



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA
CIUDAD DE AMBATO”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MARCELA MARIBEL MORALES TIXI

DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba – Ecuador

2019

©2019, Marcela Maribel Morales Tixi

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo: Tipo Proyecto Técnico “**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría San Jacinto de la ciudad de Ambato**” de responsabilidad de la señorita: MARCELA MARIBEL MORALES TIXI ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2019-06-27
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2019-06-27

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, MARCELA MARIBEL MORALES TIXI, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 27 de junio de 2019

MARCELA MARIBEL MORALES TIXI

020229498-9

Yo, MARCELA MARIBEL MORALES TIXI, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Marcela Maribel Morales Tixi

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación dedico de manera muy especial a mi padre Gabriel Morales y mi madre Piedad Tixi quienes han sido y son mi motivación, inspiración y felicidad, por ser los seres más importantes en mi vida, el pilar fundamental, por sus consejos, su amor, su apoyo en los momentos más difíciles sobre todo por ser mi soporte fundamental en esta carrera universitaria, por ayudarme con los recursos necesarios para culminar con mi carrera. Me han transmitido los mejores valores, principios para ser una persona perseverante y así lograr conseguir mis objetivos.

A mi hermano Joel Morales por compartir momentos buenos y malos conmigo, por estar dispuesto a escucharme en cualquier momento y ser mi apoyo incondicional en mi vida.

Marcela Maribel Morales Tixi

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien me dio las fuerzas necesarias para seguir adelante y no flaquear ante ningún obstáculo que se me presento, enseñándome que de la mano de él siempre podré salir adelante, a mis padres Gabriel y Piedad; que con sus demostraciones de padres ejemplares me enseñaron a no rendirme y siempre brindarme su amor, reprendiendo mis errores y celebrando mis triunfos.

A mi hermano Joel quien con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida. A mi amor chiquito Santiago que con sus locuras siempre me impartía felicidad y también tranquilidad.

A mis primas Yolanda Becerra y Katherine García a mis tías Roció Tixi y Mariana Morales que siempre estuvieron apoyándome para seguir adelante en el transcurso de este arduo camino y compartir conmigo momentos de alegría y tristeza, por siempre estar presentes en cada momento con sus consejos.

De igual manera quiero agradecer a todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Química por los conocimientos impartidos en las aulas durante mi formación, un agradecimiento especial a la Ing. Mabel Parada e Ing. Mayra Zambrano por su colaboración en la culminación del presente trabajo de titulación. Así como también a la Dra Gina Álvarez por la ayuda prestada en el laboratorio que utilice, a la Ing. Marlene García por el apoyo recibido desde que fue mi docente, al Ing. Marco Chuiza por haber impartido sus conocimientos y también su buena amistad.

A la Curtiduría San Jacinto, a su propietario el señor Antonio Pilla por abrirme las puertas para poder realizar este trabajo de titulación, y así poder aportar con mis conocimientos.

De igual manera a mis compañeros y amigos Jessenia, Erika, Katty C, Cristina, Lisbeth, Verónica S, Jannina, Liliana, Paola, Cristina, Jorge, Mario, Juan, Terry, Ricardo, José, Ronny por haber encontrado en ellos la dicha de compartir agradables momentos en la vida universitaria. Así como también a mis grandes amigos, Favian, Jonni, Wilsón, Katty A, Gaby Y, Andrea J y Omaira R por siempre estar presentes en todo momento.

Marcela Maribel Morales Tixi

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Línea Base del Proyecto	2
<i>1.3.1. Antecedentes proyecto de investigación</i>	2
<i>1.3.2. Antecedentes del proceso de producción de la curtiembre San Jacinto.</i>	4
<i>1.3.2.1. Ribera.</i>	4
<i>1.3.2.2. Curtido</i>	7
<i>1.3.2.3. Post-Curtido.</i>	9
<i>1.3.2.4. Acabado.</i>	10
<i>1.3.3. Ubicación geográfica y división administrativa</i>	11
<i>1.3.4. Situación demográfica</i>	13
<i>1.3.5. Componente económico</i>	13
<i>1.3.6. Componente Biofísico</i>	14
<i>1.3.6.1. Relieve</i>	14
<i>1.3.6.2. Uso y cobertura del suelo</i>	15
<i>1.3.6.3. Aspecto climático</i>	16
<i>1.3.6.4. Aspecto ambiental</i>	17
<i>1.3.7. Contaminación generada por la industria del cuero</i>	17
<i>1.3.8. Procesos de Curtido</i>	18
<i>1.3.9. Estado Actual de descarga del Agua Residual</i>	22
<i>1.3.10. Beneficiarios de la investigación</i>	23
<i>1.3.10.1. Beneficiarios Directos</i>	23
<i>1.3.10.2. Beneficiarios Indirectos</i>	23
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	24
2.1. Objetivo General	24
2.2. Objetivos Específicos	24

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR.....	25
3.1. Localización del proyecto	25
3.2. Ingeniería del proyecto	26
3.2.1. <i>Tipo de Estudio</i>	26
3.2.2. <i>Métodos y Técnicas</i>	27
3.2.2.1. <i>Métodos</i>	27
3.2.2.2. <i>Técnicas.....</i>	28
3.3. Toma y monitoreo de muestras.....	28
3.3.1. <i>Equipos y técnicas de Laboratorio.....</i>	30
3.3.2. <i>Determinación del caudal de diseño.....</i>	32
3.3.2.3. <i>Caracterización del agua residual de la planta.....</i>	34
3.3.3. <i>Índice de Biodegradabilidad.....</i>	35
3.4. Prueba de tratabilidad	37
3.4.1. <i>Test de Jarras</i>	37
3.4.2. <i>Cálculos de ingeniería</i>	50
3.4.3. <i>Cálculos del Sis de Tratamiento para el Agua generada en el proceso de Pelambre ...</i>	50
3.5. Cálculos del Sistema de Tratamiento para el Agua generada en el proceso de Curtido.	63
3.6. Resultados	71
3.6.1. <i>Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua de Pelambre</i> 71	
3.6.2. <i>Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua de Curtido</i>	73
3.6.3. <i>Resultados de la caracterización del agua residual después del tratamiento</i>	75
3.6.4. <i>Rendimiento de tratabilidad (Porcentaje de Remoción)</i>	75
3.7. Proceso de producción	79
3.7.1. <i>Dosificación para el agua de pelambre</i>	79
3.7.2. <i>Dosificación para el agua de curtido.....</i>	82
3.7.3. <i>Dosificación cal a nivel industrial</i>	85
3.7.4. <i>Propuesta del sistema de Tratamiento</i>	86
3.8. Requerimientos de equipos, tecnología y maquinaria.....	88
3.8.1. <i>Equipos que conforman el Sistema de Tratamiento</i>	89
3.8.2. <i>Requerimiento de Costos.....</i>	90
3.8.3. <i>Costos para tratamiento de aguas residuales de la descarga de agua de Pelambre.....</i>	90

3.8.4. Costos para tratamiento de aguas residuales de la descarga de agua de Curtido.....	91
3.8.5. Costos de la dosificación de los diferentes químicos a utilizarse en la tratabilidad del agua residual	92
3.9. Análisis de Resultados.....	93
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Principales datos de la Parroquia Picaihua	12
Tabla 2-1: Cobertura y uso de suelos en la parroquia Picaihua	16
Tabla 3-1: Información climática de la parroquia Picaihua	16
Tabla 1-3: Condiciones meteorológicas del cantón Ambato	25
Tabla 2-3: Condiciones meteorológicas del cantón Riobamba	26
Tabla 3-3: Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras de acuerdo a las mediciones.....	29
Tabla 4-3: Requerimiento de equipos y materiales para el monitoreo y toma de muestras de acuerdo a la norma técnica NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:2013.....	30
Tabla 5-3: Materiales y Normativa usados en el muestreo del Agua Residual.....	30
Tabla 6-3: Equipos y Materiales secundarios usados en el laboratorio	30
Tabla 7-3: Procedimiento utilizado para la determinación de la demanda química de oxígeno en el agua residual según la norma técnica NTE INEN 1203:2013	31
Tabla 8-3: Determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE	32
Tabla 9-3: Medición de caudal de agua residual de Pelambre.....	33
Tabla 10-3: Medición de caudal de agua residual de Curtido.....	34
Tabla 11-3: Caracterización inicial del agua residual de Pelambre	35
Tabla 12-3: Caracterización inicial del agua residual de Curtido	35
Tabla 13-3: Índice de Biodegradabilidad.....	35
Tabla 14-3: Concentración de DBO5 y DQO en el agua de pelambre sin tratar	36
Tabla 15-3: Concentración de DBO5 y DQO en el agua de curtido sin tratar.....	36
Tabla 16-3: Tratamiento con sulfato de manganeso	40
Tabla 17-3: Prueba de coagulantes en el agua de Pelambre	40
Tabla 18-3: Prueba de pH en el agua de Pelambre	40
Tabla 19-3: Prueba de dosificación de PAC	41
Tabla 20-3: Prueba de dosificación de PAC a diferentes rangos	42
Tabla 21-3: Prueba de coagulantes en el agua de Curtido	44
Tabla 22-3: Prueba de pH en el agua de Curtido	44
Tabla 23-3: Tratamiento con Policloruro de Aluminio.....	45
Tabla 24-3: Prueba de dosificación con Policloruro de Aluminio	46
Tabla 25-3: Prueba de tratabilidad con diferentes floculantes	48
Tabla 26-3: Prueba de dosificación de floculante	48
Tabla 27-3: Coeficiente de Manning para cálculo de canales.....	53
Tabla 28-3: Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas	57

Tabla 29-3: Propiedades del agua a diferentes temperaturas	59
Tabla 30-3: Criterios de diseño de floculadores mecánicos.....	60
Tabla 31-3: Valores de CD	60
Tabla 32-3: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación.....	61
Tabla 33-3: Resultado del cálculo de caudal.....	71
Tabla 34-3: Resultados del diseño del Canal	72
Tabla 35-3: Resultados del diseño del Tanque de Aireación	72
Tabla 36-3: Resultados del diseño del Tanque de Floculación.....	72
Tabla 37-3: Resultados del diseño del Tanque de Sedimentación	73
Tabla 38-3: Resultado del cálculo de caudal.....	73
Tabla 39-3: Resultados del diseño del Canal	74
Tabla 40-3: Resultados del diseño del Tanque de Floculación	74
Tabla 41-3: Resultados del diseño del Tanque de Sedimentación	74
Tabla 42-3: Caracterización final del agua residual de Pelambre	75
Tabla 43-3: Caracterización final del agua residual de Curtido.....	75
Tabla 44-3: Rendimiento de la aireación en el agua de pelambre	76
Tabla 45-3: Rendimiento del tratamiento Químico en el agua de Pelambre	76
Tabla 46-3: Rendimiento de tratabilidad d en el agua de Curtido	77
Tabla 47-3: Requerimientos tecnológicos para el desarrollo de la investigación	89
Tabla 48-3: Equipos usados en el Sistema de Tratamiento del Agua de Pelambre	89
Tabla 49-3: Equipos usados en el Sistema de Tratamiento del Agua de Curtido	90
Tabla 50-3: Costos para la construcción del sistema de tratamiento del agua residual de Pelambre.	90
Tabla 51-3: Costos para la construcción del sistema de tratamiento del agua residual de Curtido.	92
Tabla 52-3: Dosis de químicos utilizados para el tratamiento del agua residual.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Proceso de Ribera en la industria de Curtiembre	4
Figura 2-1: Proceso de Pelambre en la industria de Curtiembre	6
Figura 3-1: Proceso de Curtido en la industria de Curtiembre	7
Figura 4-1: Proceso de Post-Curtido en la industria de Curtiembre	9
Figura 5-1: Proceso de Acabado en la industria de Curtiembre	11
Figura 6-1: Ubicación de la parroquia Picaihua	12
Figura 7-1: Mapa de relieves de la parroquia Picaihua.....	15
Figura 8-1: Piel para curtido	19
Figura 9-1: Eliminación de agua de pelambre	20
Figura 10-1: Descarnado.....	21
Figura 11-1: Curtido y Ecurrido.....	22
Figura 12-3: Georreferenciación de la curtiduría “San Jacinto”	25
Figura 13-3: Georreferenciación del laboratorio de calidad de aguas de la facultad de Ciencias de la ESPOCH.	26
Figura 14-3: Prueba de tratabilidad para determinar el pH óptimo para el tratamiento del agua residual.....	38
Figura 15-1: Tratabilidad agua residual de Pelambre	87
Figura 16-1: Tratabilidad agua residual de Pelambre	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Crecimiento poblacional por periodos intercensales de la parroquia Picaihua	13
Gráfico 2-1: Actividades económicas de la parroquia Picaihua	14
Gráfico 1-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora	41
Gráfico 2-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas	41
Gráfico 3-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas	42
Gráfico 4-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora	43
Gráfico 5-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas	43
Gráfico 6-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas	44
Gráfico 7-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora	45
Gráfico 8-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas	46
Gráfico 9-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas	46
Gráfico 11-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas	47
Gráfico 12-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas	48
Gráfico 14-3: Concentración de floculante vs Turbidez en un periodo de 2 horas.....	49
Gráfico 15-3: Concentración de floculante vs Turbidez en un periodo de 3 horas.....	50
Gráfico 16-3: Remoción de Sulfuros	76
Gráfico 17-3: Remoción de DBO y DQ en el agua de Pelambre.....	77
Gráfico 19-3: Remoción de Cromo Hexav. y Cromo Total en el agua de Curtido.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** Libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8.
- ANEXO B.** Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Pelambre
- ANEXO C.** Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Curtido
- ANEXO D.** Tanque de aireación del agua Residual de Pelambre
- ANEXO E.** Tanque de coagulación de Pelambre
- ANEXO F.** Tanque sedimentador del Agua de Pelambre
- ANEXO G.** Tanque de coagulación – floculación Agua de Pelambre
- ANEXO H.** Tanque sedimentador del Agua de Curtido
- ANEXO I.** Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Pelambre
- ANEXO J.** Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Curtido
- ANEXO K.** Registro Fotográfico
- ANEXO L.** Caracterización físico –química del agua residual proveniente del proceso de pelambre.
- ANEXO M.** Caracterización físico–química del agua residual proveniente del proceso de curtido.
- ANEXO N.** Caracterización físico –química del agua residual proveniente del proceso de pelambre después de las pruebas de tratabilidad.
- ANEXO O.** Caracterización físico –química del agua residual proveniente del proceso de curtido después de las pruebas de tratabilidad.
- ANEXO P.** Aval de la empresa Curtiduría San Jacinto
- ANEXO Q.** Certificado emitido de la empresa

RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento del agua residual para la Curtiembre San Jacinto, perteneciente a la Parroquia Picaihua Cantón Ambato provincia de Tungurahua, ya que el agua residual generada en la planta de producción es descargada directamente al alcantarillado de dicha ciudad sin ningún tipo de tratamiento previo. Primero se procedió a tomar el caudal mediante el método volumétrico durante 1 hora debido a que no existe una producción continua, se estableció un caudal promedio de 0,31 L/s para el agua residual de Pelambre y 0,18 L/s para el agua de Curtido. Se realizó un muestreo complejo, se tomó diferentes muestras directamente del bombo de producción, tanto para Pelambre como para Curtido, para llevarlo a la caracterización físico química. Observamos en el agua de Pelambre se encontraba parámetros elevados como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sulfuros; en cambio en el agua de Curtido son parámetros elevados era: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Cromo Hexavalente Cr VI, Cromo Total. Posteriormente conociendo los valores iniciales y obteniendo el índice de biodegradabilidad se procedió a dar un tratamiento adecuado, el mismo que consta de un tratamiento físico químico como: coagulación-floculación y sedimentación, con lo cual obtuvimos como resultado de remoción para el agua de Pelambre: 93,51 % de sulfuros, 93,15 % de DBO5 y 94,90 % de DQO; para el proceso de Curtido se obtuvo 51,96 % de DBO5, 59,68 % de DQO, 94,11 % de Cromo Hexavalente y 99,40 % de Cromo Total. Alcanzándose así la disminución de los parámetros que exige el TULSMA, Tabla 8: Normas Generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado, entonces podemos decir que el sistema de tratamiento de aguas residuales es apto para lograr una descarga de agua tratada al alcantarillado sin ningún problema.

Palabras claves

<INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO>; <AGUAS RESIDUALES>; <DESCARGA ALCANTARILLADO>; <CURTIEMBRE>, <PICAHUA (PARROQUIA)>; <TUNGURAHUA (PROVINCIA)>

SUMMARY

A wastewater treatment system was designed for San Jacinto Tannery, belonging to the Picaihua Canton Ambato province of Tungurahua province, since the wastewater generated in the production plant is discharged directly to the sewer system or said city without any prior treatment. First proceeded to take the flow through the volumetric method for 1 hour because there is no continuous production, established an average flow rate or 0.31 L/s for wastewater from Pelambre and 0.18 L/s for water of Tanning A complex sampling was carried out, different samples were taken directly from the production drum, both for Pelambre and for Tanning, to take it to the physical and chemical characterization. We observed in the water or Pelambre there were high parameters such as; Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Chemical Oxygen Demand (COD) and Sulphides; instead, in the tanning water, high parameters were: Biochemical Oxygen Demand (BOD5), Chemical Oxygen Demand (COD), Hexavalent Chromium CrVI, Total Chromium, Subsequently, knowing the initial values and obtaining the biodegradability index, we proceeded to give an adequate treatment, which consists of a physical chemical treatment such as: coagulation and sedimentation, with which we obtained as a result of removal for the Pelambre water: 93.51% of sulfides, 93,15% of BOD and 94,90% of COD; For the Tanning process, we observed 51,96% of BOD5,59,68% OF cod, 94,11% of Total Chromium. Reaching this way decrease of the parameters that TULSMA demands, Table 8: General Norms for discharge of effluents to the system of sewerage, than we can say that the system of treatment of residual waters is apt to achieve a discharge of treated water to racking without any problem.

Keywords:

<CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>; <DESIGN OF A TREATMENT PLANT>; <WASTE WATER>; <SEWER DISCHARGE>; <CURTIEMBRE>; <PICAIIHUA (PARISH) >; <TUNGURAHUA (PROVINCE) >

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Según (Reyes, 2010) en su estudio menciona que en todo el planeta, la industria de las curtiembres es una de las más contaminantes, cada año se deben destinar enormes cantidades de dinero para su tratamiento, en menor grado para prevenir la contaminación generada por esta actividad industrial. Las sumas destinadas a ello tienen como propósito cumplir con parámetros ambientales y evitar sanciones que impliquen pago económico más alto.

En su revista mensual de producción de cuero en el país, (ANCE, 2018) indica que en Ecuador el problema asociado con la contaminación ambiental generado por las curtiembres no ha sido corregido ya que no se ha planteado soluciones integrales, como hecho factible en la mayoría de curtiembres del país aún se utiliza métodos tradicionales en todas las etapas de transformación, esto ocasiona un bajo rendimiento por la pérdida de reactivos en los baños residuales.

El mismo autor estudió que la provincia de Tungurahua cuenta con 1.770 talleres artesanales dedicados a la confección de prendas de vestir de cuero y a la zapatería. Esta cantidad de talleres representa 75,6% de la actividad artesanal de la rama en Ecuador. Los talleres se ubican en los cantones de Ambato, Baños, Cevallos y Quisapincha; al ser talleres industriales no se regula los desechos generados aumentando la contaminación generada por las curtiembres en la provincia de Tungurahua.

La curtiduría “San Jacinto” no cuenta con un sistema de aprovechamiento de los residuos sólidos, ni el tratamiento de los efluentes líquidos que se generan en la empresa, lo único que se está haciendo es depositando los efluentes al cuerpo de agua dulce cercano a la empresa, no se está caracterizando la calidad del agua, ni se está monitoreando a donde llegan los efluentes producidas.

1.2. Justificación del problema

La presente investigación tendrá una aplicación tangible, dado que el gerente y el personal administrativo de la planta está interesado en invertir en tecnologías que puedan reducir el impacto generado su actividad industrial, así como también que se propongan tecnologías que logren recuperar los agentes químicos para poder ser reintroducidos en las etapas de ribera, curtido y acabado.

Con el diseño del sistema de tratamiento de agua residual, se planteará una solución integral a la mitigación de los impactos ambientales, ya que, a más de realizar tratamiento primario, y secundario, se propondrá recuperar sustancias químicas disueltas en el agua; esto disminuirá la cantidad de sustancias químicas introducidas en cada etapa de transformación y aumentará el rendimiento económico en la planta.

De lo citado anteriormente, del proyecto también se beneficiarán el GAD provincial de Tungurahua y al GAD Municipal de Ambato, ya que estas entidades al momento están buscando solución a los problemas generados en la industria curtiembre, razón por la cual están financiando y promoviendo investigaciones, que reduzcan el grado de contaminación en las aguas residuales.

Con este proyecto se mejorará la calidad de vida de los habitantes del sector Picaihua, que es donde se ubica la planta actualmente, además de que ayudarán a reducir los índices de contaminación mejorando la calidad de agua de la provincia, que es donde mayor actividad de las curtiembres se maneja, pudiendo evidenciar resultados plausibles en la aplicación del trabajo de investigación.

1.3. Línea Base del Proyecto

1.3.1. Antecedentes proyecto de investigación

Uno de los principales problemas ambientales producidos en la provincia de Tungurahua tiene que ver con la descarga de aguas residuales generadas por la industria de la curtiembre, sin recibir un tratamiento previo. Estos vertidos contienen una gran cantidad de productos químicos, entre ellos, el Cromo y colorantes utilizados a lo largo del proceso, lo que agrava aún más el problema ambiental.

Por ello, mediante la coordinación del GAD Provincial de Tungurahua y la ESPOCH, se ha realizado la implementación de un grupo de investigación encargado de brindar las soluciones

necesarias para disminuir los niveles de contaminación presentes en el agua residual para realizar su posterior descarga y así contribuir en la mitigación del impacto ambiental producido en la provincia.

Este grupo de investigación se encuentra conformado por 15 personas, dividiéndose en 6 docentes y 9 alumnos de la ESPOCH, los mismos que se encargarán de realizar la intervención a 9 curtiembres ubicadas en las parroquias Izamba, Península, Picaihua, y Unamuncho, las Curtiembres intervenidas son: Curtiembre Chimborazo, Curtiduría Cristo Del Consuelo, Curtiduría Laura, Curtipiel Martínez, Curtiduría Moyolsa, Curtiembre Pieles Puma, Curtiembre San Isidro, Curtiembre San Jacinto y Curtiduría San Vicente, de este modo contribuir a la minimización del impacto ambiental generado por estas empresas.

Este proyecto se lo ha ido trabajando en varias etapas, la primera de ellas consistió en realizar una visita a cada una de las curtiembres incluidas en el proyecto y verificar el estado actual de las descargas, así también, realizar muestreos en los puntos de descarga del agua residual y realizar su posterior análisis físico-químico. La caracterización primaria se enfoca en determinar la concentración de los principales parámetros contaminantes que se encuentran presentes en este tipo de aguas residuales, entre ellos podemos mencionar, pH, DBO, DQO, SST, Sulfuros, Cr^{6+} , Cr^{Total} , Color, entre otros.

Una vez realizada la caracterización inicial, se procedió a comparar los resultados obtenidos con los límites permisibles establecidos por la autoridad de control ambiental del país, así se determinó los contaminantes que se encuentran fuera de norma.

Aquí es donde interviene la parte medular del proyecto de vinculación con las Curtiembres de Tungurahua, ya que el grupo que forma parte del proyecto serán los encargados de brindar un adecuado apoyo al proceso de tratamiento de los vertidos generados por las empresas, la tratabilidad de estas aguas, pueden variar dependiendo de la producción de las curtiembres en estudio, con ello disminuirá el nivel de contaminación en estos sectores. Para lograr este objetivo se realizará el diseño de PTAR o su rediseño en las diferentes industrias de curtiembre que abarcan el estudio, y así lograr mitigar el problema ambiental generado por las mismas.

1.3.2. Antecedentes del proceso de producción de la curtiembre San Jacinto.

- Procesos y Operaciones.

Este proceso de producción radica en la transformación que se les da a las pieles de los animales (ovino y bovino) para luego serlos convertidos en cuero. Las pieles primero son limpiadas con abundante agua para eliminar la sangre, excretas y suciedad en general que contienen, posteriormente son puestos en unas piscinas que contienen sal para su conservación adecuada. Si ya se va a empezar el proceso de producción son llevadas al proceso de pelambre que con la ayuda de diferentes químicos elimina el pelo, grasas y carnaza. Después pasan a un proceso de dividido para posteriormente llevar al proceso de curtido donde al cuero se le añade cromo, a continuación, se realiza el teñido añadiendo diferentes colores y finalmente se realice los acabados del cuero.

Los procesos y operaciones para la elaboración del cuero son las siguientes: etapa de ribera, curtido, post curtido y acabado. Cabe mencionar que en la Curtiduría San Jacinto no se realiza las todas operaciones.

1.3.2.1. Ribera.

Este proceso elimina impurezas que posee la piel al momento que llega a la empresa. Cabe mencionar que es el proceso que da como resultado agua con pH alto y descarga mayor cantidad de agua residual. Dentro de este proceso existen 6 etapas que son: recepción de las pieles, salado de las pieles, remojo, pelambre, descarnado, y dividido. En la Curtiduría San Jacinto se realiza únicamente la recepción de las pieles, salado de pieles, remojo y pelambre.



Figura 1-1: Proceso de Ribera en la industria de Curtiembre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

✓ **Recepción de las pieles.**

Una vez que llega a la curtiembre la piel es importante observar en qué estado se encuentran, pueden ser frescas o secas, cuando se encuentran frescas se las lava con abundante agua, si son secas se las deja por un día en agua con sal para suavizar dicha piel.

✓ **Salado de las pieles.**

Este proceso se realiza a pieles que se desea conservar mediante la técnica del salado, empleándose sal común en diferentes proporciones de 15 a 35% respecto al peso de la piel a tratar. Este proceso se hace con el objetivo de mantener separadas las fibras de colágeno de la piel por lo que no hay desnaturalización de las proteínas.

✓ **Remojo**

En este proceso empieza la elaboración del cuero se lo realiza en un bombo, donde se ingresan 100 bandas que equivale a 50 cueros, la materia prima se mantiene por tres o cuatro días en remojo, se añade 1kg de humectante solo a cuero seco.

Por lo general en la Curtiduría se añade abundante agua a las pieles con la finalidad de limpiar la piel de toda la suciedad que contiene y restablecer a la etapa de hidratación.

Si la piel contiene sal común debe ser lavada con abundante agua hasta que quede limpia totalmente para el siguiente proceso. Cabe mencionar que el agua utilizada en este proceso es tomada de 2 sequías: la primera la sequía La Victoria y la segunda de la sequía proveniente del Rio Pachanlica.

✓ **Pelambre**

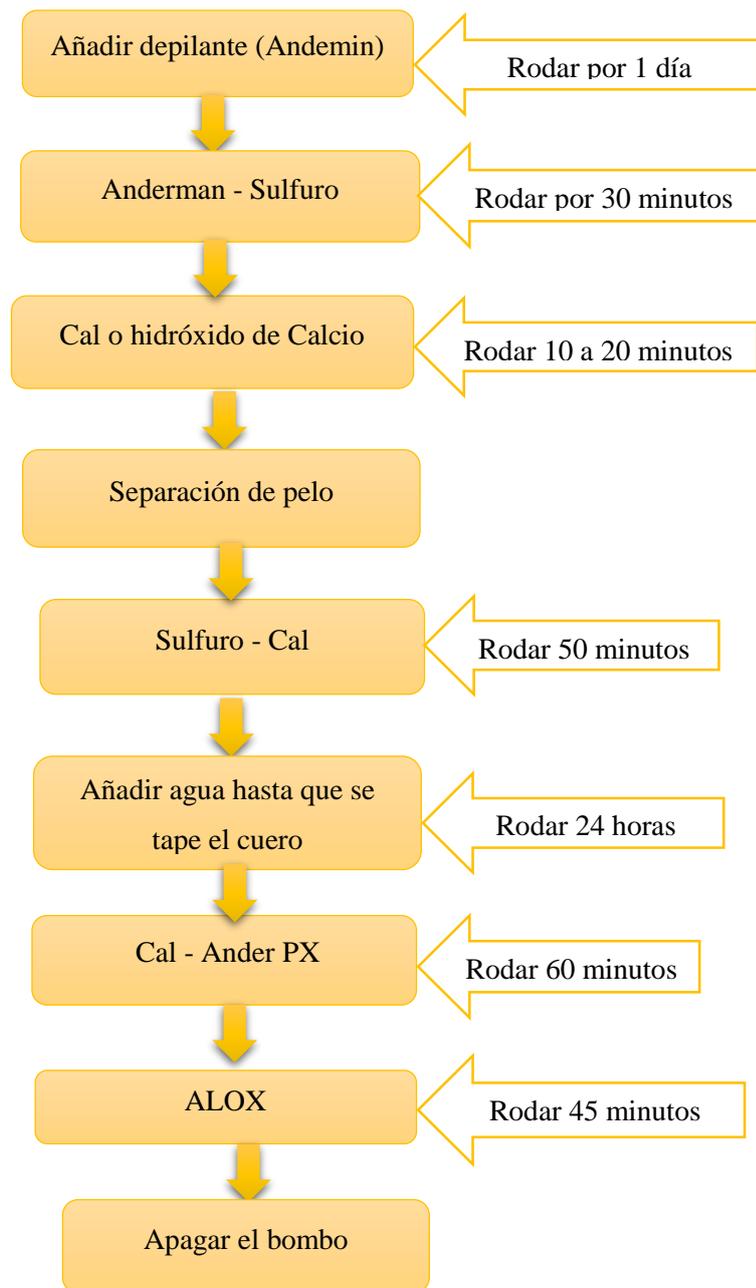


Figura 2-1: Proceso de Pelambre en la industria de Curtiembre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

Para llegar a la operación de pelambre las pieles deben estar limpias y bien hidratadas para adicionar sulfuro de sodio y cal conjuntamente en adición con agua para eliminar principalmente la epidermis y la lana de la piel, aflojando las fibras de colágeno a fin de atacar a la queratina del pelo y la epidermis y sacar completamente todo tipo de pelo adherido a esta.

