



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO Y OXIDACIÓN DE SULFUROS EN LA CURTIEMBRE PIELS PUMA DE LA CIUDAD DE AMBATO”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JESSICA LILIANA OCLES MORALES

DIRECTOR: ING. CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO. PhD.

Riobamba-Ecuador

2019

©2019, Jessica Liliana Ocles Morales

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
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: “**Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros en la Curtiembre Pieles Puma de la ciudad de Ambato**”, de responsabilidad de la señorita Jessica Liliana Ocles Morales, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes DELEGADO DEL TRIBUNAL	_____	2019-07-08
Ing. César Arturo Puente Gujarro DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	2019-07-08
Ing. Valeria Tapia González MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	2019-07-08

Yo, Jessica Liliana Ocles Morales 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.

Jessica Liliana Ocles Morales.

DEDICATORIA

Primero a Dios por darme una segunda oportunidad de vida cuando estuve cerca de morir por ser luz y esperanza para mí, por permitirme tener aún con vida a mi madre. A mi madre Rosario Ocles quien supo sacar adelante a sus tres hijos con su esfuerzo, empeño y dedicación, por ser un ejemplo de mujer, por ser un pilar fundamental para cumplir mis estudios porque gracias a sus sacrificios he llegado lejos, inculcándome valores que me han forjado como la gran mujer que soy, a mi hermano Marco Antonio Realpes (fallecido), que desde el cielo me guía me cuida me protege y me da la fortaleza para seguir firme hacia mis metas, a mi hermano Jimmy Ocles por estar siempre a mi lado por ser un amigo fiel, por tenerme paciencia, protegerme y por apoyarme a cumplir mis sueños, a mi padrastro Winner Estacio quien llego en un momento difícil para nosotros pero que supo quedarse y ganarse nuestro cariño, quien me apoya siempre me escucha y me aconseja sin esperar nada a cambio. Mi familia es el motor fundamental de mis logros obtenidos en este largo camino hacia el título de Ingeniera Química y aunque no se los diga siempre, los amo con todo mi corazón y daría la vida por ellos.

Jessica

AGRADECIMIENTO

De todo corazón agradezco a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por darme la oportunidad de realizar mis estudios y permitirme conocer grandes docentes que supieron inculcarme el amor hacia mi carrera.

A Dios y a mi familia por su apoyo incondicional por sus consejos y motivación para no desmoronarme en este largo proceso, un sincero agradecimiento a mi Director de trabajo de titulación el Ing. César Puente como también a la Ing. Valeria Tapia por su dedicación, comprensión, paciencia y tiempo brindado para culminar mi trabajo de titulación.

A la curtiembre pieles “PUMA” por abrirme las puertas para realizar mi proyecto de titulación a sus propietarios y trabajadores por la asistencia brindada. De igual forma a la curtiembre Cueros EL AL-CE por permitirme realizar mis pruebas, facilitándome la ayuda de sus trabajadores, reactivos y equipos, por la disponibilidad brindada para que logre ejecutar pronto mi trabajo de titulación y el asesoramiento por parte de sus propietarios.

A la Dra. Gina Álvarez por sus conocimientos brindado para realizar un buen trabajo, al Ing. Marco Chuiza por ser un excelente docente y brindarme su amistad sincera. A mis amigos que tanto me han apoyado y que supieron caminar a mi lado en especial a Juan H, Lisbeth D, Maribel M, Jessenia C, Erika Z, Paola H, Lorena C, Gabriela G, personas importantes en mi vida. Les agradezco a todos de corazón por haber formado parte fundamental de mi vida.

Jessica

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Identificación del problema	1
1.2. Justificación del proyecto	2
1.3. Línea Base del proyecto	4
1.3.1. <i>Antecedentes de la curtiembre pieles “PUMA”</i>	4
1.3.2. <i>Marco Conceptual</i>	5
1.3.2.1. <i>Industria curtiembre</i>	5
1.3.2.2. <i>Principales operaciones en la curtición</i>	5
1.3.2.3. <i>Principales contaminantes en la industria de las curtiembres</i>	11
1.3.2.4. <i>Residuos Líquidos</i>	12
1.3.2.5. <i>Residuos Sólidos</i>	13
1.3.2.6. <i>Aguas Residuales</i>	14
1.3.2.7. <i>Características físico-químicas de las aguas</i>	15
1.3.2.8. <i>Método de Tratamiento de Aguas Residuales</i>	17
1.4. Beneficiario Directos e Indirectos	20
1.4.1. <i>Beneficiarios Directos</i>	20
1.4.2. <i>Beneficiarios Indirectos</i>	20
CAPÍTULO II	
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	22
2.1 Objetivo General	22
2.2. Objetivos Específicos	22
CAPÍTULO III	
3. ESTUDIO TÉCNICO	23
3.1. Localización del proyecto	23
3.2. Ingeniería del proyecto	24
3.2.1. <i>Tipo de estudio</i>	24
3.2.2 <i>Metodología</i>	24
3.2.3. <i>Métodos y técnicas</i>	25
3.2.3.1. <i>Métodos</i>	25

3.2.3.2.	<i>Técnicas</i>	26
3.3	Procedimiento a nivel de laboratorio	37
3.3.1.	<i>Selección de las muestras de aguas</i>	37
3.3.2.	<i>Caracterización inicial del agua residual</i>	38
3.3.2.1.	<i>Parámetros fuera del límite permisible</i>	39
3.3.3.	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	39
3.3.4.	<i>Descripción del procedimiento experimental</i>	40
3.3.4.1.	<i>Agua residual del proceso de curtido</i>	40
3.3.4.2.	<i>Agua residual del proceso de pelambre</i>	46
3.3.5.	<i>Selección del coagulante óptimo</i>	49
3.3.5.1.	<i>Selección del pH óptimo</i>	50
3.3.5.2.	<i>Selección de la dosis óptima de coagulante</i>	52
3.4	Rediseño de la planta de tratamiento	54
3.4.1.	<i>Situación actual de la planta de tratamientos en la curtiembre pieles “PUMA”</i>	54
3.4.2	<i>Selección del caudal de diseño</i>	58
3.4.3.	<i>Diseño del sistema de cribado</i>	59
3.4.4.	<i>Diseño del vertedero de entrada</i>	66
3.4.5.	<i>Diseño del tanque de homogenización de agua residual</i>	72
3.4.6.	<i>Diseño del tanque de coagulación-floculación</i>	72
3.4.7.	<i>Diseño del tanque de Sedimentación</i>	82
3.4.8.	<i>Filtro</i>	87
3.4.9.	<i>Tanque espesador de lodos-recuperación de cromo</i>	92
3.5.	Resultados	95
3.5.1.	<i>Resultados iniciales de la caracterización del agua residual</i>	95
3.5.2.	<i>Propuesta para el rediseño de los equipos de la curtiembre pieles “PUMA”</i>	97
3.5.3.	<i>Evaluación de las resistencias físicas del cuero con cromo comercial y cromo reciclado</i>	103
3.5.4.	<i>Validación del proceso</i>	109
3.5.5.	<i>Operaciones Unitarias en el proceso de tratamiento de las aguas residuales</i>	111
3.5.6.	<i>Diagrama del proceso</i>	113
3.5.7.	<i>Distribución y rediseño de la planta para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros</i>	116
3.5.7.1.	<i>Descripción de las áreas</i>	116
3.6	Análisis económico de la planta	117
3.6.1.	<i>Inversión para maquinaria y rediseño de los tanques</i>	117

3.6.2. <i>Costo producido para el tratamiento de las aguas</i>	122
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	123
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-1 Esquema de los principales contaminantes del agua residual en la curtiembre de acuerdo a las etapas más representativas de producción	12
Tabla 1-3 Condiciones Meteorológicas del Cantón Ambato	23
Tabla 2-3 Condiciones Meteorológicas del Cantón Riobamba	24
Tabla 3-3 Recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras de acuerdo a las mediciones	29
Tabla 4-3 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 5-3 Determinación de Cromo Hexavalente por el método gravimétrico según la NTE INEN 0983	32
Tabla 6-3 Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0973	33
Tabla 7-3 Determinación del contenido de sulfuros	34
Tabla 8-3 Determinación de la conductividad eléctrica para el agua residual de acuerdo a los métodos estándares para examinación del agua (APHA)	35
Tabla 9-3 Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas de acuerdo a la norma mexicana	36
Tabla 10-3 Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 169:98	36
Tabla 11-3 Cronograma para recoger la muestra de agua residual generados en la curtiembre pieles “PUMA”	37
Tabla 12-3 Caracterización inicial del agua residual de curtido recuperada en la curtiembre pieles “PUMA”	38
Tabla 13-3 Caracterización inicial del agua residual de pelambre recuperada en la curtiembre pieles “PUMA”	39
Tabla 14-3 Parámetros de la biodegradabilidad	40
Tabla 15-3 Cálculo del índice de biodegradabilidad de las aguas residuales de curtido y pelambre generadas en la curtiembre pieles “PUMA”	40
Tabla 16-3 Resultados obtenidos para la selección del coagulante optimo del agua de curtido comparando la turbiedad inicial, final y porcentaje de remoción de la turbiedad.	49

Tabla 17-3	Resultados obtenidos para la selección del coagulante óptimo del agua de pelambre comparando la turbiedad inicial, final y porcentaje de remoción de la turbiedad.	50
Tabla 18-3	Check list para evaluar la situación actual de la planta de tratamiento de agua residual en la curtiembre pieles “PUMA”	55
Tabla 19-3	Medición del caudal de diseño por el método volumétrico en la curtiembre pieles “PUMA”	58
Tabla 20-3	Parámetros de diseño para un sistema de cribas de limpieza manual	60
Tabla 21-3	Parámetros de diseño para el vertedero rectangular.	63
Tabla 22-3	Parámetros de diseño para el tanque de homogenización del agua residual	66
Tabla 23-3	Variables de diseño para la instalación del tanque de coagulación y floculación en la curtiembre pieles “PUMA”	72
Tabla 24-3	Condiciones de diseño para la propuesta tecnológica del tanque sedimentador	82
Tabla 25-3	Condiciones de diseño para un filtro de flujo descendente	87
Tabla 26-3	Condiciones de diseño para el tanque espesador de lodos	92
Tabla 27-3	Resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual de curtido recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”	95
Tabla 28-3	Resultados obtenidos de la caracterización inicial del lodo residual de curtido recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”	96
Tabla 29-3	Resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual de pelambre recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”	96
Tabla 30-3	Propuesta tecnológica para el sistema de cribado para el tratamiento de las aguas	97
Tabla 31-3	Propuesta tecnológica para el vertedero donde ingresarán las aguas residuales	98
Tabla 32-3	Propuesta tecnológica para el tanque de homogenización de las aguas residuales	98
Tabla 33-3	Propuesta tecnológica para el tanque de coagulación-floculación para el tratamiento de las aguas	99
Tabla 34-3	Propuesta tecnológica para el Tanque de sedimentación para el tratamiento de las aguas	100
Tabla 35-3	Propuesta tecnológica para el Filtro de las aguas	101
Tabla 36-3	Propuesta tecnológica para el Tanque espesador de lodos	103
Tabla 37-3	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales Resistencia a la Tensión	104

Tabla 38-3	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales Porcentaje de Elongación	106
Tabla 39-3	Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales Lastometría	107
Tabla 40-3	Resultados obtenidos de la caracterización final del agua tratada de curtido, recuperada del tratamiento propuesto	110
Tabla 41-3	Resultados obtenidos de la caracterización final del agua tratada de pelambre, recuperada del tratamiento propuesto	110
Tabla 42-3	Adecuación del área disponible para el rediseño de la planta	117
Tabla 43-3	Instalación del vertedero y sistema de cribado	117
Tabla 44-3	Adecuación del tanque de coagulación-floculación	118
Tabla 45-3	Instalación del sistema de aireación	119
Tabla 46-3	Adecuación del tanque de sedimentación	119
Tabla 47-3	Adecuación del tanque espesador de lodos y recuperación de cromo	120
Tabla 48-3	Instalación de los filtros para las aguas tratadas de cada proceso	120
Tabla 49-3	Costo de mano de obra para el rediseño e instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales	121
Tabla 50-3	Costo total de obra	121
Tabla 51-3	Gasto producido por la operación para el tratamiento de las aguas Residuales de curtido	122
Tabla 52-3	Gasto producido por la operación para el tratamiento de las aguas Residuales de pelambre	122
Tabla 53-3	Gasto producido por la operación para la recuperación del cromo reciclado	122

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-1 Principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de producción de cuero	11
Figura 2-3 Procedimiento para la recolección de muestras de agua residual para canales y colectores	27
Figura 3-3 Procedimiento para la obtención de muestras compuestas de agua residual	28
Figura 4-3 Diagrama de flujo de las instalaciones actuales de la planta de tratamiento	57
Figura 5-3 Diagrama del proceso para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales producidas en la curtiembre pieles “PUMA”	114

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.	
Fotografía 1-3	Dosificación de los diferentes coagulantes añadidos para el tratamiento del agua residual producida en la curtiembre pieles “PUMA”	41
Fotografía 2-3	Selección del pH óptimo para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido	41
Fotografía 3-3	Selección de la dosis óptima de PAC para el proceso de4 coagulación-floculación del agua residual de curtido	42
Fotografía 4-3	Selección de la velocidad óptima de agitación para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido	43
Fotografía 5-3	Cálculo del tiempo de retención hidráulica para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido	43
Fotografía 6-3	Proceso de aireación para el tratamiento del agua residual de curtido	44
Fotografía 7-3	Proceso de filtración para el tratamiento del agua residual de curtido	44
Fotografía 8-3	Proceso de secado del lodo para la recuperación de cromo	45
Fotografía 9-3	Cuero curtido con cromo comercial (negro) y cromo reciclado (café), producto terminado	46
Fotografía 10-3	Proceso de aireación del agua de pelambre a diferente concentración de sulfato de manganeso	46
Fotografía 11-3	Selección del pH óptimo para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre	47
Fotografía 12-3	Selección de la dosis óptima de PAC para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre	47
Fotografía 13-3	Selección de la velocidad óptima de agitación para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre	48
Fotografía 14-3	Proceso de aireación para el tratamiento del agua residual de pelambre	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-3 Resultados obtenidos para la selección del pH óptimo del agua de curtido comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y el pH.	50
Gráfico 2-3 Resultados obtenidos para la selección del pH óptimo del agua de pelambre comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y el pH.	51
Gráfico 3-3 Resultados obtenidos para la selección de la dosis de coagulante óptimo para agua de curtido comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y la cantidad de coagulante.	53
Gráfico 4-3 Resultados obtenidos para la selección de la dosis de coagulante óptimo para agua de pelambre comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y la cantidad de coagulante.	54
Gráfico 5-3 Comparación del caudal vs volumen de agua residual	67
Gráfico 6-3 Resultados de la media de la resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y lastometría comparada con el tipo de cromo	108

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	Caracterización inicial de las aguas residuales del proceso de curtido
Anexo B	Caracterización inicial de las aguas residuales del proceso de pelambre
Anexo C	Caracterización final de las aguas tratadas del proceso de curtido
Anexo D	Caracterización final de las aguas tratadas del proceso de pelambre
Anexo E	Planos de la planta actual de la curtiembre pieles “PUMA”
Anexo F	Proceso de recuperación de cromo III
Anexo G	Proceso de curtido de pieles en la curtiembre cueros EL AL-CE
Anexo H	Pruebas físicas del cuero curtido con cromo comercial y cromo reciclado
Anexo I	Diseño del Sistema de cribas
Anexo J	Diseño del vertedero de entrada
Anexo K	Diseño del tanque de homogenización
Anexo L	Diseño del tanque de Coagulación-aireación
Anexo M	Diseño del tanque de Sedimentación
Anexo N	Diseño de los Filtros
Anexo O	Diseño del tanque espesador de lodos - recuperación de cromo
Anexo P	Distribución y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros

RESUMEN

Se rediseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir los sulfuros del agua de pelambre y recuperar el cromo III del agua del proceso de curtido para su posterior reutilización. En este trabajo se establecieron tres etapas: Primera etapa, la caracterización de las aguas de los diferentes procesos, en las que se determinan valores fuera de la normativa para aguas de pelambre como: demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y sulfuros; para aguas del proceso de curtido, parámetros fuera de norma como: demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y Cromo hexavalente. Segunda etapa; ejecución de las pruebas experimentales de coagulación-floculación, en las siguientes condiciones: concentración de policloruro de aluminio (PAC) de 20 mg/L para aguas de curtido y 40 mg/L en aguas de pelambre, con pH de 9. Posteriormente se realiza la sedimentación, aireación y filtración. Tercera etapa; precipitación de Cromo III en presencia de ácido sulfúrico (1:10) con pH aproximado de 3. Como resultado, en aguas de pelambre se obtuvo un porcentaje de remoción para: sulfuros igual a 95,9%, demanda química de oxígeno igual a 91,8%, demanda bioquímica de oxígeno igual a 99,3%, mientras que para aguas de curtido se obtuvieron porcentajes de remoción para: Cromo total igual a 99,8%, demanda química de oxígeno igual a 79,5%, demanda bioquímica de oxígeno igual a 97,5%. Con el Cromo III reciclado implementado en el proceso de curtido al 30% se obtuvieron pieles a las que se realizaron las siguientes pruebas físicas: Resistencia a la tensión con medias de 1461,48 N/cm²; Porcentaje de elongación, un promedio de 63,75%; Lastometría, valor medio de 9,52 mm. Se concluyó que el Cromo reciclado en este porcentaje dio buenas propiedades físicas al cuero. Se recomienda implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales, evitando descargar el agua contaminada proveniente de las etapas de curtido y pelambre.

Palabras Claves: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, LASTOMETRÍA>, <RESISTENCIA A LA TENSIÓN>, <PORCENTAJE DE ELONGACIÓN>, <TRATAMIENTO FÍSICO>, <CROMO RECICLADO>, <SULFUROS>.

ABSTRACT

The wastewater treatment system was redesigned to reduce the sulphides of the hair water and to recover the chromium III from the water of the tanning process for its subsequent reuse. In this work, three stages were established: First stage, the characterization of the waters of the different processes, in which values outside the regulations are determined for wastewater such as: chemical oxygen demand, biochemical demand of oxygen and sulphides; for waters of the tanning process, out of standard parameters such as: chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand and hexavalent chromium. Second stage; execution of the experimental coagulation-flocculation test, under the following conditions: concentration of aluminium polychloride (PAC) of 20 mg/L for tanning waters and 40 mg/L in waters of hair, with a pH of 9. It is then carried out sedimentation, aeration and filtration. Third stage; precipitation of Chromium III in the presence of sulfuric acid (1:10) with an approximate pH of 3. As a result, in scrub waters a removal percentage was obtained for: sulphides equal to 95,9%, chemical oxygen demand equal to 91,8%, oxygen biochemical demand equal to 99,3%, while for tanning waters removal percentages were obtained for: Total chromium equal to 99,8%, chemical oxygen demand equal to 79,5%, biochemical oxygen demand equal to 97,5%. With the recycled chromium III implemented in the tanning process at 30%, skins were obtained to which the following physical tests were carried out: Resistance to tension with averages of 1461,48 N/cm²; Elongation percentage, an average of 63,75%; Lastometry, average value of 9,52 mm. It was concluded that the recycled chromium in this percentage gave good physical properties to the leather. It is recommended to implement the wastewater treatment system, avoiding the discharge of contaminated water from the tanning and furling stages.

Key Words: <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <LASTOMETRY>, <STRESS RESISTANCE>, <PERCENTAGE OF ELONGATION>, <PHYSICAL TREATMENT>, <RECYCLED CHROME>, <SULPHIDES>.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La industria de la curtiembre en el Ecuador constituye una actividad económica importante, ya que según datos recopilados en la plataforma del INEC, actualmente se procesan alrededor de 300000 pieles anuales lo que genera un rubro económico de 150 millones de dólares en el PIB, y según el mismo organismo de esta cantidad alrededor de 75,80% de pieles curtidas se procesan en la provincia de Tungurahua con lo cual en esta provincia se condensan la mayoría de empresas dedicadas a esta actividad industrial (INEC, 2018).

(IPPC, 2011, pp.3-4), en el estudio realizado a la contaminación de las cuencas del río Matanza afirma que el problema asociado con el creciente aumento de la curtiembre en el país, es la alta contaminación que estas empresas generan, ya que producen gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y efluentes gaseosos por efecto de los procesos de transformación de la piel bruta en cuero terminado, que suelen ser operaciones unitarias complicadas que requieren de químicos altamente contaminantes y de un aporte energético elevado.

(Rozzi, 2013, pp.8-10), indica que la mayor cantidad de estos efluentes son líquidos generados debido a la no impregnación de las sustancias en la flor de la piel, generalmente en la industria curtiembre del Ecuador aún se manejan procesos de transformación que son artesanales y que no tienen un buen rendimiento, con esto las sustancias adicionadas no se fijan totalmente en la piel y se depositan en el agua.

(Roest, 2015, pp.273-280), estudió la influencia de las curtiembres en la calidad de agua; observando que al encontrarse en solución los agentes químicos, se vuelven más reactivos y pueden generar reacciones paralelas con las otras sustancias depositadas en el agua creando un espectro de contaminación mayor, llegando a afectar cuerpos de agua dulces que son en donde se depositan estos efluentes industriales, con lo que dañaran la vida acuática, la flora y fauna de los sectores aledaños.

Según estudios previos, realizados por (Roest, 2015, pp.273-280), indicó que los productos que mayor contaminación causan derivados de la actividad industrial de la curtiembre son los sulfuros y los iones cromo disueltos, los primeros iones mencionados son productos adicionados en la etapa de pelambre y que se adicionan en exceso para que elimine todas las impurezas del pelo, en la mayoría de formulaciones para esta etapa se hace un uso discriminado de esta sustancia que tiene un índice de contaminación elevado.

Mientras que los iones cromo, ya sean el ion Cr^{3+} y el ion Cr^{6+} son los iones que más se utiliza para transformar la piel en la etapa de curtido, el principal problema con estos iones es que son elevadamente reactivos y se pueden combinar generando óxidos de cromo que afectan a la salud de las personas, animales y plantas que usen el agua generando así casos de muertes de personas por intoxicación con estos químicos (Roest, 2015, pp.273-280).

(Cote, 2017, pp.189-196) dice que: “Por lo que es un problema fundamental la contaminación generada por esta actividad industrial, pero en el país no se está tomando en cuenta los problemas ambientales asociadas con las etapas de transformación, como resultado de esto cada vez más se están presentando cuadros con alto impacto ambiental en las poblaciones cercanas a las curtiembres que tienen que ser remediados o evitar su generación.”

Al aumentarse la concentración de iones en el agua, los residuos también quedan fijados en el suelo, en las plantas, entrando así a los organismos vivos que consumen esa agua, generándose una contaminación cruzada a escalas desproporcionadas que contribuyen a dañar los parámetros de calidad del agua con lo que no se podrá realizar su disposición final en cuerpos de agua dulce circundantes a la empresa (Cote, 2017, pp.189-196).

Todos los factores antes mencionados son problemas a solucionar, ya que no se puede seguir con la misma tendencia caso contrario en años posteriores podrán traer problemas ambientales más graves, como lluvias ácidas, destrucción de cultivos, daño a la salud de animales y personas de las comunidades cercanas a la fábrica, disminuyendo la calidad de vida y encareciendo los recursos no renovables.

1.2. Justificación del proyecto

La curtiembre Pielés “PUMA” es una empresa mediana ubicada en el cantón de Ambato sector Los Tres Juanes en la zona centro del país, dedicada a la producción de pieles bovinas y ovinas destinadas para la confección de calzado, marroquinería, prendas de vestir y otros artículos de

cuero, con lo cual la producción mensual ronda las 1000 bandas y realizan todas las etapas de producción comenzando desde la etapa de salado y terminando en cueros tinturados.

Al momento la planta cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, que no está en funcionamiento debido a un inadecuado diseño, por lo que todos los efluentes líquidos producidos en la planta son depositados directamente a la quebrada que pasa por los alrededores de la planta sin ningún tipo de estudio para ver qué elementos contiene el agua que están desechando y sin una caracterización físico-químico estas pueden tener en su composición sustancias que dañen los cuerpos dulces.

Este problema no resuelto está provocando quejas de los moradores de la empresa, así como también con los nuevos ajustes a la normativa ambiental en el país la planta industrial se puede enfrentar a multas derivadas de la contaminación generada, lo que no es conveniente para la planta ya que podría traer consigo pérdidas económicas o el cese de actividades de la planta.

El fin de realizar la mitigación del impacto ambiental, vendrá asociada con que los productos químicos disueltos en el agua se podrán recuperar y reintroducir al proceso productivo, generando ahorros a la empresa por rubros de adquisición de productos químicos, este ahorro podrá sustentar el gasto generado por la implementación de un sistema de tratamientos de residuos líquidos.

Para las actividades industriales en la actualidad, es un punto importante no generar desechos que afecten al ecosistema y además tener una buena relación con la comunidad cercana a la planta, por lo que la implementación de la presente investigación ayudará a que la curtiembre pueda aplicar a mercados en donde como requisito fundamental se debe cumplir con certificados tipo huella verde o certificados del ministerio del ambiente.

Al poder acceder a estos mercados que principalmente son europeos la planta tendrá mayores réditos económicos y se podrá producir cuero de mejor calidad que logre cumplir con los parámetros requeridos haciendo que mayor cantidad de empresas pongan interés en producción más limpia y en mitigación ambiental con lo que se destinara más recursos a investigaciones de este tipo.

De lo mencionado anteriormente, se puede acotar las necesidades que está teniendo el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Tungurahua, que está promoviendo el uso de tecnologías limpias en toda la extensión territorial de la provincia, por lo que en combinación con

universidades del país buscan la disminución del impacto generado por las curtiembres, principal actividad económica de Tungurahua.

Esto permitirá a la provincia conservar su flora y fauna natural, cuidando así zonas protegidas, además de dinamizar la economía local ya que el máximo aprovechamiento en la industria de la curtiembre ayudará a aumentar el flujo de producción, derivando en generación de empleo y aporte de divisas a las entidades locales, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

1.3. Línea Base del proyecto

1.3.1. Antecedentes de la curtiembre pieles “PUMA”

La curtiembre artesanal pieles “PUMA” lleva en el mercado de venta y producción de cuero 5 años, en la cual la curtiembre se ha desarrollado con la venta de cueros y ovinos en el mercado nacional, sin posibilidad de exportar sus productos, ya que desde la fundación y primera operación de la planta hasta la actualidad la curtiembre es de tipo artesanal, logrando adquirir con el paso de los años más equipos; con lo que se aumentó su producción en la actualidad.

