIA, Maria Concepción. Depuración de efluentes industriales con carbón activo. Adsorción de contaminantes y regeneración del adsorbente. Oviedo, 2003. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. pág. 25.

OYARZO VARGAS, Mauricio Javier. Precipitación química del fósforo mediante la adición de sulfato de aluminio en plantas de tratamiento de aguas. Chile, 2007. Tesis de pregrado. Universidad de Magallanes. Facultad de Ingeniería. pág. 17.

PIÑA MONDRAGÓN, Scherezada. Decoloración biológica del colorante azul directo 2 en un filtro anaerobio/aerobio. México, 2007. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

RODRÍGUEZ, Licesio J. Estabilidad de los Sistemas Coloidales. Castilla y Leon, 2006. Universidad de Salamanca. Facultad de Farmacia. pág. 22. [En línea].

[Consultado 8 de Febrero de 2017.]
http://campus.usal.es/~licesio/Sistemas_Coloidales/SC_05.pdf

SÁNCHEZ FON, Francesc. Estudio y diseño de una planta de producción de membranas cerámicas de coste reducido. Cataluña, 2007. Tesis de pregrado. Universidad Politecnica de Cataluña. págs. 9-13.

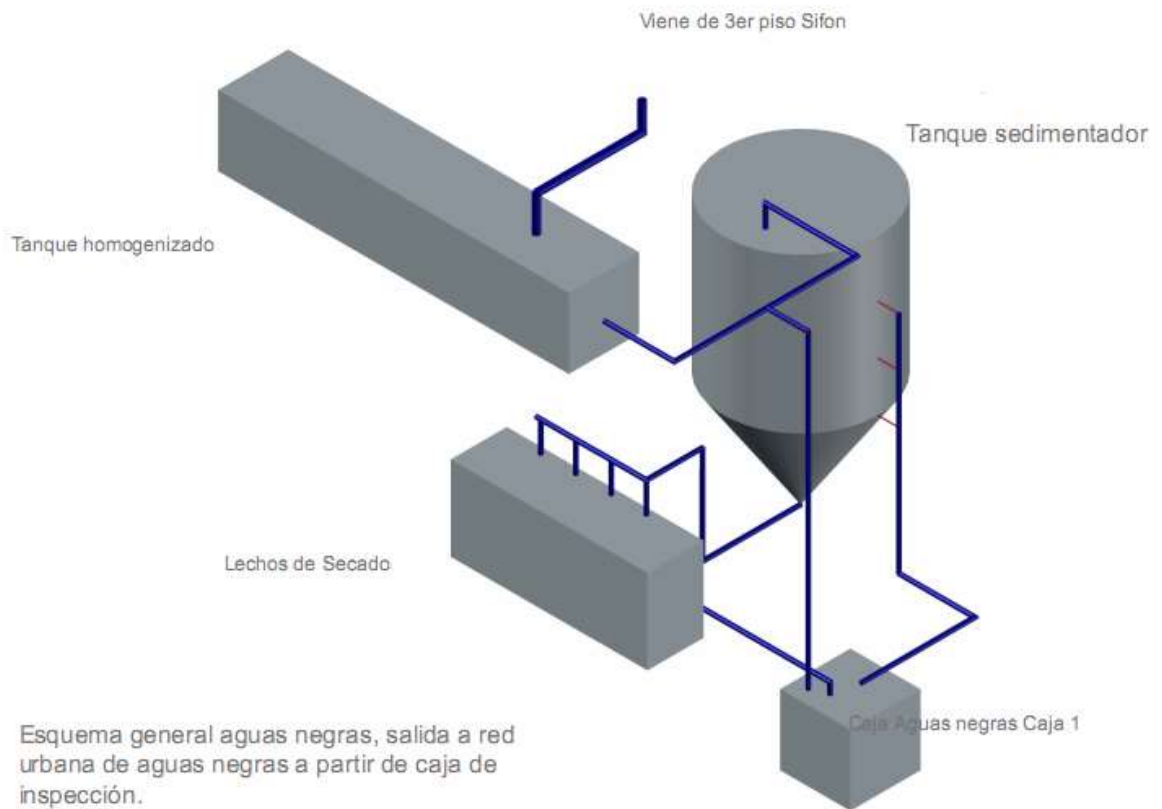
TORRES ANDRADE, Guillermo Francisco. Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros. España, 2014. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. pág. 339.