La cal es un medio auxiliar utilizado para ablandar el pelaje utilizándose en forma calcinada o como hidrato de cal. El sulfuro de sodio se utiliza para reforzar y acelerar el relajamiento capilar,

el aflojamiento de la estructura fibrosa y la acción que es de carácter emulsionante sobre la grasa de la piel.

Obteniendo sulfhidrato de sodio y cálcico que provoca un fuerte relajamiento capilar dañando fuertemente los pelos mientras que la sosa caustica que se obtiene ayuda a obtener una hinchazón considerable en la textura fibrosa de la piel.

El agua que se descarga de esta etapa tiene una carga contaminante tan grande que en algunos casos llegan a formar parte del 50% del total del agua que se descarga en una curtiembre. Estas aguas poseen un pH alto de entre 12 a 14, gran contenido de pelo, proteínas, cal, sulfuros y una cantidad pequeña de grasa.

✓ **Descarnado y dividido.**

La curtiduría San Jacinto no posee el equipo necesario para este proceso, por lo tanto, luego del proceso de Pelambre las pieles son llevadas a otra empresa.

Este proceso se trata de dejar a las pieles con menor grosos, se divide en flor (parte externa) y descarne (parte interna), el grosor va a depender del producto que se va a obtener, cuero para calzado, vestimenta, tapicería.

1.3.2.2. Curtido

El cromo es el elemento principal en este proceso ya que ayuda a la estabilización del colágeno en la piel mediante agentes curtientes minerales o vegetales, transformándola en cuero, este proceso descarga un líquido con pH bajo. En este proceso encontramos sucesivas etapas: desencalado y purgado, piquelado, curtido y basificado, y wet-blue.



Figura 3-1: Proceso de Curtido en la industria de Curtiembre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

✓ **Desencalado**

Por lo general este proceso se realiza para 100 bandas de cuero añadiéndose amonio luego se lava por 10 o 15 minutos con el fin de eliminar la cal, el sulfuro y las grasas contenidas en la piel y limpian los poros de la misma. El desencalado equilibra la piel e interrumpe su hinchamiento, añadimos durante media hora bisulfito de sodio dejando que ruede por 1 hora este proceso se lo realiza para eliminar la cal o hidróxido de calcio con los grupos carboxílicos del colágeno

✓ **Purgado o Rendido**

Luego del desencalado se añade un químico llamado Purga, se deja por 1 hora dando vueltas en el bombo. Este proceso tiene como objetivo aflojar las fibras de colágeno, deshinchando las pieles y debilitando la raíz de pelo que todavía se encuentra en los folículos pilosos, el purgado se realiza mediante el tratamiento de las pieles con enzimas pancreáticas, a fin de que la piel esté idealmente constituida de solo proteína colágena.

✓ **Piquelado**

Se realiza varios lavados debido a que la piel en algunos casos no está libre de cal y para realizar una buena curtición es importante acidular hasta un determinado pH que se debe encontrar entre 2,8 y 3,5 al mismo tiempo este proceso detiene el hinchamiento, generalmente se aplica ácido fórmico mediante dos horas y media.

✓ **Curtido**

Se da la transformación de cualquier tipo de piel en cuero, el propósito de este proceso es frenar la putrefacción del cuero y perfeccionar el aspecto y propiedades físicas, certificando la estabilidad química y biológica del mismo.

Se añade sulfato de cromo si es para elaboración de cuero Splid va un 4% y si es para cuero de zapatos o vestimenta va un 6%, luego de una hora se añade basificante por 7 horas y finalmente el cuero está listo para el siguiente proceso. Los compuestos del cromo más conocidos en formación en la operación de curtido es el cromo hexavalente y trivalente.

1.3.2.3. Post-Curtido.

En la Curtiduría San Jacinto no se realiza la mayoría de estos procesos, debido a que no cuentan con la maquinaria necesaria para realizarlo. Únicamente realizan el escurrido, teñido y engrase. El proceso del post Curtido consta de las siguientes etapas.

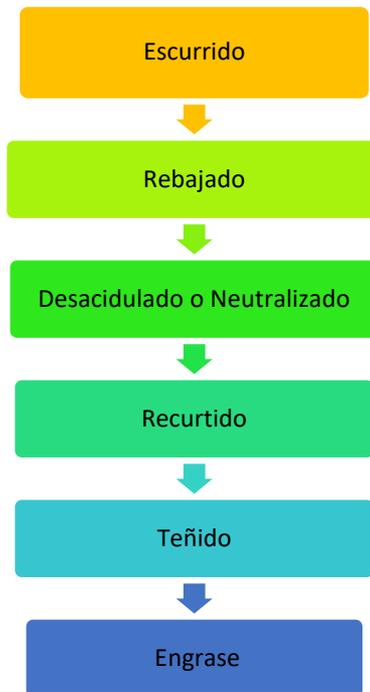


Figura 4-1: Proceso de Post-Curtido en la industria de Curtiembre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

✓ **Ecurrido.**

Al terminar la etapa del curtido es importante colocar al cuero en pallet de madera el cuero bien estirado para impedir manchas de cromo, esto dejamos por 24 o 48 horas para obtener una mejor coordinación de la sal de cromo. En lo posible hay que impedir que los bordes del cuero curtido se sequen de lo contrario cristaliza el sulfato sódico, además transforma el punto isoelectrico, lo cual va a inducir a manchar en los procesos de recurtido, teñido y engrase.

✓ **Rebajado y raspado.**

El objetivo de esta etapa es lograr cueros de igual grosor, esta operación tampoco se realiza en la curtiduría debido a que no posee la maquinaria adecuada.

✓ **Neutralizado o Desacidulado.**

Se neutraliza con la finalidad de que los nutrientes y colorantes tengan una penetración en el cuero y evitar sobrecargar la flor. Si no se realiza este proceso el cuero va a corroer los materiales con los que vaya a estar en contacto, produce irritación al contacto con la piel humana.

✓ **Recurtido.**

Etapa en donde el cuero es tratado con diferentes químicos para darle particularidades finales al cuero que no fue alcanzado con la anterior curtición, un cuero con mayor resistencia al agua, mayor blandura y sobre todo para beneficiar la igualación del teñido.

✓ **Teñido.**

Proporciona al cuero una explícita coloración, mejorando la apariencia, de acuerdo a la utilización que se le vaya a dar el teñido va a ser superficial o profundo, para el teñido se utiliza anilina u oxido metálico. Este proceso ayuda a reducir los defectos de la flora ayudando con una buena apariencia.

✓ **Engrase**

En el engrase se introduce sustancias grasas en los espacios asociados a las fibras, donde son adheridos, para adquirir un cuero suave y flexible. La mezcla de los productos engrasantes ingresa en las partes interfibrilares rompen y se incorporan en las fibras esta se alcanza por la operación mecánica del bombo en movimiento, adyacente a ellos las relativas tensiones superficiales, capilaridades y absorciones.

1.3.2.4. Acabado.

Como etapa final tenemos el acabado que tiene como finalidad eliminar la humedad, en la curtiduría San Jacinto se seca el cuero al ambiente; luego se lleva a la máquina prensadora, en el taller se da los acabados necesarios para que finalmente salga al mercado.



Figura 5-1: Proceso de Acabado en la industria de Curtiembre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

✓ **Secado**

En la empresa se hace el secado de forma natural, llamados secadores atmosféricos, en un día calurosa se saca y extiende el cuero al sol para eliminar su contenido de agua presente. Cabe mencionar que existen distintos tipos de secadores: Túnel de secado, cámaras de secado, secado Pasting, Toggling y secado al vacío. El factor que intervienen en esta etapa es el espesor, a mayor espesor mayor será el tiempo de secado.

✓ **Acondicionamiento**

Tiene como objetivo rehumedecer uniformemente al cuero con una humedad definitiva, esta humedad se consigue interrumpiendo la etapa del secado en el instante adecuado. En esta etapa la humedad se eleva al 28 - 30%. El tiempo para que los cueros alcancen este valor oscila entre 6 – 24 horas

✓ **Pintado.**

Al cuero ya terminado se le da la coloración deseada cabe mencionar que anteriormente en el bombo ya le dimos la coloración en esta etapa solo ajustamos el color. Se utiliza un soplete con la ayuda de un compresor propiamente preparado con la pintura deseada para dar la coloración respectiva.

1.3.3. Ubicación geográfica y división administrativa

Picaihua es una de las parroquias con mayor actividad manufacturera relacionada al sector de la curtiembre de cuero, es así que en este sector perteneciente al cantón Ambato, provincia de Tungurahua, se ubican doce curtiembres debidamente registradas en el SRI. Una de ellas, y la de

principal objeto del presente estudio, es la Curtiduría San Jacinto, la misma que inicia sus operaciones en el año 1997, a cargo del Señor José Antonio Pilla Morales.

Al ser la parroquia Picaihua sede de varias microempresas dedicadas a la curtiembre, es de nuestro especial interés definir la línea base de este sector con la finalidad de definir el área de influencia del presente estudio, es así que se determinaron varios aspectos y componentes relacionados a esta parroquia, los mismos que se describen a continuación.

La parroquia Picaihua se encuentra ubicada al sureste de la ciudad de Ambato, exactamente a 7 km del centro de la ciudad. En la Tabla 1-1 se definen los datos generales de la parroquia:

Tabla 1-1: Principales datos de la Parroquia Picaihua

Fecha de creación de la parroquia	14 de septiembre de 1872
Altitud	2600 msnm
Límites	Norte: Parroquia Pashilata y Parroquia Izamba Sur: Parroquia Totoras y Huachi Grande Este: Cantón Pelileo (río Pachanlica) Oeste: Parroquia Huachi Grande y Totoras
Extensión	1524,21 ha
Población	9054 habitantes
Temperatura promedio	15 °C

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Picaihua se encuentra dividida en 14 caseríos que son: Terremoto, Tangaiche, San Cayetano, San Luis, San Juan, Shuyurco, Atarazana, 10 de Agosto, Las Viñas, Sigsipamba, Simón Bolívar, Mollepamba, Calicanto y el Centro Parroquial

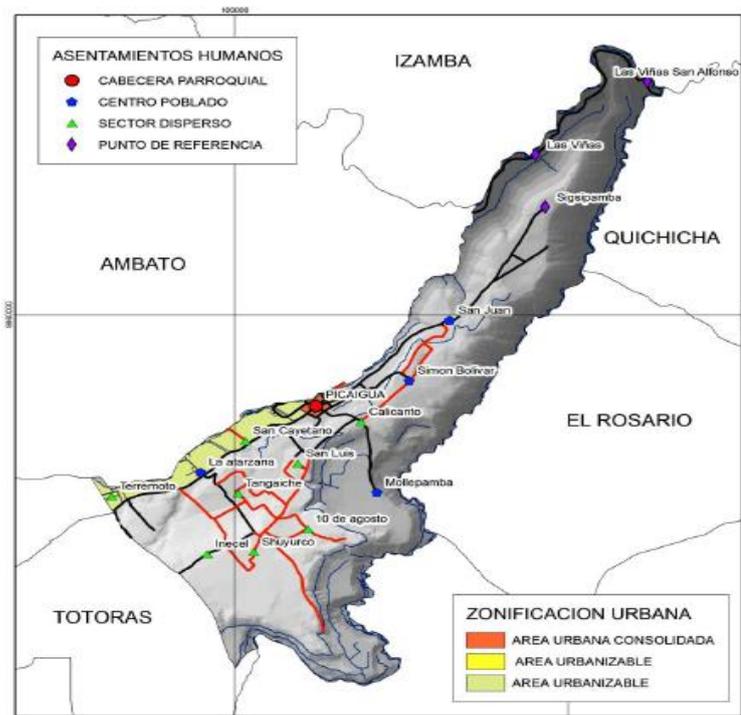


Figura 6-1: Ubicación de la parroquia Picaihua

Fuente: GAD Picaihua, 2015

1.3.4. Situación demográfica

En el Gráfico 1-1 podemos observar los datos intercensales de la parroquia Picaihua desde el año 1990, en el que se determinó que existían 5923 habitantes y para el 2001 aumentó a 7403 habitantes, durante este periodo se produjo la tasa de crecimiento poblacional más alta hasta el momento, con un valor de 2,01%. Para el año 2010 la tasa de crecimiento fue de 1,25% llegando así a los 8283 habitantes.

Según las proyecciones realizadas por el INEC para el periodo 2010-2020 se establece una tasa de crecimiento poco variable en relación al anterior periodo intercensal con un porcentaje de 1,25%

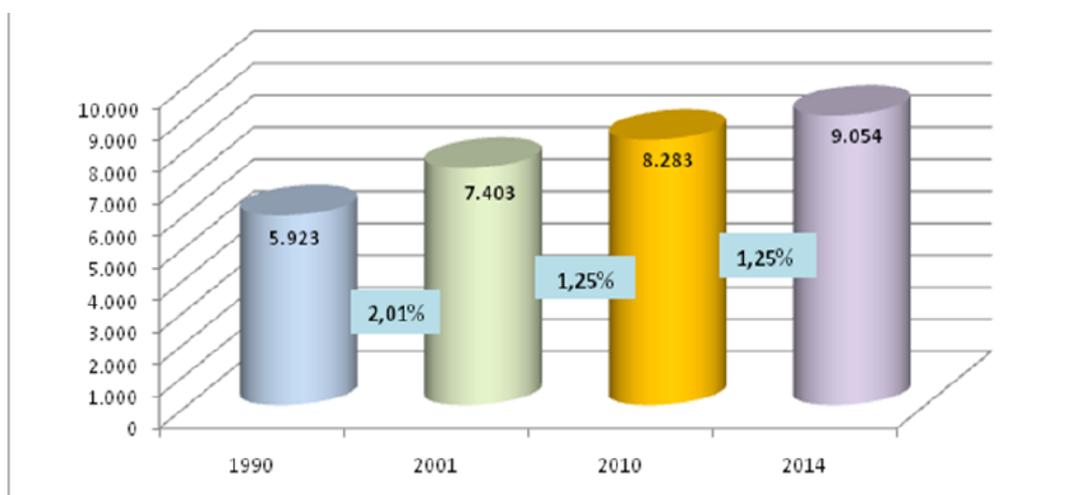


Gráfico 1-1: Crecimiento poblacional por periodos intercensales de la parroquia Picaihua

Fuente: GAD Picaihua, 2015

1.3.5. Componente económico

Dentro de las principales actividades económico-productivas que se desarrollan en la parroquia Picaihua, sobresale la industria de manufactura con un porcentaje de 32,9%. Este valor se evidencia principalmente por la presencia de microempresas dedicadas a la curtiembre de cueros y sus respectivas sub-actividades como elaboración de zapatos y demás artículos de cuero.

Las actividades relacionadas al comercio ya sea al por mayor o menor ocupan el segundo lugar en relación a actividades económicas con un porcentaje de 19,1%. Seguido se encuentra el sector de agricultura, ganadería y pesca con un 14,4% y la administración pública con un 5% de participación. Estas son las principales actividades económicas que se establecen en la parroquia.

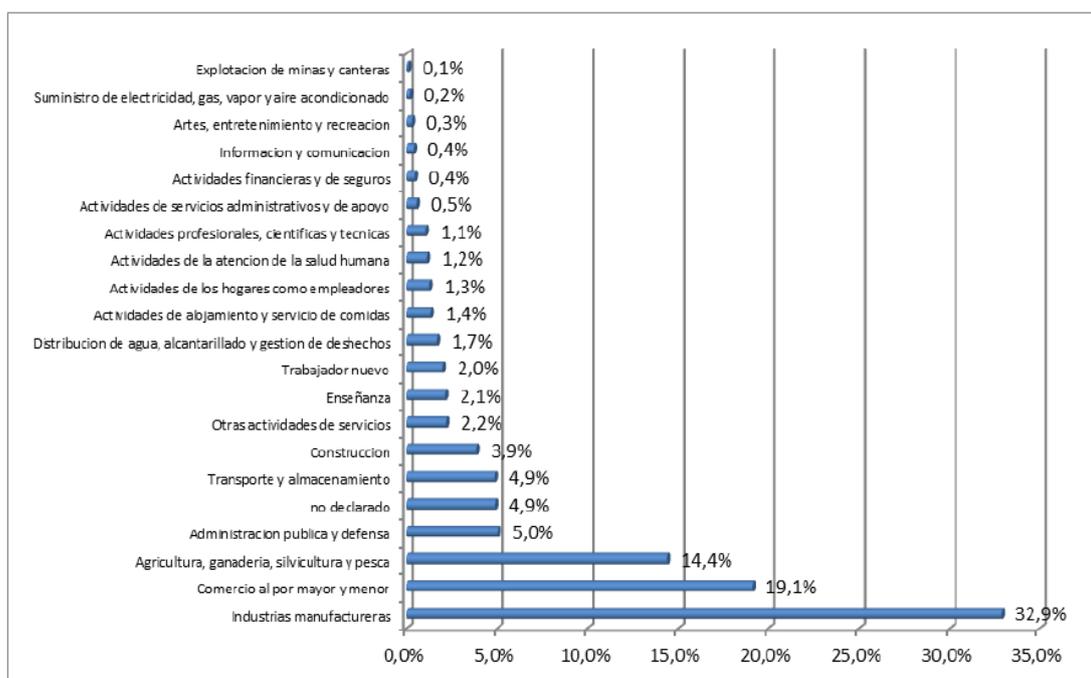


Gráfico 2-1: Actividades económicas de la parroquia Picaihua

Fuente: INEC, 2010

Otro dato de interés es que el 58,8% de los habitantes de la parroquia se dedican a actividades relacionadas a la producción agrícola y ganadera, venta de víveres y artículos de cuero.

En relación al sector agropecuario en la parroquia Picaihua existen alrededor de 1138,56 hectáreas bajo producción agrícola de las cuales 578,78 ha se encuentran ocupadas con pastizales para actividades ganaderas, 763 ha con frutales, 116,72 ha con alfalfa, 56,99 ha con hortalizas y el restante de 73 ha bajo la producción de maíz (MAGAP-Tungurahua, 2014).

Como mencionamos, existen 578,78 ha destinadas a la actividad pecuaria, principalmente para la crianza de especies menores, ya sea para consumo propio o para su comercialización

1.3.6. Componente Biofísico

1.3.6.1. Relieve

La parroquia Picaihua cuenta con varias formas de relieves geográficos en su estructura terrestre y en las siguientes proporciones: Montañoso con un porcentaje de 4,86% del territorio total, seguido por el relieve de Vertiente de Montaña con el 25,58% y Valle con el 69,55%. Este último es de nuestro especial interés ya que es el relieve donde se asienta la mayor parte de población del sector y también la Curtiduría San Jacinto.

El relieve de tipo Valle se caracteriza por tener forma de artesa, puede definirse como una llanura rodeada de zonas montañosas, tiene una forma alargada e inclinada dando lugar a pendientes que para el presente estudio son de gran beneficio en la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría San Jacinto, para que el mismo funcione únicamente por gravedad.

En la Figura 7-1 se puede apreciar el área total de la parroquia Picaihua junto con sus respectivos relieves, tenemos así de color verde el relieve de tipo Montañoso, anaranjado el de tipo Vertiente y de color rosado, con la mayor extensión el de tipo Valle.

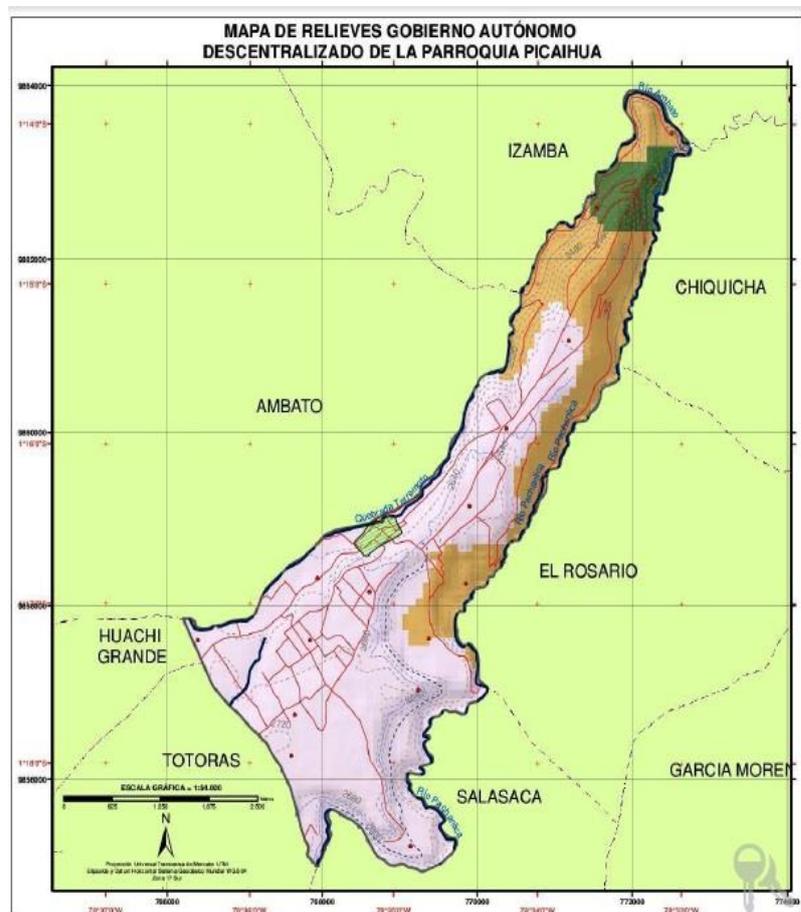


Figura 7-1: Mapa de relieves de la parroquia Picaihua
Fuente: GAD Picaihua, 2015

1.3.6.2. Uso y cobertura del suelo

En los suelos de la parroquia Picaihua se desarrolla una agricultura incipiente, produciendo principalmente alfalfa, maíz y frutales, todo esto gracias a la ayuda del sistema de riego Ambato-Huachi.

Según la clasificación del uso de suelos del GAD municipal de Ambato en la parroquia Picaihua, se observa tres tipos del uso de la tierra: agricultura intensiva-extensiva, cobertura vegetal de protección y zona urbana (GAD Picaigua, 2015).

La zona urbana ha sido uno de los que ha presentado mayor crecimiento en los últimos años pasando de 0.05 ha en el 2008 a 202.7 ha en el 2013, esto también se evidencia en el índice de crecimiento poblacional; con un valor de 1.25% anual, los habitantes de la parroquia han ido ocupando suelos que anteriormente tenían como finalidad actividades agrícolas.

Tabla 2-1: Cobertura y uso de suelos en la parroquia Picaihua

Nivel	2008		2013	
	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
Zona Poblada	0,05	0,003	202,70	12,59
Cuerpos de Agua	1,31	0,082	1,67	0,10
Vegetación arbustiva y herbácea	1,56	0,097	251,98	15,65
Tierras agropecuarias	1607,01	99,819		
Cultivos semipermanentes			56,99	3,54
Cultivo anual			72,99	4,53
Mosaico agropecuario			166,72	10,36
Cultivo permanente			263,08	16,34
Pastizal			578,78	35,95
Total	1609,98	100,00	1609,98	100,00

Realizado por: Maribel Morales, 2019

1.3.6.3. Aspecto climático

El cantón Ambato presenta tres pisos ecológicos, andino, subandino e interandino, en este último nivel se ubica la parroquia Picaihua, con una altitud que oscila entre los 2800 a 3200 msnm. En base a estos datos y otros recolectados por parte del municipio de Ambato se ha determinado que la temperatura promedio de la parroquia oscila entre los 14 y 16 °C.

En relación a las precipitaciones como se observa en la siguiente tabla la parroquia Picaihua tiene un rango que oscila entre los 400 a 600 mm de agua, lo que permite un adecuado crecimiento de cultivos.

Tabla 3-1: Información climática de la parroquia Picaihua

Variable	Descripción
Precipitación	400 a 600 mm
Temperatura	12 a 18 °C
Pisos Climáticos	
Humedad	60%

Realizado por: Maribel Morales, 2019

1.3.6.4. Aspecto ambiental

Se trata de uno de los aspectos más preocupantes que presenta la parroquia Picaihua ya que en el PDOT del GAD municipal de Ambato (2014-2019) se determina que todos los ríos de la cuenca alta del Pastaza presentan una calidad deficiente, por lo cual no se recomienda su uso en ningún tipo de actividad. Desde el punto de vista bacteriológico las aguas de estos ríos contienen una cantidad excesiva de bacterias *Escherichia coli*.

El río Ambato, arteria fluvial que circula al norte de la parroquia Picaihua, es uno de los más afectados por la contaminación producida en el cantón que lleva su nombre. Aquí se han encontrado bacterias coliformes como la *Klebsiella pneumoniae* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los altos niveles de contaminación de este río provienen principalmente de las aguas negras y grises que no han tenido un tratamiento previo y es alarmante que el 90% de la zona urbana del cantón Ambato descarga sus aguas residuales en el río Ambato. De igual manera de las aguas residuales provenientes de actividades industriales, especialmente de las empresas dedicadas a la curtiembre, son las que más contribuyen al daño ambiental producido en este río (GAD Ambato, 2015).

Concretamente en la parroquia Picaihua, la quebrada terremoto es una de las más afectadas por la contaminación que produce las descargas directas del sistema de alcantarillado, tanto de la cabecera cantonal como de las parroquias cercanas; aparte, también existe la disposición clandestina de residuos sólidos en la quebrada mencionada. En el límite este de la parroquia encontramos el río Pachanlica que de igual manera no se libra de la contaminación producida por las descargas de efluentes líquidos.

Todo lo mencionado anteriormente nos brinda una idea clara del nivel de contaminación por el que se ven afectados los habitantes de la parroquia. No siendo esto suficiente, es necesario mencionar que en la parroquia se ubican alrededor de doce industrias de curtiembre que no cuentan con el debido proceso de tratamiento para sus vertidos contaminantes, creando así un gran foco de contaminación del recurso agua, ya que estas industrias utilizan productos químicos en sus procesos.

1.3.7. Contaminación generada por la industria del cuero

Debido a los procesos repetidos de remojar las pieles crudas y escurrirlas, el proceso de curtido crea grandes cantidades de aguas residuales que pueden estar contaminadas con muchos productos químicos diferentes. Debido a que existe una gran variedad de productos químicos utilizados durante el proceso de curtido, las aguas residuales de esta industria pueden tener composiciones químicas muy diferentes. Sin embargo, la contaminación por cromo y la alta

demanda química de oxígeno son problemas típicos asociados con los efluentes de curtiembre, los cuales pueden presentar graves riesgos para el medio ambiente y la salud humana.

Además de generar aguas residuales tóxicas, algunas curtidurías también producen grandes cantidades de desechos sólidos que contienen cromo, entre los que se incluyen: restos de pieles, pieles y grasas en exceso. Las toxinas de estos residuos pueden filtrarse en el suelo y el agua cercanos, lo que pone a los residentes cercanos en riesgo de contaminación.

Una gran parte de la industria mundial de curtiembre opera en países de ingresos bajos y medios, muchos de estos sitios de curtiembre están agrupados, creando áreas industriales altamente contaminantes en muchos países. Esto ocurre en la provincia de Tungurahua, así, en la parroquia Picaihua existen varias industrias dedicadas a la elaboración de cueros, que eliminan miles de litros de aguas residuales y varias toneladas de desechos sólidos por año, sin realizar un correcto tratamiento previo a su descarga. Estos contaminantes son responsables de la contaminación de todos los sistemas de agua subterránea y de superficie cercanos con niveles de cromo muy altos.

1.3.8. Procesos de Curtido

El proceso de curtido consiste en una serie de métodos químicos y mecánicos que tienen como objetivo final convertir la piel en cuero, se lo realiza mediante los siguientes pasos:

1.3.8.1. Preparación

El proceso de curtido inicia con la obtención de la piel de un animal y su posterior análisis de calidad y clasificación de las mismas; de este modo se da una efectiva recepción de la materia prima.

La primera operación consiste en realizar un curado con sal, esto con la finalidad de evitar la putrefacción de la sustancia proteica (colágeno) y el crecimiento bacteriano que puede darse desde el momento que se obtiene la piel hasta el inicio de su procesamiento. De igual manera el curado sirve para eliminar el agua de la piel mediante la diferencia de la presión osmótica, así se reduce el porcentaje de humedad evitando de esta manera el crecimiento bacteriano (Barber, y otros, 2009).



Figura 8-1: Piel para curtido
Fuente: Azorjaca, 2011

1.3.8.2. Procesos de ribera

Los procesos de ribera son operaciones encargadas de dar un pre-tratamiento a las pieles antes de someterse al proceso de curtido, en esta etapa es limpiado y acondicionado mediante la eliminación de pelo o lana y logrando un adecuado grado de humedad. En esta etapa es en la que existe un mayor consumo de agua y su efluente presenta un pH elevado.

- Remojo

Consiste en empapar las pieles con agua limpia para eliminar la sal del curado y aumentar la humedad de la piel. Durante esta etapa se puede dar un crecimiento bacteriano, con el fin de evitarlo se utiliza biocidas o fungicidas.

El tipo de remojo de las pieles dependerá mucho del tipo de conservación y el tiempo en que haya sido sometida después de la etapa de desollado y antes de llegar a la curtiembre para su transformación en cuero. En el caso de una piel fresca que procede directamente del matadero, sin tratamiento previo de conservación, no hay mayores dificultades, pues un remojo simple (de limpieza) y remojo alcalino controlado (generalmente menos horas) hace posible pasar a las siguientes etapas de fabricación.

Con pieles saladas o secas el remojo no es tan sencillo, y el modo de desarrollar la rehidratación y extracción parcial de proteínas solubles no estructuradas, debe optimizarse de tal forma que la actividad bacteriana no afecte negativamente la calidad o propiedades del material a curtir.

- Pelambre

Una vez remojado el cuero, se realiza un proceso de encalado. Con el fin de eliminar el pelo y otras materias queratínicas se añade cal (agente básico) y sulfuro de sodio. De igual manera en este proceso se remueven proteínas solubles interfibrilares y cierto porcentaje de grasa (USEPA, 1991).

Este proceso ablanda las fibras de colágeno, que aumenta los puntos de reactividad en la piel. También favorece el hinchamiento de la piel que promueve el aflojamiento de la estructura reticular y así poder ser descarnada y dividida posteriormente, si es necesario.

Además, convierte la grasa natural que contiene la piel en jabones y alcoholes (proceso de saponificación). Finalmente, mencionar la importancia del pelambre, para extraer de las pieles, proteínas y otros productos desagradables que se originan por la alcalinidad.