En la actualidad la curtiembre artesanal pieles “PUMA”, es gerenciada por su propietario Sr. Ángel Cárdenas, quien fundo la empresa hace 5 años, en la actualidad con incorporación de una nueva línea de producción de cuero acabado, la empresa produce alrededor de 500 pieles entre ovinas y caprinas, con lo que en el mercado realizan la venta de 1000 bandas de piel; que son destinadas únicamente para el mercado nacional.

Los principales compradores de la curtiembre artesanal pieles “PUMA” son los productores de calzado y de ropa del cantón Ambato y del cantón de Cevallos, que son los principales cantones productores de calzado y ropa en la provincia de Tungurahua; aún en la actualidad la planta cuenta con procesos artesanales de transformación de las pieles en cuero terminado, lo que hace que la planta no pueda generar un mayor rédito económico.

Los principales actores económicos que se ven involucrados en la producción de la curtiembre artesanal pieles “PUMA”, son el propietario y su familia, debido a que el negocio es familiar, además se ven beneficiados los 7 operarios que manejan los bombos y las demás máquinas de producción; además de una secretaria que es la que se encarga de la parte administrativa de la planta; indirectamente se ven beneficiados los productores de calzado y ropa.

1.3.2. Marco Conceptual

1.3.2.1. Industria curtiembre

(Soler, 2015, pp.15-18), dice que es la industria destinada a producir cueros que es un material imputrescible utilizando como materia prima las pieles de diferentes animales domésticos o salvajes, con el uso de sustancias químicas que son conocidas como agente curtiente, además de emplear otras sustancias químicas en diferentes procesos que constituyen la línea de operación de las industrias, por lo general son procesos por lotes ya que en cada etapa la piel permanece en los bombos de 2 a 24 horas.

La mayor cantidad de cueros producidos por las industrias curtiembres son destinados a la confección de prendas de vestir en general para calzado, o para artículos denominados de lujo ya que el cuero en la actualidad tiene alto costo; en general el cuero mayormente utilizado es el obtenido de vacas o de borregos ya que es el que mayor desarrollo ha tenido a lo largo de los años; por lo que la mayoría de industrias utilizan esta materia prima (Soler, 2015, pp.15-18).

1.3.2.2. Principales operaciones en la curtición

➤ *Remojo*

(Adzet, 2015, pp.45-49), argumenta que el remojo es la operación por la cual se da la adición de agua a las pieles en bruta que llegan a las curtiembres, los dos objetivos que se persiguen con esta operación son: rehidratar la piel que ha perdido su humedad inicial por el desuello de los animales y limpiar las pieles eliminando las grasas, suciedad que acompañan al animal; esto se hace lo más pronto posible para evitar que las impurezas dañen la piel.

(Adzet, 2015, pp.45-49), explica que esta operación se realiza con el empleo sobre la piel agua, tensoactivos, bactericidas y en ocasiones enzimas especializadas de acuerdo a la cantidad de recursos con los que cuente la curtiembre, adicionados estos productos químicos en un bombo se debe realizar el efecto mecánico; por lo general para lograr un buen efecto de remoción se utiliza 200% de agua y de 0,5 a 2% en peso de bactericidas y tensoactivos, el proceso dura entre 60 a 90 minutos.

➤ *Pelambre y calero*

El pelambre es la operación por la cual se elimina el pelo de la piel con el uso de sustancias químicas que producen el hinchamiento de la piel, lo que se hace con este proceso es realizar la catálisis de las fibras de lisina constituyentes de las proteínas de la piel, este depilado se realiza manualmente o con el empleo de bombos, aunque en la actualidad más común es el uso de bombos ya que el proceso manual lleva mucho tiempo y empleo de personas (Adzet, 2015, pp.45-49).

(Adzet, 2015, pp.45-49), indica que para realizar el pelambre de las pieles se utiliza sulfhidrato de sodio o sulfuro de sodio, además de que se combina con hidróxido de calcio (cal apagada) para realizar de una vez el proceso de calero, por general se prepara el baño en base al peso de las pieles remojadas con 3% de sulfuro de sodio, 2% de carbonato de calcio y 200% de agua a temperatura ambiente; este proceso toma de 24 a 48 horas.

➤ *Descarnado*

(Cordero, 2011, pp.71-78), analiza que el descarnado es la operación por la cual se separa el tejido adiposo y subcutáneo con el empleo de cuchillas automáticas o manuales, los dos objetivos que se persiguen con esta operación son: reducir el tamaño de las pieles para lograr una mayor penetración de las sustancias químicas en los demás procesos y el lograr conseguir un tamaño y calibre estándar para facilitar la manipulación de las pieles en las demás etapas.

En pieles vacunas de gran tamaño además se debe incluir el divido, que corresponde a un corte más profundo en el tejido subcutáneo, pero se realiza después del proceso de desencalado lo que evita la carbonatación de la piel que hace que sea difícil manipular por los operarios sin el uso de guantes; esta etapa puede llevar de 10 a 20 minutos de acuerdo al calibre al que se busque ajustar las pieles que depende del uso que se le dará al cuero (Cordero, 2011, pp.71-78).

➤ *Desencalado y rendido*

(Soler, 2010, pp.45-50) en el libro de procesos de curtido indica que en el desencalado se busca eliminar la cal o productos alcalinos que se han fijado al interior de la piel en las etapas previas, con esto se produce el deshinchamiento de las pieles, el rendido consiste en la aplicación de enzimas consiguiendo una peptización de la piel y una eliminación de moléculas como grasas o proteínas no fibrosas que no han sido eliminadas en las etapas anteriormente mencionadas y que producen problemas.

(Soler, 2010, pp.45-50) dice que el producto más utilizado en la actualidad para el desencalado y rendido es el sulfato de amonio, aunque en industrias más desarrolladas utilizan enzimas selectivas, el objetivo que se persigue con el desencalado es la degradación topoquímica de las fibras internas de colágeno sin producir la solubilización de las mismas, con lo que se reduce la histéresis del hinchamiento producido por el aumento de pH de las pieles.

➤ *Desengrase*

El proceso de desengrase consiste en la eliminación del contenido graso de la piel, esto se hace debido a que las grasas interfieren en los procesos de curtición además de que generan la putrefacción de la piel ya que sirven de alimento a los microorganismos presentes en el ambiente, también en presencia de sosa o bases fuertes se producen jabones que interfieren en la reacción normal del colágeno con estas sustancias; además de que las grasas no son solubles en agua lo que ocasiona que impiden el efecto de las sustancias sobre la piel (Soler, 2010, pp.45-50).

(Soler, 2010, pp.45-50), analiza que en el desengrase se prepara un baño con tensoactivos y agua a 30 o 40 °C; esto hace que se produzca la emulsión de las grasas y su consiguiente eliminación, aunque es un proceso único técnicas probadas en donde se adiciona baño de tensoactivos combinados con agua caliente a continuación de cada una de las etapas mencionadas anteriormente, estos tensoactivos añadidos deben tener propiedades desengrasantes para mejorar la eficiencia del proceso.

➤ *Piquel*

(Tancous, 2015, pp.45-49), argumenta que el piquel consiste en la adición de ácidos que pueden ser orgánicos o minerales para la eliminación de los álcalis que no se han eliminado en el proceso de desencalado, estos álcalis se encuentran ligados en la parte interior del colágeno; además que ayuda a la interrupción del proceso normal enzimático de la piel, cuando se realiza la curtición al vegetal no es necesario la operación de piquel por las características del agente curtiente.

El piquel se prepara con agentes químicos que puedan bajar el pH del baño a valores entre 3,5 o 4; pero no es recomendable utilizar sustancias ácidas ya que produce el hinchamiento de la piel, lo que ocasiona problemas al momento de curtir creando una sobrecurtición de la piel, las sales más comúnmente utilizadas son el cloruro de sodio que es el de menor costo y el sulfato de sodio; una formulación típica de este proceso es utilizar 1,5% preparado en peso de la sal y 100% de agua (Tancous, 2015, pp.45-49).

➤ *Curtición*

(Tancous, 2015, pp.45-49), dice que la curtiembre es el proceso por el cual se estabiliza la piel frente a los ataques bacterianos y a los procesos normales de degradación, esto se logra con el uso de agentes curtiembes ya sean de origen mineral o vegetal; en las industrias en la actualidad el agente curtiembes más común es el óxido de cromo; debido a su alto poder contaminante se busca reemplazarlo por curtiembes vegetales como por ejemplo la tara y el quebracho, pero no se ha logrado conseguir los resultados apropiados para aplicarlos a nivel industrial.

Esta etapa es la más importante en la producción de cuero a nivel industrial, ya que le confiere al cuero las propiedades características como son: tacto, plenitud y las resistencias físicas requeridas para el control de calidad, existen otras formas de curtiembre que se denominan mixtas, en donde en combinación del cromo con agentes curtiembes vegetales o minerales se busca emular las características normales del cuero disminuyendo la cantidad de cromo utilizado normalmente en el proceso de curtiembre de las pieles (Tancous, 2015, pp.45-49).

(Tancous, 2015, pp.45-49), explica que el proceso típico que se emplea en la curtiembre es la adición de 8% de sal de cromo preparada en base al peso de la piel, 40% de agua y en ocasiones 2% de agente enmascarante; el proceso dura entre 4-6 horas y al final se obtiene wet blue que puede ser comercializado de esa forma o pasar a los procesos de acabado en húmedo, para curtiembes vegetales se deben utilizar mayor cantidad de curtiembes llegando a preparar soluciones al 15%.

➤ *Neutralización*

(Rivera, 2011, pp.80-82), argumenta que el objetivo fundamental del proceso de neutralización es retirar los ácidos que contiene la piel y que pueden crear hidrólisis lenta de la proteína lo que disminuye la resistencia física del cuero, el ácido más comúnmente encontrado en la piel es el ácido sulfúrico; el cual se adiciona a la piel y se fija en etapas anteriores a la curtiembre, además se pueden encontrar ácidos orgánicos muy fuertemente ligados a la piel.

(Tancous, 2015, pp.45-49), en el libro de manual de la curtiembre explica que el método básico de trabajo es producir la reacción de los cationes libres con álcalis (bases) lo que genera que el ácido se convierta en su sal conjugada que es muy soluble y se puedan eliminar en los baños del neutralizado, en general se utilizan bicarbonato sódico y amoníaco, o formiato y acetato sódicos, las formulaciones más comunes para esta operación consiste en preparar un baño con 200% de

agua en base al peso de la piel, de 0,3 a 0,5% de ácido acético y 0,2 a 0,25% de tensoactivos; esta operación dura aproximadamente de 30 a 60 minutos.

➤ *Tintura*

(Grozza, 2014, pp.315-320), ostenta que es el proceso por el cual se le añade colorantes a la piel curtida para cambiar el color normal; estos colorantes o anilinas son iguales a los que se añaden en la industria textil por lo cual el proceso no rinde demasiado dado que las pinturas no logran impregnarse en su totalidad en la piel, existe una gran variedad de productos que se pueden aplicar a la piel, entre los más empleados están los colorantes ácidos, colorantes de complejo metálico, colorante sulfurosos, entre otros.

En los procesos de tintura entra en contacto la piel con los colorantes en un baño con abundante agua, pero se añade el agua entre 60-70 °C, con el fin de regular el pH de impregnación en la piel el resultado de la tintura es proporcional a los resultados que se hayan conseguido en la curtición, neutralización y recurtición de la piel siendo la primera la operación más importante que se regula para controlar la calidad de la piel (Grozza, 2014, pp.315-320).

➤ *Engrase*

(Grozza, 2014, pp.315-320), analiza que esta operación consiste en la aplicación de sustancias engrasantes, se busca que la piel no quede rígida por efecto de la cantidad de agua que ha sido eliminada de la misma y con esto se rompan las fibras, destruyendo el cuero, en ausencia de agua la característica normal de las fibras de colágeno es que se unen formando enlaces peptídicos como consecuencia de que a mayor temperatura la reactividad de las pieles aumenta; esto genera fricción en las fibras de la piel.

Los principales productos empleados en el engrase de las pieles son productos de base derivados de trioleinas obtenidas de aceites vegetales, además aceites y alcoholes, aceites extraídos de los pescados, parafinas, lanolinas, aceites minerales derivados de actividades petroquímicas, también se emplean sustancias combinadas como por ejemplo del uso de aceites sulfitados, sulfonados, sulfilados, este proceso se realiza a 40°C para buscar la emulsión de las grasas (Grozza, 2014, pp.315-320).

1.3.2.3. Principales contaminantes en la industria de las curtiembres

➤ Identificación de las fuentes de contaminación

(Hardy, 2014, pp.4117-4120), en el estudio de los impactos ambientales generados en las curtiembres interpreta que la industria de la curtiembre es un alto foco de contaminación industrial, ya que la composición de sus residuos es muy variada, lo que incluye contaminantes orgánicos, minerales, metales, entre otros, entre los contaminantes que mayormente se desechan en la producción de cuero se tienen: pelo, pequeños trozos de piel y carne, sangre, sales disueltas, sales de cromo, sulfuros, grasas, hidróxido de calcio entre otros.

Los contaminantes en los efluentes se presentan en estado líquido, sólido y gaseoso, de estos los más significativos son residuos en estado líquido o de disolución, pero los residuos sólidos y gaseosos se presentan en etapas específicas; el principal problema es el uso excesivo de agua para preparar los baños, los cuales si son tratados producirán lodos altamente tóxicos generándose así un nuevo problema en la disposición final del sólido, en la figura 1-1 se muestra un esquema de los principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de transformación de la piel (Hardy, 2014, pp.4117-4120).

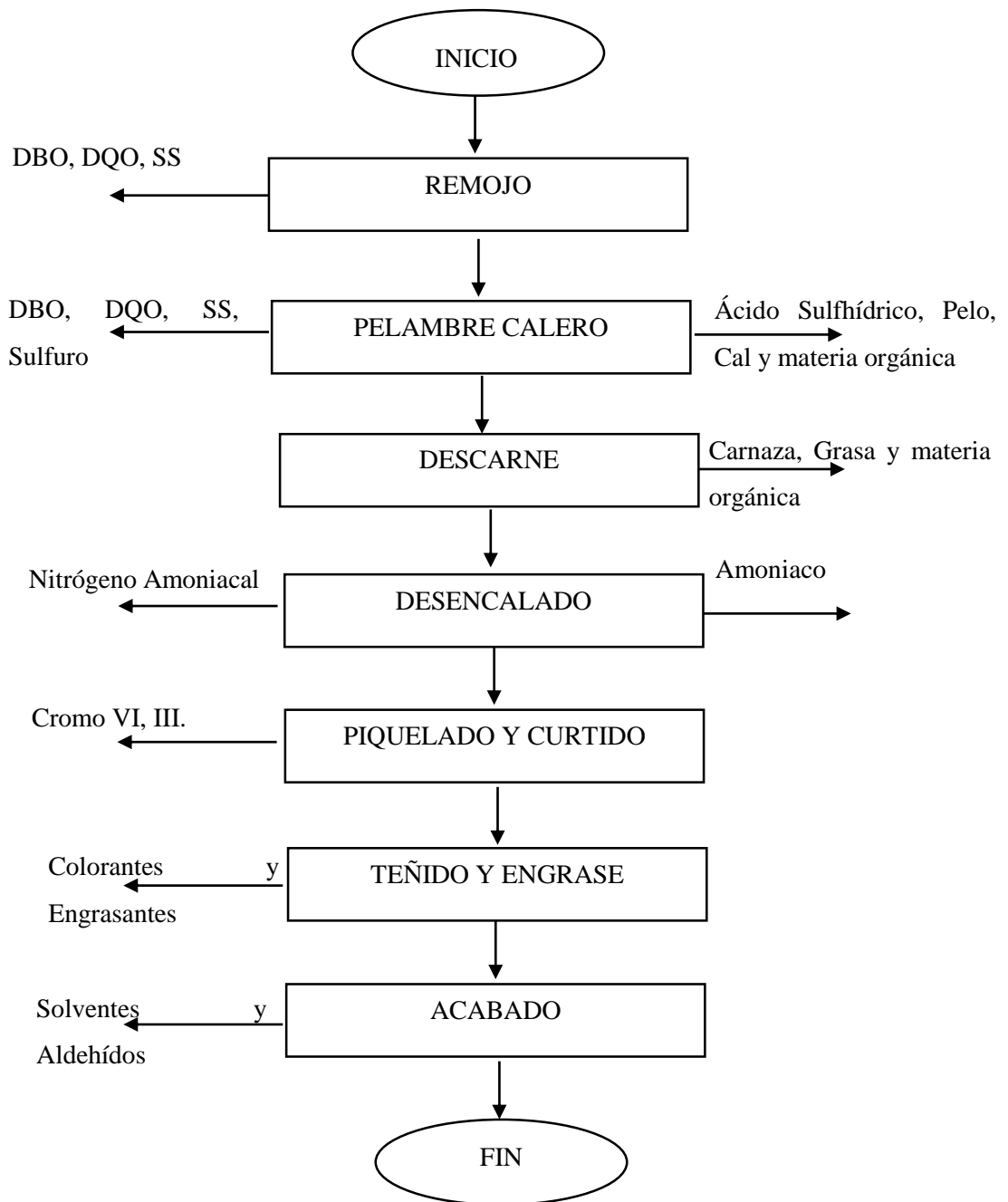


Figura 1-1: Principales contaminantes de acuerdo a cada etapa de producción de cuero.

Fuente: (Hardy, 2014)

1.3.2.4. Residuos Líquidos

(Mylchreest, 2012, pp.19-25), indica que la mayoría de procesos en la transformación de la piel se hace en medio acuoso, lo que hace fundamental el uso de agua, como consecuencia de esto los residuos líquidos son los que más se producen en las curtiembres, estos residuos aumentan de manera considerable la demanda bioquímica de oxígeno y la carga de sólidos disueltos en el agua; en la tabla 1-1 se muestra los principales componentes del agua residual en las curtiembres.

Tabla 1-1: Esquema de los principales contaminantes del agua residual en la curtiembre de acuerdo a las etapas más representativas de producción

Parámetros de contaminación	Efluente total	Remojo	Pelambre	Desencalado y Rendido	Curtición	Restantes
DBO ₅ (kg / Tn)	75-90	7-9	52-63	2,5	1	11,5-14,5
DQO (kg / Tn)	200-220	30-33	110-120	6	2	50-58
Material Oxidable (kg / Tn)	110-130	14-17	70-82	-	-	14
Sólidos Suspendidos (kg / Tn)	140	7	77	-	-	56
Salinidad (kg / Tn)	250-350	150-210		20-30	60-90	17-25
Toxicidad (kg / Tn)	2,5	-	1,9	-	0,6	-

Fuente: (Mylchreest, 2012).

Para analizar de una manera más amplia los contaminantes líquidos que se eliminan en la producción de cuero, se debe tener en cuenta tres etapas que son las que mayor contaminación producen: ribera, piquel y curtiembre y post curtiembre (Mylchreest, 2012, pp.19-25).

➤ *Ribera*

Los contaminantes que se desechan en el agua en esta etapa son (Mylchreest, 2012, pp.19-25):

- Residuos sólidos adheridos a la piel que se producen en el remojo, estos generan sólidos suspendidos y DBO₅, además de proteínas y grasas que constituyen la piel y se desechan en el divido.
- Sulfuro: Desprendido en el proceso de pelambre, que por su naturaleza reductora disminuye el oxígeno disuelto en el agua; además puede generar reacciones que

produzcan ácido sulfhídrico que en concentraciones elevadas pueden producir daños a la salud de las personas o animales que entren en contacto con esta sustancia.

- Cal: Esto se genera en la etapa de calero, al no ser poco soluble en agua crea el aumento de los sólidos suspendidos por efecto del uso de este reactivo en exceso.
- Salinidad: Se da por la adición de sal común en la etapa de remojo.
- Nitrógeno Amoniacal: Es una característica normal de las aguas residuales desechadas de la curtiembre, y se produce por la adición de sulfato de amonio en el desencalado, además que otra cantidad de este nitrógeno es aportado por la degradación enzimática de los residuos sólidos de la piel (carnazas, grasas).

➤ *Curtición*

(Mylchreest, 2012, pp.19-25), analiza que los baños desechados de estas etapas influyen en la salinidad y toxicidad del agua residual, esto debido al uso de sales de cromo para la curtiembre, el cromo trivalente reacciona con el agua y forma cromo hexavalente mismo que es considerado como una sustancia de alta toxicidad, este cromo produce enfermedades hepáticas en animales y personas que consuman esta agua, por lo que la presencia de cromo en el agua es el problema mayor de la contaminación generada por las curtiembres.

➤ *Post Curtición*

(Mylchreest, 2012, pp.19-25), estudia que los procesos de post-curtición que incluyen las etapas de neutralizado, recurtido, teñido y engrase, no son un problema al momento de realizar la curtiembre de las pieles, ya que aportan cantidades relativamente bajas de DBO₅, DQO y sólidos totales en relación a las anteriores etapas, los contaminantes que más se producen en esta etapa son los sólidos suspendidos, los que provienen de virutas que se han quedado en el agua después del raspado, los que son fácilmente eliminados con cribas, la etapa de post curtiembre aporta únicamente el 5% de la contaminación generada en las curtiembres y no son necesarias realizar un tratamiento de recuperación del agua.

1.3.2.5. Residuos Sólidos

(GreenPeace, 2013, pp.21-31), analiza que el proceso de transformación de la piel en cuero representa el 50% de la cantidad de materia prima inicial, los restantes 50% son eliminados como residuos sólidos, los cuales pueden ser residuos sólidos sin curtir (procedentes de la etapa de

ribera), residuos sólidos curtidos (procedentes de la curtición) y residuos de las plantas depuradoras de agua (sólidos generados por el tratamiento de agua residual).

De estos residuos los más importantes son los generados en la etapa de divido, ya que se arranca de la piel el tejido subcutáneo, los principales componentes de la carnaza son: agua (78-82%), proteínas (5-10%), grasas (7-12%) y cenizas (4-5%), estos residuos son fáciles de aprovechar ya que los procesos de degradación enzimática son lentos por efecto del pH alto que presentan y pueden durar sin ningún tratamiento hasta 15 días (GreenPeace, 2013, pp.21-31).

1.3.2.6. Aguas Residuales

(García, 2014, p.2), define como agua residual al fluido de disposición diverso que se origina de empleo municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de alguna otra condición, estas pueden ser privadas o públicas, estas aguas simbolizan un alto riesgo para la población y por ende deben ser excluidas ya que contienen una considerable dosis de componentes y/o microbios

Esta definición comprende aguas de diferentes procedencias, citadas a continuación (García, 2014, p.2):

- ***Aguas residuales domésticas o aguas negras:*** resultan de los excrementos y micción humana, del lavado individual, la cocina y de la higiene del hogar. Estas pueden englobar una alta porción de elemento orgánico y microorganismos, así como sobrantes de detergentes, etc. (García, 2014, pp.3-4).
- ***Aguas blancas:*** este tipo de agua son de origen atmosférico (lluvia, nieve o hielo) o del regadío y saneamiento de carreteras, jardines y sectores públicos. En aquellas zonas en que precipitaciones atmosféricas son muy cuantiosas, éstas pueden ser vaciadas por disociación para que no llenen los métodos de purificación (García, 2014, pp.3-4).
- ***Aguas residuales industriales:*** se obtienen de los procesos ejecutados en las empresas y establecimientos industriales pueden incluir óleos, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas, productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su estructura es muy variable, en base a las distintas ocupaciones manufacturadas (García, 2014, pp.3-4).

- **Aguas residuales agrícolas:** originadas de la actividad agrícola en los sectores rurales. Este tipo de agua por su procedencia pueden participar en innumerables lugares, para el regadío agrícola con o sin algún tratamiento anticipado (García, 2014, pp.3-4).

1.3.2.7. Características físico-químicas de las aguas

Parámetros físicos

- **Color:** Es la consecuencia de la existencia de sustancias de procedencia vegetal, disueltas o en suspensión. Comprenden una apariencia significativa en términos de contemplación estético. Los resultados del color en la actividad acuática se centran primordialmente en derivados de la minoración de la claridad, es decir que, no solo dificulta la visibilidad de los peces, induce un efecto barrera a la luz solar, así como una limitación de la zona de crecimiento de las plantas acuáticas (Johnson, 2013, pp.23-24).
- **Olor:** Se debe a la presencia de cloro, ácido sulfhídrico, etc. La apreciación de este parámetro no establece una medición, más bien una estimación, y ésta tiene, por lo tanto, un carácter subjetivo. El olor escasamente es indicador de la existencia de materia peligrosa en las aguas, sin embargo, este puede mostrar la existencia de una cuantiosa actividad biológica. Es por ello que, en aguas potables, no debe distinguirse olor determinado (Lafuente, 2016, p.35).
- **Turbidez:** Se le conoce como una medida de esparcimiento de la luz por el agua como consecuencia de la presencia de material suspendido coloidal y/o partículas. La presencia de material suspendido en el agua logra indicar un cambio en su propiedad (por ejemplo, contaminación por microorganismos) y/o presencia de sustancias inorgánicas finamente divididas (arena, fango, arcilla) o de materiales orgánicos (Johnson, 2013, pp.23-24).
- **Temperatura:** Las observaciones de la temperatura de las aguas residuales son útiles para indicar la solubilidad del oxígeno, que afecta la capacidad de transferencia de los equipos de aireación en sistemas aeróbicos, y la tasa de actividad biológica. La temperatura extremadamente baja afecta negativamente a la eficiencia de Sistemas de tratamiento biológicos y sobre eficiencia de sedimentación. En general las condiciones de la temperatura de las aguas residuales sin tratar se observan entre 15 y 35 °C en diferentes temporadas (Asolekar, 2015, p.2).