TREJO VALENCIA, Radamés. Investigación sobre eliminación de sales metálicas por procedimientos avanzados. Madrid, 2008. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. págs. 35-36.

ANEXOS

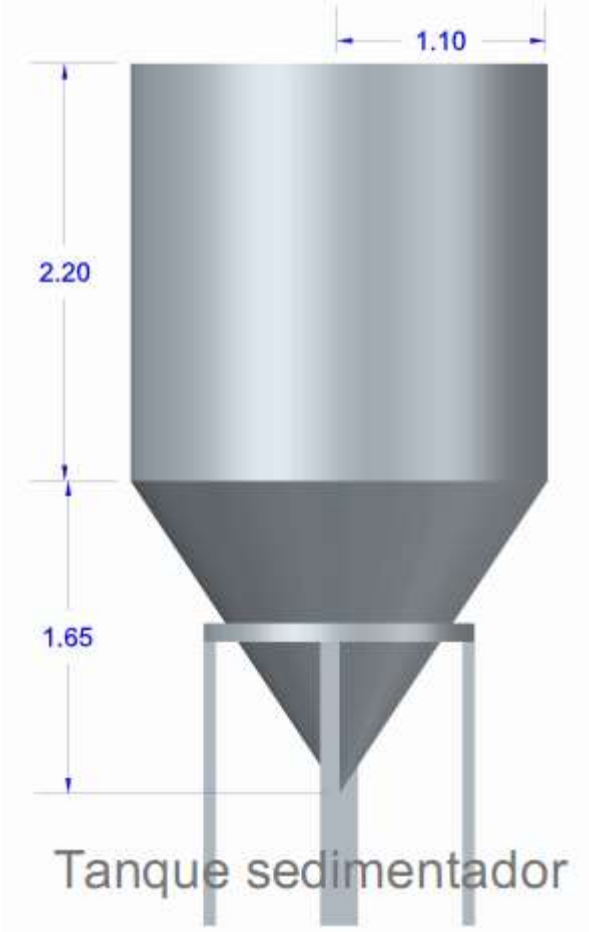
Anexo A. Dimensiones del sedimentador de tipo batch utilizado en el proceso de tratamiento de agua residual en la empresa APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S

Figura 13. Estructura del equipo en 3D.



Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).


Figura 14. Dimensiones del tanque sedimentador.




Fuente: APOCALIPSIS 3:20 SUCESIÓN S.A.S, (2016).

Anexo B. Reporte de resultados hechos por SIAMA LTDA

Tabla 20. Reporte de resultados SIAMA muestra 1.



**SERVICIOS INTEGRADOS
PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
MINERO-ENERGETICA Y
EL MEDIO AMBIENTE**
NT. 804.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 13 de junio de 2016		No. 103681
Solicitante: APOCALIPSIS 3:28 SUCESION SAS		Tipo de muestra: Agua
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138		Identificación: EFLUENTE
Teléfono: 5462630		Descripción: Agua Residual
Lugar de muestreo: STAR		Responsable de muestreo: SIAMA LTDA
Fecha de muestreo: 4 de junio de 2016		Procedimiento de muestreo: P - 013
Fecha de recepción: 4 de junio de 2016		Tamaño de la muestra: 4000 ml
Fecha de análisis: 4 al 10 de junio de 2016		Envase o empaque: Plástico / vidrio
Análisis solicitado: Físicoquímico		Plan de muestreo: 10083
Condiciones de la muestra: Refrigerada y preservada		Tipo de muestreo: Puntual

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

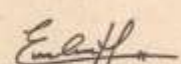
VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
*CLORUROS	SM 4500-Cl B	151	mg Cl/L
*DQO	SM 5220 C	1256	mg O ₂ /L
*DQO ₅	SM 5210 B ASTM D689-12 Método C	429	mg O ₂ /L
*GRASAS Y ACEITES	SM 9520 D	< 8,3	mg/L
*SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	< 10	mg/L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 8835/2016

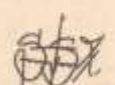
OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 22th.