El proceso de pelambre se puede realizar en fulones, agregando una solución de sulfuro de sodio y agitando durante 24 horas.



Figura 9-1: Eliminación de agua de pelambre

Fuente: USEPA, 1991

- Desencalado

Durante este proceso se da el lavado de la piel para eliminar el exceso de cal y sulfuro con la finalidad de evitar futuros inconvenientes durante el proceso de curtido. En esta etapa se utiliza un gran volumen de agua y agentes químicos como ácidos orgánicos, sales de amonio, bisulfito de sodio, etc.

- Descarnado

En el descarnado se da la eliminación mecánica de la grasa natural y de la carnaza que existe en las pieles, es un proceso esencial previo a la etapa de curtido ya que así existirá mayor penetración de agentes químicos en la piel (Parimal, 2017).



Figura 10-1: Descarnado

Fuente: Parimal, 2017

- Desengrase

Es la última operación a realizarse durante el proceso de ribera, consiste en la eliminación de grasas, materia orgánica y limpieza de poros, mediante el uso de solventes.

Piquelado

Este proceso consiste en la adición de ácido fórmico y sulfúrico con la finalidad de reducir el pH del colágeno de las pieles a un nivel muy bajo para facilitar la penetración del agente de curtido.

1.3.8.3. Curtido

El curtido se puede dar de dos maneras, ya sea mediante agentes minerales o vegetales. El agente mineral más utilizado es el Sulfato de Cromo (III) que ha sido considerado por mucho tiempo como el agente de curtido más efectivo y eficiente. Durante este proceso se da la estabilización del colágeno de la piel transformándola en cuero (Parimal, 2017).

El curtido por agente vegetal emplea los extractos comerciales de taninos, otros agentes también pueden ser los sintanos.

El agua residual generada en esta etapa tiene un pH bajo y no es tan abundante como el volumen de agua utilizado en los procesos de ribera.



Figura 11-1: Curtido y Ecurrido

Fuente: Parimal, 2017

1.3.9. Estado Actual de descarga del Agua Residual

Las aguas residuales provenientes de las actividades industriales relacionadas al sector de la curtiembre (pelambre, curtido, teñido), son descargadas directamente al sistema de alcantarillado sin recibir un tratamiento previo, este a su vez es descargado de igual manera sin ningún tipo de tratamiento hacia los cuerpos hídricos cercanos a la parroquia, con lo que de este modo se amplía el área de influencia de la Curtiduría San Jacinto, hacia los cauces de aguas naturales, específicamente hacia el río Pachanlica donde existe la descarga del sistema de alcantarillado del sector este de la parroquia.

El problema es alarmante ya que la hidrografía del cantón Ambato forma parte de la cuenca del Pastaza, y el río Ambato, principal cuerpo hídrico que circunda por la parroquia Picaihua forman parte de la cuenca alta del Pastaza.

Actualmente el GAD municipal de Ambato se encuentra ejecutando la creación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la ciudad, los colectores, de la parroquia Picaihua, para esta planta de tratamiento se encuentran ubicados en la Quebrada Terremoto, y en el río Pachanlica, pero, se debe tener en cuenta que las empresas dedicadas a procesos de manufactura deben coadyuvar en el proceso de mitigación de impacto ambiental, es por esto que el presente estudio busca contribuir al proceso general de tratamiento de aguas de la ciudad, mediante la reducción del nivel de contaminación en el punto mismo de descarga hacia el sistema de alcantarillado de la ciudad.

1.3.10. Beneficiarios de la investigación

1.3.10.1. Beneficiarios Directos

- El principal beneficiario del diseño de una planta de tratamientos del agua residual será el gerente propietario de la curtiduría “San Jacinto”, evitando tener problemas con el ministerio del ambiente y demás entes reguladores de la contaminación ambiental generada por su empresa.

1.3.10.2. Beneficiarios Indirectos

- Los trabajadores de la curtiduría “San Jacinto” se verán beneficiados con la implementación de la planta, ya que no estarán expuestos al agua residual que tiene alta carga contaminante y que puede generar daños en su salud, mejorando el área de trabajo.
- Los pobladores del sector Picañhua en Ambato, ya que ellos están sufriendo los problemas que genera la planta al eliminar el agua residual sin ningún tratamiento, lo que está disminuyendo su calidad de vida por deterioro de la calidad ambiental.
- El gobierno autónomo descentralizado de la provincia de Tungurahua y el GAD Municipal de Ambato serán beneficiados de manera indirecta con la aplicación del trabajo investigativo, ya que esto aumentará la conciencia ambiental de los curtidores y permitirá establecer políticas en pos del cuidado del ambiente.
- Los habitantes de la ciudad de Ambato se beneficiarían de manera indirecta del proyecto, ya que el prevenir la contaminación del agua, el daño de la flora y fauna de la ciudad; permitirá que tengan accesos a servicios de agua potable de calidad, además de que reducirán la afectación que están teniendo por la contaminación generada en las curtiembres.

Sectores de construcción y otros sectores afines a esta actividad económica, se verán beneficiados en el diseño de una planta de tratamientos de agua, ya que si se decide implementar se necesitará de mano de obra calificada que pueda realizar la construcción, así como también se generará trabajo para técnicos, para el monitoreo y manejo de la planta.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “San Jacinto”.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar Físico-Química el agua residual generada en la curtiduría “San Jacinto” aplicando la norma ambiental vigente.
- Aplicar la prueba de tratabilidad de agua residual para las muestras que se encuentren fuera de la norma.
- Determinar los flujos, variables del proceso y tipos de tratamientos del agua residual.
- Validar el diseño a través de la caracterización del agua tratada según la normativa vigente.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO PRELIMINAR

3.1. Localización del proyecto

El presente trabajo de investigación se realizará en dos locaciones, para la primera etapa se realizará en la curtiduría “San Jacinto” ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato Parroquia Picaihua, ahí se muestrearán y monitorearán las muestras de agua residual, se obtendrán los caudales de diseño y se realizará la propuesta tecnológica a implementarse en la planta.

Tabla 1-3: Condiciones meteorológicas del cantón Ambato

Parámetros	Valores Promedios
Altitud, msm.	2580
Temperatura, °C	15
Precipitación, mm/mes.	421
Humedad relativa, %.	61

Realizado por: Maribel Morales, 2019

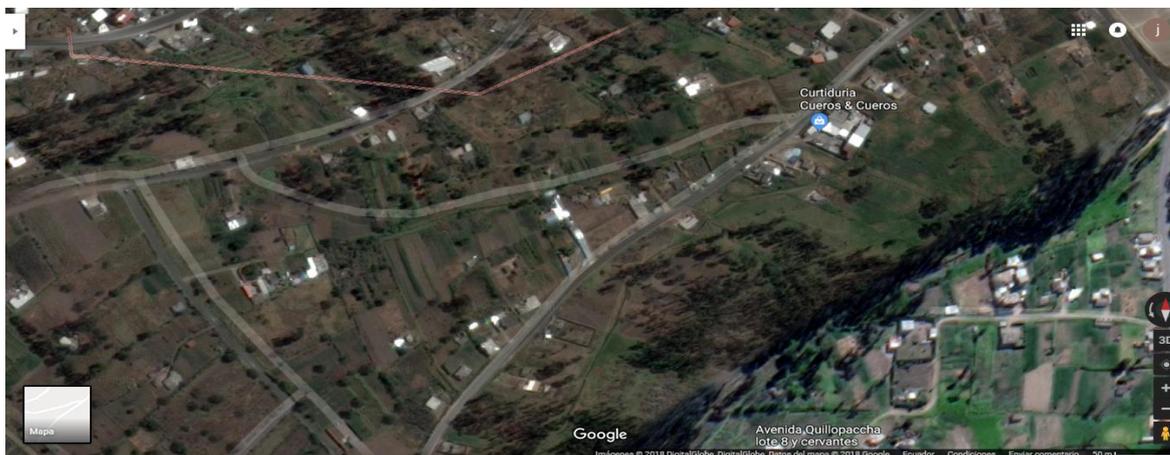


Figura 1-3: Georreferenciación de la curtiduría “San Jacinto”

Fuente: (Google, 2018).

La segunda etapa se realizará en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba Panamericana Norte km 1 1/2; en el laboratorio se realizará la caracterización del agua residual, test de jarras y validación del proceso tecnológico propuesto, las condiciones

ambientales de los dos cantones se recogen en la Tabla 1-3 y Tabla 2-3 y la georreferenciación de la ubicación exacta se recoge en el Figura 1-3 y 2-3.

Tabla 2-3: Condiciones meteorológicas del cantón Riobamba

Parámetros	Valores Promedios
Altitud, msm.	2750
Temperatura , °C	13,5
Precipitación, mm/mes.	820
Humedad relativa, %.	75

Realizado por: Maribel Morales, 2019



Figura 2-3: Georreferenciación del laboratorio de calidad de aguas de la facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Fuente: (Google, 2018).

3.2. Ingeniería del proyecto

La presente investigación se dividirá en cuatro etapas: toma y monitoreo de las muestras, caracterización del agua residual generada en la curtiduría “San Jacinto”, test de jarras para la determinación del tratamiento que se le realizará al agua residual, cálculos de ingeniería y propuesta tecnológica para la planta de tratamiento de aguas y validación del proceso de tratamiento del agua residual, el procedimiento de cada etapa se detallará a continuación.

3.2.1. Tipo de Estudio

El presente proyecto se basa en un tipo de estudio técnico ya que mediante varios ensayos y experimentaciones se procederá a brindar una propuesta tecnológica para la minimización de

parámetros contaminantes en los vertidos generados en los procesos de la industria de la curtiembre.

Al ser el objetivo general el diseñar un sistema de tratamiento para la curtiduría “San Jacinto”, este estudio seguirá un protocolo sistemático de pasos experimentales con la finalidad de cuantificar variables que intervienen directamente en la problemática para de ese modo contribuir a la solución del mismo mediante el menor uso posible de recursos tanto económicos como personales.

3.2.2. Métodos y Técnicas

3.2.2.1. Métodos

Al tratarse de un proyecto de carácter técnico se hará uso de tres métodos, inductivo, deductivo y experimental, los mismos que nos permitirán conocer, determinar y dar solución a los principales problemas que rigen el presente estudio.

Deductivo: Comienzan con conocimiento general y predicen una observación específica. Se trata de un tipo de razonamiento a partir de una amplia declaración, o una hipótesis, y examina las posibilidades de llegar a una conclusión lógica específica (Gower, 2012).

Una vez obtenidos los resultados iniciales en el método inductivo, el mismo que nos brinda un conocimiento general, podremos aplicar el método deductivo para hallar una solución que nos permita disminuir el nivel de contaminantes presentes en el agua residual de la curtiduría San Jacinto.

Inductivo: El método inductivo se desenvuelve como un método experimental de análisis inicial ya que comienza con muchas observaciones de la naturaleza del problema, con el objetivo de encontrar algunas declaraciones activas sobre cómo funciona el entorno de estudio y de esa manera llegar a conclusiones generales (Gower, 2012).

Al aplicar este método en nuestro proyecto podremos obtener datos iniciales del problema que se nos presenta, siendo así, el estado actual de las descargas de vertidos contaminantes que se generar en la curtiduría San Jacinto. La caracterización inicial también se trata de un método inductivo ya que nos permite determinar los principales contaminantes que encontramos en el agua residual de nuestro estudio.

Experimental: Se trata de una colección de diseños de investigación que utilizan la manipulación y las pruebas controladas para comprender los procesos causales. En general, una o más variables se manipulan para determinar su efecto en una variable dependiente (Gower, 2012).

En otras palabras, se trata de todos los procesos realizados a nivel de laboratorio con la finalidad de obtener datos precisos que contribuyan a brindar una mejor solución a la problemática planteada.

3.2.2.2. Técnicas

Las técnicas abarcan cualquier forma sistemática de obtener información sobre una naturaleza científica o de obtener un material o producto deseado. Consideraremos como técnicas a todo el conjunto de normas y procedimientos que ayudarán a la correcta ejecución del estudio que nos hemos propuesto.

Las técnicas usadas en el siguiente proyecto son:

- NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.
- NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

A nivel de laboratorio se ha hecho uso de métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales; APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

3.3. Toma y monitoreo de muestras

La toma y monitoreo de las muestras se realizará in-situ, en la curtiduría “San Jacinto”, esto se hará de acuerdo a lo que detalla la norma NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:2013. Este muestreo se realizará durante 5 meses, acudiendo mensualmente a la planta para verificar la representatividad de la muestra.

Para asegurar que la muestra sea representativa y emule las condiciones normales de efluentes de la curtiduría “San Jacinto” se realizara un muestreo complejo, en donde se tomara diferentes muestras directamente de los bombos y se llenara los recipientes, esto se hará los días que se

realice las operaciones de curtido y de pelambre en la planta, tomando la muestra directo del punto de descarga (bombo).

Se tomarán 8 muestras compuestas en total; tomando en cuenta que los efluentes de la etapa de curtido se obtendrá después de 7 días que se obtiene la muestra de pelambre, la producción de la curtiduría “San Jacinto” no es constante debido a que no es una pequeña empresa, una vez obtenido las muestras, se deberán sellar y etiquetar de acuerdo al día, sitio y temperatura de toma de las muestras y serán almacenadas hasta realizar la caracterización de las mismas, evitando su almacenamiento en lugares húmedos o con expuestas a excesiva radiación solar que puede generar reacciones químicas de los contaminantes.

Tabla 3-3: Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras de acuerdo a las mediciones

Determinación	Recipiente	Volumen mínimo de muestra, (ml)	Tipo de muestra	Preservación	Almacenamiento máximo recomendado
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
DBO	P, V	1000	S	Refrigerar	48 h
DQO	P, V	100	s, c	Analizar lo más pronto posible, o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar	28 d
Cromo VI	P (A), V(A)	300	S	Refrigerar	24 h
pH	P, V	50	s	Análisis inmediato	—
Sólidos en suspensión	P, V	200	s, c	Refrigerar	2-7 d, ver protocolo
Sulfuro	P, V	100	s, c	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	7 d
Turbidez	P, V	100	s, c	Analizar el mismo día; para más de 24 h guardar en oscuridad, refrigerar	48 h

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Fuente: (USEPA, 1991)

Siendo las abreviaturas s y c, el tipo del sistema de muestreo simple o compuesto respectivamente; las letras p y v representan el material del recipiente ya sea plástico o vidrio, y también se muestra el máximo de tiempo que se puede almacenar las muestras sin un análisis para no alterar los resultados de la tabla se deberá seleccionar los contaminantes que se caracterizaran para determinar el caudal máximo, sabiendo que no se puede tener una muestra mayor a 2 litros en un mismo recipiente.

Tabla 4-3: Requerimiento de equipos y materiales para el monitoreo y toma de muestras de acuerdo a la norma técnica NTE INEN 2169:2013 y NTE INEN 2176:2013

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Envases de polietileno • Tapa de envases • Fundas Plásticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de protección personal
Procedimiento	
<p>Tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado.</p> <p>Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad.</p> <p>El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo.</p> <p>Si la muestra se transfiere de recipiente, se debe cuidar que ésta siga siendo representativa.</p> <p>Cierre de los recipientes de muestreo</p>	

Fuente: (NTE INEN 2176:2013, 2018)

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 5-3: Materiales y Normativa usados en el muestreo del Agua Residual

Materiales	Normativa
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes desechables • Recipientes de plásticos • Recipientes de vidrio • Hielera • Mascarilla • Recipiente estéril 	<p>El muestro se realizó según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.</p>

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.3.1. Equipos y técnicas de Laboratorio

En la Tabla 6-3 se puede observar los equipos que se utilizó en el laboratorio de Calidad de Agua para los análisis respectivos de la tratabilidad del agua de Pelambre y de Curtido.

Tabla 6-3: Equipos y Materiales secundarios usados en el laboratorio

Equipos y Materiales	Función
Espectrofotómetro DR 2800	Análisis de agua y otros
Fotómetro PF-12	Análisis de agua y otros
Turbidímetro	Medición de turbiedad
Potenciómetro	Potencial de Hidrógeno
Autoclave	Esterilización
Termómetro	Medición de temperatura
Balanza Analítica	Determinación de Peso
Vasos de precipitación	Contener muestras
Cubetas de Análisis	Análisis de agua y otros
Pipeta	Dosificaciones

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua, ESPOCH, 2019

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 7-3: Procedimiento utilizado para la determinación de la demanda química de oxígeno en el agua residual según la norma técnica NTE INEN 1203:2013

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de reflujo • Plancha de calentamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua Destilado • Dicromato de potasio • Reactivo de ácido sulfúrico • Solución indicadora de ferroina • Ftalato ácido de potasio • Solución titulante de Sulfato ferroso amoniacal • Solución titulante de Sulfato ferroso • Sulfato de plata Ag₂SO₄ • Sulfato de mercurio, HgSO₄ • Ácido sulfámico • Solución patrón de ftalato ácido de potasio
Procedimiento	
<p>Colocar en un matraz Erlenmeyer para reflujo, de 500 cm³, algunos pedazos de piedra pómez o perlas de vidrio; a continuación 50 cm³ de muestra o una alícuota diluida a 50 cm³, 1 g de HgSO₄ y, lentamente y con agitación añadir 5 cm³ del reactivo de ácido sulfúrico. Enfriar mientras se mezcla para evitar posibles pérdidas de sustancias volátiles en la muestra. Agregar 25 cm³ de K₂Cr₂O₇ 0,25 N y mezclar nuevamente.</p> <p>Conectar el matraz de reflujo al condensador, abrir el agua de enfriamiento y añadir lentamente 70 cm³ de reactivo de ácido sulfúrico a través de la abertura del condensador. Mezclar con movimientos de rotación durante la adición. Titular el exceso de dicromato de potasio con la solución de sulfato ferroso y amonio usando 2 a 3 gotas de indicador ferroín (la cantidad de indicador debe ser siempre la misma). Tomar como punto final de la titulación el cambio de color azul verdoso o café - rojizo, aunque después de algunos minutos puede reaparecer el color azul - verdoso.</p> <p>Llevar a reflujo un blanco con agua destilada de igual volumen que la muestra, junto con la misma cantidad de los reactivos, teniendo la precaución que la ebullición empiece al mismo tiempo que en la muestra. Procedimiento para muestras de bajo DQO. En el caso de llevarse a cabo la determinación en muestras de DQO bajo proceder.</p>	
Cálculos y Resultados	
$DQO \text{ como } mg \frac{O_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{mL \text{ de muestra}}$ <p>Donde: A = Promedio de mL de FAS utilizado para los blancos digeridos B = mL de FAS utilizado para la muestra N = Normalidad del FAS 8 = Peso equivalente del Oxígeno.</p>	

Fuente: (INEN, 2013).

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 8-3: Determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE INEN 0983

Materiales y Equipos	Reactivos
<p>Equipos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Espectrofotómetro ✓ Balanza analítica con precisión de 0,1 mg. ✓ Medidor de pH. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Difenilcarbazida. ✓ Solución madre de cromo. ✓ Solución patrón de cromo. ✓ Ácido sulfúrico. ✓ Agua destilada.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la muestra analizada. ✓ Tomar 50 cm³ de muestra o una alícuota diluida a 50 cm³ y adicionar 2,5 cm³ de solución de difenilcarbazida; mezclar perfectamente. ✓ Determinar la absorbancia a la longitud de onda y la correspondiente concentración mediante la curva de calibración. 	
Cálculos	
<p>El contenido de cromo hexavalente se determina mediante la ecuación siguiente:</p> $\frac{mg}{l} Cr \text{ hexavalente} = \frac{m}{cm^3 \text{ de muestra}}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ m concentración de cromo establecida en la curva de calibración, en µg. 	

Fuente: (INEN, 2014)

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.3.2. Determinación del caudal de diseño

Para determinar el caudal de agua residual producida en la curtiembre “San Jacinto”, se seguirán los procedimientos detallados en la guía de la norma nacional del medio ambiente para Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), que incluye el sitio de medición, el número de mediciones, el tipo de medición y las técnicas para la medición, a continuación, se muestra el procedimiento para la determinación del caudal de diseño.

3.3.2.1. Selección del lugar para medir el caudal

Según (Davis, 2009), el caudal se debe tomar en el lugar donde se descarguen los efluentes de agua contaminada, generalmente en la etapa final del proceso, prefiriendo que se tomen en cuenta todas las salidas de agua, para asegurar la selección adecuada del flujo.

En nuestro estudio se realizó las mediciones de caudal, tanto para el agua de pelambre como para el agua de curtido, en la tubería donde se descargan los efluentes de los bombos de producción y que desemboca en el sistema de alcantarillado público.

3.3.2.2. Número de mediciones

Para lograr reducir la variación de resultados en la medición del caudal, es necesario realizar la medición 3 veces durante el día, con esto se disminuirá la influencia de la temperatura ambiente y la humedad relativa, realizando estas mediciones de manera repetida en 3 ocasiones, con esto se asegura disminuir el error aleatorio hasta un 5%, valor aceptable en las mediciones in-situ. (Davis, 2009).

Las mediciones del caudal de agua residual producido en la curtiduría “San Jacinto” se realizaron 3 veces al día por la mañana en horas y fechas específicas, tal como se detalla a continuación.

Tabla 9-3: Medición de caudal de agua residual de Pelambre

Fecha	Horario	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Promedio (L/s)
14/11/2018	8:00	1	2,98	0,34	0,31
	8:30	1	3,30	0,30	
	9:00	1	3,40	0,29	
21/1/2019	8:00	1	3,10	0,32	0,297
	8:30	1	3,30	0,30	
	9:00	1	3,70	0,27	
25/02/2019	8:00	1	2,80	0,36	0,336
	8:30	1	2,98	0,34	
	9:00	1	3,18	0,31	
18/03/2019	8:00	1	2,98	0,34	0,293
	8:30	1	3,40	0,29	
	9:00	1	3,98	0,25	
PROMEDIO TOTAL (L/s)					0,309

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 10-3: Medición de caudal de agua residual de Curtido

Fecha	Horario	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)	Promedio (L/s)
23/11/2018	8:00	1	4,83	0,21	0,193
	8:30	1	5,11	0,20	
	9:00	1	5,82	0,17	
28/01/2019	8:00	1	5,17	0,19	0,17
	8:30	1	5,82	0,17	
	9:00	1	6,80	0,15	
11/03/2019	8:00	1	4,34	0,23	0,21
	8:30	1	4,83	0,21	
	9:00	1	5,21	0,19	
25/03/2019	8:00	1	5,19	0,19	0,163
	8:30	1	6,11	0,16	
	9:00	1	6,93	0,14	
PROMEDIO TOTAL (L/s)					0,184

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.3.2.3. Caracterización del agua residual de la planta

Las muestras recolectadas en la curtiduría “San Jacinto” contienen una alta concentración de contaminantes debido a que para curtir se adicionan agentes químicos, no todos estos se fijan en la piel y son desechados en el agua, por lo que es necesario realizar una caracterización inicial para determinar la calidad inicial del agua, y tener una idea ampliada de los tratamientos que se deben realizar para disminuir sus contaminantes.

La caracterización inicial se realizó en el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH, tomando en referencia la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua Anexo I del libro VI TULSMA, Tabla 8 (Ver en Anexo A), Criterio de calidad de agua residual descargada al alcantarillado público. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Tabla 11-3: Caracterización inicial del agua residual de Pelambre

PARAMETROS	UNIDAD	NORMA TULSMA Lím. Máx. Permisible	Muestra Caracterizada
pH	[H ⁺]	6-9	12,99
Conductividad	ms/cm	.....	2,57
Turbiedad	FTU-NTU	.....	5000
TDS	g/L	.....	1,37
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	6,1
Sólidos Totales	mg/L	1600	7500
DQO	mg/L	500	20800
DBO5	mgO ₂ /L	250	7300
Sulfuros	mg/L	1	832
Sulfatos	mg/L	400	1300

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 12-3: Caracterización inicial del agua residual de Curtido

PARAMETROS	UNIDAD	NORMA TULSMA Lím. Máx. Permisible	Muestra Caracterizada
pH	[H ⁺]	6-9	3,8
Conductividad	ms/cm	.....	9,4
Turbiedad	FTU-NTU	.....	152
TDS	g/L	.....	5,1
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	5
Sólidos Totales	mg/L	1600	5550
DQO	mg/L	500	2530
DBO5	mgO ₂ /L	250	510
Cromo Hexavalente	mgCr ⁺⁶ /L	0,5	0,17
Cromo Total	mg/L	.....	412,2

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.3.3. Índice de Biodegradabilidad

La determinación del índice de biodegradabilidad nos da una idea del tipo de tratamiento que debemos realizar al agua residual que deseamos tratar, este índice no es otra cosa que la relación que existe entre la DBO5 y la DQO; al obtener este valor podremos determinar si realizamos un tratamiento físico-químico, biológico o una combinación de ambos a nuestra agua residual para así disminuir su carga contaminante.

La relación DBO5/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas urbanas.

Tabla 13-3: Índice de Biodegradabilidad

DBO5/DQO	Biodegradabilidad	Tratamiento adecuado
> 0,4	Muy biodegradable	Tratamiento Biológico
0,2 – 0,4	Biodegradable	Tratamiento Combinado
< 0,2	Poco biodegradable	Físico - Químico

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 14-3: Concentración de DBO5 y DQO en el agua de pelambre sin tratar

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máx. perm.
DBO5	mg/l	7300	250
DQO	mg/l	20800	500

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 15-3: Concentración de DBO5 y DQO en el agua de curtido sin tratar

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite máx. perm.
DBO5	mg/l	510	250
DQO	mg/l	2530	500

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.3.3.1. Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua de Pelambre

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{7300}{20800}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,35$$

3.3.3.2. Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua de Curtido

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{510}{2530}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,20$$

3.3.3.3. Elección del tipo de tratamiento

Con los resultados, del índice de biodegradabilidad, obtenidos en el apartado anterior, con valores de 0,35 para el agua de pelambre y 0,20 para el agua de curtido, podemos claramente definir que el tratamiento físico-químico es adecuado para la depuración del agua residual producida en la curtiduría San Jacinto.

En las -3 y -3, se establece que tanto el DBO5 como el DQO son los principales parámetros fuera de norma que se generan en las aguas residuales de los procesos de pelambre y curtido, por ello para disminuir la carga contaminante se ha optado por ensayar con diferentes tipos de tratamiento a nivel de laboratorio para de esta manera definir los procesos más convenientes y económicos a utilizarse en la PTAR de la curtiduría San Jacinto.

Con la finalidad de disminuir la carga orgánica del agua residual, se ha optado por realizar un proceso de aireación y posteriormente un tratamiento químico mediante el uso de coagulantes, para ello se hará uso del equipo de test de jarras del laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH.

3.4. Prueba de tratabilidad

- Agua de Pelambre

Para realizar la tratabilidad del agua residual descargada en el proceso de Pelambre, se realizó un muestreo en la planta de producción para posteriormente ser trasladadas las muestras hacia el laboratorio de calidad de agua de la ESPOCH, siguiendo las normas establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Para iniciar el proceso de tratabilidad se añadió, al agua residual, 300 ppm de Sulfato de Manganeso, con la finalidad de disminuir sulfuros. Luego se inició el proceso de aireación mediante el uso de una bomba de aire, por un periodo de dos horas.

Finalizado este proceso se procedió a realizar el tratamiento químico mediante operaciones de coagulación-floculación, haciendo uso del test de jarras para calcular la dosis óptima de químicos a utilizarse. Previo a esto se añadió H_2SO_4 para reducir el pH a un valor de 6, ya que en base a estudios anteriores se determinó que en ese rango de pH existe una mejor eficiencia en el tratamiento.

- Agua de Curtido

De similar manera se procedió a recolectar muestras de agua residual luego del proceso de curtido para su posterior traslado al laboratorio de calidad de agua ubicado en la ESPOCH.

Para este proceso de tratabilidad se decidió de igual manera realizar un tratamiento químico mediante el uso del test de jarras, para lo mismo se decidió añadir CaO con la finalidad de elevar el pH hacia un valor de 9 para mejores resultados.

3.4.1. Test de Jarras

De acuerdo a lo que cita el autor (Satterfield, 2010), la prueba de tratabilidad sirve para simular el proceso de tratamiento del agua a gran escala, además de proveer las condiciones de operación para el tratamiento químico, simulando con esto su comportamiento de acuerdo al agua

contaminada específica para la investigación, y además ayuda a seleccionar que reactivo y en que concentración trabajara mejor de acuerdo al sistema del agua residual. Esta prueba determinara la cantidad de coagulante y de pH óptimo que se utilizara para realizar los tratamientos primarios y secundarios del agua, se realizará de acuerdo a lo que se señala en la Figura 14-3, basándose en lo que indica (Satterfield, 2010), sirviendo esto para estandarizar los métodos y lograr disminuir los errores aleatorios.