- **Sólidos:** El término "sólidos" se usa generalmente cuando se refiere a cualquier material suspendido o disuelto en aguas residuales que pueden aislarse físicamente ya sea por filtración o por evaporación, los sólidos pueden afectar adversamente la calidad del agua o del efluente de varias maneras. Las aguas con alto contenido de sólidos disueltos generalmente son de palatabilidad inferior y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor transitorio. Los análisis de sólidos son importantes en el control del tratamiento biológico y físico de las aguas residuales, en los procesos y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones de efluentes de aguas residuales del organismo regulador. Los sólidos se pueden clasificar como filtrables o no filtrables: los sólidos filtrables pueden ser sedimentables o no. Los sólidos también pueden clasificarse como orgánicos o inorgánicos (McCarty, y otros, 2013, p.2).

Parámetros químicos

- **pH:** La concentración de iones de hidrógeno expresada como pH, es un parámetro valioso en la operación de unidades biológicas. El pH de las aguas residuales frescas es ligeramente mayor que el agua suministrada a la comunidad. Sin embargo, la descomposición de la materia orgánica puede disminuir el pH, mientras que la presencia de aguas residuales industriales puede producir fluctuaciones extremas. Generalmente el pH de crudo las aguas residuales están en el rango de 5,5 a 8,0 (Asolekar, 2015, p.2).
- **Demanda química de oxígeno DQO:** La DQO da la medida del oxígeno requerido para oxidación química. No diferencia entre material biológico oxidable y no oxidable. Sin embargo, la relación de la DQO a la DBO no cambia significativamente en particular residuos y, por lo tanto, esta prueba podría usarse convenientemente para interpretar las eficiencias de rendimiento de las unidades de tratamiento. En general, se informa que la DQO de aguas residuales sin tratar en varios lugares es en el rango de 200 a 700 mg/l (Asolekar, 2015, p.4).
- **Demanda bioquímica de oxígeno DBO:** La DBO de las aguas residuales es la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición bioquímica de materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas. El oxígeno consumido en el proceso está relacionado con la cantidad de materia orgánica en descomposición. El rango general de DBO observado para aguas residuales sin tratar es de 100 a 400 mg / l. Los valores en el rango inferior son comunes en las ciudades indias promedio (Asolekar, 2015, p.5).

1.3.2.8. Métodos de Tratamiento de Aguas Residuales

➤ *Tratamiento preliminar*

(Ghate, 2014, pp.32-33), indica que el objetivo del tratamiento preliminar es la eliminación de sólidos gruesos y otros materiales grandes, que a menudo se encuentran en aguas residuales crudas. El tratamiento preliminar ayuda a eliminar o reducir el tamaño de los sólidos grandes, arrastrados, suspendidos o flotantes. Estos sólidos consisten en trozos de madera, tela, papel, plásticos, basura, etc., junto con algunos materiales fecales, se eliminan los sólidos inorgánicos pesados como la arena y la grava, así como el metal o el vidrio.

➤ *Tratamiento primario*

(Ghate, 2014, pp.32-33), manifiesta que el tratamiento primario está diseñado para eliminar los sólidos orgánicos e inorgánicos por medio de procesos físicos como la sedimentación, flotación, coagulación-floculación y filtración. Aproximadamente el 25-50% de los bioquímicos entrantes como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), 50-70% de los sólidos suspendidos totales (SST), y el 65% del petróleo y la grasa se eliminan durante el tratamiento primario, la función del tratamiento primario es que remueva la mayor cantidad posible de sólidos suspendidos.

Sedimentación:

(Bhargava, 2016, pp.5-6), señala que la sedimentación es una operación unitaria fundamental y ampliamente utilizada en el tratamiento de aguas residuales, implica la colocación gravitacional de partículas pesadas suspendidas en una mezcla. Este proceso se utiliza para la eliminación de grano, material particulado en la cuenca de sedimentación primaria, el flujo biológico en la cuenca de sedimentación de lodos activados, y flujo químico cuando se utiliza el proceso de coagulación química. La sedimentación tiene lugar en un tanque de sedimentación, también se conoce como un clarificador, hay tres diseños principales, a saber, flujo horizontal, contacto de sólidos y superficie inclinada. Al diseñar una cuenca de sedimentación, es importante tener en cuenta que el sistema debe producir tanto un efluente clarificado como un lodo concentrado. Se producen cuatro tipos de sedimentación, dependiendo de la concentración de partículas, a saber, discreta, floculante, con impedimentos y compresión. Es común por más de un tipo de asentamiento que ocurre durante una operación de sedimentación.

Aireación:

La aireación es una operación unitaria utilizada para eliminar partículas sólidas o líquidas de una fase líquida mediante la introducción de burbujas de aire. Las burbujas se adhieren al líquido o quedan atrapadas en la estructura de partículas de los sólidos suspendidos, elevan la fuerza de flotación de las partículas combinadas y las partículas de burbujas que tienen, de este modo se puede hacer que aumente la densidad del líquido. En el tratamiento de aguas residuales, la aireación se utiliza principalmente para retirar la materia en suspensión y concentrar los lodos biológicos. La principal ventaja de la aireación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras se pueden eliminar más completamente y en menos tiempo, una vez que las partículas se han flotado a la superficie, se pueden extraer. La aireación practicada en el tratamiento de aguas residuales, utiliza el aire exclusivamente como agente flotante. Además, se pueden introducir varios aditivos químicos para mejorar el proceso de eliminación (Bhargava, 2016, p.6).

Coagulación-floculación:

(Bhargava, 2016, pp.8-9), menciona que la coagulación química de las aguas residuales sin tratar antes de la sedimentación promueve la floculación de los sólidos que se dividen en flóculos más fáciles de asentar, lo que mejora la eficiencia del sólido suspendido, DBO₅ y la eliminación del fósforo en comparación con la sedimentación simple sin coagulación. La aclaración obtenida depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con el que se realiza el proceso. La selección de coagulantes para una mejor sedimentación se basa en el rendimiento, la confiabilidad y el costo.

La evaluación del rendimiento utiliza pruebas en jarras de las aguas residuales reales para determinar las dosis y la eficacia. Los coagulantes químicos que se usan comúnmente en el tratamiento de aguas residuales incluyen alumbre ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$) cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Los polielectrolitos orgánicos se utilizan a veces como auxiliares de floculación. La eliminación de sólidos en suspensión mediante tratamiento químico implica una serie de tres operaciones unitarias: mezcla rápida, floculación y sedimentación. Primero, El producto químico se agrega y se dispersa completamente en toda el agua residual mediante una mezcla rápida durante 20-30 segundos en una cubeta con un mezclador de turbina. Las partículas coaguladas se juntan mediante floculación mediante induciendo mecánicamente gradientes de velocidad dentro del líquido (Bhargava, 2016, p.14).

Filtración

(Bhargava, 2016, p.8), señala que la filtración de efluentes de los procesos de tratamiento de aguas residuales implica la eliminación de sólidos suspendidos de efluentes de aguas residuales de procesos de tratamiento biológico y químico, además de la eliminación de fósforo químicamente precipitado. La operación de filtración completa comprende dos fases: filtración y limpieza o lavado a contracorriente. El agua residual que se filtra se pasa a través de un lecho de filtro que consiste en granular material (arena, antracita y/o granate), con o sin productos químicos añadidos. Dentro del lecho filtrante, suspendido.

Los sólidos contenidos en el agua residual se eliminan por medio de un proceso complejo que involucra uno o más mecanismos de eliminación tales como deformación, intercepción, impactación, sedimentación, floculación y adsorción. La fase de limpieza/lavado a contracorriente difiere, dependiendo de si la operación del filtro es continua o semicontinua. En la filtración semicontinua, las operaciones de filtrado y limpieza se realizan secuencialmente, mientras que en la filtración continua las operaciones de filtrado y limpieza se realizan simultáneamente (Bhargava, 2016, p.8).

➤ *Tratamiento secundario*

(Cabasso, 2014, pp.44-45), señala que el objetivo del tratamiento secundario es el tratamiento adicional del efluente del tratamiento primario para eliminar los residuos orgánicos y sólidos suspendidos. En términos del tamaño de los sólidos, la distribución es de aproximadamente el 30% suspendido, 6% coloidal y aproximadamente 65% sólidos disueltos.

El proceso de tratamiento secundario consiste en el tratamiento biológico de las aguas residuales mediante la utilización de muchos tipos diferentes de microorganismos en un ambiente controlado, varios aerobios biológicos. Los procesos que se utilizan para el tratamiento secundario difieren principalmente en la forma en que se suministra oxígeno a los microorganismos y en la velocidad a la que los organismos metabolizan la materia orgánica (Cabasso, 2014, pp.44-45).

➤ *Tratamiento terciario y/o avanzado.*

(Cabasso, 2014, pp.46-47), señala que el tratamiento terciario y/o avanzado de aguas residuales se emplea cuando deben eliminarse los componentes específicos de aguas residuales que no pueden eliminarse mediante un tratamiento secundario, los procesos de tratamiento individual son

necesarios para eliminar nitrógeno, fósforo, sólidos en suspensión adicionales, compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y sólidos disueltos. Debido a que el tratamiento avanzado generalmente sigue un tratamiento secundario de alta tasa, a veces se lo denomina tratamiento terciario. Sin embargo, los procesos de tratamiento avanzado a veces se combinan con el tratamiento primario o secundario (por ejemplo, la adición de químicos a los clarificadores primarios o las cuencas de aireación para eliminar el fósforo) o se usan en lugar del tratamiento secundario (por ejemplo, el tratamiento de efluentes primarios en el flujo terrestre).

1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos

1.4.1. Beneficiados Directos

- El principal beneficiario de la realización del presente trabajo de investigación será el señor Ángel Cárdenas gerente propietario de la curtiembre pieles “Puma”, logrando disminuir el impacto ambiental generado por su empresa y aumentando la rentabilidad en los procesos de curtición.
- Otros de los beneficiarios directos de la investigación, serán los trabajadores de la planta, ya que se evitará que estén expuestos a la presencia de contaminantes que puedan generar daños en su salud.
- También se beneficiarán los pobladores del sector aledaño a la empresa, ya que se evitará que agua con exceso de contaminantes sea depositada en el agua que ellos consumen para actividades de agricultura y otras actividades asociadas que están generando pérdida de productividad al momento.

1.4.2. Beneficiarios Indirectos

- Los habitantes del cantón Ambato y de la provincia de Tungurahua se verán beneficiados por la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que con esto se evitará dañar la flora y fauna, así como también no disminuir la calidad del agua de los sectores rurales que captan el agua para distintos usos.
- Los consumidores finales del cuero, ya que con sistemas de recuperación de iones cromo y iones azufre se mejorará la calidad del cuero y también disminuir los costos de producción, haciendo más asequible los productos realizados con cuero.

- El Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Tungurahua se verá beneficiado con la implementación del presente trabajo investigación, ya que ellos al momento se encuentran buscando mecanismos para evitar la contaminación generada por las curtiembres, mejorando así la calidad de vida de los pobladores.

CAPITULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. Objetivo General

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros en la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la caracterización de los efluentes generados en la curtiembre pieles “PUMA” de acuerdo a la normativa ambiental vigente.
- Realizar las pruebas de tratabilidad del agua residual para las muestras fuera de la normativa ambiental vigente.
- Identificar las variables para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la curtiembre pieles “PUMA”.
- Realizar cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en la curtiembre pieles “PUMA”.
- Validar el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales a través de la caracterización del agua tratada según la normativa ambiental vigente.

CAPITULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del proyecto

El presente trabajo investigativo se dividió en dos lugares para su desarrollo, primero se verificó las instalaciones de la planta industrial, se evaluó las condiciones actuales de la planta de tratamiento de aguas residuales, se tomó muestras y se propondrá el rediseño en la curtiembre pieles “PUMA” ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato sector Los Tres Juanes.

La segunda etapa será la caracterización del agua residual, las pruebas de tratabilidad y los ensayos para proponer la recuperación de los iones sulfuro y cromo, esto se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la ciudad de Riobamba en la panamericana norte km 1 ^{1/2}, en la tabla 1-3, 2-3 se muestran las condiciones meteorológicas de los cantones y la georreferenciación del sector.

Tabla 1-3: Condiciones Meteorológicas del Cantón Ambato

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

Fuente: (Jaramillo, 2016).

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

Fuente: (ESPOCH, 2017).

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Tipo de estudio

Para el desarrollo del rediseño e implementación de una planta de tratamiento de agua residual en la curtiembre artesanal pieles “PUMA”, el tipo de estudio que se siguió fue exploratorio, experimental y cualitativo, encaja en el primer grupo debido a que se debió seguir técnicas de inducción e inducción, en donde partiendo del problema fundamental del mal funcionamiento de la planta se explorará las posibles soluciones y planteamientos técnicos.

La investigación además encaja en el tipo experimental ya que serán necesarias realizar pruebas de laboratorio, esto quiere decir la experimentación de acuerdo a la abstracción de conocimientos generados en la etapa exploratorio, con este conjunto de técnicas el investigador podrá solucionar el problema planteado. Como último punto encaja en tipo de diseño analítico, ya que las respuestas que se obtengan al problema planteado serán cifras exactas, por lo que el desarrollo experimental será expresado en forma numérica.

3.2.2. Metodología

Para el desarrollo experimental del presente trabajo investigativo, fue necesario realizar la búsqueda y recopilación bibliográfica considerando los objetivos planteados en la presente, los temas recopilados incluyeron: residuos líquidos generados en las curtiembres, características principales de los contaminantes del agua residual producida en las curtiembres y sistemas físico-químicos para el tratamiento del agua residual de las curtiembres, estos conceptos básico se aplicaron a escala de laboratorio para demostrar su validez.

De los conocimientos preestablecidos, se realizó el muestreo del agua residual el cual se realizó in-situ en la curtiembre pieles “PUMA”; ubicada en la ciudad de Ambato sector “Tres Juanes”, a continuación, estas muestras debidamente etiquetadas fueron transportadas al laboratorio de

calidad de agua de la facultad de Ciencias de la ESPOCH, en donde se analizó la composición inicial de la muestra de acuerdo a lo establecido en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, límites de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

Después de recogidas las muestras, es necesario evaluar el mejor tratamiento para la recuperación del agua residual, por lo que se realizó la prueba de jarras para determinar cuál el coagulante óptimo y la dosificación óptima del mismo, a continuación, se recogió los fangos producidos en la sedimentación y se realizó la recuperación del cromo, además se realizó la eliminación de los iones sulfuro mediante la aplicación de aeración combinada con sulfato manganoso; con lo que se simuló los equipos a utilizarse.

Los resultados de la caracterización inicial del agua recogidos no fueron satisfactorios por lo que se debió realizar el rediseño de la planta de tratamiento en este paso se evaluó las características iniciales de la planta de tratamiento de aguas residuales; mediante el uso de matrices check list además de realizarse una planimetría e inspección de los equipos instalados; todo esto fue recolectado y tabulado para determinar las dimensiones necesarias en la propuesta tecnológica.

La validación de los procesos elegidos para el tratamiento del agua residual se realizó mediante la caracterización final del agua residual, mediante la comparación con la Norma TULSMA, LIBRO VI, ANEXO 1, TABLA 9, límites de descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce; si los parámetros cumplen con la misma se acepta el tratamiento que se realizó al agua y hacen válidos los cálculos propuestos para el rediseño de la planta

3.2.3. Métodos y técnicas

3.2.3.1. Métodos

Para realizar la metodología antes mencionada y cumplir los objetivos planteados fue necesario utilizar los siguientes métodos experimentales.

- **Método inductivo**

Este método se utilizó para la abstracción de los conocimientos necesarios para el desarrollo experimental, como dicta el concepto de este método se crearon conceptos partiendo de lo preestablecido por autores que han realizado investigaciones acerca de los mismos temas

planteados en la presente, con este conocimiento se pudo obtener información detallada de cómo proceder en cada etapa en la que se dividió la investigación.

- **Método deductivo**

Este método se utilizó para ir generando conceptos a través de la experimentación, como dicta el concepto de este método se crearon hipótesis partiendo de la experiencia que se obtuvo a lo largo del desarrollo experimental, estos conocimientos se aplicaron en las diferentes repeticiones que se realizaron, fue fundamental este método al realizar la prueba de jarras ya que se pudo mejorar cada prueba de acuerdo a la experiencia adquirida en el desarrollo de la anterior prueba.

- **Método experimental**

El método experimental recoge las técnicas y procedimientos que se realizaron para resolver el problema planteado; este es la combinación de los dos métodos anteriormente mencionados. La aplicación de la experimentación en el tratamiento del agua residual es necesario, ya que mediante este se recogen las principales variables para la propuesta tecnológica, además recoge las técnicas empleadas para la caracterización y validación de la investigación.

3.2.3.2. *Técnicas*

- *Técnicas aplicadas para el muestreo de las aguas residuales*

Para la recolección de las muestras se seguirá el procedimiento detallado en la norma ecuatoriana NTE INEN 2176, para aguas residuales generadas en la curtiembre pieles “PUMA”, el procedimiento que se utilizará se detalla en la figura 2-3 y 3-3 para asegurar la calidad del muestreo.

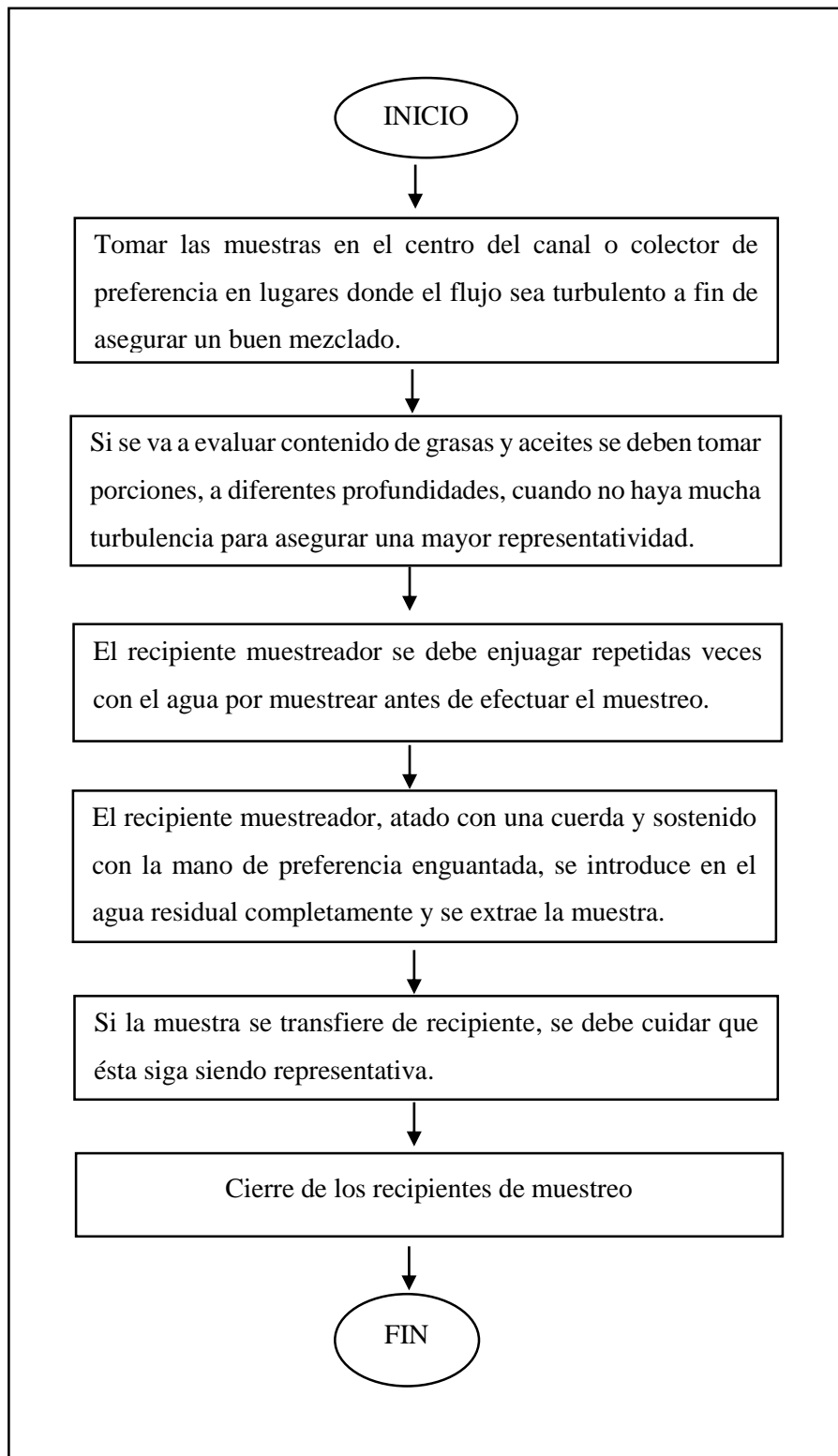


Figura 2-3: Procedimiento para la recolección de muestras de agua residual para canales y colectores.

Fuente: (INEN, 2012).

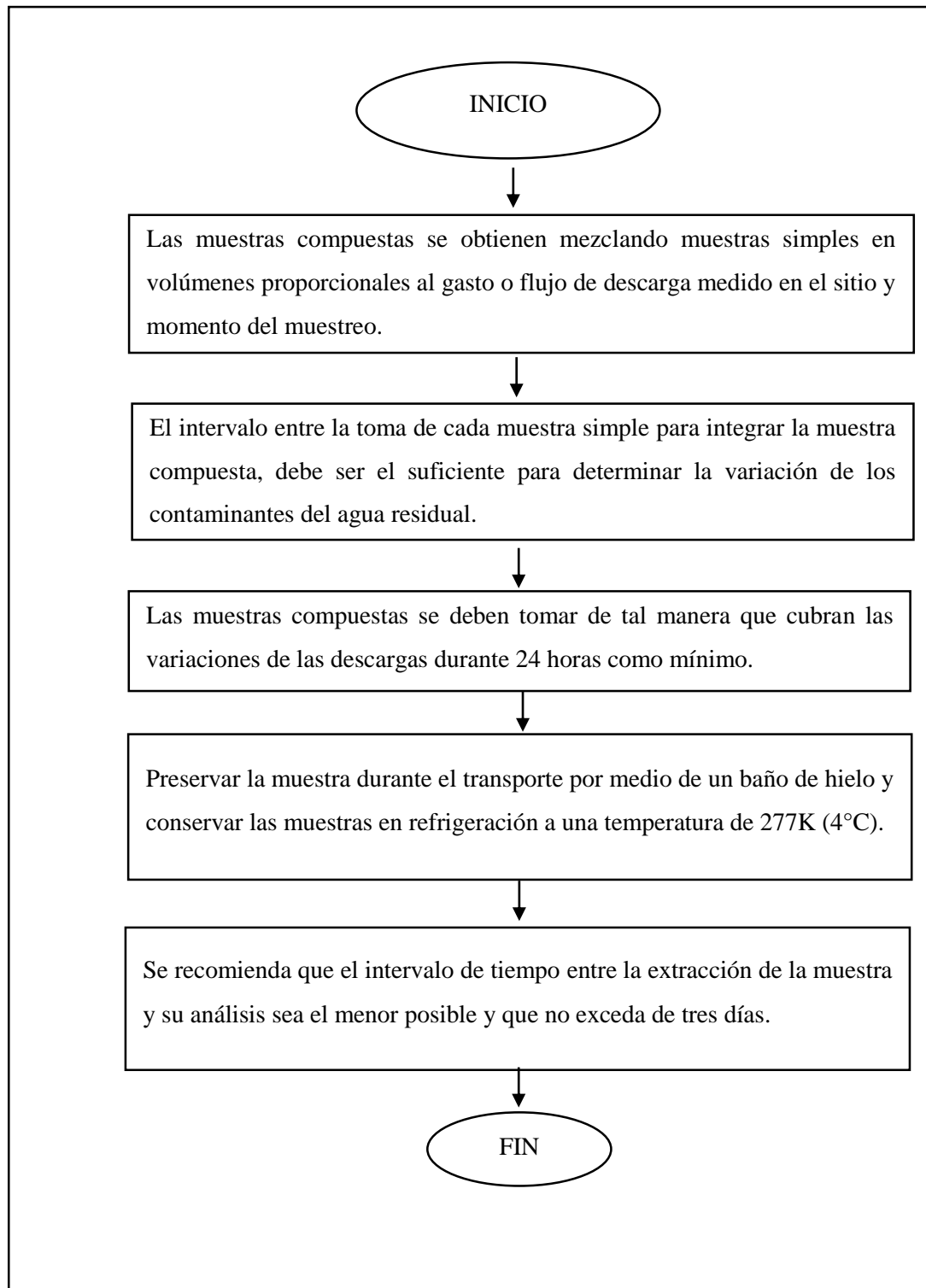


Figura 3-3: Procedimiento para la obtención de muestras compuestas de agua residual.

Fuente: (INEN, 2012).

Para la determinación del tamaño de muestra mínimo requerido se sigue las instrucciones que se detallan en la tabla 3-3, tomando en consideración la cantidad de análisis requeridos para el diseño y el procedimiento de toma de muestras detallados en el epígrafe anterior, con esto se asegura la máxima representatividad de los datos y una emulación a las condiciones generadas en la curtiembre Chimborazo.

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
Aceites y grasas	V	1000	s, c	Añadir HCL hasta pH < 2, Refrigerar	28 d
Color	P, V	500	s, c	Refrigerar	48 h
Fenoles	P, V	500	s, c	Refrigerar; agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2	40 d después de extraer
Conductividad	P, V	500	s, c	Refrigerar	28 d
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

Fuente: (ITD, 2010)

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.

➤ *Caracterización del agua residual*

En la curtiembre la mayor cantidad de contaminantes que se generan son de característica orgánica, así como también ciertos iones que se desprenden de la adición en las diferentes etapas de producción, por lo que para la caracterización del agua residual se evaluaron solo los siguientes parámetros.

- Concentración de iones Cr^{6+}
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), revisar anexo B.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrogeno (pH)
- Concentración de iones sulfuro
- Conductividad
- Sólidos Sedimentables
- Sólidos Totales
- Sólidos Totales Disueltos (TDS)
- Turbiedad
- Temperatura

Las técnicas empleadas para las determinaciones se recogen en las tablas 4-3, 5-3, 6-3, 7-3, 8-3, 9-3, 10-3; detallando los materiales y reactivos empleados, así como también el procedimiento, cabe indicar que los análisis se realizaran en el laboratorio de calidad de agua de la facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tabla 4-3: 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.</p> <p>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	
$DQO \text{ como } \frac{O_2}{L} = \frac{(A - B) * N * 8 * 1000}{\text{mL de muestra}}$ <p>Donde:</p> <p>A = Promedio de mL de FAS utilizado para los blancos digeridos</p> <p>B = mL de FAS utilizado para la muestra</p> <p>N = Normalidad del FAS</p> <p>8 = Peso equivalente del Oxígeno.</p>	

Fuente: (INEN, 2013).