Los resultados son válidos para la muestra analizada, no se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.

*DATOS DE CAMPO		
ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDADES
pH	5,32	unidades de pH
*T. Muestra	35,5	°C
*T. Ambiente	22,8	°C
Georreferenciación		
N 07° 05' 01.5"	E 73° 09' 42.7"	A 719 msnm



Elaboró: ERIKA YURLEY CESPEDES MENDOZA
COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034




Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS SERRANO
DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Revisión	0.1	Fecha	22/05/2008	Página	1 de 1
--------	-------	----------	-----	-------	------------	--------	--------






Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
 web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 21. Reporte de resultados SIAMA muestra 2.



SERVICIOS INTEGRADOS
 PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
 MINERO-ENERGETICA Y
 EL MEDIO AMBIENTE
 NIT 804.016 152-8

REPORTE DE RESULTADOS

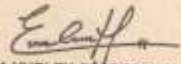
Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 6 de julio de 2016		No. 104819 <i>Fra 4135052</i>
Solicitante: APOCALIPSIS 3:29 SUCESION SAS		Tipo de muestra: Agua
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138		Identificación: AGUA
Teléfono: 6482030		Descripción: Agua Residual
Lugar de muestreo: TANQUE DE ALMACENAMIENTO		Responsable de muestreo: SIAMA LTDA
Fecha de muestreo: 28 de junio de 2016		Procedimiento de muestreo: P - 013
Fecha de recepción: 28 de junio de 2016		Tamaño de la muestra: 2000 ml
Fecha de análisis: 28 de junio al 5 de julio de 2016		Envase o empaque: Plástico
Análisis solicitado: Físicoquímico		Plan de muestreo: 16107
Condiciones de la muestra: Refrigeradas		Tipo de muestreo: Puntual

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

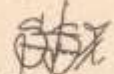
VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
°DQO	SM 5220 C	1388	mg O ₂ /L
°DBO ₅	SM 5210 B ASTM D858-12 Método C	378	mg O ₂ /L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 0833/2018

OBSERVACIONES: SM- STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, APWA, WEF, APHA 22th.
 Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.



Elaboró: ERIKA YURLEY CÉSPEDES MENDOZA
 COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
 QUÍMICA AMBIENTAL PQ/Amb-034




Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS SERRANO
 DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
 ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/05/2009	Página	1 de 1
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------






Camera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
 web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 22. Reporte de resultados SIAMA muestra 3.



SERVICIOS INTEGRADOS
 PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
 MINERO-ENERGETICA Y
 EL MEDIO AMBIENTE
 NIT. 804.016.162-8

REPORTE DE RESULTADOS

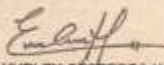
Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 13 de julio de 2016		No. 105022
Solicitante: APOCALIPSIS 3.20 SUCESION SAS		Tipo de muestra: Agua
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138		Identificación: AGUA RESIDUAL
Teléfono: 6482630		Descripción: Agua Residual
Lugar de muestreo: TANQUE AGUA RESIDUAL		Responsable de muestreo: SIAMA LTDA
Fecha de muestreo: 7 de julio de 2016		Procedimiento de muestreo: P - 013
Fecha de recepción: 7 de julio de 2016		Tamaño de la muestra: 2000 ml
Fecha de análisis: 7 al 13 de julio de 2016		Envase o empaque: Plástico
Análisis solicitado: Físicoquímico		Plan de muestreo: 10115
Condiciones de la muestra: Refrigeradas		Tipo de muestreo: Puntual

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO


VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
*DQO	SM 5220 C	1347	mg O ₂ /L
*DBO ₅	SM 5210 B ASTM D698-12 Método C	624	mg O ₂ /L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 0833/2016

OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 22th.
 Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.