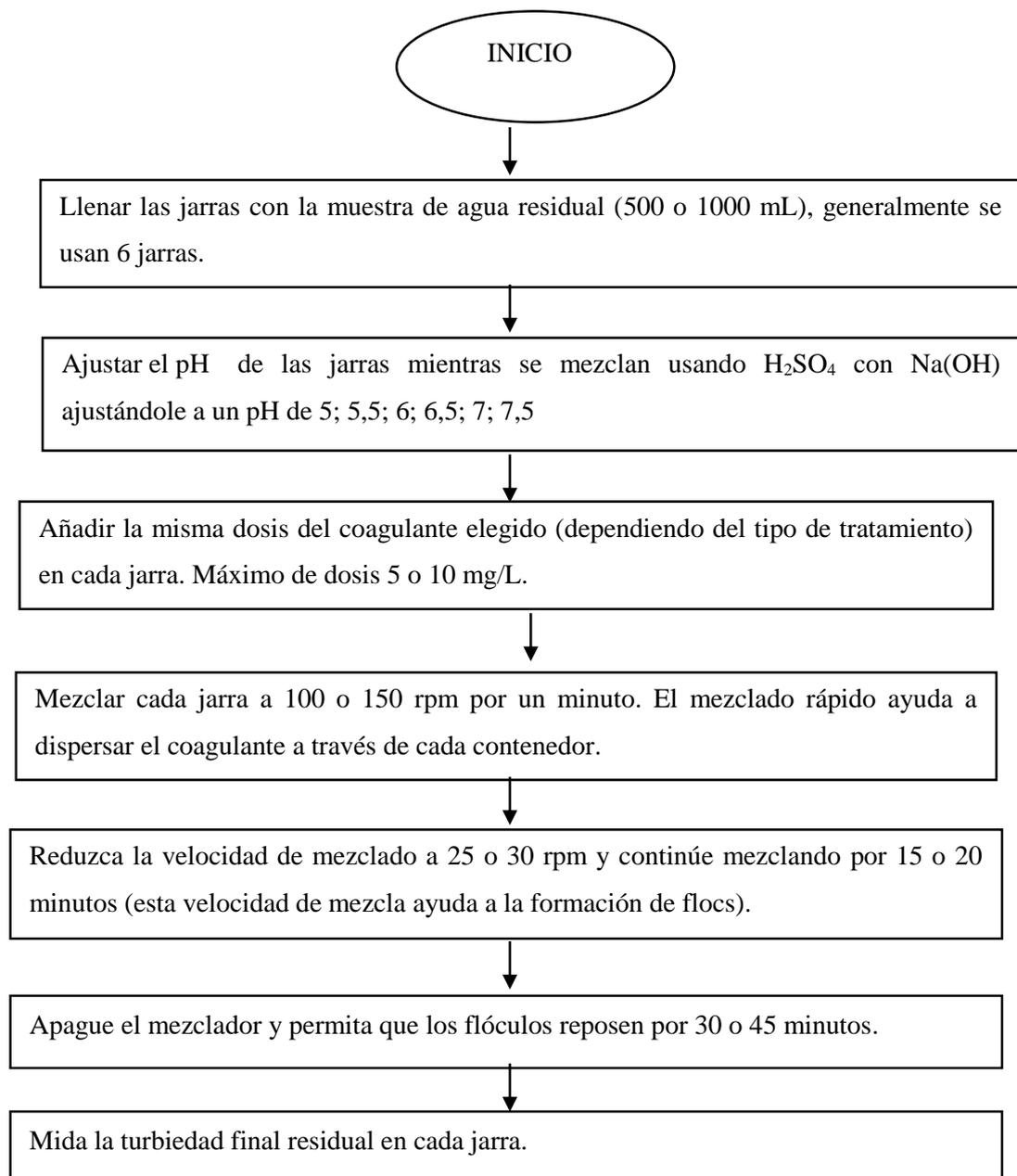


Figura 3-3: Prueba de tratabilidad para determinar el pH óptimo para el tratamiento del agua residual

Fuente: (Satterfield, 2010)

Para la segunda etapa de la prueba de tratabilidad se seguirá los procesos detallados (Satterfield, 2010):

- Llenar las jarras.
- Ajustar el pH de todas las jarras al óptimo del encontrado en la figura anterior mientras lo mezcla usando H_2SO_4 o NaOH.
- Añada diferentes dosis del coagulante seleccionado H_2SO_4 o NaOH a cada jarra (Dosis de coagulante: 5; 7; 10; 12; 15; 20 mg/L).
- Mezclar rápido cada jarra a la velocidad de 100 a 150 rpm por 1 minuto. La mezcla rápida nos ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor.
- Reduzca la velocidad de mezclado de 25 a 30 rpm y continúe mezclando de 15 a 20 minutos.
- Apague el mezclador y permita que el floculo repose de 30 a 45 minutos.
- Mida la turbulencia final de cada jarra.
- Grafique la turbiedad en contra de la dosis de coagulante.

a) Agua de Pelambre

Previo al tratamiento de coagulación-floculación se añadió distintas dosificaciones de sulfato de manganeso y se realizó una aireación por un periodo de tres horas con el propósito de reducir la concentración de sulfuros. Para determinar la concentración necesaria de sulfato de manganeso se realizó una Tabla 16-3 de dosificación basándonos en los valores de sulfuros obtenidos.

Los resultados se detallan a continuación.

Tabla 16-3: Tratamiento con sulfato de manganeso

Concentración (ppm)	Volumen (mL)	Sulfuros (1 Hora)	Sulfuros (2 Horas)	Sulfuros (3 Horas)
100	2	352	288	288
200	4	704	512	448
300	6	384	96	160
400	8	800	352	320
500	10	960	416	732

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Encontramos que es óptimo trabajar a 300 ppm de sulfato de manganeso por un periodo de dos horas con la finalidad de disminuir la concentración de sulfuros. A continuación, se procedió a realizar las pruebas de coagulante en el test de jarras, se decidió trabajar con PAC, $Al_2(SO_4)_3$ y $FeCl_3$, que fueron añadidos en una concentración de 200 ppm.

Tabla 17-3: Prueba de coagulantes en el agua de Pelambre

Tiempo (Horas)	PAC		$Al_2(SO_4)_3$		$FeCl_3$	
	Turbidez (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sulfuros (mg/L)	Turbidez (NTU)	Sulfuros (mg/L)
1	565	96	540	125	1598	165
2	467	80	450	189	1302	245
3	380	64	300	224	1210	288

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Se decidió trabajar con el PAC ya que mediante el uso de este químico se obtuvo como resultado una menor cantidad de sulfuros, en contraposición con el $Al_2(SO_4)_3$ que nos dio un menor valor de turbidez, pero una mayor cantidad de sulfuros.

Como siguiente paso se procedió a realizar el ajuste del pH para obtener mejores resultados de tratamiento, para ello se realizó la adición de H_2SO_4 y una concentración de 200 ppm de PAC como coagulante.

Tabla 18-3: Prueba de pH en el agua de Pelambre

Tiempo (Horas)	RPM	pH 5		pH 6		pH 7		pH 8	
		Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)						
1	200	540	104	348	102	790	106	945	104
2	200	520	102	325	99	784	104	923	102
3	200	490	102	320	99	760	104	902	102

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Como observamos en la Tabla 18-3 los mejores resultados se obtuvieron con un pH de valor 6. Una vez realizado el ajuste del pH y con los valores obtenidos se procedió a realizar la prueba de dosificación de PAC.

Tabla 19-3: Prueba de dosificación de PAC

Tiempo (Horas)	RPM	50 ppm		200 ppm		500 ppm	
		Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/l)	Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/l)
1	200	500	192	280	98	1050	256
2	200	310	320	370	288	1530	224
3	200	260	288	520	352	1620	288

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Observamos en el Gráfico 1-3 de concentración de PAC vs Turbidez a 1 hora dejada en reposo que no se encuentra la curva en una tendencia adecuada por lo que debemos seguir realizando pruebas con menor dosificación.

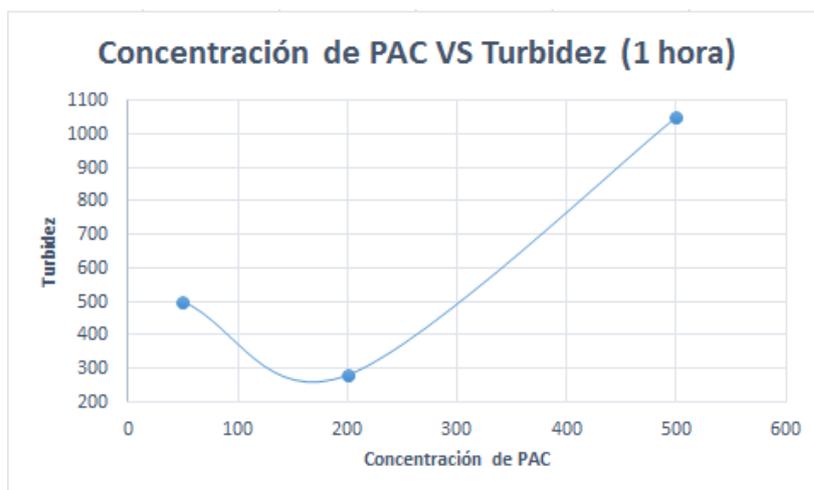


Gráfico 1-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Observamos en el Gráfico 2-3 de concentración de PAC vs Turbidez a 2 hora dejada en reposo que no se encuentra la curva sigue con una tendencia inadecuada, debido a que la dosificación no es la correcta.

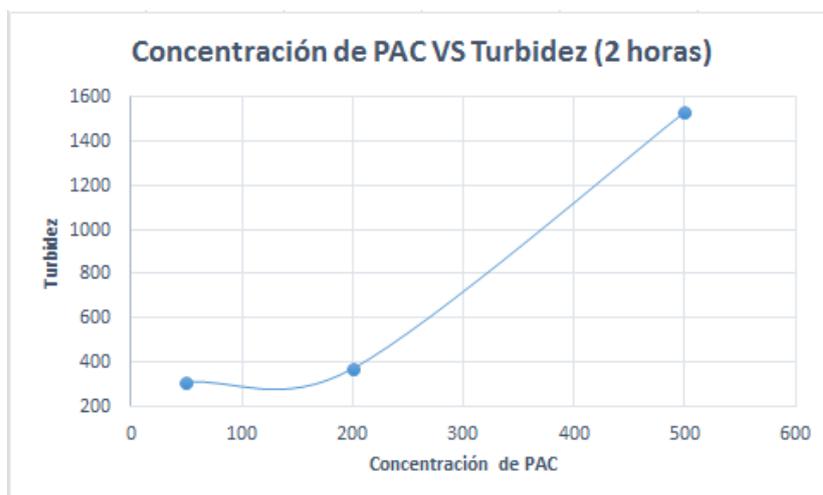


Gráfico 2-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas

Realizado por: Maribel Morales, 2019

A las 3 horas del Gráfico 3-3 observamos que ya no existe una curva más bien se está formando una pendiente, en la cual nos damos cuenta que debemos hacer pruebas con menores dosificaciones.

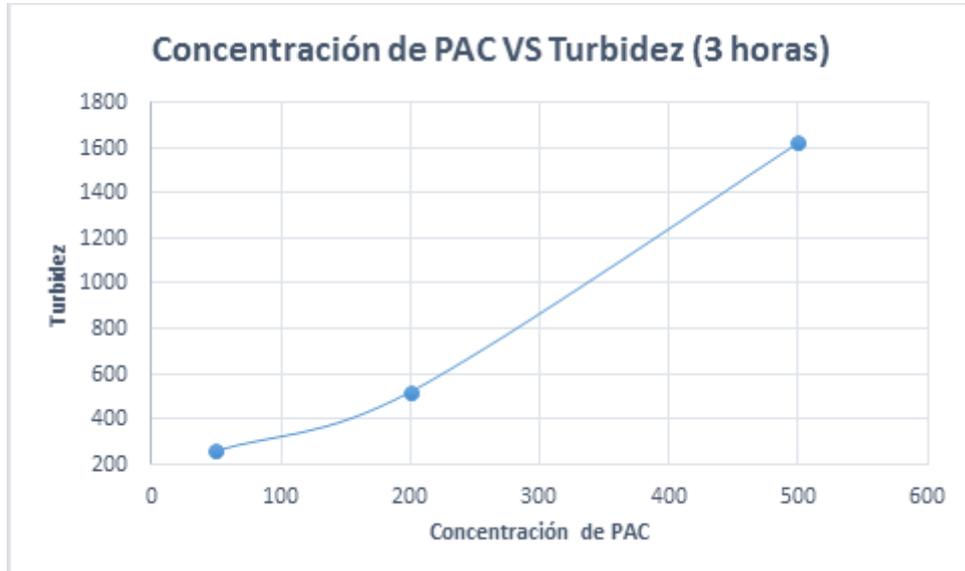


Gráfico 3-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

Como se obtuvo mejores resultados con una concentración de 50 ppm procedemos a realizar pruebas de dosificación con diferentes concentraciones cercanas al rango de los 50 ppm.

Tabla 20-3: Prueba de dosificación de PAC a diferentes rangos

Tiempo (Horas)	RPM	40 ppm		60 ppm		70 ppm		80 ppm	
		Turbiedad (NTU)	Sulfuros (mg/L)						
1	200	1020	288	960	256	180	80	759	249
2	200	685	192	790	224	120	64	648	267
3	200	340	128	360	416	105	64	450	102

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Luego se realiza dosificaciones más pequeñas, en el Gráfico 4-3 de Concentración de PAC vs Turbidez se observa claramente que la tendencia de la curva se encuentra en 70 ppm de coagulante PAC a 1 hora de sedimentación, cabe mencionar que no posee floculante.

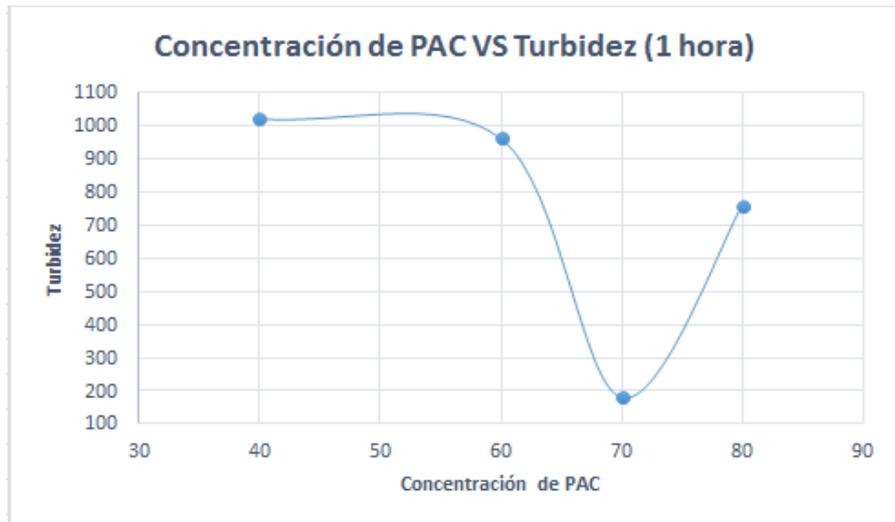


Gráfico 4-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora
 Realizado por: Maribel Morales, 2019

De la misma manera tomamos mediciones de turbidez a las 2 horas como vemos la curva se sigue encontrando en 70 ppm la mejor tendencia.

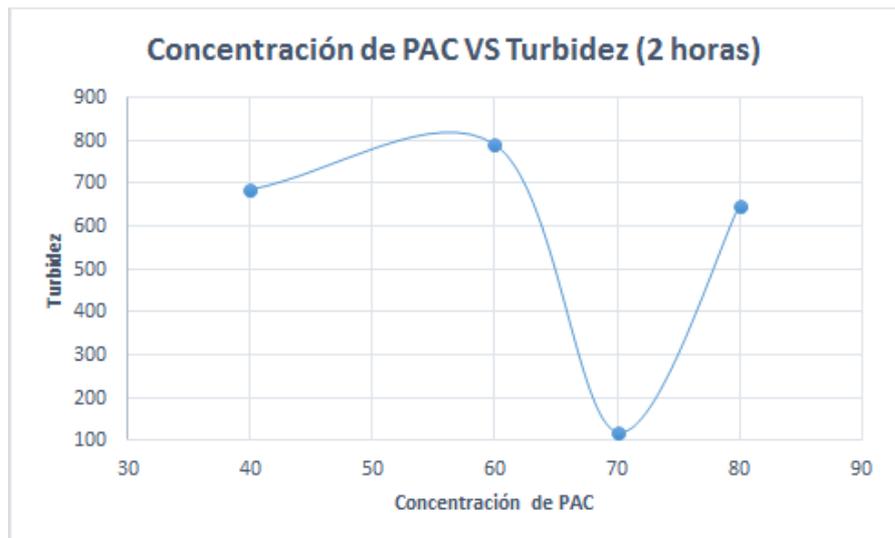


Gráfico 5-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas
 Realizado por: Maribel Morales, 2019

Mediante el análisis de los resultados obtenidos se determinó que la dosificación óptima es de 70 ppm de PAC ya que se obtuvo el mejor resultado de turbiedad y sulfuros.

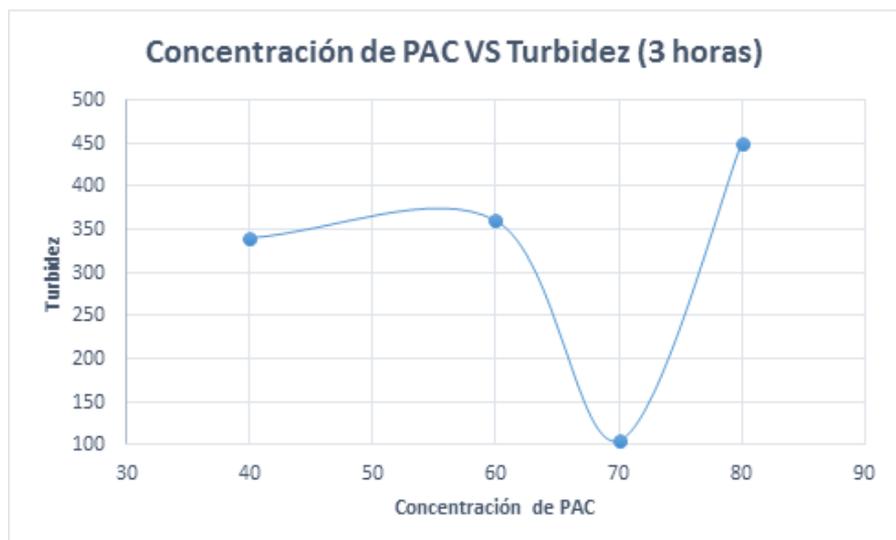


Gráfico 6-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

b) Agua de Curtido

De similar manera con el agua de Pelambre se procedió a efectuar en primer lugar la selección del coagulante a utilizarse; se realizó pruebas con FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y PAC a una concentración de 200 ppm. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

Tabla 21-3: Prueba de coagulantes en el agua de Curtido

Tiempo (Horas)	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	PAC	FeCl_3
	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)	Turbidez (NTU)
1	389	220	377
2	325	159	354
3	290	130	320

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Como se observa en la Tabla 21-3 de Prueba de coagulantes, los mejores resultados se evidenciaron con el uso de PAC, por consiguiente, se decidió trabajar con ese coagulante. A continuación, se realizó el ajuste del pH, mediante la adición de CaO, y sus respectivas pruebas para determinar el valor óptimo del mismo para un mejor tratamiento.

Tabla 22-3: Prueba de pH en el agua de Curtido

Tiempo (Horas)	RPM	pH 7,5	pH 8	pH 8,5	pH 9	pH 9,5	pH 10
		Turbiedad (NTU)					
1	200	150	122	89	58	67	79
2	200	120	103	75	37	55	62
3	200	100	80	60	30	40	46

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Al finalizar la prueba de pH se determinó que el mejor valor para realizar la tratabilidad es de un pH 9, de este modo se prosiguió con las pruebas de tratamiento con PAC. Se realizó 4 muestras de 1000 mL con la adición de diferentes concentraciones de coagulante con una velocidad de agitación de 200 rpm, en distintos intervalos de tiempo. Para llegar a un nivel de pH alto se realizó el ajuste del mismo mediante la adición de 1,3 g de cal en cada muestra, de este modo se logró obtener un pH de 7,9.

Tabla 23-3: Tratamiento con Policloruro de Aluminio

N° Jarra	Floculante aniónico (ppm)	PAC (ppm)	RPM	Turbidez (1 hora)	Turbidez (2 horas)	Turbidez (3 horas)
1	2	200	200	110	94	85
2	2	300	200	125	105	94
3	2	400	200	140	127	115
4	2	500	200	95	79	73

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 7-3 se nota claramente que la Turbidez más baja nos da en 500 ppm de PAC, pero no nos da una curva para tomar una decisión adecuada, debido a que tomar 500 ppm sería mucho costo.

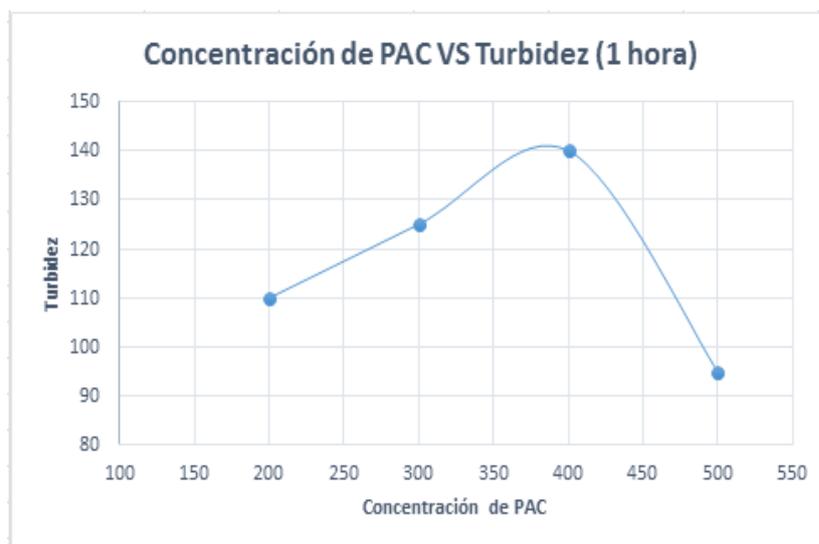


Gráfico 7-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora

Realizado por: Maribel Morales, 2019

La Gráfica 8-3 de Turbidez y PAC a diferentes concentraciones en un tiempo de 2 horas, nos da en 500ppm de coagulante una mejor Turbidez, pero no está en la dosis adecuada, porque también observamos que en 200 ppm tenemos una Turbidez un poco considerable.

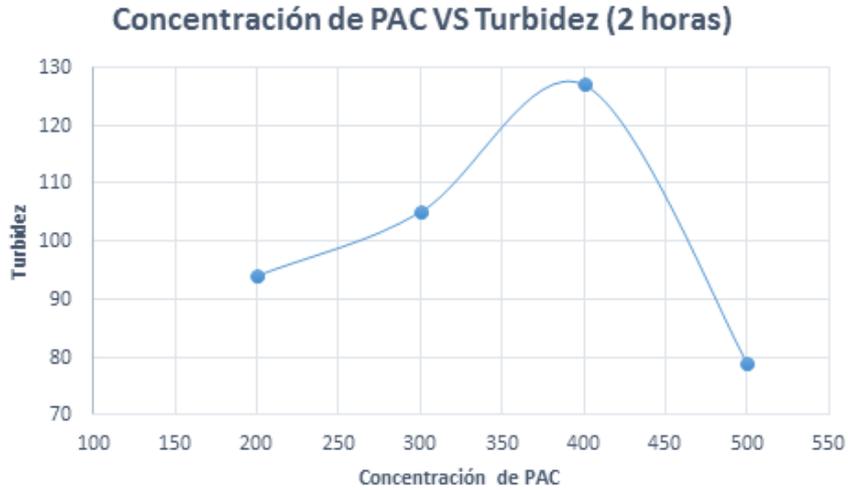


Gráfico 8-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

Observamos que tenemos mejores resultados con la adición de PAC a una concentración de 200 ppm y 500 ppm; nos decidimos por una dosificación de 200 ppm por cuestiones de presupuesto, por ello procedemos a realizar una nueva prueba con intervalos más pequeños para escoger una mejor concentración de coagulante.

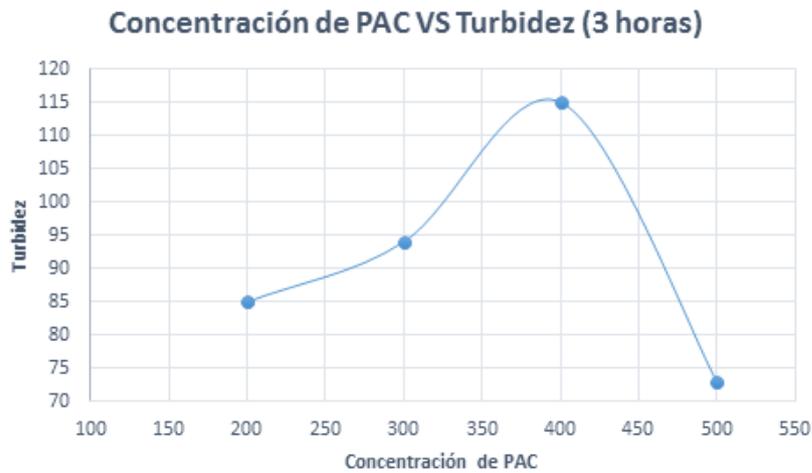


Gráfico 9-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 24-3: Prueba de dosificación con Policloruro de Aluminio

Nº Jarra	Floculante aniónico (ppm)	PAC (ppm)	RPM	Turbidez (1 hora)	Turbidez (2 horas)	Turbidez (3 horas)
1	2	160	200	363	360	320
2	2	170	200	198	188	164
3	2	180	200	127	116	97
4	2	190	200	328	314	285
5	2	200	200	143	133	106

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En 1 hora ya podemos observar que la Gráfica 10-3 tiene una gran tendencia hacia abajo, podríamos ya escoger el coagulante PAC que sería a una concentración de 180ppm.

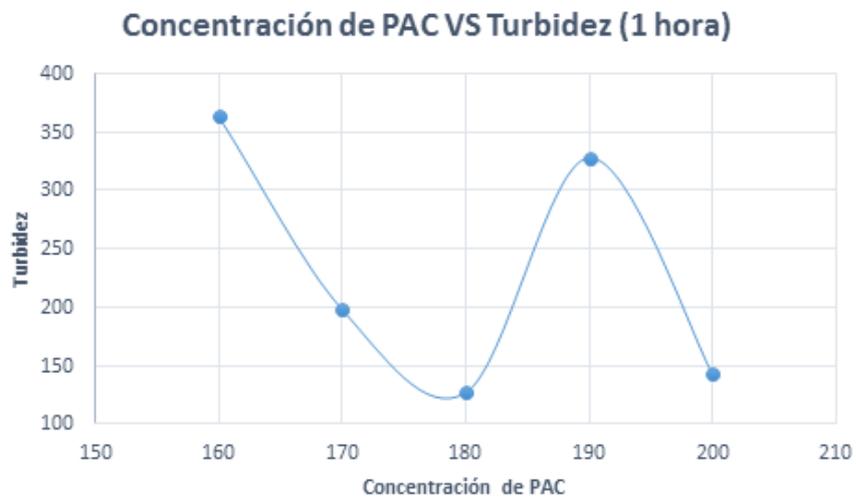


Gráfico 10-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 1 hora
Realizado por: Maribel Morales, 2019

A las 2 horas observamos el Gráfico 11-3 que se mantiene constante en 180 ppm, la curva sigue la tendencia en 180ppm de coagulante PAC.

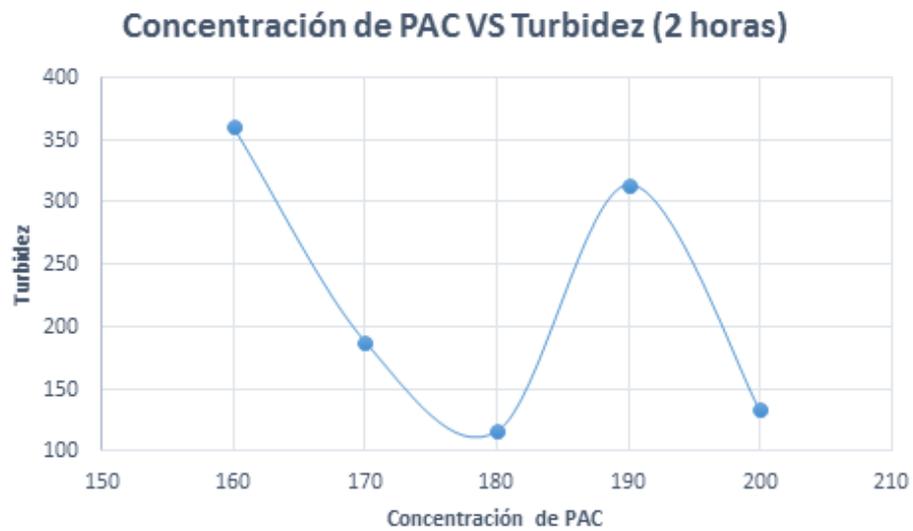


Gráfico 11-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 2 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el gráfico 12-3 se determinó que la dosificación óptima es de 180 ppm.

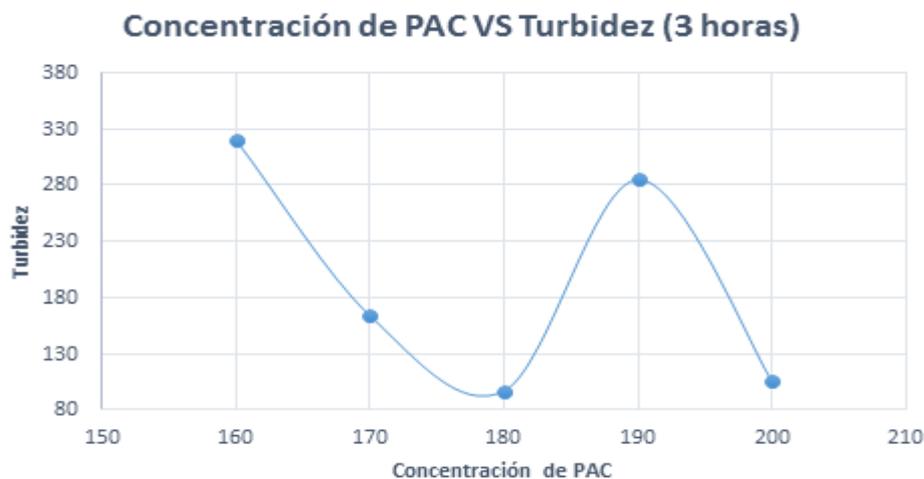


Gráfico 12-3: Concentración de PAC vs Turbidez en un periodo de 3 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

- Elección de floculante

Para continuar con el proceso de tratabilidad se procedió a la elección del floculante, para ello se realizó la adición de 180 ppm de PAC a las muestras de agua y se efectuó pruebas con los diferentes tipos de floculantes.

Tabla 25-3: Prueba de tratabilidad con diferentes floculantes

Tipo de Floculante	Cantidad de floculante (ppm)	RPM	Turbidez (1 hora)	Turbidez (2 horas)	Turbidez (3 horas)
Catiónico	2	200	156	140	125
No iónico	2	200	169	206	218
Aniónico	2	200	129	120	104

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Una vez realizadas las pruebas con diferentes floculantes se determinó que el floculante aniónico nos dio mejores resultados y se procedió a realizar la determinación de la concentración a usarse en el proceso de tratamiento.