Tabla 5-3: 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)

Tabla 6-3: Determinación del pH por el método del potenciómetro norma NTE INEN 0973

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none">• Potenciómetro• Piceta.• Vaso de precipitación.	<ul style="list-style-type: none">• Solución tampón de pH4, pH7 y pH9.• Agua destilada.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none">• Efectuar la determinación por duplicado sobre la muestra.• Lavar los electrodos con agua destilada y calibrar el aparato a la temperatura de la muestra, utilizando una solución de referencia cuyo pH sea similar al esperado para la muestra. En todo caso, deberán seguirse las instrucciones del fabricante.• Colocar la muestra en el vaso de precipitación; introducir los electrodos y efectuar la determinación del pH.	
Cálculos	
<ul style="list-style-type: none">• Como resultado final, debe reportarse la media aritmética de los resultados de la determinación, en unidades de pH hasta la primera cifra decimal.• Debe indicarse la temperatura a la que se realizó la determinación.• En el informe de resultados, debe mencionarse, además, cualquier condición no especificada en esta norma, o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.• Deben incluirse todos los datos necesarios para la completa identificación de la muestra.	

Fuente: (INEN, 2014).

Tabla 7-3: Determinación del contenido de sulfuros

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Frascos de vidrio de 250 o 350 mL. • Microbureta de 5 mL. • Erlenmeyers de 100, 250 y 500 mL. • Embudos de vidrio grandes con vástago grueso. • papel filtro. • Pipetas aforadas clase A de: 2, 3, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 mL. • Vasos de precipitados de 100, 200 y 500 mL • Pipeteador automático. • Agitadores de vidrio. • Balones de 200, 500 y 1000 mL. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido clorhídrico 6 N • Suspensión indicadora de almidón • Solución estándar de tiosulfato de sodio 0.025 N • Solución estándar de yodo 0.0250 N • Solución de acetato de cinc 2 N • Hidróxido de Sodio 6 N • Solución de biyodato estándar 0.0021 Molar
Procedimiento	
<p>TOMA Y PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tome las muestras evitando su aireación, analícelas inmediatamente después del muestreo o presérvelas para su posterior análisis. Para la determinación de sulfuro disuelto de una muestra de 250 mL, agregue previamente al recipiente ocho gotas de solución de acetato de zinc 2 N y 4 gotas de Hidróxido de Sodio 6 N. Si la concentración de sulfuro esperada es superior a 64 mg/L y el volumen de muestra es mayor a 250 mL, usar mayor volumen de solución de acetato de zinc. • El pH final debe ser como mínimo de 9.0 unidades, si el pH no alcanza este valor agregue unas gotas más de hidróxido de sodio, llene las botellas completamente y tápelas sin dejar burbujas de aire, agite vigorosamente para formar el precipitado de sulfuro de zinc, deje decantar para posterior análisis en el laboratorio. <p>PARA MUESTRAS QUE NO HAN SIDO PRESERVADAS CON ACETATO DE ZINC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mida con micro bureta una cantidad de solución de yodo estimada a ser superior a la cantidad de sulfuro presente en la muestra y transfiera a un Erlenmeyer de 500 mL. Agregue 2 mL de ácido clorhídrico 6 N. Adicione la muestra al Erlenmeyer, si el color del yodo desaparece, adicione más yodo hasta que el color permanezca. Titule por retroceso con solución de tiosulfato de sodio 0.025 N, cuando la muestra tome un color amarillo claro agregue unas gotas de suspensión indicadora de almidón continúe la titulación hasta que el color azul desaparezca. 	

PARA MUESTRAS QUE HAN SIDO PRESERVADAS CON ACETATO DE ZINC.

- Si el sulfuro se precipita como sulfuro de zinc, elimine el sobrenadante y filtre el precipitado, lleve el filtro junto con el precipitado a un Erlenmeyer de 250 mL, agregue aproximadamente 150 mL de agua desionizada y adicione solución de yodo en exceso y 2 mL de ácido clorhídrico 6 N y titule por retroceso como en el caso anterior.

Cálculos

Los resultados se reportan en mg S⁻²/ L así:

$$\frac{mg\ S^{-2}}{L} = \frac{((A \times B) - (C \times D)) \times 16000}{mL\ de\ muestra}$$

Donde:

A = mL de solución de Yodo

B = Normalidad de la solución de Yodo

C = mL de solución de Tiosulfato de Sodio gastados en la titulación

D = Normalidad de la solución de Tiosulfato de Sodio

Fuente: (AFANADOR, 2007)

Tabla 8-3: Determinación de la conductividad eléctrica para el agua residual de acuerdo a los métodos estándares para examinación del agua (APHA)

Materiales y Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Conductímetro • Termómetro • Celda de conductividad 	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de cloruro de potasio • Agua destilada.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Enjuague la celda de conductividad con al menos tres porciones de una solución de solución de cloruro de potasio de concentración 0.01 M. • Ajuste la temperatura a 25°C ± 0.1°C. • Introduzca el conductímetro en la muestra • Lea el resultado 	

Fuente: (APHA, 2012)

Tabla 9-3: Determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas de acuerdo a la norma mexicana

Materiales y Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Frasco de polietileno o vidrio con un mínimo de capacidad de 1 litro, con tapa • Cono de sedimentación tipo Imhoff de vidrio o plástico • Bases para Conos Imhoff • Agitador largo de vidrio, y - Reloj. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muestras
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> • Mezclar la muestra original a fin de asegurar una distribución homogénea de sólidos suspendidos a través de todo el cuerpo del líquido. • Colocar la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. • Dejar sedimentar 45 min, una vez transcurrido este tiempo agitar suavemente los lados del cono con un agitador o mediante rotación, mantener en reposo 15 min más y registrar el volumen de sólidos sedimentables del cono como mL/L. Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, evaluar el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados. • En caso de producirse una separación de materiales sedimentables y flotables, no deben valorarse estos últimos como material sedimentable. 	

Fuente: (México, 2001).

Tabla 10-3: Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2 169:98

Materiales	Reactivos								
<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de muestra (vidrio transparente). Equipos <ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua libre de turbiedad. • Suspensiones madres de turbiedad. • Suspensión patrón de turbiedad. • Suspensiones patrón diluidas. 								
Procedimiento									
<ul style="list-style-type: none"> • Calibración del turbidímetro. Seguir las instrucciones del fabricante del instrumento. A falta de una escala de precalibración, preparar curvas de calibración para cada escala del instrumento. Comprobar la exactitud de cualquier escala de calibración proporcionada con el instrumento precalibrado, utilizando los patrones apropiados. Correr por lo menos un patrón en cada escala que va a utilizarse. En instrumentos en que hay la posibilidad de que los valores de la escala puedan corresponder a la turbiedad, no confiar en un patrón sólido de dispersión del fabricante para regular la sensibilidad del instrumento, a menos que el instrumento esté libre de desviaciones en todas las escalas. • Medida de las turbiedades menores de 40 UTN. Agitar enérgicamente la muestra. Esperar hasta que todas las burbujas de aire desaparezcan y verter la muestra en el tubo del turbidímetro. Leer la turbiedad directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada. 									
Cálculos y Resultados									
<ul style="list-style-type: none"> • La turbiedad se determina directamente en la escala del instrumento o en la curva de calibración apropiada. • Reportar las lecturas de turbiedad de acuerdo con el siguiente esquema. <table> <thead> <tr> <th>Escala de turbiedad</th> <th>Reportar con aproximación a la siguiente cifra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 1</td> <td>0,05</td> </tr> <tr> <td>1 - 10</td> <td>0,1</td> </tr> <tr> <td>10 - 40</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		Escala de turbiedad	Reportar con aproximación a la siguiente cifra	0 - 1	0,05	1 - 10	0,1	10 - 40	1
Escala de turbiedad	Reportar con aproximación a la siguiente cifra								
0 - 1	0,05								
1 - 10	0,1								
10 - 40	1								

Fuente: (INEN, 2014)

3.3. Procedimiento a nivel de laboratorio

3.3.1. Selección de las muestras de agua

Para la selección de las muestras de agua residual, se siguió el procedimiento detallado en las figuras 2-3 y 3-3; las muestras fueron compuestas por lo que se necesitó realizar un cronograma de las tomas de muestras de acuerdo a los cardex de producción de la curtiembre pieles “PUMA”, el cronograma se muestra en la tabla 11-3 y dependió fundamentalmente de los días que la planta realizo el curtido y el pelambre etapas donde se desecha la mayor carga contaminante del agua.

Para que las muestras fueran homogéneas y se tuviera las características representativas del agua, fue necesario monitorear semanalmente el agua y tomar muestras cada dos días, de acuerdo a la producción de la planta, además de que este monitoreo de las muestras se realizó durante el lapso de un mes; las muestras fueron tomadas in-situ y almacenadas de acuerdo al día de muestreo y a la operación de las cuales fueron recuperadas.

Tabla 11-3: Cronograma para recoger la muestra de agua residual generados en la curtiembre pieles “PUMA”

TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL		
Fecha	Hora	Cantidad Recogida
20-11-2018	8:30- 9:00	10 L
22-11-2018	8:30- 9:00	10 L
27-11-2018	8:30- 9:00	10 L
29-11-2018	8:30- 9:00	10 L
04-12-2018	8:30- 9:00	10 L
06-12-2018	8:30- 9:00	10 L
11-12-2018	8:30- 9:00	10 L
13-12-2018	8:30- 9:00	10 L

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

La toma de muestras se realizó por dos meses consecutivos, en los cuales se recoge el agua en horario matutino puesto que es cuando termina el proceso de curtido y de pelambre en la curtiembre, se recoge un volumen de 10 L de agua residual que posteriormente es transportada hasta el laboratorio de Calidad del Agua donde se realizan la caracterización inicial de las mismas.

3.3.2. Caracterización inicial del agua residual

Una vez recogidas las muestras, fue necesario inmediatamente realizar la caracterización inicial de las mismas, para evitar que se produzcan resultados erróneos por efecto de reacciones que pueden ocurrir a la muestra, esta caracterización se realizó en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en el laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la UNACH (caracterización del contenido de cromo).

En las tablas 12-3 y 13-3; se muestran las caracterizaciones iniciales de las aguas de acuerdo a los límites permisibles establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce; estos parámetros sirvieron para determinar si el agua residual cumple con los valores máximos permisibles.

Los valores reportados en las tablas, son los datos obtenidos en los diferentes muestreos realizados en la curtiembre pieles “PUMA”; esto asegura la homogeneidad de los resultados, se reduce los errores por efecto de las condiciones ambientales del muestreo.

Tabla 12-3: Caracterización inicial del agua residual de curtido recuperada en la curtiembre pieles “PUMA”

Determinaciones	Unidades	Límite Máximo Permissible Tabla 9	Resultados de caracterización
Ph	Und.	6 – 9	3,9
Conductividad	mSiems/cm	-	35,2
Temperatura	°C	-	24,9
Turbiedad	UTN	-	79
Color	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20	2139
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	3700
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	7200
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	20100
Sólidos Sedimentables	mL/L	-	8
Sólidos Totales	mg/L	1600	59989
Cromo Total	mg/L	-	2557,68
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	0,5

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua Facultad de Ciencias, ESPOCH. 2019.

Tabla 13-3: Caracterización inicial del agua residual de pelambre recuperada en la curtiembre pieles “PUMA”

Determinaciones	Unidades	Límite Máximo Permisible Tabla 9	Resultados de caracterización
pH	Und.	6 – 9	13,2
Conductividad	mSiems/cm	-	1,83
Temperatura	°C	-	21
Turbiedad	UTN	-	3150
Color	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20	38300
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100	18200
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	28300
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	-	980
Sólidos Sedimentables	mL/L	-	10
Sólidos Totales	mg/L	1600	45564
Sulfatos	mg/L	1000	-
Sulfuros	mg/L	0,5	1568

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua Facultad de Ciencias, ESPOCH. 2019.

3.3.2.1. *Parámetros fuera del límite permisible*

Una vez conocido los valores que se tienen en la caracterización inicial; es necesario determinar que parámetros están fuera de la norma para establecer el tratamiento adecuado que se le realice al agua, de lo reportado en las tablas 12-3 y 13-3; ningún parámetro cumple con el valor máximo permisible; por lo que será necesario realizar el tratamiento del agua para reducir el poder contaminante de la misma y lograr mitigar el impacto ambiental producido.

3.3.3. *Índice de biodegradabilidad*

El índice de biodegradabilidad mide la capacidad que tiene el agua contaminada para poder auto depurarse con los microorganismos presentes en la misma, es la relación que existe entre la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno e indica si es necesario o no la aplicación de tratamiento biológico; en la tabla 14-3 se muestran los parámetros para establecer si es o no necesario el tratamiento biológico del agua residual.

Tabla 14-3: Parámetros de la biodegradabilidad

DBO_5/DQO	Carácter del efluente	Tratamiento a aplicar
< 0,2	Poco biodegradable	Biológico
0,2 – 0,4	Biodegradable	Tratamiento físico – químico o biológico
> 0,4	Muy biodegradable	Tratamiento físico – químico

Fuente: Cisterna y Peña, 2005.

Tabla 15-3: Cálculo del índice de biodegradabilidad de las aguas residuales de curtido pelambre generadas en la curtiembre pieles “PUMA”

Muestra	Parámetros	Valor	Unidad	Relación $\frac{DBO_5}{DQO}$
Curtido	DBO ₅	3700	mg/L	0,51
	DQO	7200	mg/L	
Pelambre	DBO ₅	18200	mg/L	0,64
	DQO	28300	mg/L	

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

El resultado final del índice reportó valor superior a 0,4; según la tabla 14-3 no es necesario realizar tratamiento biológico al agua residual, ya que el índice alto de biodegradabilidad permitirá que el agua se auto depure; es necesario realizar únicamente el proceso de tratamiento físico-químico, recuperar los iones cromo y eliminar los iones sulfuro que son los mayores contaminantes presentes en el agua.

3.3.4. Descripción del procedimiento experimental

Una vez establecido que el agua residual no cumple con el límite máximo permisible, fue necesario escoger el mejor sistema de tratamiento del agua residual mediante prueba de jarras; además de realizar el pretratamiento y tratamiento primario; a continuación, se describe el procedimiento seguido en el laboratorio:

3.3.4.1. Agua residual del proceso de curtido

- Primero se realizó la prueba de jarras para determinar el mejor coagulante comparando entre sulfato de aluminio, policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico; para esto en 3 vasos de precipitación de un litro se añadió 0,5% en peso de cada coagulante al agua

residual; se añadió 4 ml de los coagulantes en diferentes vasos; estas muestras se agitaron por 5 minutos a 200 rpm (Fotografía 1-3).



Fotografía 1-3: Dosificación de los diferentes coagulantes añadidos para el tratamiento del agua residual producida en la curtiembre pieles “PUMA”

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- A continuación, se midió la turbiedad dos veces; la primera vez a las 3 horas de iniciada la sedimentación y la segunda vez a las 4 horas de iniciada la sedimentación; de los resultados de la turbiedad se seleccionó el coagulante que mayor eficiencia en la remoción de turbiedad reporto.
- Escogido el coagulante óptimo, fue necesario escoger el pH óptimo al que se deben tratar las aguas, para lo que se añadió 4 ml de coagulante a una concentración de 0,5% en peso en 6 vasos diferentes; estas muestras se introdujeron en el equipo de pruebas de jarras; el cual se agitó a 200 rpm las muestras durante 1 minuto; después se agitó a 20 rpm por 20 min y se midió el porcentaje de remoción de la turbiedad.



Fotografía 2-3: Selección del pH óptimo para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Con el pH óptimo encontrado, se escogió la concentración óptima de coagulante, para lo que se comparó entre concentraciones iguales a: 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9 y 0,12 g/L; estas muestras se introdujeron en el equipo de pruebas de jarras; el cual se agitó a 200 rpm las muestras durante 1 minuto; después se agitó a 20 rpm por 20 min y se midió el porcentaje de remoción de la turbiedad.



Fotografía 3-3: Selección de la dosis óptima de PAC para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- A continuación, se escogió el mejor agente floculante entre resina no iónica, catiónica y aniónica; para esto en tres vasos se colocó 1 mL de cada floculante al 0,1% en peso; después se agitó a 20 rpm por 20 min y se midió la turbiedad después de una hora de la adición; para realizar la selección del floculante se analizó el porcentaje de remoción de la turbiedad.
- Escogido el floculante óptimo, se escogió la concentración óptima de floculante, para lo que se comparó entre concentraciones iguales a: 0,1, 0,2, 0,3 y 0,4 g/L; estas muestras se introdujeron en el equipo de pruebas de jarras; el cual se agitó a 200 rpm las muestras durante 1 minuto; después se agito a 20 rpm por 20 min y se midió el porcentaje de remoción de la turbiedad.
- Para maximizar el proceso de coagulación se escogió la velocidad óptima de agitación, para esto se giró durante un minuto las muestras comparando entre 100 y 200 rpm respectivamente, la comparación se realizó midiendo el porcentaje de remoción de la turbiedad.
- Para maximizar el proceso de floculación se escogió la velocidad óptima de agitación, para esto se giró durante un minuto las muestras comparando entre 20, 40 y 50 rpm

respectivamente; la comparación se realizó midiendo el porcentaje de remoción de la turbiedad (fotografía 4-3).



Fotografía 4-3: Selección de la velocidad óptima de agitación para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Definidas las anteriores variables, fue necesario calcular el tiempo de retención hidráulica; para lo cual se utilizó la muestra a la cual se añadió el coagulante óptimo, esto se realizó midiendo el volumen de agua con respecto a la distancia que recorren los flóculos y el tiempo que se demora en ocurrir esta acción, este proceso se realizó durante 3 horas en un lapso de 5 minutos por medición.



Fotografía 5-3: Cálculo del tiempo de retención hidráulica para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de curtido.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

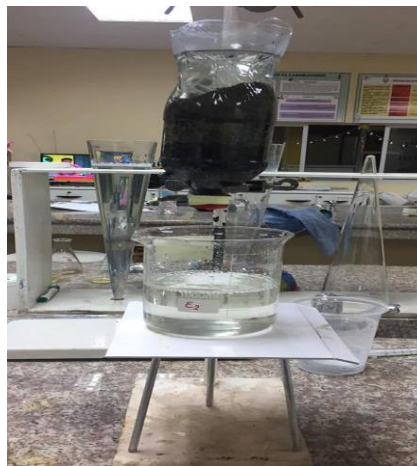
- Para realizar un tratamiento óptimo del agua residual, a continuación de la coagulación-sedimentación, se realizó la aireación del agua tratada, esto se hizo traspasando el agua a un vaso de precipitación y se inyectó aire con el uso de un compresor y dos difusores durante dos horas; se dejó reposar el agua (revisar fotografía 6-3).



Fotografía 6-3: Proceso de aeración para el tratamiento del agua residual de curtido.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Para concluir el tratamiento, se filtró el agua después de la aireación, esto se realizó en un filtro de arena, carbón activado, grava gruesa y grava fina durante tres horas (revisar fotografía 7-3).

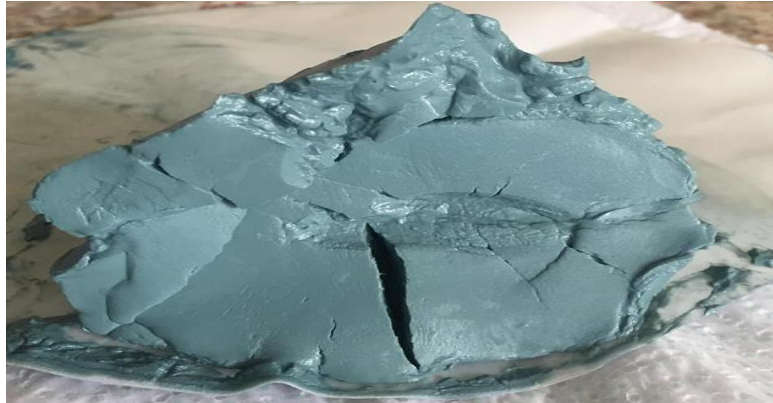


Fotografía 7-3: Proceso de filtración para el tratamiento del agua residual de curtido.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Para la recuperación de cromo III en los lodos se siguió el procedimiento detallado a continuación.

- Los lodos recogidos en el procedimiento de coagulación-sedimentación; se secaron durante dos días hasta alcanzar humedad igual a 78,17%; el secado se realizó al aire libre. (revisar fotografía 8-3).



Fotografía 8-3: Proceso de secado del lodo para la recuperación de cromo.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- El lodo seco, se colocó en una placa de Petri y se añadió ácido sulfúrico al 91% en peso, hasta tener un pH de 3,3 a 3,5.
- Para probar la calidad del cromo recuperado, se realizó la comparación entre cuero curtido tradicionalmente y cuero curtido con 30% en peso de cromo recuperado (revisar fotografía 9-3); y se evaluó la resistencia física-mecánica del cuero obtenido (resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y lastimetría).



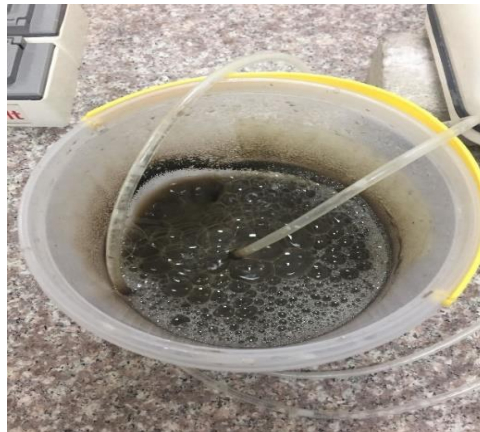
Fotografía 9-3: Cuero curtido con cromo comercial (negro) y cromo reciclado (café), producto terminado.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

3.3.4.2. Agua residual del proceso de pelambre

- Para este tratamiento primero se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de sulfato de manganeso añadiendo micro burbujas de aire por un rango de 6 a 7 horas de aireación, con la finalidad de encontrar la concentración óptima que permita disminuir el contenido de sulfuros en las aguas residuales, siendo la concentración óptima de 250 ppm (revisar fotografía 10-3).

➤



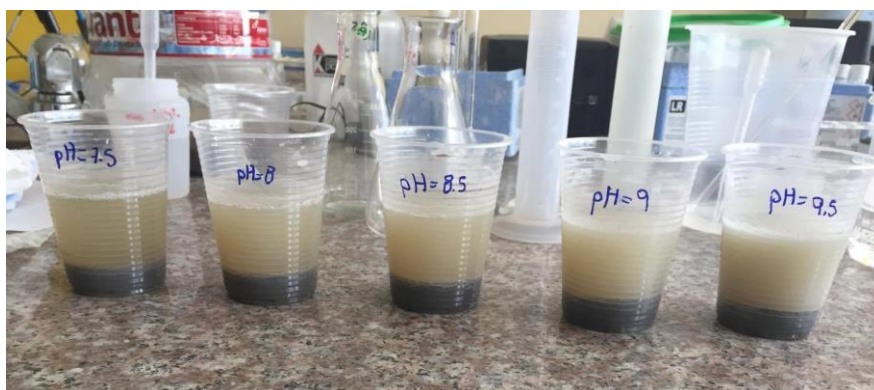
Fotografía 10-3: Proceso de aireación del agua de pelambre a diferente concentración de sulfato de manganeso.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- A continuación, se realizó la prueba de jarras para determinar el mejor coagulante comparando entre sulfato de aluminio, policloruro de aluminio (PAC) y cloruro férrico,

midiendo la turbiedad y la cantidad de sulfuros en un determinado tiempo, comparando al final el porcentaje de remoción de cada muestra siendo el PAC es de mejor resultado.

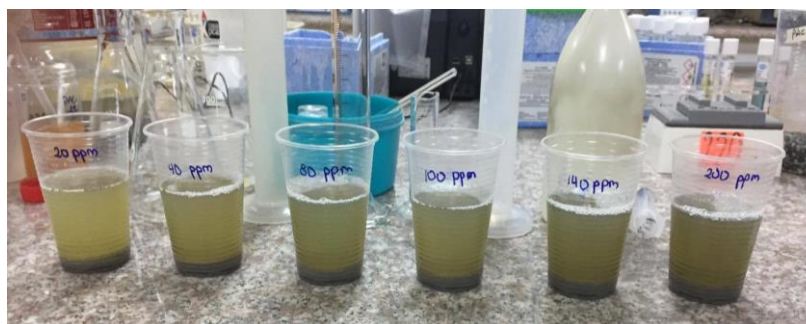
- Una vez seleccionado el coagulante, era necesario escoger el pH óptimo al que se deben tratar las aguas de pelambre, para lo que se añadió la misma concentración de PAC en 6 vasos diferentes; estas muestras se introdujeron en el equipo de pruebas de jarras; el cual se agitó a 100 rpm las muestras durante 1 minuto; después se agitó a 20 rpm por 20 min y se midió el porcentaje de remoción de la turbiedad (revisar fotografía 11-3).



Fotografía 11-3: Selección del pH óptimo para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Con el pH óptimo seleccionado, se escogió la concentración óptima de coagulante, para lo que se comparó entre concentraciones iguales a: 1, 2, 4, 5 y 10 g/L; estas muestras se introdujeron en el equipo de pruebas de jarras, se esperó que sedimente la muestra para tomar los datos de turbiedad y mediante titulación determinar la cantidad de sulfuros, se finalizó midiendo el porcentaje de remoción (revisar fotografía 12-3).



Fotografía 12-3: Selección de la dosis óptima de PAC para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Se realizaron pruebas con agentes floculantes como resina no iónica, catiónica y aniónica; para esto en tres vasos se colocó 1 mL de cada floculante al 0,1% en peso; después se agitó a 20 rpm por 20 min, se midió la turbiedad y cantidad de sulfuros después de una hora de la adición; se pudo determinar que no era necesario la adición de floculante puestos que los resultados eran los mismo que solo con el empleo del coagulante.
- Para maximizar el proceso de coagulación-floculación se escogió la velocidad óptima de agitación, para esto se giró durante un minuto las muestras comparando entre 100 y 200 rpm respectivamente, luego entre 20 rpm, 40 rpm, 50 rpm por 20 minutos agitación lenta para la floculación, la comparación se realizó midiendo el porcentaje de remoción de la turbiedad (fotografía 13-3).