Elaboró: ERIKA YURLEY CÉSPEDES MENDOZA
 COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
 QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034




Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS SERRANO
 DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
 ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/05/2009	Página	1 de 1
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------






Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
 web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 23. Reporte de resultados SIAMA muestra 4.



SERVICIOS INTEGRADOS
 PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
 MINERO-ENERGETICA Y
 EL MEDIO AMBIENTE
 NIT. 604.016.113-8

REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 27 de julio de 2016		No. 106733
Solicitante: APOCALIPSIS 3:20 SUCESION SAS	Tipo de muestra: Agua	
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138	Identificación: AGUA	
Teléfono: 5462830	Descripción: Agua Residual	
Lugar de muestreo: TANQUE DE ALMACENAMIENTO	Responsable de muestreo: SOLICITANTE	
Fecha de muestreo: 18 de julio de 2016	Procedimiento de muestreo: SOLICITANTE	
Fecha de recepción: 19 de julio de 2016	Tamaño de la muestra: 1000 ml	
Fecha de análisis: 19 al 25 de julio de 2016	Envase o empaque: Plástico	
Análisis solicitado: Físicoquímico	Plan de muestreo: /	
Condiciones de la muestra: Adecuada	Tipo de muestreo: Puntual	

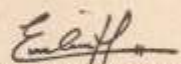
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
*DQO	SM 5220 C	1244	mg O ₂ /L
*DBO ₅	SM 5210 B ASTM D888-12 Método C	388	mg O ₂ /L


* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 08332016

OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AMWA, WEF, APHA 22th.
 Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.

Nota: la muestra a la que se refieren los datos de este reporte, ha sido proporcionada por el SOLICITANTE, por lo tanto SIAMA LTDA no es responsable del origen o fuente de donde se ha extraído dicha muestra.



Elaboró: ERIKA YURLEY CÉSPEDES MENDOZA
 COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
 QUÍMICA AMBIENTAL PQ/Amb-034




Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS BERRANO
 DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
 ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/05/2008	Página	1 de 1
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------


Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
 web: www.siama.ltoda.com - e-mail: info@siama.ltoda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 24. Reporte de resultados SIAMA muestra 5.



SERVICIOS INTEGRADOS
PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
MINERO-ENERGETICA Y
EL MEDIO AMBIENTE
NT. 004.016.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

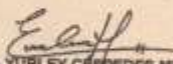
Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 13 de septiembre de 2016		No. 108706 TP-19600
Solicitante: APOCALIPSIS 3:20 SUCESION SAS		Tipo de muestra: Agua
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138		Identificación: VERTIMIENTO
Teléfono: 8462630		Descripción: Agua Residual
Lugar de muestreo: PTARI		Responsable de muestreo: SIAMA LTDA
Fecha de muestreo: 8 de septiembre de 2016		Procedimiento de muestreo: P - 013
Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2016		Tamaño de la muestra: 2000 ml
Fecha de análisis: 8 al 13 de septiembre de 2016		Envase o empaque: Plástico
Análisis solicitado: Fisicoquímico		Plan de muestreo: 16223
Condiciones de la muestra: Refrigerada y preservada		Tipo de muestreo: Puntual


ANÁLISIS FISIQUÍMICO

VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
*DQO	SM 5220 C	877	mg O ₂ /L
*DBO ₅	SM 5210 B ASTM D888-12 Método C	198	mg O ₂ /L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 08332014

OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AWWA, WEF, APHA 22th.
Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.
Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.


Elaboró: ERIKA YURLEY CÉSPEDES MENDOZA
 COORDINADORA DE FISIQUÍMICA
 QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034



Revisó: SERGIO ALEXANDER ROJAS SERRANO
 DIRECTOR DE FISIQUÍMICA
 ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/09/2009	Página	1 de 1
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------






Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 25. Reporte de resultados SIAMA muestra 6.