Tabla 26-3: Prueba de dosificación de floculante

Nº Jarra	Floculante aniónico (ppm)	PAC (ppm)	RPM	Turbidez (1 hora)	Turbidez (2 horas)	Turbidez (3 horas)
1	2	180	200	39	36	19
2	4	180	200	25	24	16
3	6	180	200	45	43	25
4	8	180	200	31	29	21

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 13-3 tenemos añadido los 180 ppm de coagulantes y 4 ppm de floculante ya que esa es la dosis optima como se observa en la tendencia de la curva.

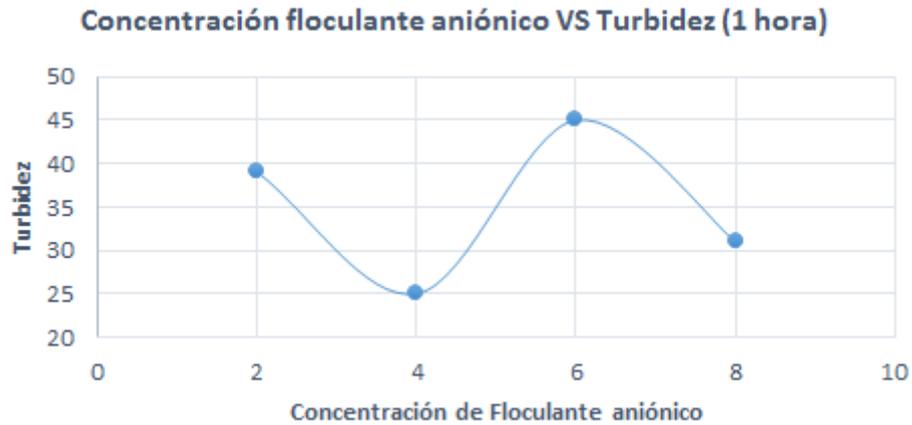


Gráfico 13-3: Concentración de floculante vs Turbidez en un periodo de 1 hora
Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 14-3 la curva tiene tendencia hacia abajo en 4 ppm, cabe mencionar que posee 180 ppm de coagulante PAC.

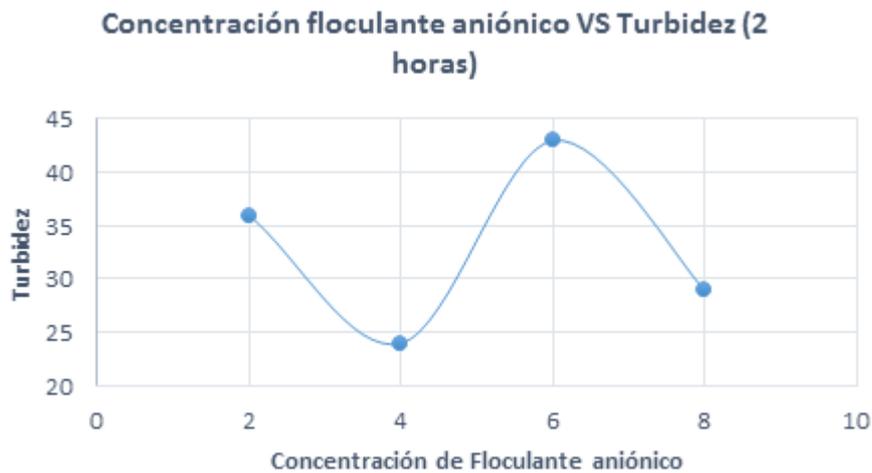


Gráfico 14-3: Concentración de floculante vs Turbidez en un periodo de 2 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Grafico 15-3 a las 3 horas de sedimentación tenemos añadido los 180 ppm de coagulantes y 4 ppm de floculante ya que esa es la dosis optima como se observa en la tendencia de la curva, para la coagulación se utiliza los 200 RPM y la floculación se realiza a 40 RPM.

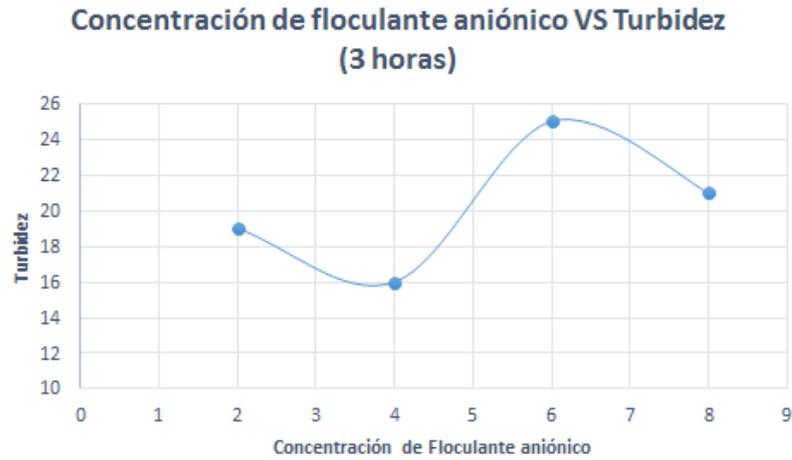


Gráfico 15-3: Concentración de floculante vs Turbidez en un periodo de 3 horas
Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.4.2. Cálculos de ingeniería

Una vez determinado la calidad de tratamiento para el agua, será necesario dimensionar los equipos necesarios para el tratamiento del agua, por lo que como primer punto se necesitará determinar el caudal de agua residual que produce la planta, para de acuerdo con esto dimensionar los equipos, además de determinar la cantidad de coagulante utilizado.

3.4.3. Cálculos del Sistema de Tratamiento para el Agua generada en el proceso de Pelambre

3.4.3.1. Caudal de diseño

- **Caudal experimental**

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

Ecuación 1

Dónde:

Q: Caudal; $\frac{L}{s}$

V: Volumen; m^3

t: Tiempo; s

$$Q = \frac{1L}{3,19s}$$

$$Q = 0,31 \frac{L}{s}$$

- **Caudal mayorado**

$$QM = Q * FM$$

Ecuación 2

Dónde:

QM: Caudal mayorado; L/s

Q: Caudal; 0,31 L/s

FM: Factor de mayorización, 0,3

$$QM = 0,31 \text{ L/s} * 0,3$$

$$QM = 0,094 \text{ L/s}$$

- **Caudal de diseño**

$$Q_d = Q + QM$$

Ecuación 3

Dónde:

Q_d: Caudal de diseño; L/s

Q: Caudal; 0,31 L/s

QM: Caudal mayorado; 0,094 L/s

$$Q_d = 0,31 \text{ L/s} + 0,094 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 0,4 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_d = 35,21 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.4.3.2. Canal de Entrada

La altura de agua en el canal fue calculada mediante ecuaciones para tirante normal y tiene un valor de 0,016 m.

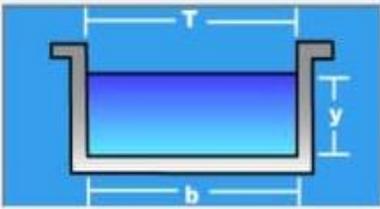
- **Radio Hidráulico**

Los valores de ancho y altura de agua en el canal, para su diseño, fueron obtenidos mediante el software *Hcanales*, con un valor de anchura de fondo de 0,10 m y 0,016 m de altura de agua en el canal, mismo que será de hormigón armado.

Calculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	<input type="text"/>	Proyector:	<input type="text"/>
Tramo:	<input type="text"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.0004"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.1"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.005"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0161"/> m	Perimetro (p):	<input type="text" value="0.1321"/> m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0016"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0122"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1000"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.2492"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.6279"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0192"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

$$RH = \frac{B * H}{B + 2H}$$

Ecuación 4

Dónde:

RH: Radio hidráulico; m

B: Ancho del canal; 0,10 m

H: Altura de agua en el canal; 0,016 m

$$RH = \frac{(0,10 * 0,016) m^2}{0,10 m + 2(0,016 m)}$$

$$RH = 0,012 m$$

- *Velocidad de flujo en el canal, v:*

Mediante la ecuación de Manning podemos conocer la velocidad de flujo de agua residual que circula por el canal.

Tabla 27-3: Coeficiente de Manning para cálculo de canales

Canales revestidos	n	1/n
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011	90,91
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013	76,92
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Maribel Morales, 2019

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 5

Dónde:

v: Velocidad de flujo en el canal; m/s

RH: = Radio hidráulico; 0,012 m

S: Pendiente canal rectangular revestido de hormigón; 0,005 m/m

n: Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,015 adimensional (Tabla 27-3)

$$v = \frac{1}{0,015} (0,012m)^{2/3} (0,005)^{1/2}$$

$$v = 0,247 \text{ m/s}$$

• **Área de la sección transversal del canal, A_{sc} :**

$$A_{sc} = \frac{Q_d}{v}$$

Ecuación 6

Dónde:

A_{sc} : Área de la sección transversal del canal; m²

Q_d : Caudal de diseño; 0,0004 m³/s

v: Velocidad de flujo en el canal; 0,247 m/s

$$A_{sc} = \frac{0,0004 \text{ m}^3/\text{s}}{0,247 \text{ m/s}}$$

$$A_{sc} = 0,00162 \text{ m}^2$$

• **Altura total del canal, H_{TC} :**

$$H_{TC} = H + h_s$$

Ecuación 7

Dónde:

H_{TC} : Altura total del canal; m

H : Altura de agua en el canal; 0,016 m

h_s : Altura de seguridad; 0,15 m

$$H_{TC} = (0,016 + 0,15)m$$

$$H_{TC} = 0,166 m$$

$$H_{TC} = 0,20 m$$

Por construcción se asume una altura total del canal de 0,20 m

- *Cálculo del nivel máximo de agua, $dm_{\text{máx}}$:*

$$dm_{\text{máx}} = \frac{Q_d}{v * B}$$

Ecuación 8

Dónde:

$dm_{\text{máx}}$: Nivel máximo de agua; m

Q_D : Caudal de diseño, 0,0004 m³/s

v : Velocidad de flujo; 0,247 m/s

B : Ancho del canal; 0,10 m

$$dm_{\text{máx}} = \frac{0,0004 m^3/s}{0,247 m/s * 0,10 m}$$

$$dm_{\text{máx}} = 0,016 m$$

3.4.3.3. Tanque de aireación

- *Volumen del tanque*

$$V_{TA1} = b_{TA} * h_{TA} * L_{TA}$$

Ecuación 9

Dónde:

V_{TA1} : Volumen del tanque de aireación; m³

b_{TA} : Base del tanque; 1 m

h_{TA} : Altura del tanque; 1 m

L_{TA} : Longitud del tanque; 1 m

$$V_{TA1} = (1m * 1m * 1m)$$

$$V_{TA1} = 1 m^3$$

- **Caudal de aire en función de DBO**

Se considera la concentración de DBO5 más alta de todas las mediciones.

$$Q_{aire} = ? \frac{mgDBO5}{L} * \frac{1Kg DBO5}{1 * 10^6 mg DBO5} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{Q_d m^3}{día} * \frac{154m^3 aire}{1kg DBO5} * \frac{1día}{24horas} * \frac{1hora}{60min}$$

Ecuación 10

Dónde:

Q_{aire} : Caudal de aire necesario para degradar el DBO5; m³/min

$mg DBO5/L$: Concentración de DBO5 presente en el agua residual; mg/L

Q_d : Caudal de diseño; m³/día

$$Q_{aire} = 7300 \frac{mgDBO5}{L} * \frac{1Kg DBO5}{10^6 mg DBO5} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{35,21m^3}{día} * \frac{154m^3 aire}{1kg DBO5} * \frac{1día}{24horas} * \frac{1hora}{60min}$$

$$Q_{aire} = 27,48 m^3/min$$

- **Presión hidrostática**

$$P_{H2O} = \rho * g * h_{TA}$$

Ecuación 11

Dónde:

P_{H2O} : Presión del agua; psi

ρ : Densidad del agua; 999,1 kg/m³

g : Gravedad; 9,8 m/s²

h_{TA} : Altura del tanque; 1 m

$$P_{H2O} = 991,1 kg/m^3 * 9,8 m/s^2 * 1 m$$

$$P_{H2O} = 9791,18 Pa$$

$$P_{H2O} = 1,42 psi$$

- **Presión absoluta**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H2O}$$

Ecuación 12

Dónde:

P_{abs} : Presión absoluta; psi

P_{atm} : Presión atmosférica; 14,7 psi

P_{H2O} : Presión del agua; 1,42 psi

$$P_{abs} = 14,7 \text{ psi} + 1,42 \text{ psi}$$

$$P_{abs} = 16,12 \text{ psi}$$

- *Variación térmica en el aire de compresión*

$$\Delta T_{comp} = \frac{T_{amb}}{\eta} \left[\left(\frac{P_{abs}}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación 13

Dónde:

ΔT_{comp} : Variación térmica; °C

T_{amb} : Temperatura ambiente; 20°C

η : Eficiencia asumida de compresión; 85%

P_{abs} : Presión absoluta; 16,12 psi

P_{atm} : Presión atmosférica; 14,7 psi

$$\Delta T_{comp} = \frac{20 \text{ °C}}{0,85} \left[\left(\frac{16,12 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{comp} = 9,11 \text{ °C}$$

- *Temperatura de salida del aire*

$$T_{aire} = T_{amb} + \Delta T_{comp}$$

Ecuación 14

Dónde:

T_{aire} : Temperatura de salida del aire; °C

ΔT_{comp} : Variación térmica; 9,11 °C

T_{amb} : Temperatura ambiente; 20°C

$$T_{aire} = 20 \text{ °C} + 9,11 \text{ °C}$$

$$T_{aire} = 29,11 \text{ °C}$$

- *Potencia del Compresor*

$$P_{comp} = \frac{0,22 Q_{aire}}{\eta} \left[\left(\frac{P_{abs}}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación 15

Dónde:

P_{comp} : Potencia del compresor; Hp

Q_{aire} : Caudal de aire; 970,74 ft³/min

η : Eficiencia asumida de compresión; 85%

P_{abs} : Presión absoluta; 16,12 psi

P_{atm} : Presión atmosférica; 14,7 psi

$$P_c = \frac{0,22 * 970,74 \text{ ft}^3/\text{min}}{0,85} \left[\left(\frac{16,12}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_c = 6,645 \text{ ft}^3 * \text{psi}/\text{min}$$

$$P_c = 0,028 \text{ Hp}$$

3.4.3.4. Tanque de floculación

Tabla 28-3: Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas

Suspensión	Intervalo	Carga de superficie (m ³ /m ² d)
		Caudal punta
Floculo de cal	30 – 60	60
Floculo y hierro	25 – 50	50
Floculo de alúmina	25 – 50	50
Agua residual cruda	25 – 50	50

Fuente: (Eddy, 1995)

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- **Área del tanque**

$$A_{TF} = \frac{Q_d}{C_s}$$

Ecuación 16

Dónde:

A_{TF} : Área del tanque; m²

Q_d : Caudal de diseño; 35,21 m³/día

C_s : Carga superficial; 50 m³/m²-día (-3)

$$A_s = \frac{35,21 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ día}}$$

$$A_s = 0,7 \text{ m}^2$$

- *Ancho del tanque*

$$b = \sqrt{\frac{A_{TF}}{2}}$$

Ecuación 17

Dónde:

b: Ancho del tanque floculador; m

A_{TF}: Área del tanque; 0,7 m²

$$b = \sqrt{\frac{0,7 \text{ m}^2}{2}}$$

$$b = 0,59 \text{ m}$$

- *Longitud del tanque*

$$Lg = 2b$$

Ecuación 18

Dónde:

Lg: Largo del tanque; m

b: Ancho del tanque floculador; 0,59 m

$$Lg = 2(0,59 \text{ m})$$

$$Lg = 1,19 \text{ m}$$

- *Volumen del tanque*

$$V = Lg * b * H$$

Ecuación 19

Dónde:

V: Volumen del tanque floculador (m³)

Lg: Largo del tanque; 1,19 m

b: Ancho del tanque floculador; 0,59 m

H: Altura del tanque; 1,5 m (se considera esta altura en base a otras PTAR funcionales)

$$V = (1,19\text{m}) * (0,59\text{m}) * (1,5\text{m})$$

$$V = 1,05 \text{ m}^3$$

- *Tiempo de retención*

$$T_r = \frac{Q_d}{V}$$

Ecuación 20

Dónde:

Tr: Tiempo de retención; h

V: Volumen del tanque floculador; 1,05 m³

Q_d: Caudal de diseño; 1,46 m³/h

$$T_r = \frac{1,46 \text{ m}^3/\text{h}}{1,05 \text{ m}^3}$$

$$T_r = 1,38 \text{ h}$$

$$T_r = 82,8 \text{ min}$$

- *Longitud de las paletas de agitación*

$$L_p = \frac{b}{4}$$

Ecuación 21

Dónde:

L_p: Longitud de la paleta; m

b: Ancho del tanque floculador; 0,59 m

$$B = \frac{0,59 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0.15 \text{ m}$$

- *Potencia disipada*

Tabla 29-3 Propiedades del agua a diferentes temperaturas

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA			
TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (N.s/m ²)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (m ² /s)
0	999,8	1,781*10 ⁻³	1,785*10 ⁻⁶
5	1000,0	1,518*10 ⁻³	1,519*10 ⁻⁶
10	999,7	1,307*10 ⁻³	1,306*10 ⁻⁶
15	999,1	1,139*10 ⁻³	1,139*10 ⁻⁶
20	998,2	1,102*10 ⁻³	1,003*10 ⁻⁶
25	997,0	0,890*10 ⁻³	0,893*10 ⁻⁶
30	995,7	0,708*10 ⁻³	0,800*10 ⁻⁶

Fuente: (Eddy, 1995)

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 30-3 Criterios de diseño de floculadores mecánicos

Tiempo de retención (min)	Gradiente medio de velocidad (s ⁻¹)	Velocidad (m/s)
20-40	15-75	0,3-0,75

Fuente: RAS 2000

Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 31-3 Valores de CD

CANTIDAD	CD
1	1,16
5	1,20
20	1,50
∞	1,95

Fuente: ROUSE., 2003

Realizado por: Maribel Morales, 2019

$$P = G^2 * \mu * V$$

Ecuación 22

Dónde:

P: Potencia disipada; Watt

G2: Gradiente medio de velocidad; 75s⁻¹. (Tabla 30-3)

μ: Viscosidad dinámica; 1,139*10⁻³ N.s/m² (Tabla 29-3)

V: Volumen del floculador; 1,05 m³

$$P = (75s^{-1})^2 * 0,001139 \frac{Kg}{m^3} * 1,05 m^3$$

$$P = 6,76 \text{ Watt}$$

- *Área de las paletas*

$$Ap = \frac{2P}{C_d * \delta * v^3}$$

Ecuación 23

Dónde:

Ap: Área de las paletas; m²

P: Potencia disipada; 6,76 W

v: Velocidad; 0,75 m/s (-3)

C_d: Valores de CD; 1,2 (-3)

δ: Densidad de fluido; 999,1 Kg/m³ (-3)

$$Ap = \frac{2(6,76 W)}{1,20 * 999,1 \frac{Kg}{m^3} * (0,75m)^3}$$

$$Ap = 0,026 m^2$$

3.4.3.5. Tanque de sedimentación

Tabla 32-3: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria y secundaria		
Carga de superficie m ³ /m ² *día	20-50	40
Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Profundidad; m	3-4,5	3,6

Fuente: (Eddy, 1995)

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Área superficial del sedimentador*

$$As = \frac{Q_d}{Cs}$$

Ecuación 24

Dónde:

As: Área superficial del sedimentador; m²

Cs: Carga superficial 40 m³/m² día (Tabla 32-3)

Q_d: Caudal de diseño; 35,21 m³/día

$$As = \frac{35,21 \frac{m^3}{día}}{40 \frac{m^3}{m^2 día}}$$

$$As = 0,88 m^2$$

- *Diámetro del sedimentador*

$$\emptyset = \sqrt{4 * \frac{As}{\pi}}$$

Ecuación 25

Dónde:

\emptyset : Diámetro del sedimentador; m

As: Área superficial del sedimentador; 0,88 m²

$$\emptyset = \sqrt{4 * \frac{0,88 m^2}{\pi}}$$

$$\emptyset = 1,05 m$$

- **Radio del sedimentador**

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

Ecuación 26

Dónde:

r: Radio del sedimentador; m

∅: Diámetro del sedimentador; 1,05 m

$$r = \frac{1,05 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,53 \text{ m}$$

- **Volumen del sedimentador**

$$V = A_s * H$$

Ecuación 27

Dónde:

V: Volumen del sedimentador; m³

A_s: Área superficial del sedimentador; 0,88 m²

H: Altura del sedimentador 1,5 (m)- Altura establecida por SENAGUA, comprendida entre 1,5 m y 2,5 m

$$V = 0,88 \text{ m}^2 * 1,5 \text{ m}$$

$$V = 1,32 \text{ m}^3$$

- **Carga sobre el vertedero de salida**

$$C = \frac{Q_d}{\pi * \emptyset}$$

Ecuación 28

Dónde:

C: Carga sobre el vertedero; m³/m-día

∅: Diámetro del sedimentador; 1,05 m

Q_d: Caudal de diseño; 35,21 m³/día

$$C = \frac{35,21 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{\pi * 1,05 \text{ m}}$$

$$C = 10,67 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

- *Tiempo de retención hidráulica*

$$Trh = \frac{Q_d}{V}$$

Ecuación 29

Dónde:

Trh: Tiempo de retención hidráulica; h

Qd: Caudal de diseño; m³/h

V: Volumen del sedimentador; m³

$$Trh = \frac{1,46 \frac{m^3}{h}}{1,32 m^3}$$

$$Trh = 1,10 h$$

3.5. Cálculos del Sistema de Tratamiento para el Agua generada en el proceso de Curtido

3.5.1. Caudal de diseño

- *Caudal experimental*

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

Ecuación 30

Dónde:

Q: Caudal; $\frac{L}{s}$

V: Volumen; m³

t: Tiempo; s

$$Q = \frac{1L}{5,48s}$$

$$Q = 0,18 \frac{L}{s}$$

- *Caudal mayorado*

$$QM = Q * FM$$

Ecuación 31

Dónde:

QM: Caudal mayorado; L/s

Q: Caudal; 0,18 L/s

FM: Factor de mayorización, 0,3

$$QM = 0,31 \text{ L/s} * 0,3$$

$$QM = 0,054 \text{ L/s}$$

- **Caudal de diseño**

$$Q_d = Q + QM$$

Ecuación 32

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; *L/s*

Q : Caudal; *0,18 L/s*

QM : Caudal mayorado; *0,054 L/s*

$$Q_d = 0,18 \text{ L/s} + 0,054 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 0,23 \text{ L/s}$$

$$Q_d = 0,00023 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_d = 20,49 \text{ m}^3/\text{día}$$

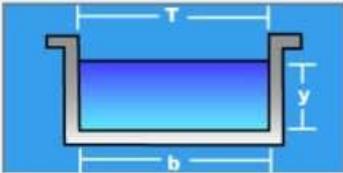
3.5.2. Canal de Entrada

Los valores de ancho y altura de agua en el canal, para su diseño, fueron obtenidos mediante el software *Hcanales*, con un valor de anchura de fondo de 0,10 m y 0,011 m de altura de agua en el canal.

▼ Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar:	<input type="text"/>	Proyecto:	<input type="text"/>
Tiempo:	<input type="text"/>	Revestimiento:	<input type="text"/>

Datos:	
Caudal (Q):	<input type="text" value="0.00023"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="0.1"/> m
Talud (Z):	<input type="text" value="0"/>
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.005"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.0112"/> m	Perímetro (p):	<input type="text" value="0.1223"/> m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.0011"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0091"/> m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="0.1000"/> m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.2059"/> m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.6221"/>	Energía específica (E):	<input type="text" value="0.0133"/> m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>		

- **Radio Hidráulico**

$$RH = \frac{B * H}{B + 2H}$$

Ecuación 33

Dónde:

RH: Radio hidráulico; m

B: Ancho del canal; 0,10 m

H: Altura de agua en el canal; 0,011 m

$$RH = \frac{(0,10 * 0,011) m^2}{0,10 m + 2(0,011 m)}$$
$$RH = 0,009 m$$

• **Velocidad de flujo en el canal, v:**

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

Ecuación 34

Dónde:

v: Velocidad de flujo en el canal; m/s

RH: = Radio hidráulico; 0,009 m

S: Pendiente canal rectangular revestido de hormigón; 0,005 m/m

n: Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,015 adimensional (Tabla 27-3)

$$v = \frac{1}{0,015} (0,009m)^{2/3} (0,005)^{1/2}$$
$$v = 0,204 m/s$$

• **Área de la sección transversal del canal, A_{sc}:**

$$A_{sc} = \frac{Q_d}{v}$$

Ecuación 35

Dónde:

A_{sc}: Área de la sección transversal del canal; m²

Q_d: Caudal de diseño; 0,00023 m³/s

v: Velocidad de flujo en el canal; 0,204 m/s

$$A_{sc} = \frac{0,00023 m^3/s}{0,204 m/s}$$
$$A_{sc} = 0,0011 m^2$$

• **Altura total del canal, H_{TC}:**

$$H_{TC} = H + h_s$$

Ecuación 36

Dónde:

H_{TC} : Altura total del canal; m

H : Altura de agua en el canal; 0,011 m

h_s : Altura de seguridad; 0,15 m

$$H_{TC} = (0,011 + 0,15)m$$

$$H_{TC} = 0,16 m$$

$$H_{TC} = 0,20 m$$

Por construcción se asume una altura total del canal de 0,20 m

- *Cálculo del nivel máximo de agua, $dmáx$:*

$$dmáx = \frac{Q_d}{v * B}$$

Ecuación 37

Dónde:

$dmáx$: Nivel máximo de agua; m

Q_D : Caudal de diseño, 0,00023 m³/s

v : Velocidad de flujo; 0,204 m/s

B : Ancho del canal; 0,10 m

$$dmáx = \frac{0,00023 m^3/s}{0,204 m/s * 0,10 m}$$

$$dmáx = 0,011 m$$

3.5.3. Tanque de floculación

- *Área del tanque*

$$A_{TF} = \frac{Q_d}{Cs}$$

Ecuación 38

Dónde:

A_{TF} : Área del tanque; m²

Q_d : Caudal de diseño; 20,49 m³/día

Cs : Carga superficial; 50 m³/m²-día (-3)

$$A_{TF} = \frac{20,49 \frac{m^3}{día}}{50 m^3/m^2 día}$$

$$A_{TF} = 0,41 m^2$$

- *Ancho del tanque*

$$b = \sqrt{\frac{A_{TF}}{2}}$$

Ecuación 39

Dónde:

b: Ancho del tanque floculador; m

A_{TF}: Área del tanque; 0,41 m²

$$b = \sqrt{\frac{0,41 \text{ m}^2}{2}}$$

$$b = 0,45 \text{ m}$$

- *Longitud del tanque*

$$Lg = 2b$$

Ecuación 40

Dónde:

Lg: Largo del tanque; m

b: Ancho del tanque floculador; 0,45 m

$$Lg = 2(0,45 \text{ m})$$

$$Lg = 0,9 \text{ m}$$

- *Volumen del tanque*

$$V = Lg * b * H$$

Ecuación 41

Dónde:

V: Volumen del tanque floculador (m³)

Lg: Largo del tanque; 0,9 m

b: Ancho del tanque floculador; 0,45 m

H: Altura del tanque; 1,5 m (se considera esta altura en base a otras PTAR funcionales)

$$V = (0,9\text{m}) * (0,45\text{m}) * (1,5\text{m})$$

$$V = 0,61 \text{ m}^3$$

- *Tiempo de retención*

$$T_r = \frac{Q_d}{V}$$

Ecuación 42

Dónde:

Tr: Tiempo de retención; h

V: Volumen del tanque floculador; 0,61 m³

Q_d: Caudal de diseño; 0,85 m³/h

$$T_r = \frac{0,85 \text{ m}^3/\text{h}}{0,61 \text{ m}^3}$$

$$T_r = 1,38 \text{ h}$$

$$T_r = 82,8 \text{ min}$$

- *Longitud de las paletas de agitación*

$$L_p = \frac{b}{4}$$

Ecuación 43

Dónde:

L_p: Longitud de la paleta; m

b: Ancho del tanque floculador; 0,45 m

$$L_p = \frac{0,45 \text{ m}}{4}$$

$$L_p = 0,11 \text{ m}$$

- *Potencia disipada*

$$P = G^2 * \mu * V$$

Ecuación 44

Dónde:

P: Potencia disipada; Watt

G₂: Gradiente medio de velocidad; 75s⁻¹. (Tabla 30-3)

μ: Viscosidad dinámica; 1,139*10⁻³ N.s/m² (Tabla 29-3)

V: Volumen del floculador; 0,61 m³

$$P = (75\text{s}^{-1})^2 * 0,001139 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,61 \text{ m}^3$$

$$P = 3,93 \text{ Watt}$$

- *Área de las paletas*

$$A_p = \frac{2P}{C_d * \delta * v^3}$$

Ecuación 45

Dónde:

A_p: Área de las paletas; m²

P: Potencia disipada; 3,93 W

v: Velocidad; 0,75 m/s (-3)

C_d: Valores de CD; 1,2 (-3)

δ: Densidad de fluido; 999,1 Kg/m³ (-3)

$$Ap = \frac{2(3,93 W)}{1,20 * 999,1 \frac{Kg}{m^3} * (0,75m)^3}$$
$$Ap = 0,015 m^2$$

3.5.4. Tanque de sedimentación

- **Área superficial del sedimentador**

$$As = \frac{Q_d}{Cs}$$

Ecuación 46

Dónde:

As: Área superficial del sedimentador; m²

Cs: Carga superficial 40 m³/m² día (Tabla 32-3)

Q_d: Caudal de diseño; 20,49 m³/día

$$As = \frac{20,49 \frac{m^3}{día}}{40 \frac{m^3}{m^2 día}}$$
$$As = 0,51 m^2$$

- **Diámetro del sedimentador**

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{As}{\pi}}$$

Ecuación 47

Dónde:

∅: Diámetro del sedimentador; m

As: Área superficial del sedimentador; 0,51 m²

$$\varnothing = \sqrt{4 * \frac{0,51 m^2}{\pi}}$$
$$\varnothing = 0,8 m$$

- **Radio del sedimentador**

$$r = \frac{\emptyset}{2}$$

Ecuación 48

Dónde:

r: Radio del sedimentador; m

\emptyset : Diámetro del sedimentador; 0,8 m

$$r = \frac{0,8 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,4 \text{ m}$$

- **Volumen del sedimentador**

$$V = A_s * H$$

Ecuación 49

Dónde:

V: Volumen del sedimentador; m³

A_s: Área superficial del sedimentador; 0,51 m²

H: Altura del sedimentador 1,5 (m)- Altura establecida por SENAGUA, comprendida entre 1,5 m y 2,5 m

$$V = 0,51 \text{ m}^2 * 1,5 \text{ m}$$

$$V = 0,76 \text{ m}^3$$

- **Carga sobre el vertedero de salida**

$$C = \frac{Q_d}{\pi * \emptyset}$$

Ecuación 50

Dónde:

C: Carga sobre el vertedero; m³/m-día

\emptyset : Diámetro del sedimentador; 0,8 m

Q_d: Caudal de diseño; 20,49 m³/día

$$C = \frac{20,49 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{\pi * 0,8 \text{ m}}$$

$$C = 8,15 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

- *Tiempo de retención hidráulica*

$$Trh = \frac{Q_d}{V}$$

Ecuación 51

Dónde:

Trh: Tiempo de retención hidráulica; h

Qd: Caudal de diseño; m³/h

V: Volumen del sedimentador; m³

$$Trh = \frac{0,85 \frac{m^3}{h}}{0,76 m^3}$$

$$Trh = 1,11 h$$

3.6. Resultados

3.6.1. Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua de Pelambre

- *Caudal de diseño*

Una vez realizadas las respectivas medidas experimentales del caudal de agua residual generada en el proceso de Pelambre se procedió al cálculo del caudal de diseño con el que trabajará la PTAR de la curtiduría “San Jacito” obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 33-3: Resultado del cálculo de caudal

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal experimental	L/s	0,31
Caudal mayorado	L/s	0,094
Caudal de diseño	L/s	0,4

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Canal de Entrada*

Para un caudal de diseño de 0,4 L/s se ha trabajado con un ancho de canal de 0,10 m y una pendiente de 0,005 m/m con lo que se lograron obtener los siguientes resultados.