Fotografía 13-3: Selección de la velocidad óptima de agitación para el proceso de coagulación-floculación del agua residual de pelambre.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Determinadas las anteriores variables, fue necesario calcular el tiempo de retención hidráulica; por lo que se utilizó la muestra a la que se añadió el coagulante óptimo, esto se realizó midiendo el volumen de agua con respecto a la distancia que recorren los flóculos y el tiempo que se demora en ocurrir esta acción, este proceso se realizó durante 3 horas en un lapso de 5 minutos por medición.
- Para realizar un tratamiento óptimo del agua residual, a continuación de la coagulación-sedimentación, se realizó la aireación o flotación del agua tratada, esto se hizo traspasando el agua a un balde y se inyectó aire con el uso de un compresor y dos difusores durante seis horas; se dejó reposar el agua (revisar fotografía 14-3).



Fotografía 14-3: Proceso de aeración para el tratamiento del agua residual de pelambre.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Para finalizar el tratamiento, se filtró el agua después del proceso de aireación, esto se realizó en un filtro de arena, carbón activado, grava gruesa y grava fina durante tres horas.

3.3.5. Selección del coagulante óptimo

Para la selección del mejor coagulante, se comparó entre: policloruro de aluminio, cloruro férrico y sulfato de aluminio, los cuales se añadieron al agua en una concentración de 20 mg/L; para determinar el mejor tratamiento se comparó la turbiedad inicial, turbiedad después de la adición y el porcentaje de remoción de la turbiedad; los datos obtenidos se muestran en las tablas 16-3 y 17-3.

Tabla 16-3: Resultados obtenidos para la selección del coagulante óptimo del agua de curtido comparando la turbiedad inicial, final y porcentaje de remoción de la turbiedad.

Coagulante	Turbiedad inicial, UTN.	Turbiedad final, UTN.	Porcentaje de remoción, %.
Policloruro de Aluminio	79	34,9	55,82
Cloruro Férrico	79	35,7	54,81
Sulfato de Aluminio	79	44,1	44,18

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Tabla 17-3: Resultados obtenidos para la selección del coagulante óptimo del agua de pelambre comparando la turbiedad inicial, final y porcentaje de remoción de la turbiedad.

Coagulante	Turbiedad inicial, UTN.	Turbiedad final, UTN.	Porcentaje de remoción, %.
Policloruro de Aluminio	3150	628	80,06
Cloruro Férrico	3150	1267	59,78
Sulfato de Aluminio	3150	1095	65,24

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

En el análisis de los resultados obtenidos con respecto al agua de curtido, se reporta que al adicionar policloruro de aluminio (PAC), se partió de una turbiedad igual a 79 UTN y después del tratamiento la turbiedad fue igual a 34,9 UTN, alcanzando un porcentaje de remoción igual a 55,82 %; con el cloruro férrico la turbiedad después del tratamiento fue igual a 35,7 UTN alcanzando un porcentaje de remoción igual a 54,81 % y con la adición de sulfato de aluminio la turbiedad después del tratamiento fue igual a 44,1 UTN alcanzando un porcentaje de remoción igual a 44,18 %.

Mientras que en el análisis de los resultados obtenidos con respecto al agua de pelambre de igual forma se reporta que al adicionar policloruro de aluminio (PAC), se partió de una turbiedad igual a 3150 UTN y después del tratamiento la turbiedad fue igual a 628 UTN, alcanzando un porcentaje de remoción igual a 80,06 %; con el cloruro férrico la turbiedad después del tratamiento fue igual a 1267 UTN alcanzando un porcentaje de remoción igual a 59,78 % y con la adición de sulfato de aluminio la turbiedad después del tratamiento fue igual a 1095 UTN alcanzando un porcentaje de remoción igual a 65,24 %.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se interpreta que el PAC logra mejorar la remoción de la turbiedad; como resultado de reducir la turbiedad, se disminuye la cantidad de contaminantes presentes en el agua cuando se compara con los otros dos coagulantes; por las razones anteriormente explicadas, se escoge el PAC para el proceso de coagulación-floculación.

3.3.5.1. Selección del pH óptimo

Después de seleccionar el coagulante óptimo para el tratamiento, es necesario escoger el pH al que se realiza el tratamiento de las aguas, se comparó entre el porcentaje de remoción de la turbiedad y pH, como se ilustra en el grafico 1-3 y 2-3; para variar el pH en las aguas de curtido se aumentó diferentes concentraciones de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , mientras que para el agua

de pelambre se aumentó diferentes concentraciones de ácido sulfúrico hasta alcanzar el máximo de remoción.

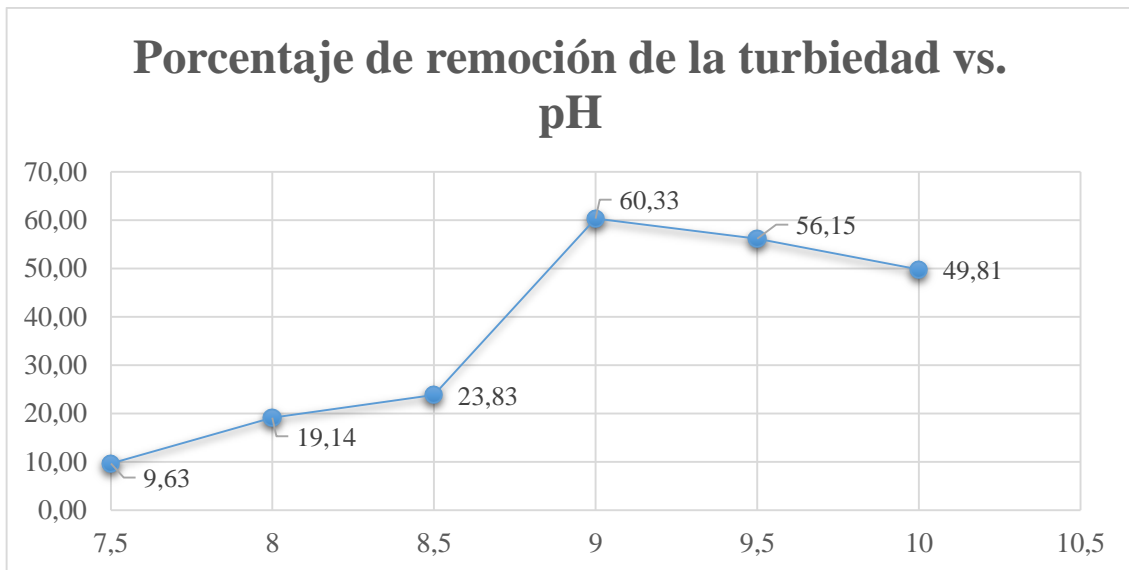


Gráfico 1-3: Resultados obtenidos para la selección del pH óptimo del agua de curtido comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y el pH.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

En el análisis de los resultados del agua de curtido, se reporta que al valor de pH igual a 7,5 el porcentaje de remoción fue igual a 9,63 %, este porcentaje aumento a 19,14 % cuando el pH fue igual a 8; a valor de pH 8,5 el valor de remoción es igual a 23,83 %; a valor de pH 9 el porcentaje de remoción es igual a 60,33 %, la remoción disminuyo a 56,15 % cuando se ajustó el pH a 9,5; a valor de pH 10, el porcentaje de remoción fue igual a 49,81 %.

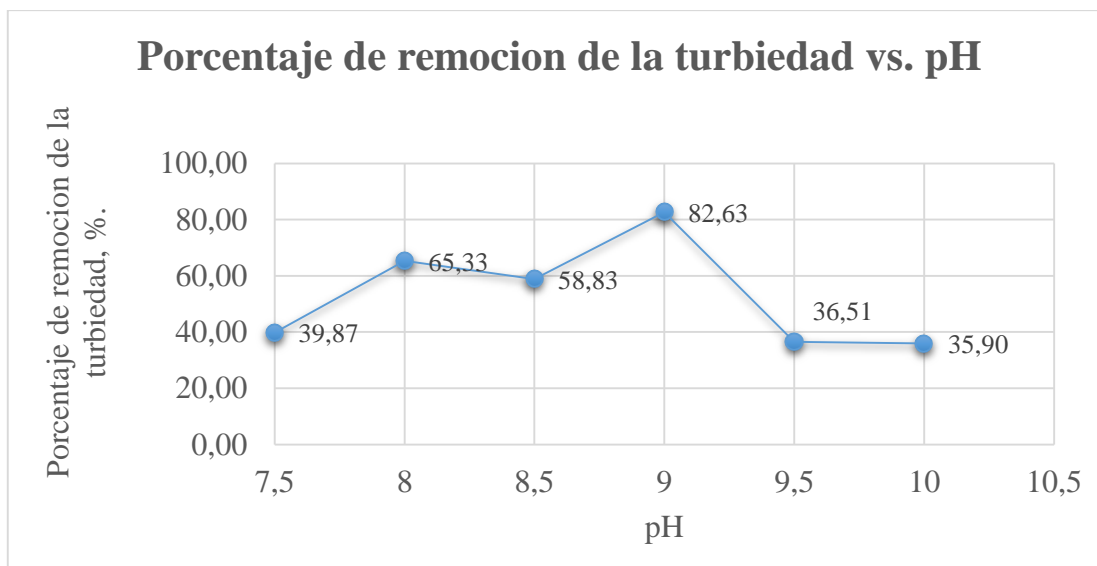


Gráfico 2-3: Resultados obtenidos para la selección del pH óptimo del agua de pelambre comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y el pH.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

En el análisis de los resultados del agua de pelambre, se reporta que al valor de pH igual a 7,5 el porcentaje de remoción fue igual a 39,87 %, este porcentaje aumento a 65,33 % cuando el pH fue igual a 8; a valor de pH 8,5 el valor de remoción es igual a 58,83 %; a valor de pH 9 el porcentaje de remoción es igual a 82,63 %, la remoción disminuyo a 36,51 % cuando se ajustó el pH a 9,5; a valor de pH 10, el porcentaje de remoción fue igual a 35,90%.

El mayor porcentaje de remoción en ambas aguas se alcanza al ajustar el pH a valor igual a 9; por lo que este se escogerá para el tratamiento de las aguas residuales, este valor se alcanza con la adición de 8,38 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para agua de curtido y 2,5 mL de H_2SO_4 en cada litro de agua; además en los datos se evidencia que ajustando a valores menores de pH la remoción de turbiedad aumenta progresivamente en relación al pH; mientras que a valores mayores a 9 el porcentaje de remoción disminuye.

3.3.5.2. Selección de la dosis óptima de coagulante

Para la selección óptima de la dosis de PAC que se debe añadir al agua residual de curtido, se comparó entre concentraciones de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 mg/L de coagulante, el que se añadió a cada muestra, como se reporta en el gráfico 3-3, mientras que para el agua de pelambre se comparó entre concentraciones de 20, 40, 80, 100, 140 y 200 mg/L de coagulante, como se indica en el gráfico 4-3.

En la evaluación de los resultados para el agua de curtido, al añadir 10 mg/L de PAC se alcanzó un porcentaje de remoción igual a 23,19 %; la que aumentó a 49,18 % cuando se añadió 20 mg/L de coagulante, al añadir 30 mg/L el porcentaje de remoción fue igual a 30,16 %; el que disminuye a 27,12 % al dosificar 40 mg/L de coagulante; al adicionar 50 mg/L el porcentaje de remoción fue igual a 33,08 %; la que disminuyó a 15,21 % cuando se dosificó 60 mg/L de coagulante.

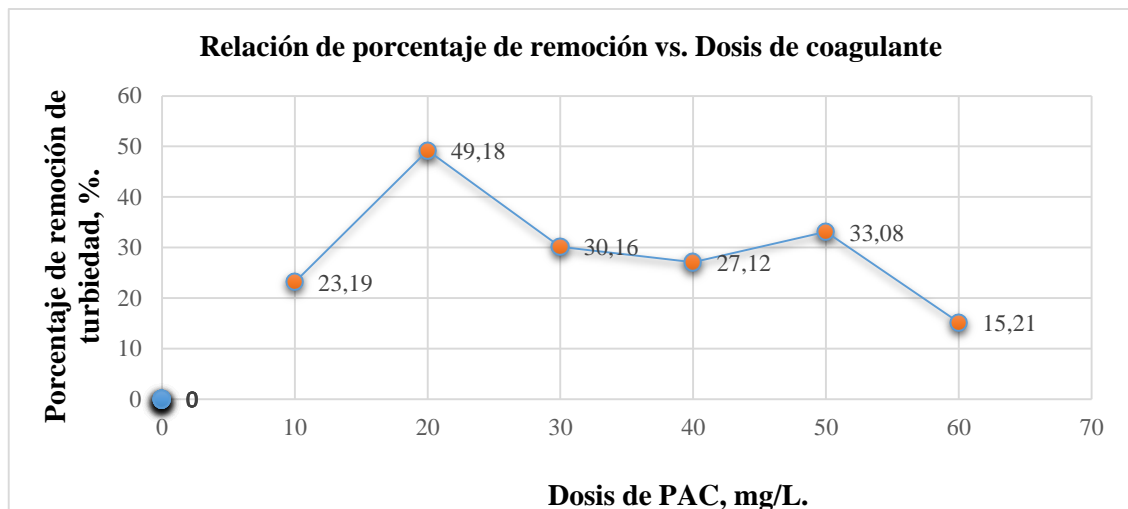


Gráfico 3-3: Resultados obtenidos para la selección de la dosis de coagulante óptimo para agua de curtido comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y la cantidad de coagulante.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

En los resultados para el agua de pelambre, al añadir 20 mg/L de PAC se alcanzó un porcentaje de remoción igual a 77,21 %; la que aumentó a 77,87 % cuando se añadió 40 mg/L de coagulante, al añadir 80 mg/L el porcentaje de remoción fue igual a 74,03 %; el que disminuye a 72,44 % al dosificar 100 mg/L de coagulante; al adicionar 140 mg/L el porcentaje de remoción fue igual a 75,65 %; la que disminuyó a 69,94 % cuando se dosificó 200 mg/L de coagulante.

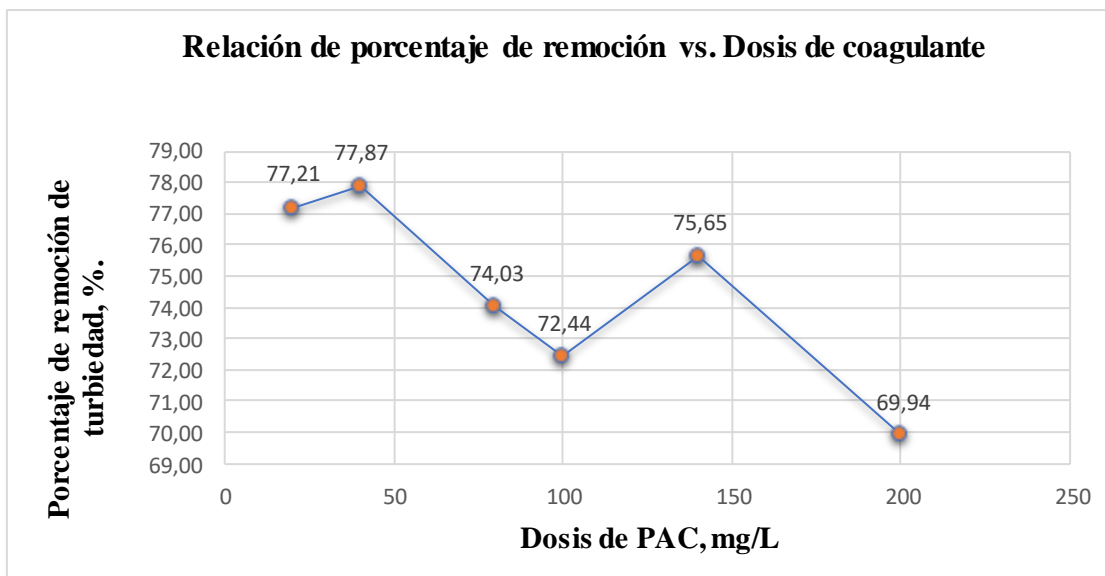


Gráfico 4-3: Resultados obtenidos para la selección de la dosis de coagulante óptimo para agua de pelambre comparando el porcentaje de remoción de la turbiedad y la cantidad de coagulante.
Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

El mayor porcentaje de remoción para el agua de curtido se alcanzó cuando se adicionó 20 mg/L de coagulante, mientras que para agua de pelambre el mayor porcentaje de remoción y disminución de sulfuros se alcanzó cuando se adicionó 40 mg/L de coagulante, por lo que estas cantidades se seleccionaran para el tratamiento de las aguas residuales en la curtiembre pieles “PUMA”, la cantidad en masa que se adicione del coagulante dependerá de la cantidad de agua residual generada por la empresa; lo cual estará indicado en la propuesta del rediseño de la planta de tratamiento.

3.4. Rediseño de la planta de tratamiento

3.4.1. Situación actual de la planta de tratamientos en la curtiembre pieles “PUMA”

La evaluación de la situación actual de la planta de tratamientos en la curtiembre pieles “PUMA” se realizó mediante la visita técnica a la planta, toma de mediciones de la planta y la recolección de datos históricos que fueron suministrados por el gerente propietario de la planta; el análisis del funcionamiento y dimensión de la planta se realizó mediante tablas check - list que permitió recolectar los datos más relevantes de la planta como se muestra en la tabla 17-3; además para un análisis completo de las características de la planta en la figura 4-3 se muestra el diagrama de flujo de las instalaciones actuales.

Tabla 18-3: Check list para evaluar la situación actual de la planta de tratamiento de agua residual en la curtiembre pieles “PUMA”

Calificación	Parámetro
1	No realiza o no posee
3	No responde
5	Si realiza o si posee

INSPECCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL			
Lugar de inspección: Curtiembre pieles “PUMA”			
1. Instalaciones			
Característica	Calificación		
	1	3	5
¿Posee trampas de grasa en la curtiembre?			
¿Posee canaletas un colector para acumular agua residual?			
¿Tiene la planta de un sistema de bombeo para el agua residual generada?			
¿Posee un tanque de aeración para el pretratamiento de agua residual?			
¿Posee la planta tanque de sedimentación y coagulación para el tratamiento primario			
¿Posee vertedero para el control del ingreso del agua?			
¿Qué tipo de vertedero es el que posee la planta?	a*		
¿Posee la planta tanque agitadores para la recuperación de cromo y el tratamiento de sulfuro?			
¿De qué dimensiones son las canaletas que posee la planta?	b*		
¿Cuáles son las dimensiones de los tanques para la coagulación y floculación?	c*		

¿Posee filtro para el agua residual?			
2. Operaciones de la planta			
¿Realizan el muestreo del agua residual producida en la curtiembre?			
¿Determinan el caudal de agua residual producida diariamente, semanalmente o mensualmente?			
¿Realizan la caracterización del agua residual después del tratamiento después del tratamiento?			
¿Qué tipo de tratamiento realizan al agua residual?	d*		
¿Dónde deposita el agua residual tratada?	e*		
¿Utiliza algún agente químico para la coagulación de los sólidos en el agua?			
¿Qué cantidad de coagulante utiliza en el tratamiento primario del agua?			
¿Cuánto tiempo permanece el agua residual en cada etapa del tratamiento?	f*		
¿Controla el caudal que ingresa a los tanques de sedimentación?			
¿Realiza la recuperación de iones cromo?			
¿Realiza el tratamiento de iones sulfuro?			
¿Determina la calidad del agua tratada?			

a*: Tipo rectangular.

b*: 31 cm de ancho y 42 cm de alto.

c*: 3,50 m de alto y 3,50 m de ancho.

d*: Pretratamiento.

e*: Cuerpo de agua dulce.

f*: 3 min.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

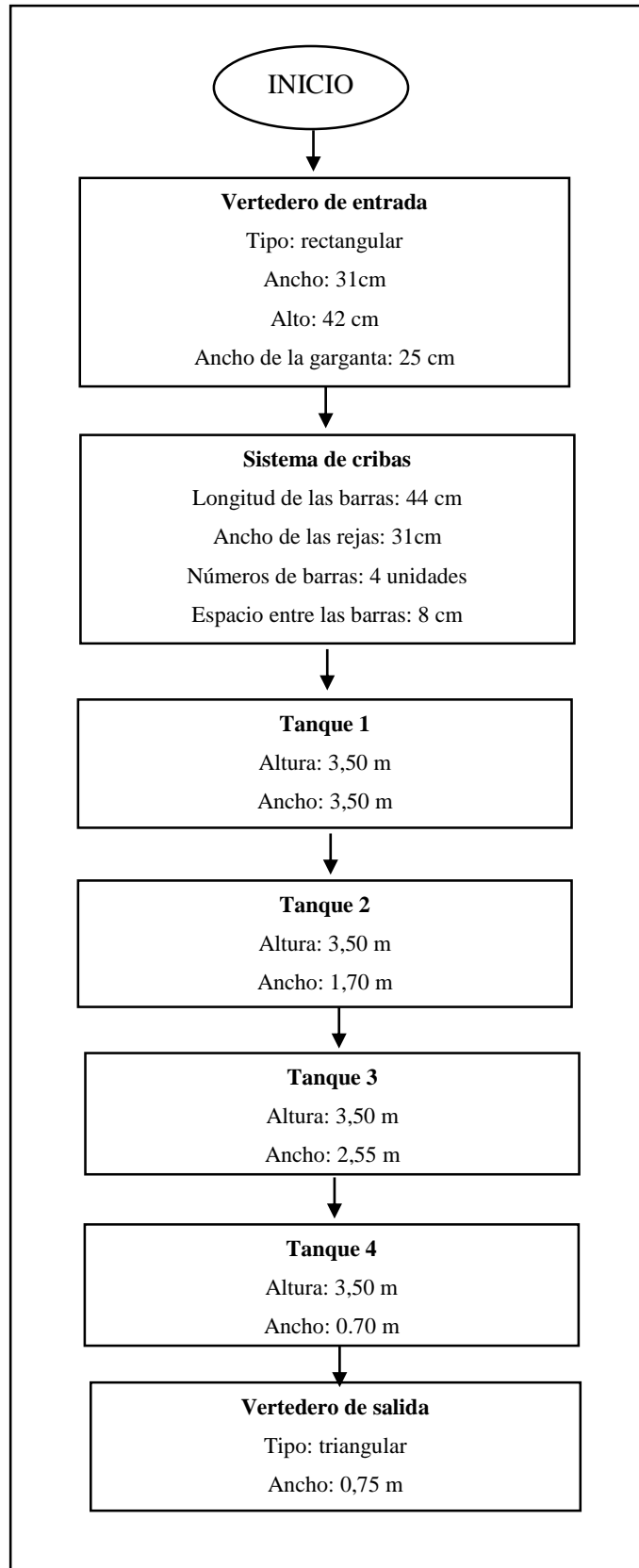


Figura 4-3: Diagrama de flujo de las instalaciones actuales de la planta de tratamiento.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

De acuerdo a la figura 4-3 la planta actualmente tiene: vertedero de entrada tipo rectangular por donde ingresa el agua hacia la planta de tratamiento y controla el caudal normal de agua; a continuación, está dotado de un sistema de cribas con barras metálicas y rejas de plástico para atrapar sólidos gruesos. Además, la planta tiene 4 tanques instalados uno a continuación de otro; estos sirven para el proceso de coagulación y floculación.

En el centro de la planta se ubica el vertedero de salida; es de tipo rectangular y está conectado a los sumideros de los tanques; al otro lado del vertedero se ubica un cuarto tanque que sirve para almacenar el agua residual producida; la planta no cuenta con mezcladores, bombas y compresores; adicional a esto el agua tratada no cumple con los parámetros de la norma actual, por lo que es necesario el rediseño de la misma; este se hará en base a las características actuales de la planta, se dimensiona los equipos faltantes para el tratamiento de agua propuesto en la parte experimental.

3.4.2. Selección del caudal de diseño

La determinación del tipo de caudal se realizó por el método volumétrico; se ubicó el lugar donde se vierten las aguas residuales (bombo de curtido y pelambre), se llenó una probeta de 1 L y se midió el tiempo que tardo en llenarse el recipiente; para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente ecuación.

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

Ec 1-3.

Donde:

Q: Caudal de diseño, $\frac{L}{s}$.

V: Volumen de agua residual, L.

t: Tiempo de llenado del recipiente, s.

En la tabla 19-3; se indica las diferentes mediciones del caudal, tomados en el lapso que se realizó el trabajo experimental; además se calculó el coeficiente de variación y si los datos se ajustaron a un modelo de distribución normal.

Tabla 19-3: Medición del caudal de diseño por el método volumétrico en la curtiembre pieles “PUMA”

Volumen, L.	Tiempo, s.	Caudal, L/s.
1	6,93	0,14
1	7,15	0,13
1	8,68	0,11
1	9,26	0,10
1	8,96	0,11
Caudal promedio, L/s.	0,11	

Día	Variable	Media	D.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	P-valor
1	Caudal	0,11	0,13	113,8	0,02	0,33	0,05	0,15
2	Caudal	0,18	0,11	61,01	0,04	0,33	0,15	
3	Caudal	0,05	0,02	52,35	0,02	0,08	0,04	

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Los valores del caudal medidos en diferentes días no reportaron diferencias estadísticas entre los datos ($P > 0,5$); por lo que no existe una variación marcada entre los datos y se acepta el caudal medio para el diseño de los equipos; con esto se descarta errores en la medición del caudal.

3.4.3. Diseño del sistema de cribado

El sistema de cribado es necesario para el pretratamiento del agua residual; debido a que la curtiembre pieles “PUMA” produce material sólido de gran tamaño; que ocasiona que el agua no fluya de manera normal hacia la planta de tratamiento; para el diseño del sistema de cribado se trabaja con el caudal promedio igual a 0,11 L/s.

- **Diseño del sistema de cribas**

- *Criterios de diseño para el sistema de cribas*

En la tabla 20-3; se muestra las condiciones de diseño de los equipos establecidas por el autor (Metcalf, 2015, pp.35-40).

Tabla 20-3: Parámetros de diseño para un sistema de cribas de limpieza manual.