SERVICIOS INTEGRADOS
PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
MINERO-ENERGETICA Y
EL MEDIO AMBIENTE
NT 604.016.152-6

REPORTE DE RESULTADOS

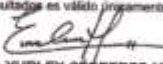
Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 26 de octubre de 2016		No. 109748	
Solicitante: APOCALIPSIS 9:29 SUCESION SAS		Tipo de muestra: Agua	
Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138		Identificación: VERTIMIENTO	
Teléfono: 5462830		Descripción: Agua Residual	
Lugar de muestreo: PTARI		Responsable de muestreo: SIAMA LTDA	
Fecha de muestreo: 23 de septiembre de 2016		Procedimiento de muestreo: P - 013	
Fecha de recepción: 23 de septiembre de 2016		Tamaño de la muestra: 13000 ml	
Fecha de análisis: 23 de septiembre al 27 de octubre de 2016		Envase o empaque: Plástico / vidrio	
Análisis solicitado: Físicoquímico		Plan de muestreo: 18248	
Condiciones de la muestra: Refrigerada y preservada		Tipo de muestreo: Puntual	

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO


VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
*ALCALINIDAD TOTAL	SM 2320 B	65,2	mg CaCO ₃ /L
*DUREZA TOTAL	SM 2340 C	71,2	mg CaCO ₃ /L
*DUREZA CÁLCICA	SM 3500 Ca B	54,6	mg CaCO ₃ /L
*CLORUROS	SM 4500-Cl B	133	mg Cl/L
*FOSFORO TOTAL	SM 4505-P B, E	0,09	mg PL
*ORTOFOSFATOS	SM 4500 P E	< 0,03	mg P - PO ₄ ³⁻ /L
NITRÓGENO TOTAL	CALCULO	50,6	mg NL
*NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	SM 4500-N ₂ C SM 4500-NH ₃ B, C	46,6	mg NL
*NITRATOS	J. RODIER	4,10	mg NO ₃ ⁻ - NL
*NITRITOS	SM 4505-NO ₂ ⁻ B	< 0,006	mg NO ₂ ⁻ - NL
*NITRÓGENO AMONIACAL	SM 4500-NH ₃ B,C	< 0,5	mg NL
*SULFATOS	SM 4500 SO ₄ ²⁻ E	86,8	mg SO ₄ /L
*FENÓLES TOTALES	SM 5530 B, C	< 0,02	mg Fenol/L
*TENSIOACTIVOS - SUSTANCIAS ACTIVAS AL AZUL DE METILENO (SAAM)	SM 5540 C	< 0,27	mg SAAM/L
*DQO	SM 5220 C	1339	mg O ₂ /L
*DBO ₅	SM 5210 B ASTM D888-12 Método C	298	mg O ₂ /L
*GRASAS Y ACEITES	SM 5520 D	9,7	mg/L
*SÓLIDOS SEDIMENTABLES	SM 2540 F	< 0,1	mil.
*SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SM 2540 D	< 10	mg/L
*COBRE TOTAL	SM 3030 F, SM 3111 B	0,05	mg Cu/L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 9833/0016
SAAM, calculado como Dodecilo sulfato, sal sódica (SDS)

OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. AMWA, WEF, APHA 22th.
Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.
Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.



Elaboró: **ERIKA YURLEY CESPEDES MENDOZA**
COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA
QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034




Revisó: **SERGIO ALEXANDER ROJAS SERRANO**
DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA
ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	22/05/2009	Página	1 de 2
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------


Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3167070821 Bucaramanga - Colombia
web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).

Tabla 26. Reporte de resultados SIAMA continuación de la muestra 6.