Tabla 34-3: Resultados del diseño del Canal

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho del canal	m	0,10
Altura de agua en el canal	m	0,016
Pendiente	m/m	0,005
Radio Hidráulico	m	0,012
Velocidad de Flujo	m/s	0,247
Área de la Sección Transversal	m ²	0,00162
Altura total del canal	m	0,16
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Tanque de aireación*

La primera etapa del tratamiento propiamente dicho consistirá de un tanque de aireación con una capacidad de 1 m^3 , lo que nos brinda los siguientes valores de diseño.

Tabla 35-3: Resultados del diseño del Tanque de Aireación

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen del tanque	m ³	1
Caudal de aire	m ³ /min	27,48
Variación térmica en el aire de compresión	°C	9,11
Temperatura de salida del aire	°C	29,11
Potencia del Compresor	Hp	0,028
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Incluye Enlucido	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Tanque de Floculación*

El tanque de floculación se encargará de realizar el tratamiento químico del agua residual con un tiempo de retención de 1,38 h y mediante la adición de Policloruro de Aluminio. Una vez realizados los respectivos cálculos se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 36-3: Resultados del diseño del Tanque de Floculación

Parámetro	Unidad	Valor
Área del Tanque	m ²	0,7
Ancho del Tanque	m	0,59
Longitud del Tanque	m	1,19
Volumen del Tanque	m ³	1,05
Tiempo de Retención	h	1,38
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ Incluye Enlucido	
Longitud de las paletas	m	0,15
Potencia disipada	Watt	6,76
Área de las paletas	m ²	0,026
Material de construcción	Perfilería estructural	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Tanque de sedimentación*

Para finalizar el tratamiento se ha diseñado un tanque de sedimentación encargado de separar por acción de la gravedad los sólidos contaminantes del agua residual tratada, de este modo obtuvimos los siguientes valores del diseño del mismo.

Tabla 37-3: Resultados del diseño del Tanque de Sedimentación

Parámetro	Unidad	Valor
Área superficial	m ²	0,88
Diámetro	m	1,05
Radio	m	0,53
Volumen	m ³	1,32
Carga sobre el vertedero	m ³ /m ² día	10,67
Tiempo de Retención	h	1,10
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c = 210$ kg/cm ² Incluye Enlucido	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.6.2. *Resultados del dimensionamiento del sistema de tratamiento para el agua de Curtido*

- *Caudal de diseño*

Para un caudal experimental de 0,18 L/s del agua residual generada en el proceso de Curtido se obtienen los siguientes datos de caudal de diseño.

Tabla 38-3: Resultado del cálculo de caudal

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal experimental	L/s	0,18
Caudal mayorado	L/s	0,054
Caudal de diseño	L/s	0,23

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Canal de Entrada*

Luego de determinar el caudal de diseño para el Sistema de Tratamiento se obtuvieron los siguientes datos para el diseño del canal de entrada, el mismo que se encargará de transportar el agua residual a lo largo de la PTAR.

Tabla 39-3: Resultados del diseño del Canal

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho del canal	m	0,10
Altura de agua en el canal	m	0,011
Pendiente	m/m	0,005
Radio Hidráulico	m	0 009
Velocidad de Flujo	m/s	0,204
Área de la Sección Transversal	m ²	0,0011
Altura total del canal	m	0,16
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Tanque de Floculación*

El proceso de tratamiento inicia con un tanque de floculación en el que se añadirá Policloruro de Aluminio y floculante aniónico PHP-20 PLUS. Luego de los cálculos correspondientes obtenemos los siguientes valores de diseño.

Tabla 40-3: Resultados del diseño del Tanque de Floculación

Parámetro	Unidad	Valor
Área del Tanque	m ²	0,41
Ancho del Tanque	m	0,45
Longitud del Tanque	m	0,9
Volumen del Tanque	m ³	0,61
Tiempo de Retención	h	1,38
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Incluye Enlucido	
Longitud de las paletas	m	0,11
Potencia disipada	Watt	3,93
Área de las paletas	m ²	0,015
Material de construcción	Perfilería estructural	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

- *Tanque de sedimentación*

Como etapa final del proceso de tratamiento del agua de curtido se ha realizado los cálculos respectivos para el diseño de un tanque de sedimentación y se han obtenido los siguientes resultados.

Tabla 41-3: Resultados del diseño del Tanque de Sedimentación

Parámetro	Unidad	Valor
Área superficial	m ²	0,51
Diámetro	m	0,8
Radio	m	0,4
Volumen	m ³	0,76
Carga sobre el vertedero	m ³ /m ² día	8,15
Tiempo de Retención	h	1,11
Material de construcción	Hormigón Simple $f_c= 210 \text{ kg/cm}^2$ Incluye Enlucido	

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.6.3. Resultados de la caracterización del agua residual después del tratamiento

Tabla 42-3: Caracterización final del agua residual de Pelambre

PARAMETROS	UNIDAD	NORMA TULSMA Lím. Máx. Permisible	Muestra Caracterizada
pH	[H+]	6-9	6,7
Conductividad	ms/cm	.....	2,17
Turbiedad	FTU-NTU	.....	105
TDS	g/L	.....	0,5
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	1
Sólidos Totales	mg/L	1600	2060
DQO	mg/L	500	1060
DBO5	mgO ₂ /L	250	500
Sulfuros	mg/L	1	54
Sulfatos	mg/L	400	750

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019
Realizado por: Maribel Morales, 2019

Tabla 43-3: Caracterización final del agua residual de Curtido

PARAMETROS	UNIDAD	NORMA TULSMA Lím. Máx. Permisible	Muestra Caracterizada
pH	[H+]	6-9	7,9
Conductividad	ms/cm	.....	3,18
Turbiedad	FTU-NTU	.....	3
TDS	g/L	.....	0,41
Sólidos Sedimentables	mg/L	20	0
Sólidos Totales	mg/L	1600	1440
DQO	mg/L	500	1020
DBO5	mgO ₂ /L	250	245
Cromo Hexavalente	mgCr ⁺⁶ /L	0,5	0,01
Cromo Total	mg/L	.....	2,46

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019
Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.6.4. Rendimiento de tratabilidad (Porcentaje de Remoción)

Para establecer el rendimiento del tratamiento que se realizó en el laboratorio, debemos proceder a determinar el porcentaje de remoción de la concentración de los contaminantes presentes en las muestras de agua residual que fueron tratadas. De esta manera se logrará establecer el nivel de eficiencia del sistema de tratamiento.

En la Tabla 44-3 se observa que al hacer el proceso de aireación con la adición de sulfato de manganeso se consiguió un porcentaje de remoción del 93,51 % obteniendo disminuir los sulfuros de 832 mg/L a 54 mg/L como valor final.

Tabla 44-3: Rendimiento de la aireación en el agua de pelambre

Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Límite permisible mg/L	Remoción %
Sulfuros	832	54	1	93,51

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En la Gráfica 16-3 observamos que existe un porcentaje de remoción de 93,51 % que es un valor considerablemente aceptable.

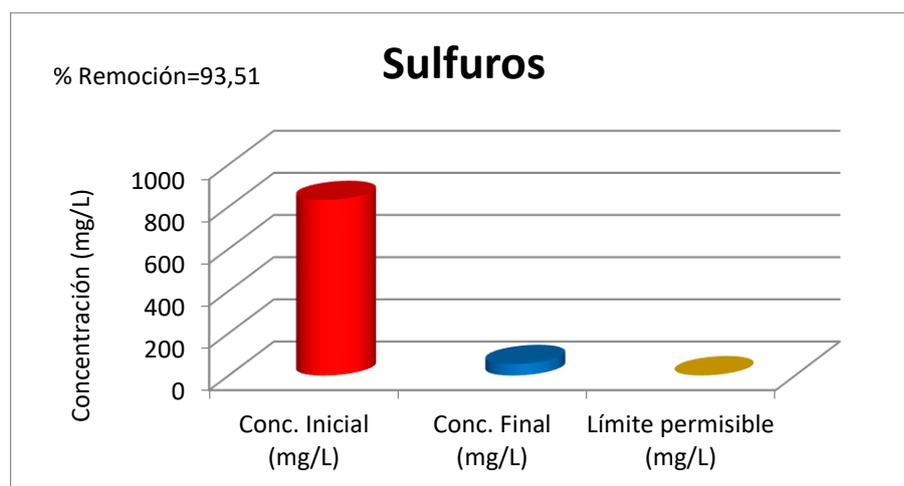


Gráfico 16-3: Remoción de Sulfuros

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En la tabla Tabla 45-3 observamos los datos de DBO5 de 7300 mg/L y DQO de 20800 mg/L durante la tratabilidad que se le dio se pudo disminuir dichos parámetros.

Tabla 45-3: Rendimiento del tratamiento Químico en el agua de Pelambre

Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Límite permisible mg/L	Remoción %
DBO5	7300	500	250	93,15
DQO	20800	1060	500	94,90

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 19-3 se conoce que el porcentaje de remoción para el DBO5 es de 93,15 % y para el DQO es 94,90 %.

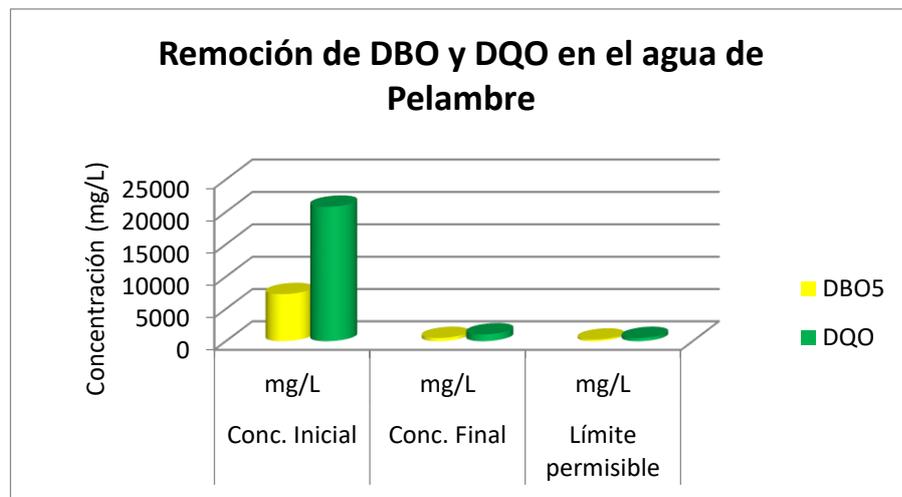


Gráfico 17-3: Remoción de DBO y DQ en el agua de Pelambre
Realizado por: Maribel Morales, 2019

En la Tabla 46-3 nos arroja datos de DBO5 con concentraciones de 510 mg/L; DQO 2530 mg/L; Cromo hexavalente 0,17 mg/L y Cromo Total 412,2 mg/L que luego de la tratabilidad con coagulantes y floculantes disminuye dichos valores.

Tabla 46-3: Rendimiento de tratabilidad d en el agua de Curtido

Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Límite permisible mg/L	Remoción %
DBO5	510	245	250	51,96
DQO	2530	1020	500	59,68
Cromo Hexavalente	0,17	0,01	0,5	94,11
Cromo Total	412,2	2,46	-	99,40

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 18-3 se observa los porcentajes de remoción del agua de curtido en los análisis de DBO y DQO, dándonos un porcentaje de 51,96 % de DBO5 y 59,68 % de DQO.

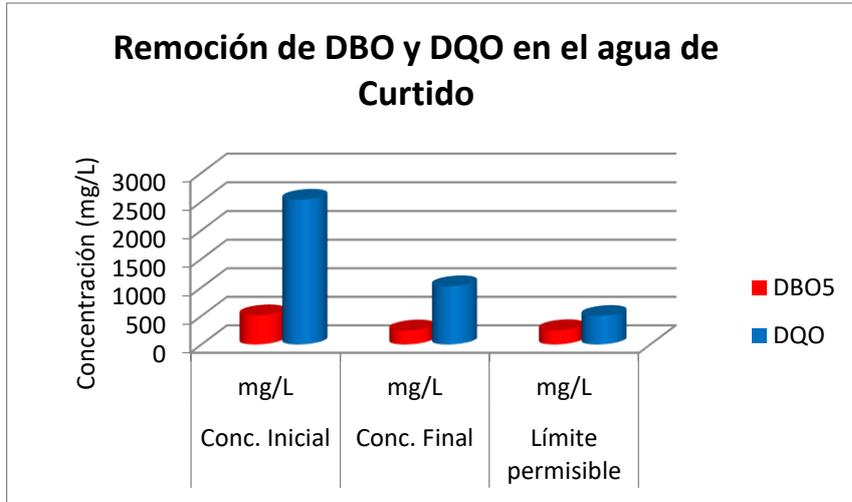


Gráfico 18-3: Remoción de DBO y DQO en el agua de Curtido
Realizado por: Maribel Morales, 2019

En el Gráfico 21-3 se observa los porcentajes de remoción del agua de curtido en los análisis de Cromo Hexavalente y Cromo Total, dándonos un porcentaje de 94,11 % de Cromo Hexavalente y 99,40 % de Cromo Total.

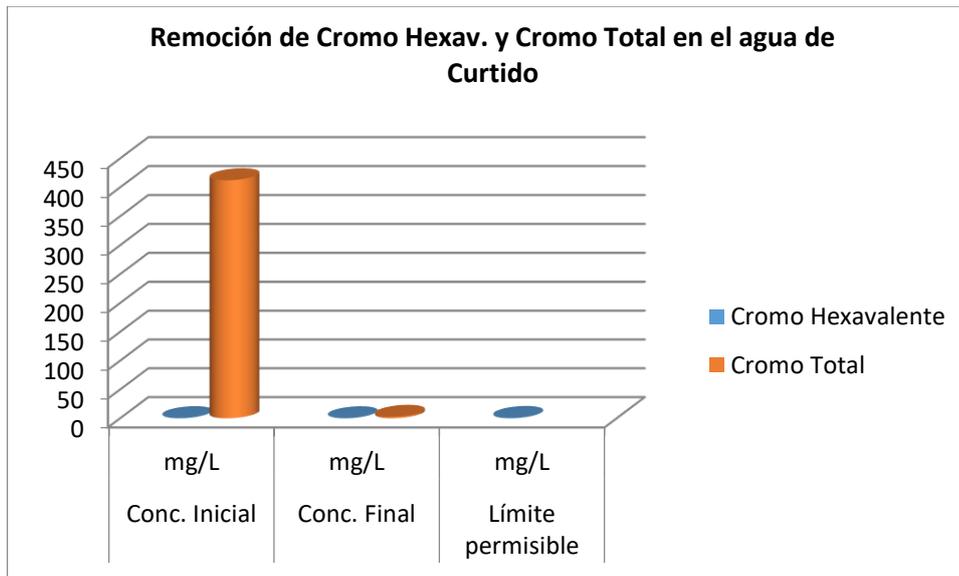


Gráfico 19-3: Remoción de Cromo Hexav. y Cromo Total en el agua de Curtido
Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.7. Proceso de producción

Una vez realizado la tratabilidad del agua de pelambre y de curtido la planta quedara diseñada y con las siguientes dosificaciones tanto a nivel de laboratorio como a nivel industrial.

3.7.1. Dosificación para el agua de pelambre

Se realizará las dosis a nivel de laboratorio como a nivel industrial, para que la planta pueda variar sus concentraciones de dosificación química de acuerdo al caudal que presente en la etapa de descarga de pelambre.

3.7.1.1. Dosificación del sulfato de manganeso ($MnSO_4$) a nivel de Laboratorio

De acuerdo a las pruebas realizadas en las 2 horas de aireación encontramos que 5 g de sulfato de manganeso se va a llevar a una dilución de 100 mL de agua destilada, en la que encontramos que la dosis óptima es 6 mL, dichos mL van a ser añadido a 1000 mL de la muestra de agua residual del proceso de pelambre.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Ecuación 52

Dónde:

C_1 : Concentración de $MnSO_4$ de la solución; 5 g $MnSO_4$

C_2 : Concentración de $MnSO_4$ en la dosificación óptima;

V_1 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 6 mL

V_2 : Volumen de la dosificación óptima de la muestra de agua residual; 1000 mL

$$C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$$
$$C_2 = \frac{0,05 \frac{g}{mL} (6 mL)}{1000 mL}$$
$$C_2 = 3 \times 10^{-4} \frac{g}{mL} \left(\frac{1000 mL}{1 L} \right)$$
$$C_2 = 0,3 \frac{g}{L}$$

A nivel de laboratorio se obtuvo que para 1 L de agua residual tenemos que añadir una concentración de 0,3 g/L de sulfato de manganeso.

3.7.1.2. Dosificación del sulfato de manganeso ($MnSO_4$) a nivel de Industrial.

Cantidad de sulfato de manganeso $MnSO_4$ requerida por día

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 53

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $35210 \frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de sulfato de manganeso en la dosificación óptima; $0,3 \frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 35210 \frac{L}{dia} * 0,3 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 10,56 \frac{Kg}{dia}$$

Se tiene que trabajar siempre a la misma concentración de sulfato de manganeso, pero en caso de aumento o disminución del caudal debemos realizar cálculos en el cambio del caudal, por ejemplo; si tenemos un caudal de $45067 \frac{L}{dia}$ realizaremos el siguiente cálculo.

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 54

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $45067 \frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de sulfato de manganeso en la dosificación óptima; $0,3 \frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 45067 \frac{L}{dia} * 0,3 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 13,52 \frac{Kg}{dia}$$

Para la dosificación de sulfato de manganeso solo hay que cambiar caudal y es la misma concentración de sulfato.

3.7.1.3. Dosificación del Coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) a nivel de laboratorio.

Antes de realizar la dosificación del PAC se debe ajustar el pH a 6 para mejores resultados de sedimentación y turbidez, para lo cual se añade 2 mL de H_2SO_4 en la muestra de agua residual, de acuerdo al test de jarras encontramos que 2 g de Policloruro de Aluminio (PAC) se va a llevar a una dilución de 100 mL de agua destilada, en la que encontramos que la dosis óptima es 3,5 mL, dichos mL va a ser añadido a 1000 mL de la muestra de agua residual del proceso de Pelambre.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación 55

Dónde:

C_1 : Concentración de PAC de la solución; 2 g PAC

C_2 : Concentración de PAC en la dosificación óptima;

V_1 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 3,5 mL

V_2 : Volumen de la dosificación óptima de la muestra de agua residual; 1000 mL

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$
$$C_2 = \frac{0,02 \frac{g}{mL} (3,5 mL)}{1000 mL}$$
$$C_2 = 7 \times 10^{-5} \frac{g}{mL} \left(\frac{1000 mL}{1 L} \right)$$
$$C_2 = 0,07 \frac{g}{L}$$

A nivel de laboratorio se obtuvo que para 1 L de agua residual de pelambre tenemos que añadir una concentración de 0,07 g/L de coagulante policloruro de aluminio.

3.7.1.4. Dosificación del Coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) a nivel Industrial.

Cantidad de policloruro de aluminio PAC requerida por día

$$P_{PAC} = Q_d * C_2$$

Ecuación 56

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; 35210 $\frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de policloruro de aluminio en la dosificación óptima; 0,07 $\frac{g}{L}$

$$P_{PAC} = 35210 \frac{L}{dia} * 0,07 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$
$$P_{PAC} = 2,46 \frac{Kg}{dia}$$

Se tiene que trabajar siempre a la misma concentración del policloruro de aluminio, pero en caso de aumento o disminución del caudal debemos realizar cálculos en el cambio del caudal, por ejemplo; si tenemos un caudal de 45067 $\frac{L}{dia}$ realizaremos el siguiente cálculo.

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 57

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; 45067 $\frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de policloruro de aluminio en la dosificación óptima; 0,07 $\frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 45067 \frac{L}{dia} * 0,07 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 3,15 \frac{Kg}{dia}$$

Para la dosificación de policloruro de aluminio solo hay que cambiar caudal y es la misma de coagulante policloruro de aluminio (PAC).

3.7.2. Dosificación para el agua de curtido

Se realizará las dosis a nivel de laboratorio como a nivel industrial, para que la planta pueda variar sus concentraciones de dosificación química de acuerdo al caudal que presente en la etapa de descarga de Curtido.

3.7.2.1. Dosificación del Coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) a nivel de laboratorio

De acuerdo al test de jarras encontramos que 2 g de Policloruro de Aluminio (PAC) se va a llevar a una dilución de 100 mL de agua destilada, en la que encontramos que la dosis óptima es 9 mL, dichos mL va a ser añadido a 1000 mL de la muestra de agua residual del proceso de Curtido.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Ecuación 58

Dónde:

C₁: Concentración de PAC de la solución; 2 g PAC

C₂: Concentración de PAC en la dosificación óptima;

V₁: Volumen de la dosificación óptima de la solución; 9 mL

V₂: Volumen de la dosificación óptima de la muestra de agua residual; 1000 mL

$$C_2 = \frac{C_1V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,02 \frac{g}{mL} (9 mL)}{1000 mL}$$

$$C_2 = 1,8 \times 10^{-4} \frac{g}{mL} \left(\frac{1000 mL}{1L} \right)$$

$$C_2 = 0,18 \frac{g}{L}$$

A nivel de laboratorio se obtuvo que para 1 L de agua residual de curtido tenemos que añadir una concentración de 0,18 g/L de coagulante policloruro de aluminio.

3.7.2.2. Dosificación del Coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) a nivel industrial

Cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC) requerida por día

$$P_{PAC} = Q_d * C_2$$

Ecuación 59

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $20490 \frac{L}{día}$

C_2 : Concentración de Policloruro de Aluminio en la dosificación óptima; $0,18 \frac{g}{L}$

$$P_{PAC} = 20490 \frac{L}{día} * 0,18 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{PAC} = 3,69 \frac{Kg}{día}$$

Se tiene que trabajar siempre a la misma concentración de coagulante policloruro de aluminio, pero en caso de aumento o disminución del caudal debemos realizar cálculos en el cambio del caudal, por ejemplo; si tenemos un caudal de $25598 \frac{L}{día}$ realizaremos el siguiente cálculo.

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 60

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $25598 \frac{L}{día}$

C_2 : Concentración de policloruro de aluminio en la dosificación óptima; $0,18 \frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 25598 \frac{L}{día} * 0,18 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 4,61 \frac{Kg}{día}$$

Para la dosificación de policloruro de aluminio solo hay que cambiar caudal y es la misma de coagulante policloruro de aluminio (PAC).

3.7.2.3. Dosificación del floculante aniónico PHP-20 PLUS a nivel de laboratorio

De acuerdo al test de jarras encontramos que 0,1 g de floculante aniónico (PHP-20 PLUS) se va a llevar a una dilución de 100 mL de agua destilada, en la que encontramos que la dosis óptima es 4 mL, dichos mL van a ser añadido a 1000 mL de la muestra de agua residual del proceso.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Ecuación 61

Dónde:

C_1 : Concentración de floculante (PHP-20 PLUS) de la solución; 0,1 g PHP-20 PLUS

C_2 : Concentración de floculante (PHP-20 PLUS) en la dosificación óptima;

V_1 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 4 mL

V_2 : Volumen de la dosificación óptima de la muestra de agua residual de curtido; 1000 mL

$$C_2 = \frac{C_1 V_1}{V_2}$$
$$C_2 = \frac{1 \times 10^3 \frac{g}{mL} (4 mL)}{1000 mL}$$
$$C_2 = 4 \times 10^{-6} \frac{g}{mL} \left(\frac{1000 mL}{1 L} \right)$$
$$C_2 = 0,004 \frac{g}{L}$$

A nivel de laboratorio se obtuvo que para 1 L de agua residual de curtido tenemos que añadir una concentración de 0,04 g/L de floculante (PHP-20 PLUS).

3.7.2.4. Dosificación del floculante aniónico PHP-20 PLUS a nivel industrial.

Cantidad de floculante aniónico (PHP-20PLUS) requerida por día

$$P_{PHP-20PLUS} = Q_d * C_2$$

Ecuación 62

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $20490 \frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de floculante (PHP-20PLUS) en la dosificación óptima; $0,004 \frac{g}{L}$

$$P_{PAC} = 20490 \frac{L}{dia} * 0,004 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$
$$P_{PAC} = 0,08 \frac{Kg}{dia}$$

Se tiene que trabajar siempre a la misma concentración de floculante (PHP-20PLUS), pero en caso de aumento o disminución del caudal debemos realizar cálculos en el cambio del caudal, por ejemplo; si tenemos un caudal de $25598 \frac{L}{dia}$ realizaremos el siguiente cálculo.

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 63

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $25598 \frac{L}{dia}$

C_2 : Concentración de floculante (PHP-20PLUS) en la dosificación óptima; $0,004 \frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 25598 \frac{L}{dia} * 0,004 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 0,10 \frac{Kg}{dia}$$

Para la dosificación de floculante (PHP-20PLUS) solo hay que cambiar caudal y es la misma de floculante (PHP-20PLUS).

3.7.3. Dosificación cal a nivel industrial

La cal que se añadió fue de manera directa sin disolución

$$P_{cal} = Q_d * C_2$$

Ecuación 64

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $20490 \frac{L}{dia}$

C_2 : Dosificación óptima de cal; $1,3 \frac{g}{L}$

$$P_{PAC} = 20490 \frac{L}{dia} * 1,3 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{PAC} = 26,64 \frac{Kg}{dia}$$

Se tiene que trabajar siempre a la misma concentración de cal, pero en caso de aumento o disminución del caudal debemos realizar cálculos en el cambio del caudal, por ejemplo; si tenemos un caudal de $25598 \frac{L}{dia}$ realizaremos el siguiente cálculo.

$$P_{MnSO_4} = Q_d * C_2$$

Ecuación 65

Dónde:

Q_d : Caudal de diseño; $25598 \frac{L}{dia}$

C_2 : Dosificación óptima de cal; $1,3 \frac{g}{L}$

$$P_{MnSO_4} = 25598 \frac{L}{dia} * 1,3 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$

$$P_{MnSO_4} = 33,28 \frac{Kg}{dia}$$

La dosificación de la cal va a variar de acuerdo al caudal que se tenga el agua residual de curtido, cabe mencionar que se añade la cal de manera directa al agua residual sin disolución.

3.7.4. Propuesta del sistema de Tratamiento

Actualmente las aguas residuales generadas en los procesos de Pelambre y Curtido en la Curtiembre “San Jacinto” son descargadas al sistema de alcantarillado público sin ningún tipo de tratamiento previo, de ahí nace la necesidad de realizar un estudio que contribuya a la mitigación del impacto ambiental que se genera por esta actividad.

Mediante un muestreo del agua residual generada y su posterior caracterización inicial se determinó varios parámetros fuera de norma, los mismos que fueron intervenidos en el proceso de tratabilidad a nivel de laboratorio con el objetivo de minimizar su carga contaminante y generar una propuesta de tratamiento para realizar el posterior diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que favorezca a la protección Ambiental de los sectores aledaños donde se ubica la planta de curtiduría y de sus habitantes.

Se ha optado por realizar el diseño de dos PTAR, una para las aguas residuales generadas en el proceso de pelambre (Ver en Anexo B), y otra para las aguas residuales generadas en el proceso de curtido (Ver en Anexo C), esto debido que, a pesar de coincidir en la mayoría de procesos de tratamiento, el caudal de diseño es distinto para los dos tipos de aguas residuales. La propuesta del Sistema de Tratamiento, se ha basado en procesos físico-químicos, los mismos que se describen a continuación.

Para el agua residual generada en el proceso de Pelambre, con un caudal de diseño de 0,4 L/s, el Sistema de Tratamiento inicia en el canal de conducción, hacia la Planta de Tratamiento, que dirige el flujo hacia un tanque de aireación que una capacidad de 1 m³ (Ver en Anexo D), en el que se añadirá sulfato de manganeso con la finalidad de disminuir sulfuros, para posteriormente ser enviado hacia un tanque de coagulación (Ver en Anexo E), donde se realizará el tratamiento químico, al final, el flujo se dirige hacia un tanque de sedimentación (Ver en Anexo F), que mediante un proceso físico se encargará de separar los sólidos del agua residual tratada.