Variable	Unidad	Medida
Apertura de rejillas	38-150	mm
Velocidad de aproximación	0,60-1,20	m/s
Inclinación	30-45	°
Ancho de las barras	5,08-15,24	mm
Profundidad del canal	0,43-1,68	m
Ancho del canal	0,30-2,00	m
Espacio entre barras	25,40-38,10	mm
Tirante hidráulico	0,60-1,00	m
Borde libre	0,30-0,60	m
Tipo de rejilla	Reja curva	

Fuente: (Metcalf, 2015).

➤ *Área del canal*

El área del canal mide el espacio superficial que ocupa la estructura del canal y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_c = b * h_t$$

Ec. 2-3.

Donde:

A_c: Área del canal, m².

b: Ancho del tirante, revisar tabla 20-3.

h_t: Altura del tirante hidráulico, revisar tabla 20-3.

➤ *Velocidad de paso entre la reja*

Mide la velocidad con la cual el agua tratada pasara las rejillas instaladas, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_{er} = \frac{Q}{A_c}$$

Ec. 3-3.

Donde:

V_{er}: Velocidad entre las rejillas, $\frac{m}{s}$.

Q: Caudal de diseño, $\frac{m^3}{s}$.

A_c: Área del canal, m².

➤ *Longitud de la reja*

Mide la distancia vertical que tendrán las rejas para ser instalada, se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$L = \frac{H + h_1}{\text{sen } \beta}$$

Ec. 4-3.

Donde:

L: Longitud de las barras, m.

H: Tirante hidráulico, m, revisar tabla 20-3.

h₁: Borde libre de inclinación, m, revisar tabla 20-3.

β: Ángulo de inclinación, 45°.

➤ *Calculo del número de barras*

Se calcula el número de barras colocadas horizontalmente para permitir el paso del agua, se obtiene de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$C = \frac{B - C_{ba}}{C_{ba} + d_{ba}}$$

Ec. 5-3.

Donde:

C: Numero de barras, unidad.

B: Ancho del canal, m; revisar tabla 20-3.

C_{ba}: Diámetro de paso, m; revisar tabla 20-3.

d_{ba}: Ancho de las barras, m; revisar tabla 20-3.

➤ *Velocidad de acercamiento aguas arriba*

Mide la velocidad que debe tener el fluido antes de aproximarse al sistema de cribado, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{ac} = \frac{Q_d}{(B - d_b) * H}$$

Ec. 6-3.

Donde:

V_{ac} : Velocidad de acercamiento aguas arriba, $\frac{m}{s}$.

Q_d : Caudal de diseño, $\frac{m^3}{s}$.

H: Tirante hidráulico, m, revisar tabla 20-3.

B: Ancho del canal, m; revisar tabla 20-3.

d_{ba} : Ancho de las barras, m; revisar tabla 20-3.

➤ *Cálculo del área de las rejas*

Mide el espacio superficial que ocuparan las rejas dentro del canal, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_{re} = C * d_{ba} * H$$

Ec. 7-3.

Donde:

A_{re} : Área de las rejas, m^2 .

C: Numero de barras, 12 unidades.

d_{ba} : Ancho de las barras, m; revisar tabla 20-3.

H: Tirante hidráulico, m, revisar tabla 20-3.

➤ *Cálculo de la velocidad de paso entre las rejas*

Mide la velocidad de flujo cuando el agua residual atraviesa las rejas, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$v_{er} = \frac{Q}{A_c - A_{re}}$$

Ec. 8-3.

Donde:

v_{er} : Velocidad entre las rejas, $\frac{m}{s}$.

Q_d : Caudal de diseño, $\frac{m^3}{s}$.

A_c : Área del canal, m^2

A_{re} : Área de las rejas, m^2 .

➤ *Cálculo de las pérdidas hidráulicas*

Mide la distancia longitudinal que se pierde por efecto de la fricción del agua con las barras metálicas, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_{lo} = \frac{1}{0,7} \left(\frac{v_{er}^2 - v_{ac}^2}{2g} \right)$$

Ec. 9-3.

Donde:

h_{lo} : Pérdidas longitudinales, m.

v_{er} : Velocidad entre las rejillas, $\frac{m}{s}$.

v_{ac} : Velocidad de acercamiento aguas arriba, $\frac{m}{s}$.

g : Fuerza de la gravedad, $9,8 \frac{m}{s^2}$.

3.4.4. Diseño del vertedero de entrada

Para el control del caudal de entrada a la planta de tratamiento de agua residual, es necesario instalar un canal de tipo rectangular, para facilidad de construcción e instalación; este será construido en concreto y debe ser diseñado para que permita el flujo del caudal máximo diario producido por la curtiembre pieles “PUMA”

➤ *Criterios de diseño para el vertedero rectangular*

En la tabla 21-3; se muestra las condiciones de diseño de los equipos establecidas por el autor (Hansen, 2012, pp.220-222).

Tabla 21-3: Parámetros de diseño para el vertedero rectangular.

Variable	Unidad	Medida
Ancho de la cresta	0,076	<i>m</i>
Relación entre la cresta y el ancho del canal	1:1,5	-
Relación entre el largo de la caja vertedora y el ancho del canal	5:1	-
Tipo de cresta	Ancha	

Fuente: (Hansen, 2012).

➤ *Cálculo del ancho del vertedero*

Mide la distancia entre las dos paredes que forman el vertedero, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$B = 1,5 * w$$

Ec. 10-3.

Donde:

B: Ancho del vertedero, m.

w: Ancho de la cresta, m, revisar condiciones de diseño (tabla 21-3).

➤ *Calculo del coeficiente de descarga*

Mide las pérdidas generadas por efecto del paso del agua en el vertedero de concreto, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$C_e = 0,61 * \left(1 - \frac{w}{10B}\right)$$

Ec. 11-3.

Donde:

C_e: Coeficiente de descarga, adimensional.

w: Ancho de la cresta, m, revisar condiciones de diseño (tabla 21-3).

B: Ancho del canal, m.

➤ *Calculo de la carga hidráulica*

Mide la altura máxima que deberá tener el canal para lograr un máximo de transporte de agua, se obtiene de acuerdo a la ecuación 12-3.

$$Q = \frac{2}{3} C_e * w * \sqrt{2g} * H^{\frac{3}{2}}$$

Ec. 12-3.

Donde:

Q: Caudal volumétrico, L / s.

C_e: Coeficiente de descarga, m.

g: Fuerza de la gravedad, $9,8 \frac{m}{s^2}$.

w: Ancho de la cresta, m, revisar condiciones de diseño (tabla 21-3).

H: Carga hidráulica, m.

➤ *Cálculo del área del vertedero*

Mide el espacio superficial que ocupa el vertedero, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A = H * B$$

Ec. 13-3.

Donde:

A: Área del vertedero, m².

H: Carga hidráulica, m.

B: Ancho del vertedero, m.

➤ *Cálculo de la altura mínima del vertedero*

Calcula la altura desde el fondo del vertedero hacia la cresta y se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H = h_v + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

Ec. 14-3.

Donde:

h_v : Altura mínima del vertedero, m.

H: Carga hidráulica, m.

Q: Caudal volumétrico, m³ / s.

g: Fuerza de la gravedad, $9,8 \frac{m}{s^2}$.

A: Área del vertedero, m².

$$h_v = H - \frac{Q^2}{2gA^2}$$

➤ *Cálculo del perímetro mojado del vertedero*

Mide el espacio que ocupara el agua dentro del vertedero, se calcula despejando en la siguiente ecuación.

$$P_m = B + 2H$$

Ec. 15-3.

Donde:

P_m : Perímetro mojado, m.

B: Ancho del canal, m.

H: Carga hidráulica, m.

3.4.5. Diseño del tanque de homogenización de agua residual

El tanque de homogenizado será instalado, para recolectar el agua residual producida en la etapa de curtido y de pelambre durante todo el día, en esta reposará para lograr un mejor tratamiento.

- Condiciones de operación

En la tabla 22-3; se describen las condiciones de operación del tanque de homogenización para la recepción del agua residual.

Tabla 22-3: Parámetros de diseño para el tanque de homogenización del agua residual

Variable	Unidad	Medida
Relación diámetro: altura	1:0,66	-
Relación altura del fondo y diámetro del tanque	1:0,25	-
Material	Concreto	-
Tipo de cresta	Ancha	

Fuente: (Hansen, 2012).

- **Cálculo del volumen de agua residual**

Mide la cantidad de agua residual generada en la operación de la planta, se calcula de acuerdo al siguiente esquema de cálculo; se calculó para todos los caudales.

- Cálculo del volumen de agua residual generada en una hora de operación de la curtiembre, de acuerdo a los caudales, con la siguiente ecuación.

$$V_e = Q * t$$

Ec. 16-3.

Donde:

V_e : Volumen generado de agua residual, m^3 .

Q : Caudal de diseño, $\frac{L}{s}$.

t : Tiempo de producción del agua residual, s.

- Cálculo del volumen acumulado de agua residual, se hace en base al volumen inicial producido más el volumen generado en cada variación de caudal como se muestra a continuación.

$$V_g = V_e + V_{e+1}$$

Ec. 17-3.

Donde:

V_g : Volumen generado, L.

V_e : Volumen esperado, L.

V_{e+1} : Volumen esperado calculado con el siguiente caudal, L.

- A continuación, se realizó una curva en base al volumen generado; como se muestra en el gráfico 5-3.

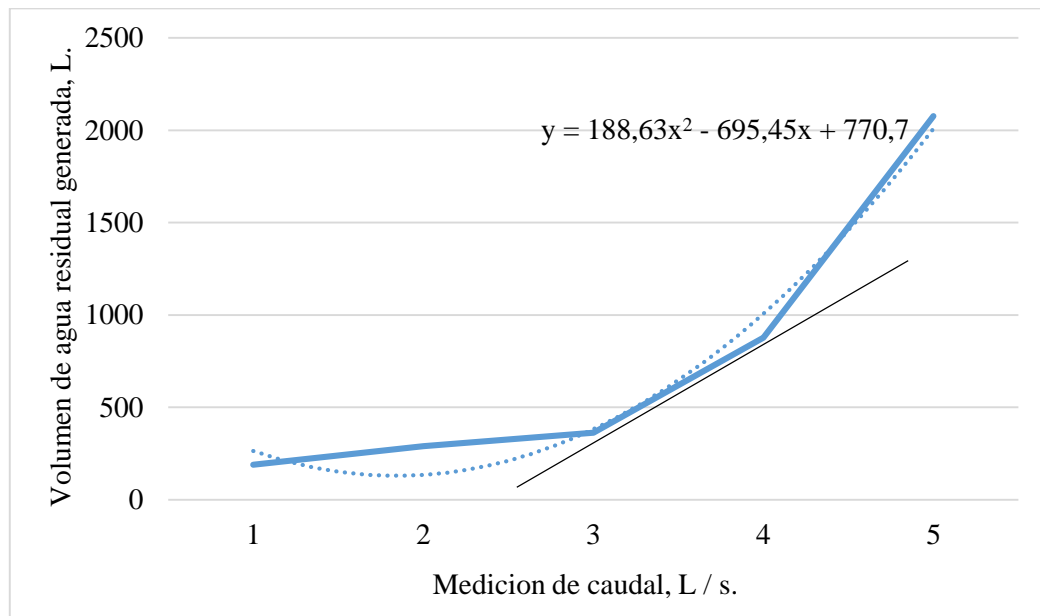


Gráfico 5-3: Comparación del caudal vs volumen de agua residual

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

- Para calcular el volumen de agua residual generado, se calcula la pendiente de la curva generada, esto se hace de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$y = \frac{dV}{dQ}$$

Ec. 18-3.

Donde:

y: Volumen generado, L.

Q: Caudal de agua residual, L / s.

$$y' = 377,26 x - 695,45$$

- Se calcula la pendiente de la curva, tomando como referencia el volumen inicial 0 L, porque es cuando se comienza a llenar el tanque, se reemplaza el valor mayor de volumen generado.

$$m = \frac{y - y_0}{x - x_0}$$

Ec. 19-3.

$$m = \frac{695,45}{377,26}$$

$$m = 1,84$$

- A continuación, se calcula el volumen de agua residual de la ecuación, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V = mx + b$$

Ec. 20-3.

Donde:

V: Volumen de agua residual producida, L.

m: Pendiente de la curva, 1,84 adimensional.

x: Volumen de agua residual, 2067,22 L.

➤ *Cálculo del diámetro del tanque*

Mide la distancia entre los dos extremos del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$r = \sqrt[3]{\frac{V_{ww}}{3,03 \pi}}$$

Ec. 21-3.

Donde:

r: Radio del tanque, m.

V: Volumen del tanque, m³.

π: Pi, 3,1416 adimensional.

➤ *Cálculo de la altura del cuerpo del tanque*

Mide la distancia vertical del cuerpo del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_c = \frac{2r}{0,66}$$

Ec. 22-3.

Dónde:

h: Altura de la carcasa del tanque, m.

r: Radio del tanque, m.

➤ *Cálculo de la altura del fondo del tanque*

Mide la distancia de la concavidad del fondo del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_{ca} = \frac{r}{2}$$

Ec. 23-3.

Dónde:

h_c: Altura de la carcasa del tanque, m.

r: Radio del tanque, m.

➤ *Cálculo de la altura total del tanque*

Mide la altura total del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_t = h_{ca} + h_c$$

Ec. 24-3.

Dónde:

h_t : Altura total del tanque, m.

h_c : Altura de la carcasa del tanque, m.

h_{ca} : Altura de la cabeza, m.

➤ *Cálculo de la velocidad de vaciado del tanque*

Se calcula la velocidad con la que el fluido dejara el tanque de almacenamiento, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$v = \sqrt{2gh}$$

Ec. 25-3.

Donde:

v : Velocidad de vaciado, m/s.

g : Fuerza de la gravedad, $9,8 \frac{m}{s^2}$.

h : Altura del tanque, m.

➤ *Cálculo de la velocidad de llenado del tanque*

Se calcula la velocidad con la que el fluido entre en el tanque de almacenamiento, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$v_l = \frac{Q}{\pi * r^2}$$

Ec. 26-3.

Donde:

v_l : Velocidad de llenado del tanque, m/s.

Q : Caudal de diseño, $\frac{m^3}{s}$.

r : Radio del tanque, m.

➤ *Cálculo de la sección transversal del agujero de salida*

Se calcula el área transversal del agujero para el vaciado del tanque, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$S_2 = \frac{\pi r H * v_l}{v}$$

Ec. 27-3.

Donde:

S_2 : Sección transversal del agujero, m^2 .

r: Radio del tanque, m.

H: Altura del tanque, m.

v_l : Velocidad de llenado del tanque, $\frac{m}{s}$.

v: Velocidad de vaciado del tanque, $\frac{m}{s}$.

➤ *Cálculo del radio del agujero*

$$r_a = \sqrt{\frac{S_2}{\pi}}$$

Ec. 28-3.

Donde:

S_2 : Sección transversal del agujero, m^2 .

r_a : Radio del agujero del tanque, m.

➤ *Cálculo del tiempo de vaciado del tanque*

Calcula el tiempo que se demora hasta que el agua residual abandone el tanque, se calcula de la siguiente ecuación.

$$t = \frac{v}{r}$$

Ec. 29-3.

Dónde:

t: Tiempo de llenado, s.

v: Velocidad de vaciado, m/s.

S_2 : Sección del tanque, m^2 .

➤ *Cálculo del tiempo de llenado del tanque*

Se calcula el tiempo que tarda en llenar el tanque de homogenización, esto se hace de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$t_l = \frac{V_{ww}}{Q}$$

Ec. 30-3.

Donde:

t_l : Tiempo de llenado, s.

V_{ww} : Volumen de agua residual, m^3 .

Q: Caudal de diseño, $\frac{m^3}{s}$.

3.4.6. Diseño del tanque de coagulación – floculación

Este tanque se instalará para realizar la coagulación y floculación, donde se realizará el tratamiento propuesto en la parte experimental, este tanque será cónico y se instalará en función a la cantidad de agua residual y agentes químicos que se deban utilizar, este se realizará para el agua residual producto de la curtición.

➤ Condiciones de diseño

Las condiciones de diseño para que logre procesar el volumen total de agua residual producida se detallan en la tabla 23-3, los datos se recopilan de lo que indica el autor (Metcalf, 2015, pp.230-237), en el libro ingeniería de aguas residuales.

Tabla 23-3: Variables de diseño para la instalación del tanque de coagulación y floculación en la curtiembre pieles “PUMA”

Variables	Dimensión
Forma geométrica	Cónica
Relación Diámetro del tanque altura	3:4
Tipo de impulsor	Hélice con 6 palancas
Pantallas difusoras	2 a cada lado
Velocidad de giro	100 rpm
Constante de pérdida en el mezclado	6,30
Velocidad de salida en los agujeros	0,020
Solubilidad del aire	19,11 mL/L
Fracción del aire a presión atmosférica	0,8 adimensional
Presión atmosférica del cantón Ambato	0,95 atm
Constante de remoción de solidos	0,07 adimensional
Tipo de transferencia de aire	Difusión por burbuja simple
Diámetro del tubo para los orificios	135 cm

Realizado por: OCLES, Jessica. 201.

➤ *Calculo del volumen de coagulante*

Se calcula la cantidad de coagulante necesario para el tratamiento de las aguas, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_c = V_w * D_c$$

Ec. 31-3.

Dónde:

V_c : Volumen de coagulante, m³.

V_w : Volumen de agua residual, m³.

D_c : Dosis óptima de coagulante, encontrada en la parte experimental, m³.

➤ *Calculo del volumen de floculante*

Se calcula la cantidad de coagulante necesario para el tratamiento de las aguas, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_f = V_w * D_f$$

Ec. 32-3.

Donde:

V_f : Volumen de floculante, m³.

V_w : Volumen de agua residual, m³.

D_c : Dosis optima de floculante, encontrada en la parte experimental, m³.

➤ *Calculo del volumen del tanque*

Se calcula el espacio necesario del tanque para realizar el proceso de coagulación-floculación de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_t = V_w * V_f * V_c$$

Ec. 33-3.

Donde:

V_t : Volumen del tanque, m³.

V_f : Volumen de floculante, m³.

V_w : Volumen de agua residual, m³.

V_c : Volumen del coagulante, m³.

- *Cálculo del diámetro del tanque*

Mide el espacio a lo ancho que debe tener el tanque para procesar el agua, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$D_{tc} = \sqrt[3]{\frac{16 V_t}{3\pi}}$$

Ec. 34-3.

Donde:

D_{tc} : Diámetro del tanque de coagulación, m.

V_t : Volumen del tanque, m³.

- *Cálculo de la altura del tanque*

Mide la distancia vertical necesaria para procesar el agua, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_{tc} = \frac{4}{3} D_{tc}$$

Ec. 35-3.

Donde:

h_{tc} : Altura del tanque, m.

D_{tc} : Diámetro del tanque de coagulación, m.

- *Cálculo del diámetro del impulsor*

Mide el espacio horizontal que tendrá el impulsor para poder realizar la agitación, se calcula de acuerdo a:

$$d_i = \frac{1}{3} D_{tc}$$

Ec. 36-3.

Donde:

d_i : Diámetro del impulsor, m.

D_{tc} : Diámetro del tanque de coagulación, m.

- **Cálculo de la altura del impulsor con respecto al fondo**

Mide la distancia vertical que tendrá el impulsor desde el fondo del tanque medido hacia arriba, se calcula de acuerdo a:

$$H_{ft} = \frac{1}{3} D_{tc}$$

Ec. 37-3.

Donde:

H_{ft} : Altura del impulsor con respecto al fondo del tanque, m.

D_{tc} : Diámetro del tanque de coagulación, m.

- **Cálculo de la altura del impulsor**

Mide la longitud vertical total que ocupara el impulsor en el tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H_i = H_{tc} - H_{ft}$$

Ec. 38-3.

Donde:

H_i : Altura del impulsor, m.

H_{ft} : Altura del impulsor con respecto al fondo del tanque, m.

H_{tc} : Altura del tanque de coagulación, m.

- **Cálculo de la anchura de las paletas del impulsor**

Mide la distancia horizontal de las paletas ubicadas en el fondo del impulsor, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$w_p = \frac{d_i}{5}$$

Ec. 39-3.

Dónde:

w_p : Ancho de las paletas, m.

d_i : Diámetro del impulsor, m.

- **Cálculo de la longitud de las paletas**

Mide el espacio vertical que ocupan las paletas, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$l_p = \frac{d_i}{4}$$

Ec. 40-3.

Donde:

l_p : Longitud de las paletas, m.

d_i : Diámetro del impulsor, m.

- **Cálculo del ancho de las placas deflectoras**

Mide el espacio horizontal que ocupan las placas deflectoras ubicadas en los bordes del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$b_p = \frac{D_t}{10}$$

Ec. 41-3.

Dónde:

b_p : Ancho de las placas deflectoras, m.

D_t : Diámetro del tanque, m.

- **Cálculo del número de Reynolds**

Mide el comportamiento del fluido dentro del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{d_i^2 * n * \rho_w}{\mu}$$

Ec. 42-3.

Donde:

Re: Numero de Reynolds, adimensional.

D_t : Diámetro del impulsor, m.

n: Velocidad de giro, revisar tabla 23-3.

ρ_w : Densidad del agua, kg/m³.

μ : Viscosidad dinámica del agua, N.s/m².

- **Cálculo de la potencia necesaria del fluido**

Mide la potencia que debe tener el motor trifásico para lograr el mezclado del agua residual y el coagulante y floculante, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P = k * \rho * n^3 * d_i^5$$

Ec. 43-3.

Donde:

P: Potencia necesaria, W.

d_i: Diámetro del impulsor, m.

k: Constante de pérdida en el mezclado, revisar tabla 23-3.

n: Velocidad de giro, revisar tabla 23-3.

ρ_w: Densidad del agua, kg/m³.

- **Cálculo de la porción de pared con agujeros**

En la pantalla difusora será necesario implementar agujeros para dejar salir los flóculos formados para la etapa de precipitación, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_a = \frac{1}{4} H_t$$

Ec. 44-3.

Donde:

h_a: Altura de la pared con agujeros, m.

H_t: Altura del tanque, m.

- *Cálculo del área de los agujeros*

Mide el espacio superficial que ocuparan los agujeros en la pared del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_a = \frac{Q}{v_a}$$

Ec. 45-3.

Donde:

A_a: Área de los agujeros, m².

Q: Caudal de diseño, m³/s.

v_a: Velocidad en los agujeros, m / s; revisar condiciones de diseño (tabla 23-3).

- *Cálculo del diámetro del agujero*

Mide la distancia horizontal que ocuparan los agujeros en la pared del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$d_a = \sqrt{\frac{4A_a}{\pi}}$$

Ec. 46-3.

Donde:

d_a : Diámetro de los agujeros, m³.

A_a : Área de los agujeros, m³.

- *Cálculo del número de agujeros*

Mide el número de agujeros que serán colocados en la pared para la salida del agua, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$n_a = \frac{h_a}{d_a}$$

Ec. 47-3.

Donde:

n_a : Número de agujeros, unidades.

h_a : Altura de la pared sin agujeros, m.

d_a : Diámetro de los agujeros, m.

- *Calculo de la cantidad de sólidos removidos*

Es necesario conocer la cantidad de sólidos removidos en el tratamiento del agua, este se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$S = \frac{S_a}{1,3 s_a * (fP - 1)}$$

Ec. 48-3.

Donde:

S : Cantidad de sólidos a remover, mg.

S_a : Concentración de solidos totales disueltos, mg/l.

f : Fracción del aire disuelto a la presión atmosférica, revisar tabla 23-3.

P : Presión atmosférica, kPa, revisar tabla 23-3.

s_a : Solubilidad del aire, mL/L, revisar tabla 23-3.

- *Cálculo del tiempo de aeración*

Es el tiempo que el agua debe permanecer en el tanque para la aeración, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t = \frac{0,77}{k_d * f}$$

Ec. 49-3.

Donde:

t: Tiempo de aeración, h.

k_d : Constante de remoción de sólidos, adimensional, revisar tabla 23-3.

f: Fracción del aire disuelto a la presión atmosférica, revisar tabla 23-3.

- *Cálculo del caudal de aire necesario*

Mide la cantidad necesario de aire por tiempo de operación, se calcula de acuerdo a la siguiente operación:

$$Q_a = \frac{1 + k_d * t}{Y * t * (S_o - S)}$$

Ec. 50-3.

Donde:

Q_a : Caudal de aire necesario, m³/h.

t: Tiempo de aireación, h.

k_d : Constante de remoción de sólidos, adimensional, revisar tabla 23-3.

Y: Eficiencia de remoción, 0,50.

S: Cantidad de sólidos removidos, mg/L.

S_o : Cantidad de sólidos totales disueltos, mg/L.

- *Cálculo de la presión de operación*

$$P = \frac{p + 101,35}{101,325}$$

Ec. 51-3

Donde:

P: Presión de operación, kPa.

p: Presión atmosférica, kPa.

- *Cálculo de la potencia del compresor*

Es necesario calcular la potencia necesaria para suministrar el aire al agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$P = \frac{0,22 * Q}{\eta} * \left[\left(\frac{P_o}{14,7} \right)^{0,283} + 1 \right]$$

Ec. 52-3.

Donde:

P : Potencia del motor, Hp.

P : Presión de trabajo, psi.

Q : Caudal de aire; $\frac{m^3}{min}$

η : Eficiencia del compresor, para el caso de motores comerciales 75% (McCabe, 2011).

- *Cálculo del diámetro del orificio*

Es necesario instalar agujeros que completan el sistema de difusores, el diámetro de estos agujeros se calcula de acuerdo a:

$$d_a = \frac{d_b^3 * g * (\rho_{ww} - \rho_a)}{6 * \theta}$$

Ec. 53-3.

Donde:

d_a : Diámetro del orificio, m

d_b : Diámetro de la burbuja; m .

g : Fuerza de la gravedad; $9,8 \frac{m}{s^2}$

ρ_{ww} : Densidad del agua residual; $\frac{kg}{m^3}$ (Valor establecido experimentalmente).

ρ_a : Densidad del aire; $\frac{kg}{m^3}$

θ : Tensión superficial; $\frac{N}{m}$.

- *Cálculo del número de orificios*

Es necesario establecer el numero óptimo de orificios necesarios para la difusión del aire, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$N = \frac{0,7 * d_t}{d_a}$$

Ec. 54-3.