SERVICIOS INTEGRADOS
PARA LA INDUSTRIA DEL AGRO,
MINERO-ENERGETICA Y
EL MEDIO AMBIENTE
NIT 804.076.152-8



REPORTE DE RESULTADOS

Ciudad y Fecha de emisión: Bucaramanga, 28 de octubre de 2016 No. 108748

Solicitante: APOCALIPSES 3:20 SUCESION SAS Tipo de muestra: Agua

Dirección: CARRERA 13 # 57 - 138 Identificación: VERTIMIENTO

Teléfono: 5462630 Descripción: Agua Residual

Lugar de muestreo: PTARI Responsable de muestreo: SIAMA LTDA

Fecha de muestreo: 23 de septiembre de 2016 Procedimiento de muestreo: P - 013

Fecha de recepción: 23 de septiembre de 2016 Tamaño de la muestra: 13000 ml

Fecha de análisis: 23 de septiembre al 27 de octubre de 2016 Envase o empaque: Plástico / vidrio

Análisis solicitado: Físicoquímico Plan de muestreo: 18248

Condiciones de la muestra: Refrigerada y preservada Tipo de muestreo: Puntual

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

VARIABLE	MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
CADMIO TOTAL	SM 3030 F, SM 3111 B	< 0,065	mg Cd/L
CROMO TOTAL	SM 3030 F, SM 3111 B	< 0,05	mg Cr/L
ZINC TOTAL	SM 3030 F, SM 3111 B	< 0,025	mg Zn/L
NIQUEL TOTAL	SM 3030 F, SM 3111 B	< 0,05	mg Ni/L
COBALTO TOTAL (VER ANEXO)	EPA 200.8	< 0,0046	mg Co/L
BTEX (VER ANEXO)	EPA 8015 C, EPA 8021 A	< 0,100	
AOX (COMO Cl) (VER ANEXO)	REC PQAR 804 basado en ISO 9562:2004	824	mg/L
SULFUROS (VER ANEXO)	SM 4505-52 F	< 1,00	mg S/L
ACIDEZ TOTAL (VER ANEXO)	SM 2510 B	7,90	mg CaCO ₃ /L
COLOR REAL 436 nm (VER ANEXO)	ISO 7887-2011, Método B	0,254	m-1
COLOR REAL 525 nm (VER ANEXO)	ISO 7887-2011, Método B	0,063	m-1
COLOR REAL 620 nm (VER ANEXO)	ISO 7887-2011, Método B	0,037	m-1
HIDROCARBUROS TOTALES (TPH) (VER ANEXO)	NTC 3362-2005-06-29 Número 4, Método C y Número 7, Método F	3,18	mg/L
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS (PAH'S) (VER ANEXO)	EPA 8160 C - EPA 8100	< 0,002	mg/L

* Variables realizadas en SIAMA LTDA, acreditadas por IDEAM Res. 9833/2015

** Variables subcontratadas con laboratorio acreditado

SIAMA, calcula los datos como Doblete suizo, sal sódica (50S)

OBSERVACIONES: SM: STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, AWWA, WEF, APHA 12th.

Los resultados son válidos para la muestra analizada. No se pueden reproducir sin la previa autorización de SIAMA LTDA.

Este reporte de resultados es válido únicamente si tiene sello seco.

DATOS DE CAMPO

ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDADES
pH	6,37	unidades de pH
T. Muestra	27,4	°C
T. Ambiente	25,4	°C
Sólidos sedimentables	< 0,1	mL/L
Caudal	2,011	L/s
Georreferenciación		
N 7° 5' 11,8"	E 73° 0' 55,2"	A 717 msnm

Elaboró: *Erika Yurley Céspedes Mendoza* Revisó: *Sergio Alexander Rojas Berrano*

COORDINADORA DE FÍSICOQUÍMICA DIRECTOR DE FÍSICOQUÍMICA

QUÍMICA AMBIENTAL PQAmb-034 ING. BIOTECNOLÓGICO

Código	R-051	Versión	0.1	Fecha	23/09/2008	Página	2 de 2
--------	-------	---------	-----	-------	------------	--------	--------

Carrera 24 No. 36 - 11 Tels: (7) 6348000 - (7) 6348800 - 3187070821 Bucaramanga - Colombia
 web: www.siamaltda.com - e-mail: info@siamaltda.com

Fuente: SIAMA LTDA, (2016).