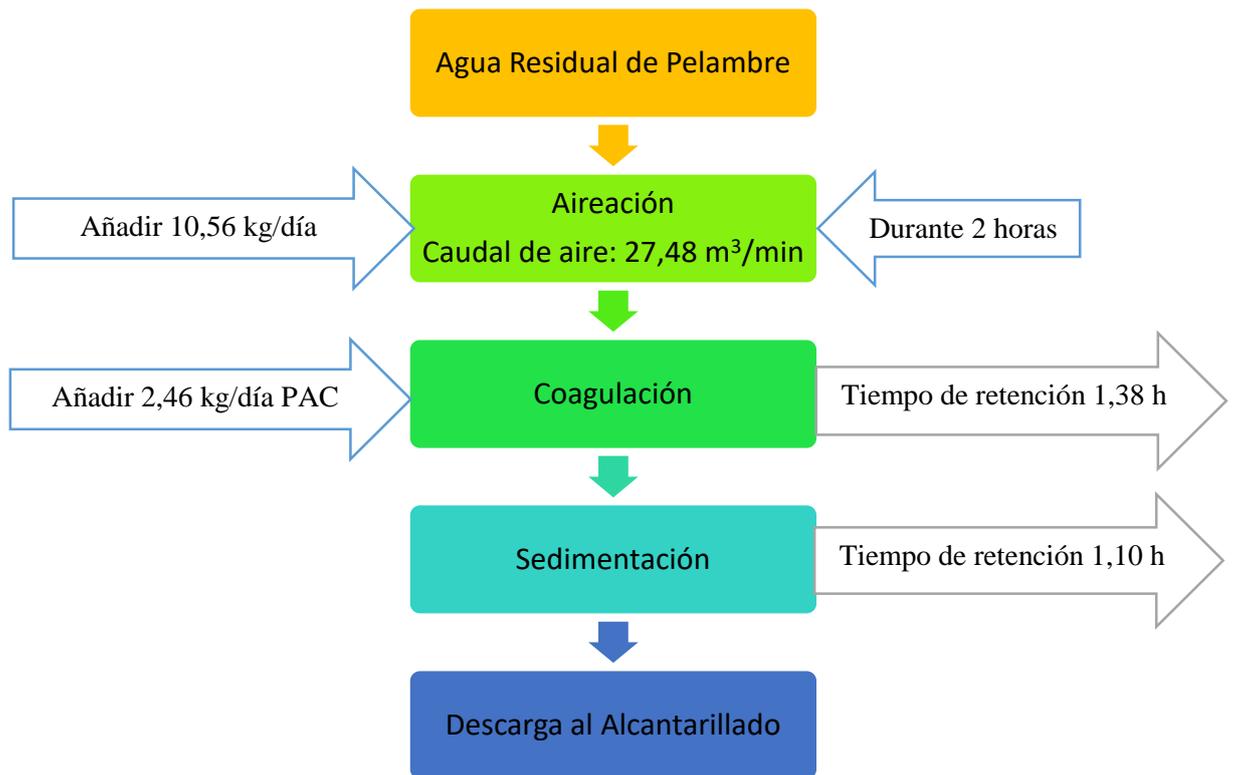


Figura 4-3: Tratabilidad agua residual de Pelambre
 Realizado por: Maribel Morales, 2019

En relación al agua residual generada en el proceso de curtido, para un caudal de diseño de 0,23 L/s, el Sistema de Tratamiento inicia en un tanque de floculación (Ver en Anexo G), donde se realizará el tratamiento químico para posteriormente continuar hacia un tanque de sedimentación (Ver en Anexo H), que, de similar manera al sistema de tratamiento del agua de pelambre, tendrá la finalidad de separar los sólidos del agua residual tratada.

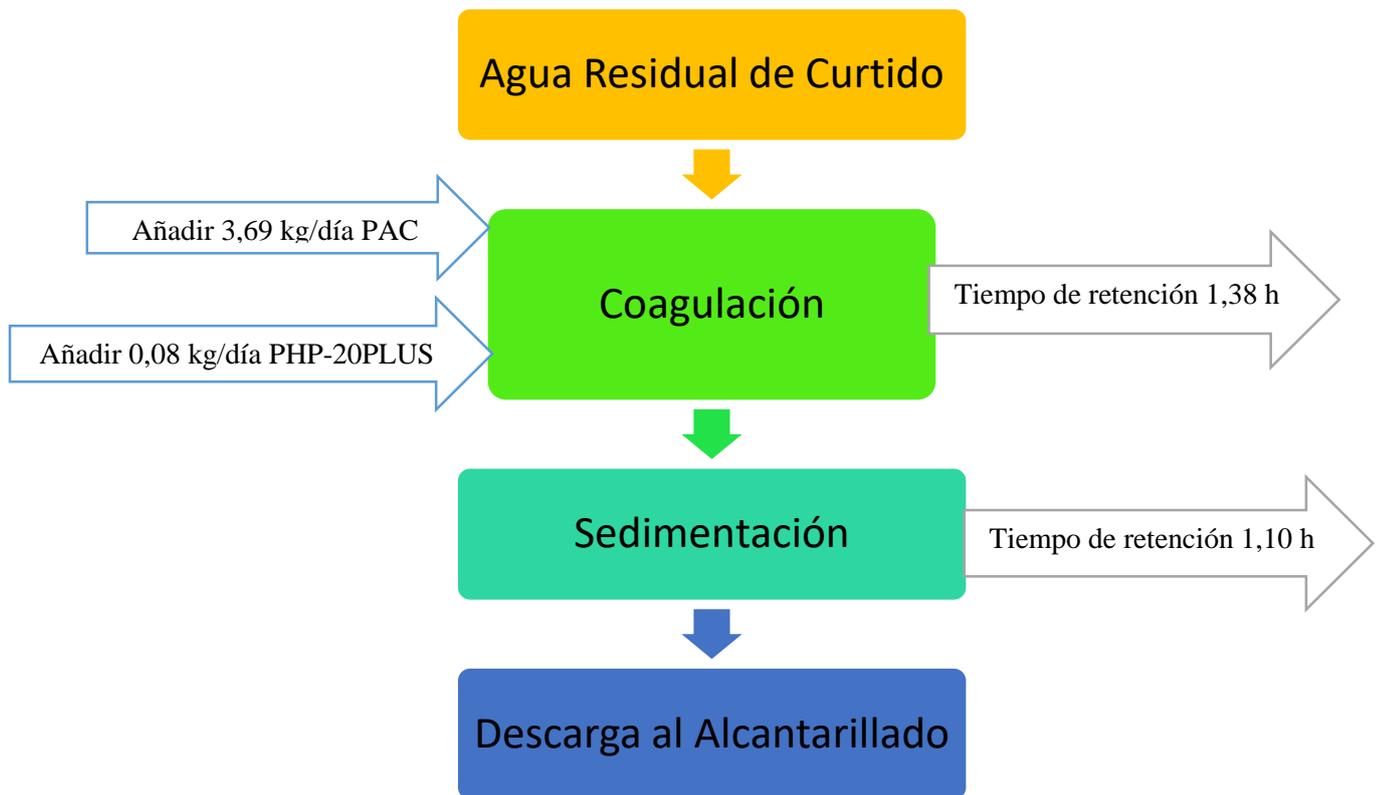


Figura 5-3: Tratabilidad agua residual de Pelambre
 Realizado por: Maribel Morales, 2019

El sistema de tratamiento se lo edificará en el terreno donde funciona la planta de curtiembre y, mediante la visualización de las curvas de nivel del sector, se ha determinado que el transporte de flujo de las PTAR de la curtiduría “San Jacinto” funcionará por gravedad (Ver en Anexo I y J).

3.8. Requerimientos de equipos, tecnología y maquinaria

En la Tabla 47-3 se encuentran los diferentes equipos que se utilizó en el laboratorio para la determinación de los distintos análisis para posteriormente realizar la tratabilidad del agua residual a nivel industrial.

Tabla 47-3: Requerimientos tecnológicos para el desarrollo de la investigación

Equipo	Determinación o Actividad que realiza
Test de jarras y recuperación de cromo e iones sulfuros	
Potenciómetro	Determinación del pH
Balanza	Determinación de la masa de reactivos
Balones de aforación	Determinación del volumen de soluciones
Matraces Erlenmeyer	Lavado de las muestras
Agitador	Prueba de jarras
Pipetas	Recuperación de cromo e iones sulfuros
Análisis de Laboratorio	
Mufla	Determinación de DBO ₅
Microdigestor para micro DQO	Determinación de DBO ₅
Termoreactor	Determinación de DQO
Espectrofotómetro	Determinación de cromo hexavalente

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.8.1. Equipos que conforman el Sistema de Tratamiento

En la Tabla 48-3 se describe el proceso de tratabilidad de la planta del agua residual de Pelambre cabe mencionar que los cálculos se realizó para un caudal de 0,40 L/s.

Tabla 48-3: Equipos usados en el Sistema de Tratamiento del Agua de Pelambre

Equipo	Descripción del Proceso
Canal de Entrada	El agua residual proveniente del proceso de pelambre se dirige hacia el canal de entrada, que ha sido diseñado para un caudal de 0,4 L/s, que servirá para dirigir el flujo de agua residual a lo largo de todo el sistema de tratamiento y conducirla hacia las distintas etapas del mismo.
Tanque de Aireación	La primera etapa del proceso donde ingresará el agua residual será hacia un tanque de aireación, con un caudal de aire de 27,48 m ³ /min, en el que se añadirá 10,56 kg/día de Sulfato de Manganeso que tendrá como finalidad la minimización de la concentración de sulfuros presentes en el agua residual. Otra de las funciones del tanque de aireación será la reducción de la concentración de carga orgánica contaminante que se encuentra en el agua residual.
Tanque de Coagulación	Una vez finalizado el proceso de aireación, el agua residual será enviada hacia un tanque de coagulación, con una capacidad de 1,05 m ³ , para realizar el tratamiento químico. Para cumplir con este objetivo se realizará la adición de 2,46 kg/día de Policloruro de Aluminio y se trabajará con un tiempo de retención de 1,38 h. La finalidad de esta etapa es la reducción de los contaminantes orgánicos que aún se encuentren en el agua residual.
Tanque de Sedimentación	La sedimentación consiste en un proceso de separación de las partículas sólidas que se encuentran en un fluido. Es una operación que complementa al proceso de floculación. Para este Sistema de Tratamiento se diseñó un tanque de sedimentación de 1,32 m ³ de capacidad, que se encargará de separar los sólidos formados en la etapa anterior y por acción de gravedad, mediante un tiempo de retención de 1,10 h, precipitarán hacia el fondo del tanque para realizar su posterior eliminación.

Realizado por: Maribel Morales, 2019

En la Tabla 49-3 se describe el proceso de tratabilidad de la planta del agua residual de Curtido cabe mencionar que los cálculos se realizó para un caudal de 0,23 L/s.

Tabla 49-3: Equipos usados en el Sistema de Tratamiento del Agua de Curtido

Equipo	Descripción del Proceso
Canal de Entrada	Como inicio del sistema de tratamiento para el agua residual de curtido se ha diseñado, para un caudal de 0,23 L/s, un canal de entrada que cumplirá las funciones mencionadas en la tabla anterior.
Tanque de Floculación	El flujo de agua residual se dirigirá mediante el canal de entrada hacia un tanque de floculación con una capacidad de 0,61 m ³ donde se añadirán 3,69 kg/día de Policloruro de Aluminio y 0,08 kg/día de floculante aniónico PHP-20 PLUS para realizar los procesos de coagulación-floculación con un tiempo de retención de 1,38 h.
Tanque de Sedimentación	Para finalizar el proceso de tratamiento el agua tratada en la etapa anterior se conducirá hacia un tanque de sedimentación, que con un tiempo de retención de 1,11 h, se encargará de separar las partículas sólidas, que contienen los contaminantes, del agua tratada.

Realizado por: Maribel Morales, 2019

3.8.2. Requerimiento de Costos

Se realizó diseños por separado tanto para agua de pelambre como para agua de curtido debido a que no poseen los mismos caudales dichas agua y es más factible la tratabilidad de estas aguas por separado.

3.8.3. Costos para tratamiento de aguas residuales de la descarga de agua de Pelambre

En la Tabla 50-3 podemos observar los costos que se dan para la implementación del sistema de tratamiento de agua residual de pelambre. Su costo total fue de DOS MIL DIECINUEVE DOLARES, 14/100 CENTAVOS (\$2.019,14), estos precios no incluyen IVA, el plazo máximo para la construcción de esta obra con estos precios es de 30 días.

Tabla 50-3: Costos para la construcción del sistema de tratamiento del agua residual de Pelambre.

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio global
A	SALIDA DE BOMBOS DE CURTIDURIA				
A1	Picado de elementos de concreto	m ³	0,10	0,50	0,05
A2	Volante de compuerta 0.30x0.30m	U	1,00	35,56	35,56
A3	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,10	210,40	21,04
A4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	3,25	1,90	6,18
B	CANAL				
B1	Limpieza y desbroce	m ³	1,50	0,64	0,96
B2	Excavación manual	m ³	1,62	5,83	9,44

B3	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,40	210,40	84,16
C	TANQUE DE AIREACION				
C1	Limpieza y desbroce	m ²	1,70	0,64	1,09
C2	Excavación manual	m ³	2,55	5,83	14,87
C3	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm ² inc. encofrado	m ³	1,00	210,40	210,40
C4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	6,30	1,90	11,97
C5	Compresor y accesorios	U	1,00	456,00	456,00
C6	Provisión tubería PVC uz 63 mm x 0.80mpa	mL	1,20	1,47	1,76
C7	Tapa metálica 1.00x1.00m	U	1,00	50,85	50,85
D	TANQUE DE COAGULACION				
D1	Limpieza y desbroce	m ²	1,35	0,64	0,86
D2	Excavación manual	m ³	2,55	5,83	14,87
D3	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm ² inc. encofrado	m ³	1,15	210,40	241,96
D4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	7,60	1,90	14,44
D5	Motor y accesorios	U	1,00	394,00	394,00
D6	Paletas metálica tipo hélice	U	1,00	140,78	140,78
D7	Provisión tubería PVC uz 63 mm x 0.80mpa	mL	1,20	1,47	1,76
E	SEDIMENTADOR				
E1	Limpieza y desbroce	m ²	2,00	0,64	1,28
E2	Excavación manual	m ³	3,10	5,83	18,07
E3	Hormigón simple $f_c=210$ kg/cm ² inc. encofrado	m ³	1,20	210,40	252,48
E4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	8,58	1,90	16,30
E5	Provisión tubería PVC uz 100 mm x 0.80mpa	mL	4,00	4,50	18,00
				TOTAL:	2.019,14

Realizado por: Maribel Morales 2019

3.8.4. Costos para tratamiento de aguas residuales de la descarga de agua de Curtido

En la Tabla 51-3 podemos observar los costos que se dan para la implementación del sistema de tratamiento de agua residual de curtido. Su costo total fue de MIL CIENTOTREINTICETE DOLARES, 25/100 CENTAVOS (1.137,25), estos precios no incluyen IVA, el plazo máximo para la construcción de esta obra con estos precios es de 30 días.

Observamos que la planta de tratamiento de curtido es más económica debido a que no necesita un sistema de aireación.

Tabla 51-3: Costos para la construcción del sistema de tratamiento del agua residual de Curtido.

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Global
A	SALIDA DE BOMBOS DE CURTIDURIA				
A1	Picado de elementos de concreto	m ³	0,10	0,50	0,05
A2	Volante de compuerta 0.30x0.30m	U	1,00	35,56	35,56
A3	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,10	210,40	21,04
A4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	3,25	1,90	6,18
B	CANAL				
B1	Limpieza y desbroce	m ²	1,50	0,64	0,96
B2	Excavación manual	m ³	1,62	5,83	9,44
B3	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,40	210,40	84,16
C	TANQUE DE FLOCULACIÓN				
C1	Limpieza y desbroce	m ²	1,20	0,64	0,77
C2	Excavación manual	m ³	2,25	5,83	13,12
C3	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,90	210,40	189,36
C4	Malla metálica electrosoldada 15x15x8	kg	6,10	1,90	11,59
C5	Motor y accesorios	u	1,00	394,00	394,00
C6	Paletas metalicas tipo helice	u	1,00	140,78	140,78
C7	Provision tubería PVC uz 63 mm x 0.80mpa	mL	1,20	1,47	1,76
D	SEDIMENTADOR				
D1	Limpieza y desbroce	m ²	1,80	0,64	1,15
D2	Excavación manual	m ³	2,70	5,83	15,74
D3	Hormigón simple f _c =210 kg/cm ² inc. encofrado	m ³	0,85	210,40	178,84
D4	Malla metalica Electrosoldada 15x15x8	kg	7,76	1,90	14,74
D5	Provision Tubería PVC uz 100 mm x 0.80mpa	mL	4,00	4,50	18,00
				TOTAL:	1.137,25

Realizado por: Maribel Morales 2019

3.8.5. Costos de la dosificación de los diferentes químicos a utilizarse en la tratabilidad del agua residual

En la Tabla 52-3 encontramos la dosificación de los distintos químicos que se va a utilizar para la tratabilidad de aguas residual dándonos como resultados total que será un gasto de \$32,24; se puede decir que no es un gasto tan alto debido a que no su producción de elaboración de cueros no es con frecuencia.

Tabla 52-3: Dosis de químicos utilizados para el tratamiento del agua residual.

Detalle	Dosificación Kg/día	Presentación Kg	Costo por unidad \$	Costo por día \$
Policloruro de aluminio PAC	6,15	25	36,40	8,95
Floculante Anionico PHP-20 PLUS	0,08	25	162,50	0,52
Cal	26,64	25	7	7,46
Sulfato de Manganeso	10,56	25	36,25	15,31
			TOTAL	32,24

Realizado por: Maribel Morales 2019

3.9. Análisis de Resultados

La curtiduría “San Jacinto” genera una cantidad considerable de aguas residuales, en sus procesos de Pelambre y Curtido, las mismas que contienen ciertos parámetros ambientales que superan el límite permisible establecido en la norma general para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8.

Con la finalidad de determinar cuáles son los parámetros que incumplen con la normativa ambiental vigente se procedió a realizar la caracterización inicial de las muestras de agua residual. Entre los parámetros contaminantes, que presentan altas concentraciones, podemos encontrar: DBO5, DQO y pH en las aguas residuales tanto de pelambre como curtido, y Sulfuros y Sulfatos únicamente en el agua de Pelambre.

Específicamente se obtuvieron los siguientes resultados en las aguas residuales de los dos procesos que nos ocupan. En el agua de Pelambre tenemos; DBO5 7300 mg/L; DQO 20800 mg/L; pH 12,99; Sulfuros 832 mg/L; Sulfatos 1300 mg/L. En el agua residual generada en el proceso de Curtido tenemos tres parámetros fuera de norma, los cuales son; DBO5 510 mg/L; DQO 2530 mg/L; pH 3,8.

Obtenidos estos datos se procedió al cálculo del índice de biodegradabilidad y fundamentándonos en los valores obtenidos, 0,35 para el agua de Pelambre y 0,20 para el agua de Curtido, se decidió realizar un tratamiento de tipo físico-químico, por ello, se ejecutó varias pruebas de tratabilidad, siendo de mejor elección el tratamiento por aireación y mediante procesos de coagulación-floculación, los mismos que tienen la finalidad de disminuir la carga orgánica contaminante presente en el agua residual.

Al finalizar las pruebas piloto de tratabilidad y los respectivos análisis de laboratorio, se obtuvo una serie de datos que nos da una idea más clara de la eficiencia del tratamiento al que fue sometida el agua residual de la curtiduría “San Jacinto”. Es así que, mediante los procesos de aireación y tratamiento químico, obtuvimos los siguientes resultados. En el agua de pelambre se logró una disminución considerable de Sulfuros hacia un valor de 54 mg/L con una eficiencia de remoción de 93,51 %. En relación a la DBO5 se obtuvo un resultado final de 500 mg/L, logrando un porcentaje de remoción de 93,15%, de similar manera con la DQO se obtuvo una concentración de 1060 mg/L, con un porcentaje de remoción de 94,9%. En el agua de curtido se evidenció los siguientes resultados: DBO5 con una concentración final de 245 mg/L y un porcentaje de remoción de 51,96%; DQO 1020 mg/L, con un porcentaje de remoción de 59,68%.

Una vez concluidas las pruebas de tratabilidad y determinada su respectiva eficiencia se efectuó el respectivo diseño de la PTAR para la curtiduría “San Jacinto” sobresaliendo el diseño de un tanque de aireación, un tanque de floculación y un tanque de sedimentación, tanto para el agua residual generada en proceso de pelambre como para el agua residual generada en el proceso de curtido. Analizando los costos para la implementación de la PTAR se deduce que la construcción de la misma es factible y necesaria con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en la misma para realizar su posterior descarga y así evitar la contaminación de los cuerpos hídricos del cantón Ambato.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química de las muestras de agua residual recolectadas en la curtiduría “San Jacinto”, los resultados obtenidos se compararon con la norma para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8 vigente, se determinó los parámetros ambientales que superan el límite máximo permisible son: para el agua de pelambre un DBO5 7300mg/L, DQO 20800mg/L, Sulfuros 832mg/L, Sulfatos 1300mg/L y pH 12,99. Para el agua de Curtidos tenemos los siguientes resultados un DBO5 510mg/L, DQO 2530mg/L, Cromo Hexavalente 0,17 mgCr⁶/L, Cromo Total 412,2mg/L, y pH 3,8.
- Mediante el respectivo análisis de los datos obtenidos en la caracterización inicial, y una vez calculado el índice de biodegradabilidad del agua de Pelambre, que nos arrojó un valor de 0,35, se decidió trabajar con un tratamiento físico-químico, por lo tanto, primero se aplicó una aireación para, posteriormente, mediante el uso del test de jarras hacer una coagulación, para disminuir la carga orgánica contaminante que se encuentra en dicha agua.
- En relación al agua de Curtido el cálculo del índice de biodegradabilidad nos dio un valor de 0,20, de similar manera, se decidió aplicar un tratamiento físico-químico, haciendo uso del test de jarras para simular un proceso de coagulación-floculación.
- Se determinó que las principales variables del proceso es el caudal de diseño, y la dosificación de floculación. Por ello es indispensable, al momento de realizar el dimensionamiento, enfocarse en esta variable para evitar inconvenientes de diseño a futuro.
- En base a las pruebas de tratabilidad se realizó el dimensionamiento del sistema de tratamiento para las aguas residuales del proceso de Pelambre y Curtido. Los resultados para el sistema de tratamiento del agua de pelambre, que consta de un canal de entrada, un tanque de aireación, tanque de coagulación y tanque de sedimentación. Para el agua de curtido se decidió un diseño compuesto por un canal de entrada, tanque de floculación y tanque de sedimentación.
- La validación de diseño del sistema de tratamiento propuesto, se basa en la caracterización físico-química y la eficiencia de remoción de los parámetros que se encuentran fuera de norma, que luego de la tratabilidad se tiene que los parámetros de cromo total, cromo hexavalente, y DBO se encuentran en norma en el agua de Curtido, el DQO se logró disminuir; en tanto que en el agua de Pelambre se logró disminuir los sulfuros, sulfatos, DBO y DQO.

RECOMENDACIONES

- Una vez construida la PTAR y previo al inicio de su operación se debe capacitar a los trabajadores de la curtiduría y con mayor énfasis a quien se encargará de operar el sistema de tratamiento con la finalidad de lograr una correcta ejecución de la misma y evitar inconvenientes de operación.
- Se debe realizar la caracterización del agua residual semestralmente, al inicio y al final del sistema de tratamiento, para determinar si existe algún cambio considerable en los parámetros contaminantes o bien para verificar que el sistema de tratamiento se encuentra funcionando de manera óptima.
- Para obtener mejores resultados de tratamiento se recomienda adicionar, al agua residual, óxido de calcio, usado en los procesos de curtiembre, con la finalidad de realizar el ajuste del pH y así obtener mejores resultados de tratamiento.
- Ejecutar una investigación más detallada para efectuar el uso de químicos ecológicos en los procesos de curtiembre, ya que su proceso de tratabilidad es relativamente más fácil y eficiente. De igual manera, realizar la respectiva caracterización de los parámetros contaminantes que se producen en las aguas residuales generadas en los procesos de curtiembre en los que se haga uso de este tipo de productos químicos.
- Realizar el estudio y su posterior implementación para la recuperación de Cromo de los lodos generados en las aguas residuales de los procesos de curtiembre. De este modo se logrará contribuir de una gran manera con la protección ambiental del entorno adyacente a la planta de producción.

BIBLIOGRAFÍA

AFANADOR, Gustavo. *Sulfuro en agua por volumetria.* Bogotá : IDEAM, 2007.

ARIAS, Oscar. *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. (Tesis) (Ing. Ambiental)* Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental., 2004. pp. 12-16.

BEZAMA, Santiago. *Recuperación de reactivos de los efluentes de curtiembres.* Santiago de compostela : s.n, 2007.

CADAVID, Juan. *Hidraulica de Canales: Fundamentos.* Medellín : Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006.

CEGARRA, José. *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica.* Madrid : Ediciones Díaz de Santos, 2012.

Centro de Nuevas Tecnologías del Agua, CENTA. *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.* s.l. : Ideasmares, 2010.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS. *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa. sitio web de la Organización Panamericana de Salud.* [En línea] 2003. [Citado el: 12 de Diciembre de 2017.] http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etTrampa_grasa.pdf.

Centro de Investigacion Ingenieria Ambiental, CIIA, *Condiciones Experimentales del cantón Riobamba.* pp. 110-111.

CUSTODIO, Emilio, & LLAMAS, Manuel Ramón. *Hidrología Subterránea. Tomo I.* Segunda. Barcelona : Ediciones Omega, S.A., 1983.

DAVIS, Victor. *Handbook of Applied Hydraulics.* New York : McGraw-Hill, 2009. ISNN.

EDDY, & METCALF. *Ingeniería de Aguas Residuales.* tercera. Madrid : McGraw-Hill, 1995.

Environmental Protection Agency, EPA. *Standard Methods*. [En línea] Washington: USEPA, 2002. [Consulta: 7 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=43>.

Environmental Protection Agency, EPA. *Design Manual Costructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. [En línea] Washington: USEPA, 1988. [Consulta: 14 diciembre 2017]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov>.

Environmental Protection Agency, EPA. *Tanneries and the Environment: A Technical Guide to Reducing the Environmental Impact of Tannery Operations*. Nueva York : USEPA, 1991

Federation Water Environment, FWA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. [En línea] New York: Digital Globe, 2017. [Consulta: 26 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/>.

Gobierno Municipal de Ambato, GAD. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ambato : s.n, 2015.

Gobierno Parroquial Picaihua, GAD. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Ambato : s.n., 2015.

Greenpeace. *Cueros Tóxicos*. . Buenos Aires : s.n, 2012.

HAMMER, Donald. *Constructed Wetlands for waste water treatment municipal, industrial and agricultural*. USA : Lewis Publisher, INC., 1989.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, INEC. *VII Censo de población y VI Vivienda*. Quito : s.n, 2010.

Instituto de Nacional de Normativa Ecuatoriana, INEN. *Agua Potable. Determinación de cromo hexavalente* . Quito : s.n, 2014.

Instituto de Nacional de Normativa Ecuatoriana, INEN 2169:2008. *Agua Calidad del agua.Muestreo. Manejo y conservación de muestras*. Quito : s.n, 2008.

Instituto de Nacional de Normativa Ecuatoriana, INEN 2176:2008. *Agua Calidad del agua.Muestreo. Técnicas de muestreo*. Quito : s.n, 2008.

Instituto de toxicología de la defensa, ITD. *Protocolo de toma de muestras de agua residual.* México D:F : s.n, 2010.

KARIA, G, & CHRISTIAN, R. *Wastewater Treatment Concepts and Design Approach.* Nueva Delhi : Prentice-Hall, 2006.

KING, C *Handbook of Hydraulics.* New York : McGrawHill, 2015. ISBN.

KROCHIN, Sviatoslav. *Diseño Hidráulico.* Tercera. Quito : Editorial de la Escuela Politécnica Nacional, 1986.

MACKENZIE, Davis. *Water and Wastewater Engineering.* United States of America : McGraw-Hill, 2010.

MAE, MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Texto Unificado de Legislación Ambiental.* Quito : M.d., 2015, pp. 20

PARIMAL, Pal. *Industrial Water Treatment Process Technology.* Cambridge : Butterworth-Heinneman, 2017.

PORTILLA, Alvaro. *Análisis técnico ambiental del proceso de la curtiduríaserrano de la ciudad ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales .* Quito : SN, 2013.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS. TÍTULO B. Sistemas de Acueducto. Bogota : s.n., 2000.

RAMIREZ. Ernest, et.al. *Processing Chrome Tannery Effluent to meet best available treatment standards.* Cincinnati : USEPA, 2009.

RIGOLA, Miguel. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales.* Barcelona : Marcombo, s.n, 1990.

ROMERO, Jairo. *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño.* Bogota : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010.

Sánchez, Javier. *Hidrología Subterránea*. [En línea] Salamanca: s.n, 2016. [Consulta: 20 febrero 2018]. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/temas.html>.

SKRENTNER, S. *Instrumentation handbook for water and waste water treatment plants*. Guelph : Addison-Wesley Publishing Co, 2012. ISSN.

SPELLMAN, Frank. *Handbook of water & wastewater treatment plant operations*. United States of America : Lewis Publishers, 2003.