Donde:

N : Número de orificios, unidades.

d_t : Diámetro del tubo; m (Revisar tabla 23-3).

d_o : Diámetro del orificio, m .

➤ *Cálculo del área de los orificios*

Se calcula el espacio superficial que ocupan los agujeros, esto se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{\pi d_o^2}{4}$$

Ec. 55-3.

Donde:

A_o : Área del orificio, m .

d_o : Diámetro del orificio, m .

➤ *Cálculo del área de la tubería*

Se calcula el espacio superficial que ocupa la tubería en el fondo del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_t = 2\pi d_{tu} D_t$$

Ec. 56-3.

Donde:

A_t : Área de la tubería, m^2 .

d_m : Diámetro de la tubería, m .

D_t : Diámetro del tanque, m .

➤ *Cálculo de la separación de los orificios*

Se calcula el espacio entre cada uno de los orificios que ocupa la tubería en el fondo del tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$s_o = \frac{A_t}{d_o * n_o}$$

Ec. 57-3.

Donde:

s_o : Separación del orificio, m .

- A_t: Área de la tubería, m².
- d_o: Diámetro del orificio, m.
- n_o: Número de orificios, m.

3.4.7. Tanque de sedimentación

El tanque de sedimentación se ubicará contiguo al tanque de coagulación - floculación, tendrá forma rectangular y servirá para producir la sedimentación de los flóculos formados en la etapa anterior, las condiciones de operación se muestran a continuación.

➤ *Condiciones de diseño*

En la tabla 24-3 se muestra las condiciones de diseño del tanque sedimentador a instalarse para el tratamiento físico del agua residual.

Tabla 24-3: Condiciones de diseño para la propuesta tecnológica del tanque sedimentador

Parámetro	Medida	Unidad
Carga Superficial	2-10	m ³ /m ² h
Pendiente en el fondo	5-10	°
Velocidad de salida en los orificios	0,15	m/s
Pantalla difusora con respecto a la entrada	0,7-1,00	m
Diámetro de partícula	1-10	µm
Densidad de la partícula	0,5	g/cm ³
Densidad del agua	1,10	g/cm ³
Tiempo de retención	2-6	H

Fuente: (OPS, 2015).

➤ *Cálculo de la velocidad de sedimentación*

Mide el desplazamiento con respecto al tiempo de las partículas que se depositan en el tanque, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_w - \rho_s}{\mu} \right) d_p^2$$

Ec. 58-3.

Donde:

v_s : Velocidad de sedimentación, cm/s.

g : Fuerza de la gravedad, cm/s².

d_p : Diámetro de las partículas, cm.

μ : Viscosidad del agua, cm²/s.

➤ *Cálculo del área del sedimentador*

Mide el espacio superficial que ocupa el sedimentador, se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$A_s = \frac{Q_d}{v_s}$$

Ec. 59-3.

Donde:

A_s : Área de sedimentación, m².

v_s : Velocidad de sedimentación, m/s.

Q_d : Caudal de diseño, m³/s.

➤ *Cálculo de la altura del sedimentador*

Mide la distancia vertical que ocupara el sedimentador, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h = \sqrt{\frac{2A_s}{5}}$$

Ec. 60-3.

Donde:

h : Altura del sedimentador, m.

A_s : Área de sedimentación, m².

➤ *Cálculo del largo del sedimentador*

Mide la distancia horizontal que ocupara el sedimentador, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$L = 3h$$

Ec. 61-3.

Donde:

h: Altura del sedimentador, m.

➤ *Cálculo del ancho sedimentador*

Mide la distancia entre lado y lado horizontal que ocupara el sedimentador, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$b = \frac{L}{2}$$

Ec. 62-3.

Donde:

L: Longitud del sedimentador, m.

➤ *Cálculo de la sección transversal para la evacuación del lodo*

Mide la sección por la cual se evacuará los lodos después del proceso de sedimentación, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_l = \frac{A_s * \sqrt{h}}{4850 * t}$$

Ec. 63-3.

Donde:

A_l: Área de la evacuación de lodos, m².

A_s: Área del sedimentador, m².

h: Altura del sedimentar, m.

t: Tiempo de evacuación, 4 h; tomado experimentalmente.

➤ *Cálculo del orificio de evacuación de lodos*

Mide la distancia horizontal de los agujeros para evacuar los lodos, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$r_l = \sqrt{\frac{A_l}{\pi}}$$

Ec. 64-3.

Donde:

r_l: Radio de evacuación de los lodos, m.

A_l : Área de la evacuación de lodos, m^2 .

$$A_l = \sqrt{\frac{0,12 m^2}{3,1416}}$$

➤ *Cálculo del tiempo de retención*

Calcula el tiempo que permanecerá el agua para asegurar la máxima formación de flóculos, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t_{re} = \frac{V_{ww}}{Q}$$

Ec. 65-3.

Donde:

t_{re} : Tiempo de retención, s.

V_{ww} : Volumen de agua residual, m^3 .

Q : Caudal de diseño, m^3/s .

➤ *Cálculo del área de los orificios de salida del agua*

Mide el espacio transversal que ocupan los orificios, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$A_{or} = \frac{Q_d}{v_{or}}$$

Ec. 66-3.

Donde:

A_{or} : Área de los orificios, m^2 .

v_{or} : Velocidad en los orificios, m/s, datos de diseño revisar tabla 24-3.

Q : Caudal de diseño, m^3/s .

➤ *Cálculo de la sección transversal de los orificios de salida del agua*

Mide el espacio transversal que ocupan los orificios, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$r_{or} = \sqrt{\frac{A_{or}}{\pi}}$$

Ec. 67-3.

Donde:

r_{or} : Radio de los orificios, m.

A_{or} : Área de los orificios, m².

➤ *Cálculo de la sección con orificios en la pared difusora*

$$h_o = \frac{1}{5} h$$

Ec. 68-3.

Donde:

h_o : Altura de la pared con orificios, m.

h : Altura del sedimentador, m².

➤ *Cálculo del número de orificios*

$$n = \frac{h_o}{r_o}$$

Ec. 69-3.

Donde:

n : Número de orificios, m.

h_o : Altura de la pared con orificios, m.

r_o : Radio de los orificios, m.

➤ *Cálculo de la longitud del vertedero de salida del tanque*

Mide el espacio horizontal que ocupara el vertedero para la evacuación del agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$l = \frac{Q}{C_s}$$

Ec. 70-3.

Donde:

l : Longitud del vertedero, m.

Q : Caudal de diseño, m³/s.

C_s : Carga Superficial, m³/m²/s.

➤ *Cálculo de la altura del vertedero*

$$y = \left[\frac{Q}{1,376l} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Ec. 71-3.

Donde:

y: Alto del vertedero, m.

Q: Caudal de diseño, m³/s.

l: Longitud del vertedero, m.

3.4.8. Filtro

Para asegurar la máxima remoción del tratamiento de agua, es necesario instalar un filtro que retendrá los sólidos suspendidos y solubles, así como también contaminantes orgánicos, las condiciones de diseño se muestran a continuación.

➤ *Condiciones de operación*

Tabla 25-3: Condiciones de diseño para un filtro de flujo descendente

Variable	Medida	Unidad
Distribución del lecho filtrante	Carbón, grava gruesa y grava fina	
Altura del lecho de carbón	60	%
Altura del lecho de grava gruesa	18	%
Altura del lecho de grava fina	6	%
Borde libre	Mínimo 2	m
Diámetro de la grava fina	1-2	mm
Diámetro de la grava gruesa	2-5	mm
Velocidad de filtración	2,03*10 ⁻³	m/s
Número de unidades	2	Unidades

Fuente: (Weber, 2015)

➤ *Área del filtro*

Mide el espacio superficial que ocupa el filtro, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$a_s = \frac{Q_d}{v_f}$$

Ec. 72-3.

Donde:

a_s : Área superficial, m.

Q_d : Caudal de diseño, m³/s.

v_f : Velocidad de filtración, m/s.

➤ *Cálculo del ancho del filtro*

Mide el espacio longitudinal que ocupa el cuerpo, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$b_f = \sqrt{\frac{2 a_s}{0.5 N_f}}$$

Ec. 73-3.

Donde:

b_f : Ancho del filtro, m.

A_s : Área superficial del filtro, m².

N_f : Número de filtros, m.

➤ *Cálculo de la altura total del filtro*

Mide el espacio longitudinal que ocupa el filtro, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_f = 2b_f$$

Ec. 74-3.

Donde:

h_f : Altura del filtro, m.

b_f : Ancho del filtro, m.

➤ *Cálculo de la altura del lecho de carbón*

Mide el espacio longitudinal que ocupa el lecho de carbón, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_c = 0,6h_f$$

Ec. 75-3.

Donde:

Hc: Altura del lecho de carbón, m.

h_f: Altura del filtro, m.

➤ *Cálculo de la altura del lecho de grava gruesa*

Mide el espacio longitudinal que ocupa el lecho de grava gruesa, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_{gg} = 0,18h_f$$

Ec. 76-3.

Donde:

h_{gg}: Altura del lecho de grava gruesa, m.

h_f: Altura del filtro, m.

➤ *Cálculo de la altura del lecho de grava fina*

Mide el espacio longitudinal que ocupa el lecho de grava fina, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_{gf} = 0,06h_f$$

Ec. 77-3.

Donde:

h_{gf}: Altura del lecho de grava fina, m.

h_f: Altura del filtro, m.

➤ *Cálculo de la altura del vertedero de salida del agua filtrada*

Mide el espacio vertical que debe tener el vertedero para evacuar el agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$h_v = \sqrt[2,47]{\frac{Q}{7,75}}$$

Ec. 78-3.

Donde:

h_v: Altura del vertedero, m.

Q: Caudal de diseño, m³/s.

➤ *Cálculo del ancho del vertedero de salida del agua filtrada*

Mide el espacio horizontal que debe tener el vertedero para evacuar el agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$b_v = 3,4 * Q$$

Ec. 79-3.

Donde:

b_v : Ancho del vertedero, m.

Q: Caudal de diseño, m³/s.

➤ *Cálculo de las pérdidas por efecto de la grava gruesa*

En el paso del agua por la grava gruesa se producen pérdidas longitudinales por efecto del roce entre las dos sustancias, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_g = \left(\frac{Q_d}{c * d^2} * \frac{60}{T + 10} \right) * h_{gg}$$

Ec. 80-3.

Donde:

h_g : Pérdidas por efecto de la grava gruesa, m.

h_{gg} : Altura de la grava gruesa, m.

Q_d : Caudal de diseño, m³/s.

T: Temperatura del agua, °C.

c: Coeficiente por el tipo de arena, 800 para arena gruesa (McCabe, 2011).

d: Diámetro efectivo de la arena, m.

➤ *Cálculo de las pérdidas por efecto de la grava fina*

En el paso del agua por la grava fina se producen pérdidas longitudinales por efecto del roce entre las dos sustancias, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_{gf} = \frac{Q_d * b_f^2}{4000 * d^{1.67} * h_{gf}}$$

Ec. 81-3.

Donde:

h_{gf} : Pérdidas por efecto de la grava fina, m.

h_{gf} : Altura de la grava fina, m.

Q_d : Caudal de filtración, m/s.

b_f : Longitud del filtro, m.

d: Diámetro de la grava fina, m.

d: Diámetro efectivo de la arena, m.

➤ *Cálculo de las pérdidas totales*

Es el conjunto de pérdidas longitudinales por efecto del paso del agua hacia el filtro, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$h_t = h_{gf} + h_{gg}$$

Ec. 82-3.

Donde:

h_t : Pérdidas totales, m.

h_{gf} : Pérdidas por efecto de la grava fina, m.

h_{gg} : Pérdidas por grava gruesa, m.

➤ *Cálculo de la altura dinámica de la bomba*

Mide la distancia máxima que puede impulsar la bomba al agua residual, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H = z_2 - z_1 + \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho * g} \right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * g} \right) + h_t$$

Ec. 83-3.

Donde:

z_2 : Altura del filtro, m.

z_1 : Altura inicial del fluido, m.

P_2 : Presión en el punto de llegada, Pa.

P_1 : Presión en el punto inicial, Pa.

v_2 : Velocidad de filtrado, m/s.

v_1 : Velocidad inicial del fluido, m/s.

h_t : Pérdidas totales, m.

g : Fuerza de la gravedad, m/s².

➤ *Cálculo de la potencia de la bomba*

Mide la potencia necesaria para lograr impulsar el agua a tratar por el filtro, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P = \frac{Q * H * \gamma}{\varphi}$$

Ec. 84-3.

Donde:

Q: Caudal de filtrado, m³/s.

H: Altura de carga dinámica de la bomba, m.

γ : Peso específico del fluido, kg/m³.

φ : Eficiencia, 80% para que el proceso sea viable.

3.4.9. Tanque espesador de lodos-recuperación de cromo

Es necesario instalar un tanque para recoger los lodos producidos en la etapa de coagulación-floculación y sedimentación, este tanque tendrá como función separar el agua del lodo y tendrá configuración rectangular, las condiciones de diseño se detallan en la tabla 26-3.

➤ *Condiciones de diseño*

Las condiciones de diseño para el tanque espesador de lodos se describen en la tabla 26-3.

Tabla 26-3: Condiciones de diseño para el tanque espesador de lodos

Variable	Medida	Unidad
Forma Geométrica	Cuadrada	
Tipo de espesado	Efecto de la gravedad	
Contenido de fango en el lodo	5	%
Contenido de cal en el lodo	15	%
Peso específico de los sólidos del fango	1,4	g/L
Peso específico del lodo por efecto de la adición de químicos	2,2	g/L

Fuente: (Metcalf, 2015).

➤ *Cálculo del peso específico de la materia sólida*

Se calcula la densidad del fango de acuerdo a las características del mismo, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{S_p} = \frac{\%s}{p_s} + \frac{\%w}{p_w}$$

Ec. 85-3.

Dónde:

S_p : Peso específico del material sólido, g/L.

$\%s$: Porcentaje de sólidos en el agua, revisar tabla 26-3.

$\%w$: Porcentaje de agua sin sólidos, revisar tabla 26-3.

p_s : Peso específico experimental de los sólidos, revisar tabla 26-3.

p_w : Peso específico experimental del agua, g/L.

➤ *Cálculo del peso específico de la cal*

Se calcula la densidad de cal de acuerdo a las características del mismo, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\frac{1}{S_c} = \frac{\%c}{p_c} + \frac{\%w}{p_w}$$

Ec. 86-3.

Dónde:

S_c : Peso específico de la cal adicionada, g/d.

$\%c$: Porcentaje de cal en el agua, revisar tabla 26-3.

$\%w$: Porcentaje de agua sin sólidos, revisar tabla 26-3.

p_c : Peso específico experimental de la cal, revisar tabla 26-3.

p_w : Peso específico experimental del agua, g/L.

➤ *Calculo del peso de fangos producidos*

Se calcula la cantidad másica de fango por efecto del tratamiento del agua, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$W_f = \frac{1}{\frac{1}{S_c * \rho_w} + \frac{1}{S_f * \rho_w}}$$

Ec. 87-3.

Dónde:

W_f : Masa de fangos producida, kg/d.

S_c : Peso específico de la cal adicionada, g/L.

ρ_w : Densidad del agua, g/L.

S_p : Peso específico del material sólido, g/L.

➤ *Cálculo del volumen de fango producido*

Se calcula la cantidad volumétrica de fango producida por efecto del tratamiento de agua residual, se calcula de acuerdo a:

$$V_f = \frac{W_f}{\rho_w * S_p * (\%s + \%c)}$$

Ec. 88-3.

Dónde:

V_f : Volumen de fango, m³.

W_f : Masa de fangos producida, kg/d.

ρ_w : Densidad del agua residual, kg/m³.

s_p : Peso específico de los sólidos, kg/m³.

$\%c$: Porcentaje de cal en el agua, revisar tabla 26-3.

$\%s$: Porcentaje de sólidos en el agua, revisar tabla 26-3.

➤ *Longitud del tanque*

Se calcula el espacio entre los dos lados del sedimentador, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$l_e = \sqrt[3]{V_f}$$

Ec. 89-3.

Donde:

l_e : Longitud del espesador, m.

V_f : Volumen del fango, m³.

➤ *Cálculo del área superficial del espesador*

Mide el espacio superficial que ocupa el espesador, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$A_s = l_e * l_e$$

Ec. 90-3.

Donde:

A_s : Área superficial, m².

l_e : Longitud del espesador, m.

3.5. Resultados

3.5.1. Resultados iniciales de la caracterización del agua residual

En las tablas 27-3, 28-3 y 29-3 se reportan los datos obtenidos de la caracterización inicial de las muestras de aguas residuales recuperados en la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato, la caracterización inicial de las aguas se realizó en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la UNACH (caracterización del contenido de cromo); mediante estos resultados se determinó si los parámetros cumplen o no, con los límites establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (revisar Anexo A y B).

Tabla 27-3: Resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual de curtido recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	-	4500-B	3,9	6-9
Conductividad	mS/cm	2510-B	35,2	-
Temperatura	°C	2550-A	24,9	Condición natural ≥3
Turbiedad	UTN	2130-B	79	-
Color	Unidades de color	2120-C	2139	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	3700	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	7200	200

Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	20100	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	59989	1600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	8	-
Cromo Total	mg/L	3500-Cr-3111B	2557,68	-
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-Cr-3111B	0,5	0,5

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Tabla 28-3: Resultados obtenidos de la caracterización inicial del lodo residual de curtido recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”

DETERMINACIONES	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADOS
pH	4500-B	-	9
Cromo Total	3050-B	mg/Kg	11176,74
Cromo Hexavalente	3050-B	mg/Kg	3,02

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Tabla 29-3: Resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual de pelambre recuperado en la curtiembre pieles “PUMA”

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	-	4500-B	13,2	6-9
Conductividad	mS/cm	2510-B	1,83	-
Temperatura	°C	2550-A	21	Condición natural ≥ 3
Turbiedad	UTN	2130-B	3150	-
Color	Unidades de color	2120-C	38300	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	18200	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	28300	200
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	980	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	45564	1600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	10	-
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ -E	1568	0,5

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

3.5.2. Propuesta para el rediseño de los equipos de la curtiembre pieles “PUMA”

Para que se pueda realizar la recuperación del cromo y la oxidación de los sulfuros de la curtiembre pieles “PUMA”, es necesario realizar un pretratamiento y un tratamiento primario con el objetivo de reducir los contaminantes reportados en la caracterización inicial de las aguas; a continuación, se reporta el cálculo y la propuesta tecnológica de cada equipo requeridos por la empresa.

Tabla 30-3: Propuesta tecnológica para el sistema de cribado para el tratamiento de las aguas

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Cribado		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Acero Inoxidable	
Altura del tirante hidráulico	0,75	<i>m</i>
Borde libre de inclinación	0,30	<i>m</i>
Inclinación	45	°
Ancho de las barras	0,01	<i>mm</i>
Diámetro de paso	0,02	<i>m</i>
Ancho del canal	0,40	<i>m</i>
Ancho del tirante	1,50	<i>mm</i>
Tirante hidráulico	0,60	<i>m</i>
Tipo de rejilla	Reja curva	
Área del canal	1,12	<i>m</i> ²
Velocidad de paso entre la reja	0,00010	m/s
Longitud de la reja	1,27	<i>m</i>
Número de barras	12	Unidades
Velocidad de acercamiento	0,005	m/s
Área de las rejillas	0,072	<i>m</i> ²
Velocidad de paso entre las rejillas	0,01	m/s
Pérdidas hidráulicas	0,005	<i>m</i>

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Mediante la observación a la planta se pudo identificar que el sistema de cribas no cumple con los parámetros adecuados para lograr retener los sólidos de mayor tamaño por lo que afecta el transporte de las aguas hacia los demás equipos instalados en la planta, por esta razón se debe rediseñar el sistema.

Tabla 31-3: Propuesta tecnológica para el vertedero donde ingresarán las aguas residuales

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Vertedero Rectangular		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Concreto	
Ancho de la cresta	0,076	<i>m</i>
Relación entre la cresta y el ancho del canal	1:1,15	-
Relación entre el largo de la caja vertedora y el ancho del canal	5:1	-
Tipo de cresta	Ancha	
Condiciones Calculadas		
Ancho del vertedero	0,11	<i>m</i>
Coefficiente de descarga	0,57	-
Carga hidráulica	1,08	<i>m</i>
Área del vertedero	0,11	<i>m</i> ²
Altura mínima del vertedero	0,75	<i>m</i>
Perímetro mojado del vertedero	2,27	<i>m</i>

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Después de que los sólidos gruesos sean retenidos en el sistema de cribas, las aguas residuales serán transportadas por un vertedero rectangular en dirección a un tanque de homogenización donde empieza el tratamiento, como la planta no trabaja constantemente en los procesos de pelambre por lo que acostumbran a comprar la flor, se propone utilizar los mismos equipos para ambos tratamientos. Las aguas residuales reposarán en el tanque de homogenización por un tiempo determinado hasta que estas se neutralicen y se obtenga un caudal constante, a continuación, se muestra la propuesta de diseño en la tabla 32-3.

Tabla 32-3: Propuesta tecnológica para el tanque de homogenización de las aguas residuales

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Tanque de Homogenización		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Concreto	
Relación diámetro: altura	1:0,66	-
Relación altura del fondo y diámetro del tanque	1:0,25	-
Tipo de cresta	Ancha	
Condiciones Calculadas		
Volumen de agua residual	189,47	L
Volumen generado	289,47	L
Volumen de agua residual producida	3,10	<i>m</i> ³

Diámetro del tanque	0,70	m
Altura del cuerpo del tanque	2,10	m
Altura del fondo del tanque	0,35	m
Altura total del tanque	2,45	m
Velocidad de vaciado del tanque	6,92	m/s
Velocidad de llenado del tanque	0,00071	m/s
Sección transversal del agujero	0,00055	m ²
Radio del agujero	1,32	cm
Tiempo de vaciado del tanque	12	min.
Tiempo de llenado del tanque	47	min.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Como la empresa ya cuenta con tanques en la planta se propone utilizar los mismos para el tratamiento de las aguas residuales evitando así más costos para la empresa, después de la homogenización de las aguas se requiere de un tanque de coagulación-floculación y posteriormente la aireación, se propone realizar este proceso en el mismo tanque que se dividirá en dos secciones.

- Considerando el agua de pelambre, primero se debe reducir la carga de sulfuros presente administrando 250 mg/L de sulfato de manganeso he inyectando micro burbujas de aire por medio de un compresor.
- Previo a esto las aguas residuales se deben ajustar a un pH óptimo con el empleo de cal para aguas de curtido y ácido sulfúrico para las aguas de pelambre.
- Una vez estabilizado el pH se efectuará la coagulación-floculación al que se le añadirá policloruro de aluminio (PAC), en ambas aguas y un floculante no iónico para que se formen los flóculos de mayor tamaño, la propuesta para el rediseño se muestra a continuación.

Tabla 33-3: Propuesta tecnológica para el tanque de coagulación-floculación para el tratamiento de las aguas

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Tanque de Coagulación-Floculación		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Concreto	
Relación Diámetro del tanque altura	3:4	-
Constante de pérdida en el mezclado	6,30	-
Velocidad de salida en los agujeros	0,020	-
Solubilidad del aire	19,11	mL/L

Fracción del aire a presión atmosférica	0,8	Adimensional
Presión atmosférica del cantón Ambato	0,95	atm.
Constante de remoción de sólidos	0,07	adimensional
Diámetro del tubo para los orificios	135	cm
Forma geométrica	Cónica	
Tipo de impulsor	Hélice con 6 palancas	
Pantallas difusoras	2 a cada lado	
Velocidad de giro	100 rpm	
Tipo de transferencia de aire	Difusión por burbuja simple	
Condiciones Calculadas		
Volumen de coagulante	0,012	m^3
Volumen del floculante	0,006	m^3
Volumen del tanque	3,12	m^3
Diámetro del tanque	1,74	m
Altura del tanque	2,32	m
Diámetro del impulsor	0,58	m
Altura del impulsor con respecto al fondo	0,58	m
Altura del impulsor	1,74	m
Anchura de las paletas del impulsor	0,11	m
Longitud de las paletas	0,14	m
Ancho de las placas deflectoras	0,17	m
Número de Reynolds	0,00065	Adimensional
Potencia necesaria del fluido	3	Hp
Porción de pared con agujeros	0,58	m
Área de los agujeros	0,0060	m^2
Diámetro del agujero	0,08	m
Número de agujeros	7	Unidades
Cantidad de sólidos removidos	3,76	mg/L
Tiempo de aeración	13,75	H
Caudal de aire necesario	0,12	m^3/s
Presión de operación	1,94	KPa
Potencia del compresor	5	Hp
Diámetro del orificio	3	mm
Número de orificios	32	Unidades
Área de los orificios	0,000007	m^2
Área de la tubería	0,46	m^2
Separación de los orificios	4,79	mm

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Una vez realizado el proceso de coagulación-floculación las aguas serán transportadas por medio de orificios instalados en la pared deflectora hacia el tanque de sedimentación donde el líquido reposará y se formarán los flóculos que precipitarán por efecto de la gravedad, las aguas saldrán

por una pared deflectora regresando al tanque de coagulación-flotación en el que se inyecta aire al tanque por medio de un compresor y un sistema de difusores, esto será útil ya que disminuirá la demanda química de oxígeno y la carga contaminante del agua, la propuesta tecnológica se recoge en la tabla 34-3.

Tabla 34-3: Propuesta tecnológica para el Tanque de sedimentación para el tratamiento de las aguas

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Tanque de Sedimentación		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Concreto	
Carga Superficial	2	m^3/m^2h
Pendiente en el fondo	5-10	°
Velocidad de salida en los orificios	0,15	m/s
Pantalla difusora con respecto a la entrada	0,7-1,00	m
Diámetro de partícula	0,001	cm
Densidad de la partícula	0,5	g/cm^3
Densidad del agua	1,10	g/cm^3
Tiempo de retención	2-6	H
Condiciones Calculadas		
Velocidad de sedimentación	0,047	cm/s
Área del sedimentador	2,4	m^2
Altura del sedimentador	0,97	m
Largo del sedimentador	2,91	m
Ancho del sedimentador	1,45	m
Sección transversal para la evacuación del lodo	0,12	m^2
Orificio de evacuación de lodos	0,19	m
Tiempo de retención	6	H
Área de los orificios de salida del agua	8	cm^2
Sección transversal de los orificios de salida del agua	1,59	cm
Sección con orificios en la pared difusora	0,19	m
Número de orificios	12	Unidades
Longitud del vertedero de salida del tanque	6	cm
Altura del vertedero	15	cm

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Una vez las aguas hayan regresado al tanque de coagulación-flotación, los flóculos recuperados del agua de curtido en el sedimentador saldrán por el fondo del tanque hacia un espesador de lodos donde se propone la recuperación del cromo.