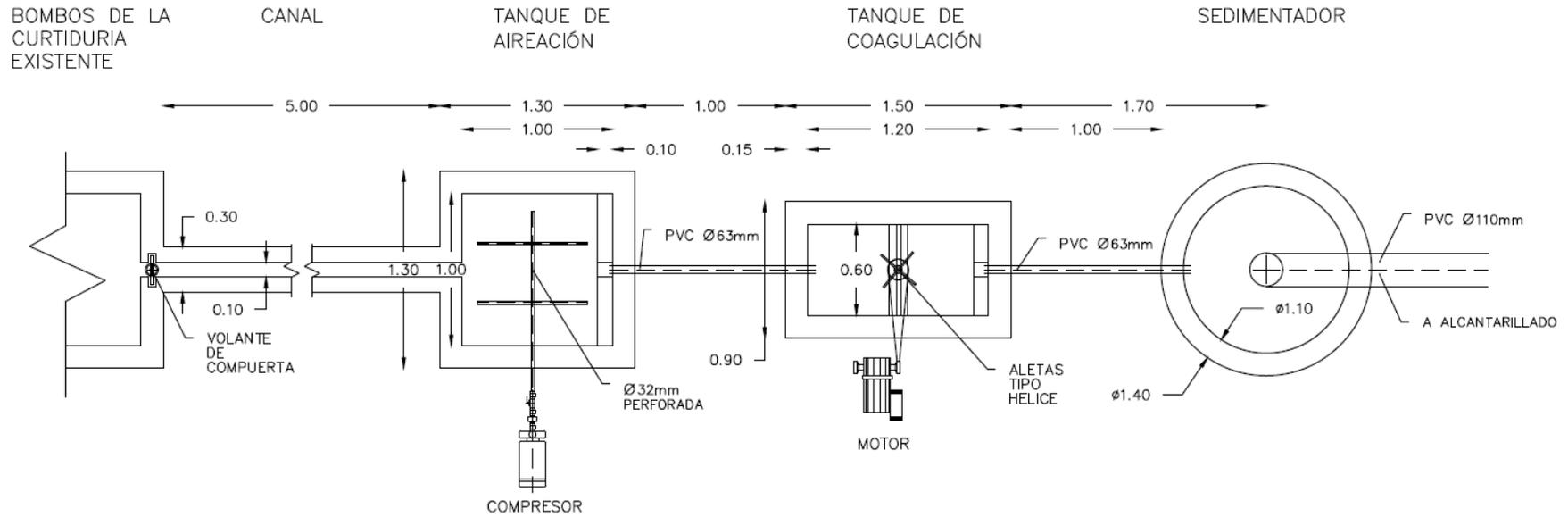
ANEXOS

ANEXO A. Libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 8.

Normas generales para descargas de efluentes al sistema de alcantarillado

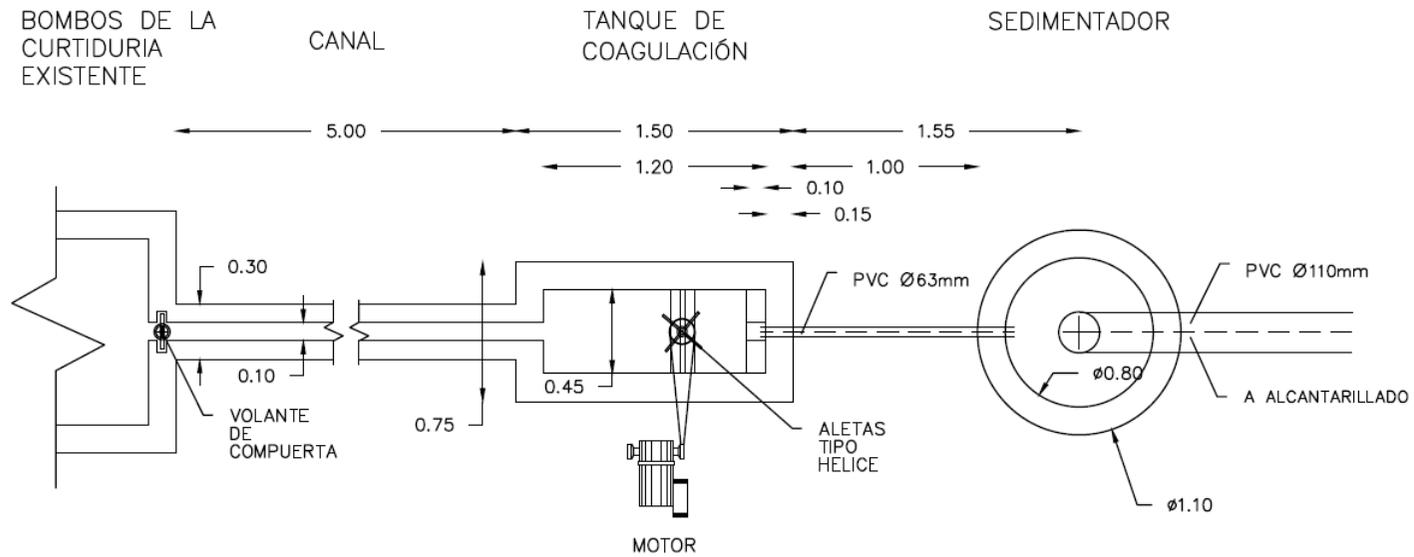
TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

ANEXO B: Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Pelambre



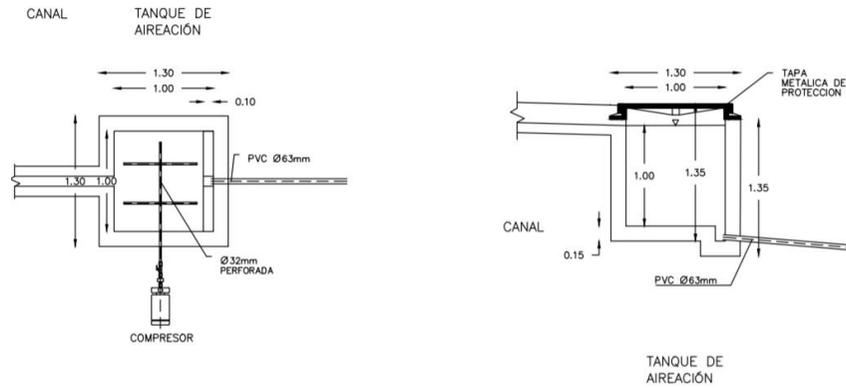
<p>NOTAS</p> <p>Vista en Planta o Vista Superior</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
---	--	--	--

ANEXO C: Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Curtido



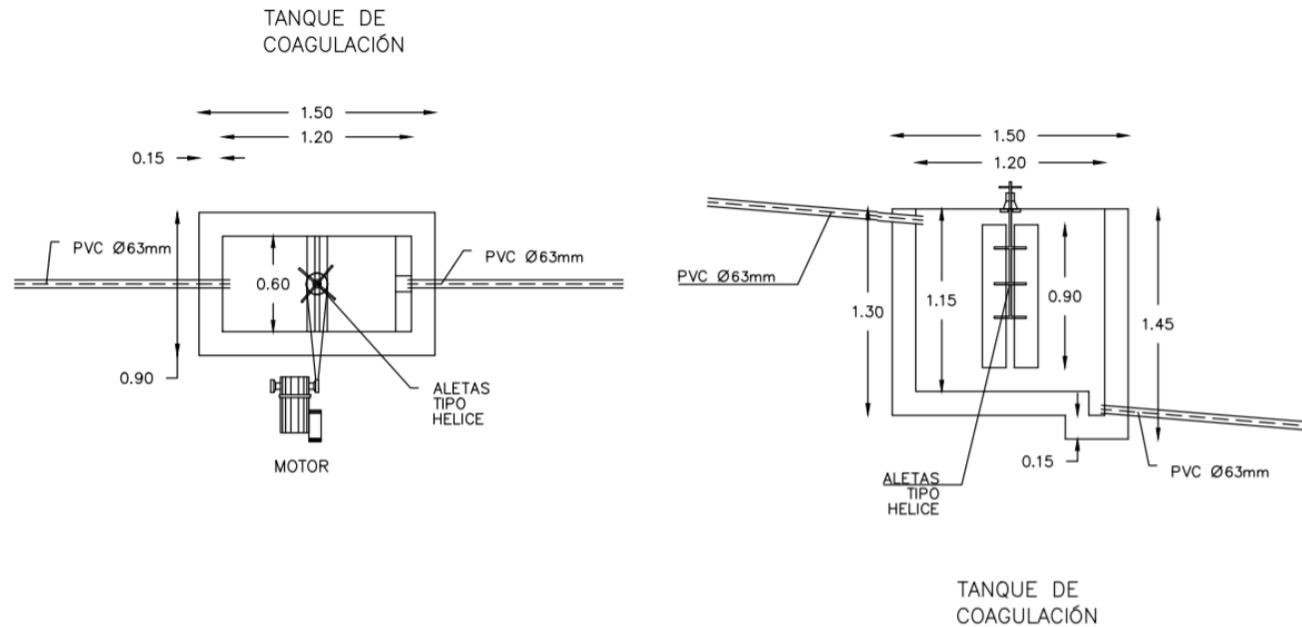
<p>NOTAS</p> <p>Vista en Planta o Vista Superior</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
---	--	--	--

ANEXO D: Tanque de aireación del agua Residual de Pelambre



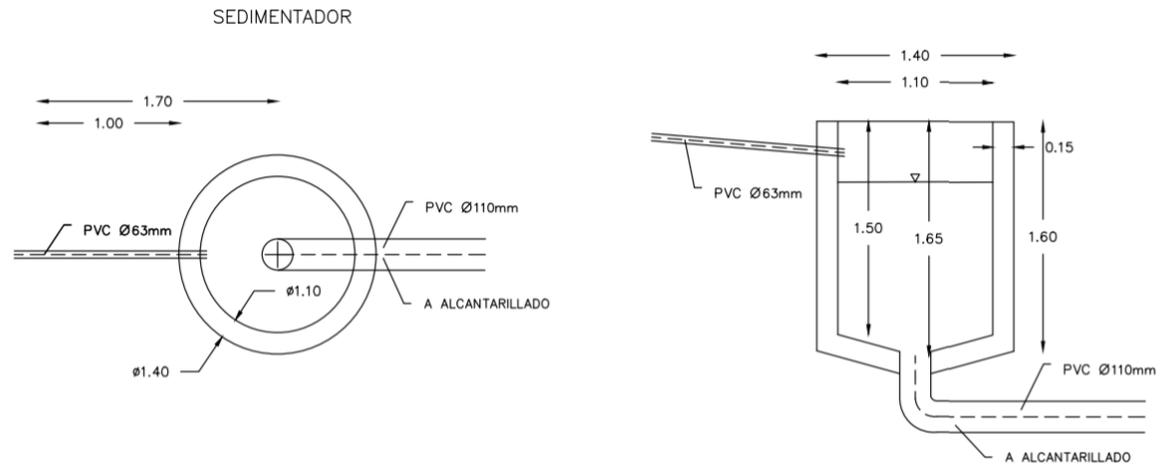
<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>Vista Superior y Vista Lateral</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p style="text-align: center;">DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
---	---	--	--

ANEXO E: Tanque de coagulación de Pelambre



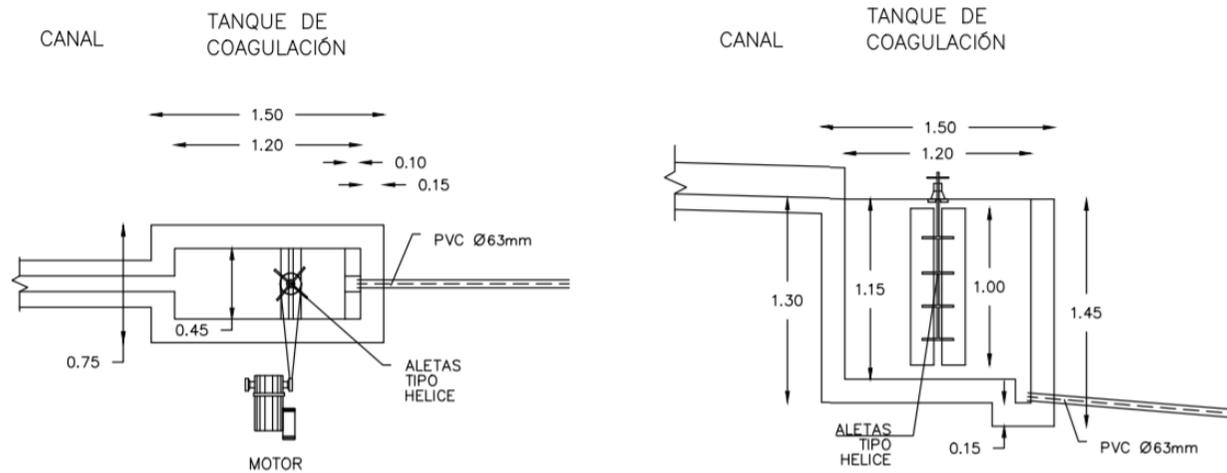
<p>NOTAS</p> <p>Vista Superior y Vista Lateral</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
---	--	--	--

ANEXO F: Tanque sedimentador del Agua de Pelambre



<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>Vista Superior y Vista Lateral</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p style="text-align: center;">DISEÑO DE UN SISTEMA DE</p> <p style="text-align: center;">TRATAMIENTO DE AGUAS</p> <p style="text-align: center;">RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA</p> <p style="text-align: center;">SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE</p> <p style="text-align: center;">AMBATO</p>
---	--	--	--

ANEXO G: Tanque de coagulación – floculación Agua de Curtido



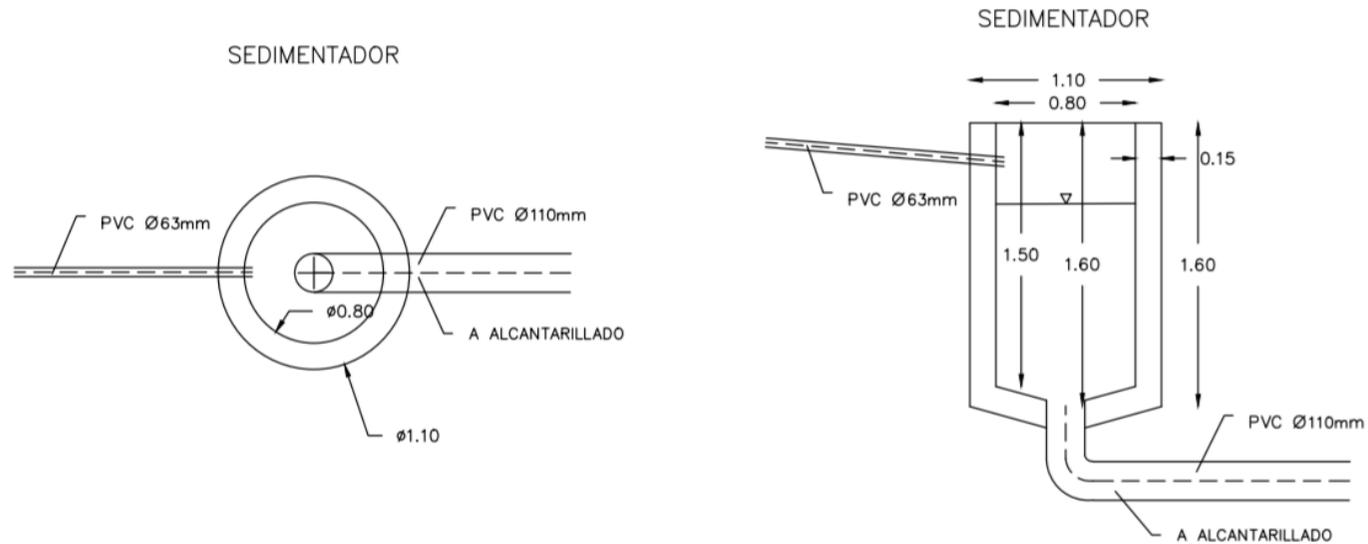
NOTAS
 Vista Superior y Vista Lateral

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:
 CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR INFORMACIÓN

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERÍA QUÍMICA
 MARCELA MARIBEL MORALES TIXI

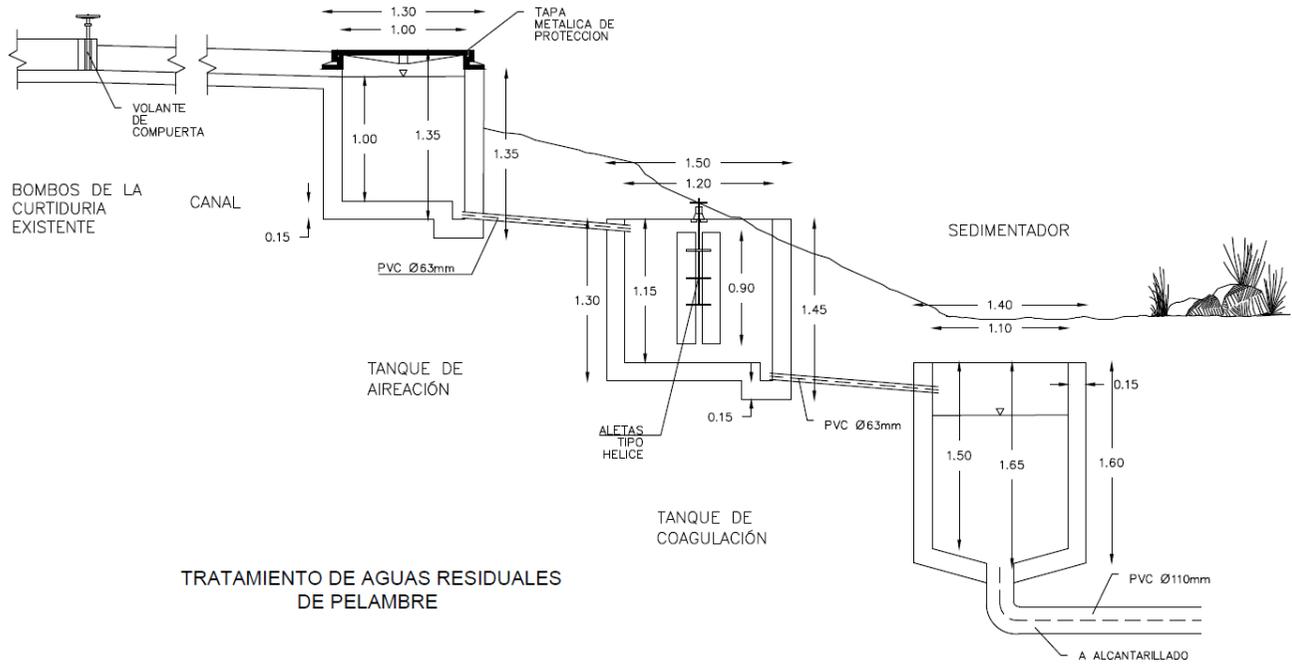
DISEÑO DE UN SISTEMA DE
 TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
 SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

ANEXO H: Tanque sedimentador del Agua de Curtido



<p>NOTAS</p> <p>Vista Superior y Vista Lateral</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
---	--	--	--

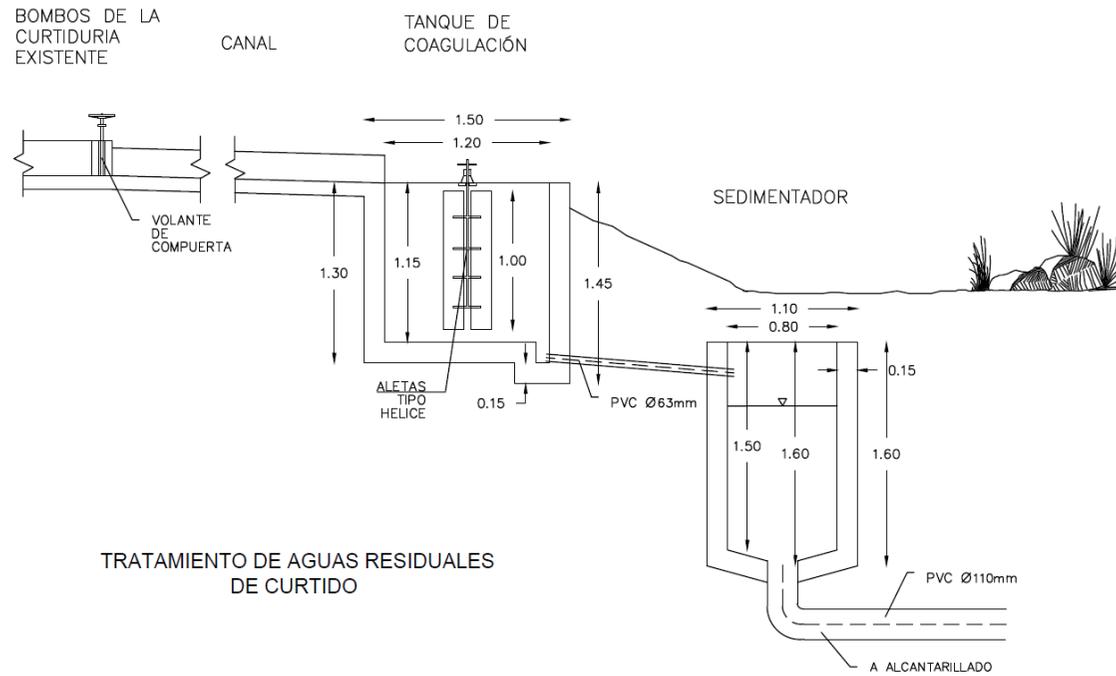
ANEXO I: Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Pelambre



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PELAMBRE

<p>NOTAS</p> <p>Vista lateral o en corte.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
--	--	--	--

ANEXO J: Sistema de Tratamiento de aguas residuales para el proceso de Curtido



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIDO

<p>NOTAS</p> <p>Vista lateral o en corte.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
--	--	--	--

ANEXO K. REGISTRO FOTOGRÁFICO

A



B



C

**NOTAS**

- A. Bombos usados en el proceso.
 B. Determinación de sulfuros.
 C. Elección de pH óptimo

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR INFORMACIÓN

ESPOCH

**FACULTAD DE CIENCIAS
 INGENIERÍA QUÍMICA**

MARCELA MARIBEL MORALES TIXI

DISEÑO DE UN SISTEMA DE
 TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
 SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE
 AMBATO

A



B



C



NOTAS

- A. Medición de DBO.
- B. Dosis de PAC y Floculante.
- C. Sólidos sedimentables.

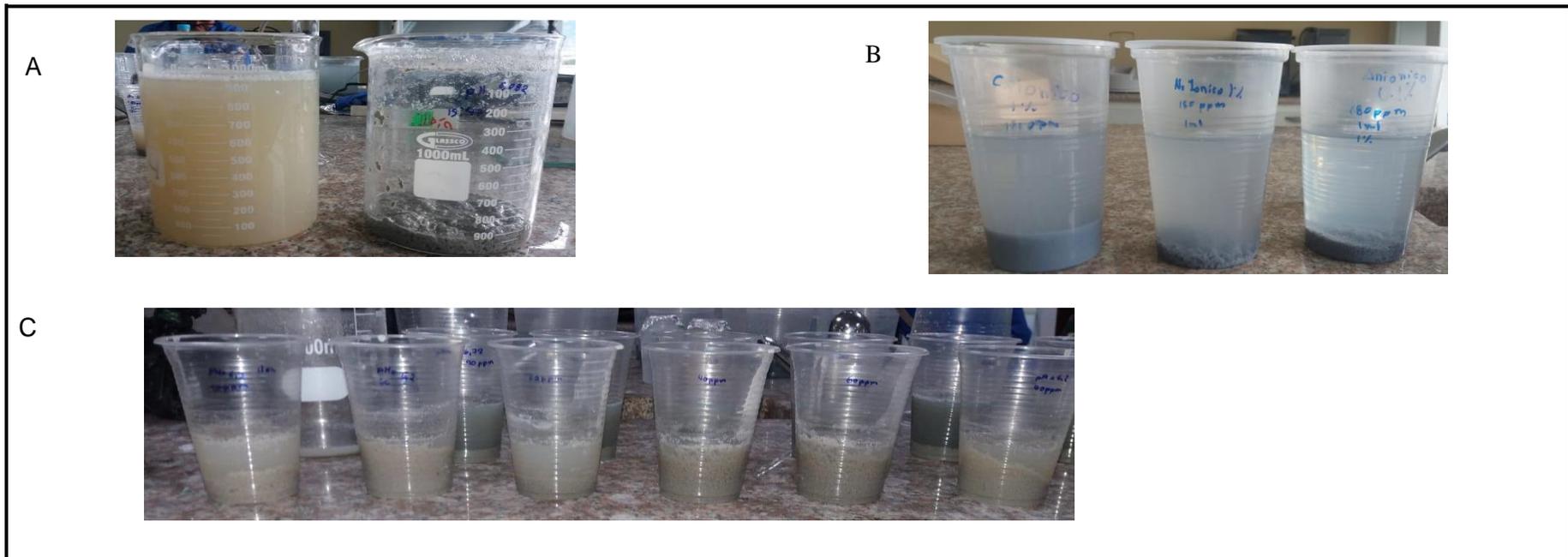
CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR INFORMACIÓN

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERÍA QUÍMICA

MARCELA MARIBEL MORALES TIXI

DISEÑO DE UN SISTEMA DE
 TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
 SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE
 AMBATO



<p style="text-align: center;">NOTAS</p> <p>A. Dosis de PAC óptima.</p> <p>B. Distintos tipos de floculantes.</p> <p>C. Tipos de concentraciones de PAC</p>	<p style="text-align: center;">CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR <u>INFORMACIÓN</u></p>	<p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">MARCELA MARIBEL MORALES TIXI</p>	<p style="text-align: center;">DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO</p>
--	---	--	--

**ANEXO L. CARACTERIZACIÓN FÍSICO -QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL
PROVENIENTE DEL PROCESO DE PELAMBRE.**



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Marcela Maribel Morales Tixi

Fecha de Análisis: 25/02/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Industria Curtiduría San Jacinto.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

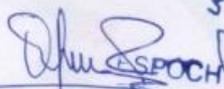
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	12,99
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	2,57
TDS	g/L	2540-C	....	1,37
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	5 000
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	20 800
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	7 300
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	6,1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	7 500
Sulfuros	mg/L	4500-SO ₄ -E	1	832
Sulfatos	mg/L	4500-S ⁻² -E	400	1 300

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ANEXO M. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE CURTIDO.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Marcela Maribel Morales Tixi

Fecha de Análisis: 07/02/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Industria Curtiduría San Jacinto.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

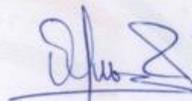
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	3,8
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	9,4
TDS	g/L	2540-C	....	5,1
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	152
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	2 530
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	510
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	5
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	5 550
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,17

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 023-19

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Maribel Morales **INFORME Nº:** 023- 19
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 023 - 19
DIRECCIÓN: Cdla Juan Montalvo **FECHA DE RECEPCIÓN:** 07 - 02 - 19
TELÉFONO: 0989685386 **FECHA DE INFORME:** 12- 02 - 19
NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Agua residual, Curtiduría San Jacinto, Picaihua, Tungurahua **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN: MA - 065-19 Agua residual Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

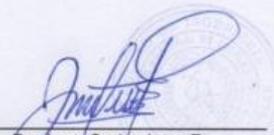
MA -065-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	412,20	N/A	07 - 02 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,17	N/A	07 - 02 - 19

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

ANEXO N. CARACTERIZACIÓN FÍSICO -QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE PELAMBRE DESPUÉS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Marcela Maribel Morales Tixi

Fecha de Análisis: 27/02/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Pelambre, Industria Curtiduría San Jacinto

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

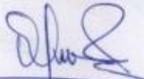
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	6,7
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	2,17
TDS	g/L	2540-C	....	0,5
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	105
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	1 060
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	500
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	2 060
Sulfuros	mg/L	4500-SO ₄ -E	1	54
Sulfatos	mg/L	4500-S ²⁻ -E	400	750

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.


Dra. Gina Alvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



ANEXO O. CARACTERIZACIÓN FÍSICO –QUÍMICA DEL AGUA RESIDUAL PROVENIENTE DEL PROCESO DE CURTIDO DESPUÉS DE LAS PRUEBAS DE TRATABILIDAD.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Marcela Maribel Morales Tixi

Fecha de Análisis: 11/02/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Curtido, Industria Curtiduría San Jacinto.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	6,7
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	2,17
TDS	g/L	2540-C	....	0,41
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	3
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	1 020
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	245
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	1 440
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,01

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

ESPOCH



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA



LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 027-19

INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Maribel Morales
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH
DIRECCIÓN: Cdra Juan Montalvo

INFORME Nº: 027- 19
Nº SE: 027 - 19

TELÉFONO: 0989685386

FECHA DE RECEPCIÓN: 14 - 02 - 19

FECHA DE INFORME: 20- 02 - 19

NÚMERO DE MUESTRAS: 2, Agua residual tratada, Curtiduría San Jacinto, Picaihua, Tungurahua **TIPO DE MUESTRA:**
IDENTIFICACIÓN:

MA - 070-19	Agua tratada sin filtro	Agua
MA - 071-19	Agua tratada con filtro	Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -070-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	3,49	N/A	14 - 02 - 19

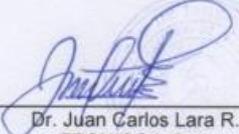
MA -071-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	2,46	N/A	14 - 02 - 19

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TECNICO L.S.A.

- Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

ANEXO P. AVAL DE LA EMPRESA CURTIDURÍA SAN JACINTO



CURTIDURIA SAN JACINTO

Ambato - Tungurahua – Ecuador

Ambato, 13 de Noviembre de 2018

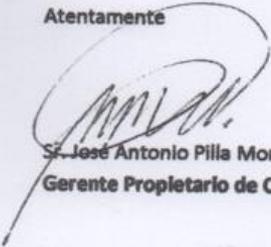
Doctor, _
Bolívar Flores.
DIRECTOR- CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA
Presente.-

De mi consideración:

Atendiendo al oficio No. 1208 IQ.FC.2018, mediante el cual nos solicitan se conceda el aval para la realización del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURIA SAN JACINTO DE LA CIUDAD DE AMBATO" dirigido por la Srta. Marcela Maribel Morales Tixi, portadora de la cédula de ciudadanía No.- 0202294989, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, por medio de la presente tengo a bien hacer conocer que su pedido cuenta con la autorización del Sr. José Antonio Pilla Morales Gerente Propietario de Curtiduría San Jacinto.

Por la favorable acogida, deajo en constancia mi consideración y estima.

Atentamente


Sr. José Antonio Pilla Morales
Gerente Propietario de Curtiduría San Jacinto

ANEXO Q. CERTIFICADO EMITIDO DE LA EMPRESA



CURTIDURIA SAN JACINTO

Ambato - Tungurahua - Ecuador

Ambato 2 de julio de 2019

Yo José Antonio Pilla Morales propietario de la Curtiduría San Jacinto, Certifico que la Srta. Marcela Maribel Morales Tixi con C.I. 0202294989, ha realizado la entrega del trabajo de Titulación y su correspondiente capacitación para el Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la etapa de Pelambre y la etapa de Curtido, así como el manejo e implementación de los equipos de seguridad personal, y disposición final de los residuos.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Antonio Pilla Morales', is written over a horizontal dashed line.

José Antonio Pilla Morales
1801403351
PROPIETARIO