Se propone instalar dos filtros para cada agua residual, elaborados con carbón activo, grava gruesa y grava fina el propósito de implementar los filtros será para disminuir los contaminantes presentes en el agua que no hayan sido eliminados por completo en el proceso de flotación, una vez obtenida el agua filtrada estas serán depositadas a la quebrada.

Tabla 35-3: Propuesta tecnológica para el Filtro de las aguas

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Filtro		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Acero Inoxidable	
Distribución del lecho filtrante	Carbón, grava gruesa y grava fina	
Altura del lecho de carbón	60	%
Altura del lecho de grava gruesa	18	%
Altura del lecho de grava fina	6	%
Borde libre	Mínimo 2	<i>m</i>
Diámetro de la grava fina	1-2	<i>mm</i>
Diámetro de la grava gruesa	2-5	<i>mm</i>
Velocidad de filtración	$2,03 \cdot 10^{-3}$	m/s
Número de unidades	2	Unidades
Condiciones Calculadas		
Área del filtro	0,59	<i>m</i> ²
Ancho del filtro	1,10	<i>m</i>
Altura del filtro	2,20	<i>m</i>
Altura del lecho de carbón	1,32	<i>m</i>
Altura del lecho de grava gruesa	0,39	<i>m</i>
Altura del lecho de grava fina	0,13	<i>m</i>
Altura del vertedero de salida del agua filtrada	2,86	<i>cm</i>
Ancho del vertedero de salida del agua filtrada	4	<i>cm</i>
Pérdidas por efecto de la grava gruesa	0,012	<i>m</i>
Pérdidas por efecto de la grava fina	0,009	<i>m</i>
Pérdidas totales	0,021	<i>m</i>
Altura dinámica de la bomba	2,22	<i>m</i>
Potencia de la bomba	$\frac{3}{4}$	Hp

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Para la recuperación de la sal de cromo primero se debe ejecutar el espesamiento de los lodos por gravedad, en el que se elimina el agua por efecto de la decantación de los sólidos, una vez espesado el lodo (de las aguas de curtido), se debe ajustar el pH con el empleo de ácido sulfúrico, el diseño del tanque espesador se muestra a continuación.

Tabla 36-3: Propuesta tecnológica para el Tanque espesador de lodos

Parte del equipo	Dimensión	Unidad de medida
Tanque espesador		
Condiciones de diseño		
Material de construcción	Concreto	
Forma Geométrica	Cuadrada	
Tipo de espesado	Efecto de la gravedad	
Contenido de fango en el lodo	5	%
Contenido de cal en el lodo	15	%
Peso específico de los sólidos del fango	1,4	g/L
Peso específico del lodo por efecto de la adición de químicos	2,2	g/L
Condiciones Calculadas		
Peso específico de la materia sólida	1,09	g/L
Peso específico de la cal	1,16	g/L
Peso de fangos producidos	0,56	kg/día
Volumen de fango producido	2,5	m ³
Longitud del tanque	1,35	m
Área superficial del espesador	1,82	m ²
Potencia de la bomba	$\frac{3}{4}$	Hp

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

3.5.3. Evaluación de las resistencias físicas del cuero curtido con cromo comercial y cromo reciclado.

Una vez obtenido el cromo reciclado, por medio de titulación se calcula el porcentaje de óxido de cromo presente en el mismo siendo esta igual a 13,6 %, proporción con la que se realiza las formulaciones necesarias para el proceso de curtido de las pieles. Se realizaron pruebas piloto de curtición de pieles con cromo comercial y cromo reciclado en la curtiembre cueros EL AL-CE ubicada en el cantón de Guano, y en la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato.

Como resultado final de las pieles curtidas con ambos cromos tanto comercial como reciclado se ejecutaron pruebas comparativas del cuero, realizadas en el laboratorio de Curtiembre de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, las cuales se muestran a continuación.

➤ **Resistencia a la tensión**

Se tomaron dos muestras de cada cuero para realizar las mediciones de resistencia a la tensión, el cuero curtido con cromo comercial reportó una media de 995,92 N/cm² mientras que para el cromo reciclado se obtuvo la media de 1461,48 N/cm² como se indica en la tabla 38-3 y se ilustra en el gráfico 6-3.

Mediante los resultados obtenidos se pudo determinar que el cuero curtido con cromo comercial fue menor que la resistencia comparada al cuero curtido con cromo reciclado, se puede argumentar que el cromo reciclado le da una mayor elasticidad al cuero esto puede ser por la pureza obtenida del cromo reciclado.

Tabla 37-3: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Resistencia a la tensión		
	<i>Cromo Reciclado</i>	<i>Cromo Comercial</i>
Media	1461,48	995,92
Varianza	28773,63241	28359,59141
Observaciones	2	2
Varianza agrupada	28566,61191	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	2,754536874	
P(T<=t) una cola	0,055198228	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,110396455	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

los resultados conseguidos son contrastados con lo que menciona Leonard, N. (2008), el objetivo de realizar la curtición es estabilizar la proteína frente a la descomposición bacteriana y a los agentes externos, mediante la reacción de productos poli funcionales de peso molecular medio (se utilizan productos poli funcionales por su capacidad de reaccionar con más de una molécula de colágeno), la curtición al cromo confiere una serie de características a la piel como son: el tacto, la plenitud, la elasticidad, finura y flor. Industrialmente se utilizan el cromo y el aluminio para ejecutar la curtición de las pieles, se los usa más porque son fáciles de conseguir, económicos y por su capacidad de formar enlaces estables con los grupos –COOH de las fibras del cuero. La calidad de los reactivos que se emplean en el momento de curtición intervienen directamente con la calidad de los productos terminados, en el estudio del cromo reciclado se puede apreciar que la

pureza obtenida es alta con lo que se mejora la respuesta a una curtición con sulfato de aluminio o el sulfato básico de cromo comercial, esto se debe a que en ocasiones las casas químicas surten el sulfato básico de cromo con otras sustancias que trastornan su composición y características finales, mientras que en la recuperación del cromo reciclado se controló las condiciones que podrían causar anomalías en la obtención de la sal de cromo.

Una vez realizada la comparación de los dos tratamientos o curticiones al cromo es necesario contrastar con lo que indican las normas internacionales vigentes en este caso se aplica como referencia la norma IUP 6 (2002), esta señala que para cumplir con el parámetro mínimo de calidad las pieles deben tener medias iguales a 1500 N/cm^2 ; respuestas que se aproximan en las dos curticiones, conjuntamente comparando las medias obtenidas con las que reporta Pilataxi, C. (2017), quien obtuvo valores de $1217,95 \text{ N/cm}^2$, cuando realizó la curtición con 7% de sulfato de aluminio en pieles bovinas y Chasiqusa, A. (2014), reportó medias iguales a $352,06 \text{ N/cm}^2$, cuando curtió las pieles con 5% de sulfato básico de cromo, medias que claramente son menores a las obtenidas en la presente investigación lo que demuestra la calidad de la recuperación del cromo.

➤ *Porcentaje de elongación*

Los resultados obtenidos en estas pruebas no reportaron diferencias estadísticas entre las medias, puesto que el porcentaje de elongación de las pieles de cabra curtidas con cromo comercial alcanza un promedio de 75 % mientras que con el cromo reciclado se obtuvo un promedio de 63,75 % como se ilustra en el gráfico 6-3 y en la tabla 37-3. Argumentando la elección más adecuada para la curtición de pieles sería con el uso del cromo comercial (sulfato básico de cromo), sin embargo, existe un problema ambiental ya que los baños residuales son sumamente contaminantes.

Esto se corrobora con lo que menciona Vallejo, R. (2004), que la curtición es la reacción de equilibrio químico que se da entre la piel y el cromo y por ende a mayor concentración, más tendencia habrá a trasladarse este equilibrio hacia la fijación de cromo en la piel siempre y cuando estén en proporción normal (6-8 % de sal de cromo: 60-80 % de agua). Sin embargo, cuando la concentración es muy alta (curtición en seco) no hay suficiente dilución para que el sulfato básico de cromo se pueda desenmascarar bien, por consiguiente, reduce su reactividad anulando y venciendo fácilmente la tendencia anterior. El cromo tiene poca afinidad y penetra fácilmente por difusión gracias al efecto mecánico.

Tabla 38-3: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Porcentaje de Elongación		
	<i>Cromo Reciclado</i>	<i>Cromo Comercial</i>
Media	63,75	75
Varianza	3,125	1250
Observaciones	2	2
Varianza agrupada	626,5625	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	-0,449438552	
P(T<=t) una cola	0,348562943	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,697125885	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Según con lo que establece la norma IUP 6 para esta prueba, señala que el parámetro mínimo que deben cumplir los cueros es de 40-80 % de elongación, las dos curticiones realizadas en el laboratorio de cueros de la Facultad de Ciencias Pecuarias, cumplen con este parámetro, lo que indica la buena calidad de las pieles tratadas, también comparando con los datos reportados por Pilataxi, C. (2017); que consiguió valores de 81,07 % al momento de curtir pieles ovinas con el 9 % de sulfato de aluminio, mientras que Chasiqusa, A. (2014), alcanzó medias iguales a 72,82 % cuando realizó la curtición de las pieles ovinas con el 5 % de sulfato básico de cromo, valores que están en el rango de lo que se obtuvo en las pruebas de la presente investigación, esto se debe a que la concentración del cromo reciclado n es la correcta, por lo que se recomienda que a futuro se mezcle el cromo recuperado para evitar una posible sobre-curtición.

➤ *Lastometría*

Los valores obtenidos no reportan diferencias estadísticas comparando los dos métodos de curtición puesto que con el cromo comercial la media obtenida fue de 8,45 mm mientras que para el cromo reciclado la media es de 9,52 mm un poco mayor como se indica en la tabla 39-3 y se ilustra en el gráfico 6-3. De los resultados expuestos anteriormente se determina que hay una mínima diferencia entre las dos curticiones, es decir, los resultados son similares en los tratamientos.

Tabla 39-3: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

Lastometría		
	<i>Cromo Reciclado</i>	<i>Cromo Comercial</i>
Media	9,52	8,45
Varianza	4,801625809	6,945663304
Observaciones	2	2
Varianza agrupada	5,873644556	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	2	
Estadístico t	0,441718993	
P(T<=t) una cola	0,350930988	
Valor crítico de t (una cola)	2,91998558	
P(T<=t) dos colas	0,701861976	
Valor crítico de t (dos colas)	4,30265273	

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Al momento de efectuar la comparación de los datos obtenidos en la presente investigación con respecto a lo que reporta Pilamunga, I. (2017) que registró medias de 8,34 mm, cuando realizó curticiones de las pieles ovinas con 16 % de tara, además comparando los resultados obtenidos con la normativa vigente IUF 450 (2002) que determina valores mínimos para la lastometría de 7,5 mm respuestas que están siendo superadas por los dos tratamientos tanto cromo comercial (sulfato básico de cromo) y cromo reciclado en la presente investigación y demuestran la calidad de los cueros.

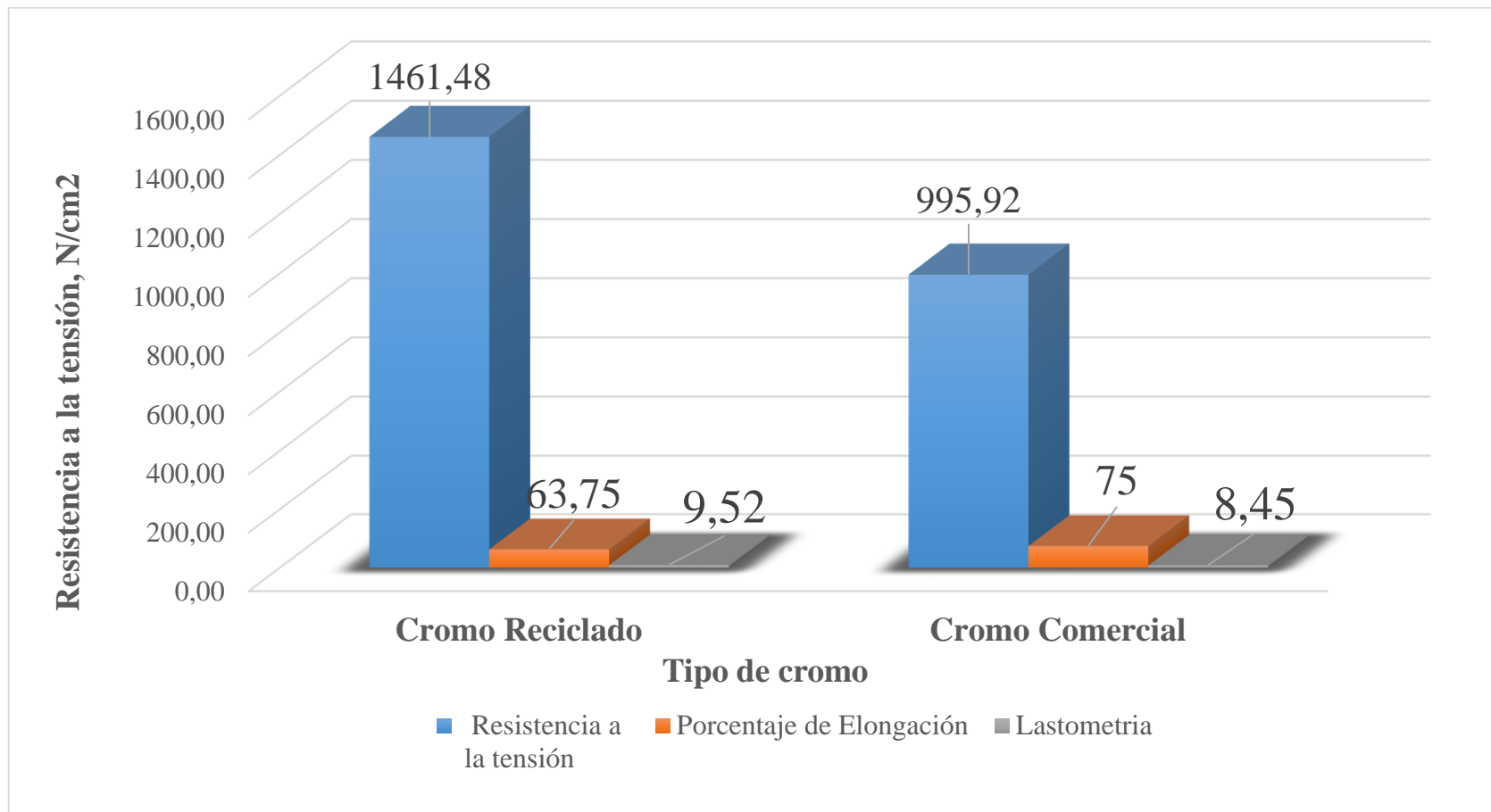


Gráfico 6-3: Resultados de la media de la resistencia a la tensión, porcentaje de elongación y lastometría comparada

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

3.5.4. Validación del proceso

Para validar el proceso, se efectuó una simulación de los sistemas de tratamiento primario a escala de laboratorio comenzando con la homogenización, coagulación-floculación, aireación, sedimentación y filtración, posteriormente espesamiento del lodo, se realizó la caracterización final de las aguas y se determinó la concentración de óxido de cromo presente en la sal de cromo recupera, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la UNACH (contenido de cromo), para verificar si el tratamiento propuesto para reducir la carga de contaminante de las aguas funcionaron (revisar anexo C y D).

Para la recuperación de cromo se requería obtener el lodo del agua de curtido, por lo que era necesario darles tratamiento a estas aguas. Antes del tratamiento de las aguas tanto de curtido como pelambre, ningún parámetro analizado estuvo dentro de la norma, mencionados a continuación: Cromo hexavalente, Sulfuros, Sulfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales.

Después de realizar el tratamiento primario, todos los parámetros fueron ajustados logrando así que el Cromo hexavalente y la Demanda Bioquímica de Oxígeno cumplan con lo establecido en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y consiguiendo reducir los demás parámetros en ambas aguas; lo que demuestra que el tratamiento planteado si funciona y que se puede aprovechar a escala de laboratorio en los equipos propuestos en el apartado anterior; los resultados de la caracterización final se reportan en las tablas 40-3 y 41-3.

Tabla 40-3: Resultados obtenidos de la caracterización final del agua tratada de curtido, recuperada del tratamiento propuesto

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH	-	4500-B	7,5	6-9
Conductividad	mS/cm	2510-B	7,4	-
Temperatura	°C	2550-A	24,7	Condición natural ≥ 3
Turbiedad	UNT	2130-B	5,6	-
Color	Unidades de color	2120-C	62	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	91	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	1475	200
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	9600	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	53363	1600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	0,5	-
Cromo Total	mg/L	3500-Cr-3111B	2,9	-
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-Cr-3111B	0,023	0,5

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

Tabla 41-3: Resultados obtenidos de la caracterización final del agua tratada de pelambre, recuperada del tratamiento propuesto

DETERMINACIONES	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADOS	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
pH		4500-B	7,8	6-9
Conductividad	mS/cm	2510-B	2,74	-
Temperatura	°C	2550-A	21,9	Condición natural ≥ 3
Turbiedad	UTN	2130-B	67	-
Color		2120-C	325	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	126	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	2320	200
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	2540-C	1460	-
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	18796	1600
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1,5	-

Sulfuros	mg/L	4500- S ⁻² -E	64	0,5
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	1501	1000

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

3.5.5. Operaciones Unitarias en el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Para el proceso de recuperación de cromo y oxidación de sulfuros se debe establecer las operaciones unitarias necesarias para las etapas que conllevan el tratamiento de las aguas residuales, a continuación, se detallan las operaciones.

✓ **Cribado**

La operación unitaria de cribado consiste básicamente en la separación de los sólidos gruesos (como los retazos de pieles), lo que se realizará colocando barras de acero que permitan el paso únicamente de las aguas residuales y no de los contaminantes de mayor tamaño, el sistema de cribado será limpiado manualmente por lo que sistemas automáticos son muy costosos, las variables que se deben controlar en el proceso son: la inclinación el número de barras y el área de paso.

✓ **Recepción de las aguas residuales**

Se debe controlar el flujo en la planta de tratamiento de aguas residuales, para impedir que haya un sobre abastecimiento en la planta, las aguas serán transportadas por un vertedero rectangular que disminuirá los costos de operación.

✓ **Transporte y almacenamiento de las aguas residuales**

El transporte de las aguas residuales de los procesos de curtido y pelambre se realizará con el uso de un sistema de tuberías en PVC, bombas centrifugas, las que se implementan con el fin de tener el gasto suficiente para procesar toda la cantidad de las aguas residuales producidas por la curtiembre pieles "PUMA", y las aguas serán almacenadas en un tanque donde se homogenizaran y permanecerán allí para comenzar con el tratamiento, las variables que se controlan en este proceso son la velocidad, potencia de la bomba y caudal.

✓ **Coagulación y Floculación**

La coagulación y floculación son operaciones unitarias que se realizan de manera conjunta, ya que es necesario adicionar un agente químico (coagulante), que reaccionará con los contaminantes produciendo la separación de las aguas, a continuación, se añade un floculante (polielectrolito), acelerando la formación de los floculos lo que precipitarán por efecto de la gravedad, en este proceso se controlará el tiempo de residencia de los floculos, caudal y velocidad del flujo.

✓ **Aireación**

En esta operación ocurre lo que es la transferencia de masa entre el agua y el aire, que es inyectado al tanque por medio de un sistema de difusores alimentados por un compresor, con esto se consigue eliminar la carga orgánica de las aguas por efecto de la oxidación, el aire producido será transportado por un sistema de difusores (estructuras móviles) colocados en el fondo del tanque y con suficiente presión para pasar verticalmente por el sistema, esta operación se realiza en el mismo tanque de coagulación, las variables que se deben controlar son el volumen del aire inyectado, presión y temperatura de trabajo.

✓ **Sedimentación**

Es una operación unitaria de separación sólido-fluido, que permitirá que los floculos formados en el proceso de coagulación-floculación, por efecto de la gravedad precipite, este lodo formado será transportado hacia un tanque de espesamiento.

✓ **Filtración**

El objetivo de esta operación unitaria es la de pasar el agua por un medio filtrante poroso, la filtración no permite el paso de contaminantes pequeños que estén presentes en las aguas tratadas, las variables del proceso que se deben controlar son el caudal del agua y la velocidad de filtración.

✓ **Espesamiento y Recuperación de cromo**

Es la separación de las aguas presente en los lodos que resultan del tratamiento físico-químico de las aguas residuales, el lodo es separado de las aguas por efecto de la densidad; una vez obtenido el lodo del proceso de curtido se propone realizar la recuperación del cromo reduciendo así el impacto ambiental.

3.5.6. Diagrama del proceso

En la figura 5-3; se indica el diagrama de procesos para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizará controlando las variables mencionadas en la sección anterior, con el objetivo de reducir la carga contaminante de las aguas producidas en la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato.

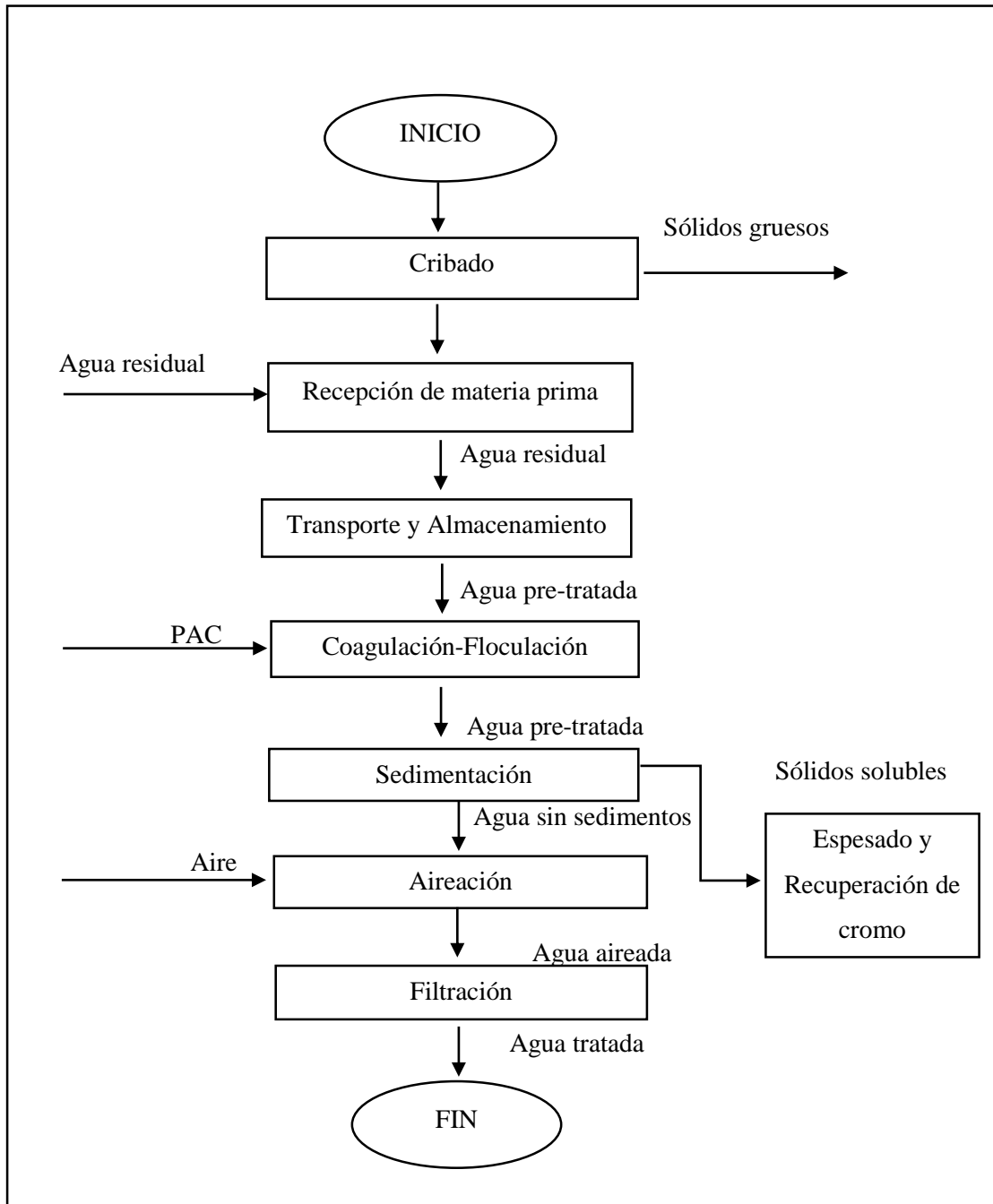


Figura 5-3: Diagrama del proceso para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales producidas en la curtiembre pieles “PUMA”.

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019.

➤ **Información Operativa de la planta**

El proceso de tratamiento de las aguas de pelambre inicia cuando esta sale del bombo y pasa por un sistema de cribado con dirección al vertedero rectangular; después a un tanque de homogenización (T-H1) donde permanecen por un determinado tiempo, por medio de tuberías (PVC) el agua es transportada a un segundo tanque (T-CA) donde se agrega un catalizador y burbujas de aire por medio de un compresor y se realiza el proceso de aireación por aproximadamente 6 horas, que permite reducir la carga de sulfuros hasta un porcentaje de remoción aproximado de 89,9 %, se procede con la coagulación donde se baja el pH en presencia de ácido sulfúrico 1:10; se añade policloruro de aluminio e inmediatamente se agita por medio de paletas, terminado el proceso el agua pasa por tuberías de PVC al sedimentador donde por efecto de gravedad el líquido es separado del lodo, para un mejor tratamiento el agua es enviada a un filtro (F-1) donde se logra obtener un porcentaje de remoción de sulfuros igual a 95,91 %, el lodo recogido sirve como compostaje por su alto contenido de nitrógeno. El agua de curtido recibe el mismo proceso, las aguas son recogidas en el vertedero rectangular e inmediatamente pasan al tanque de homogenización (T-H2), una vez homogenizada las aguas, estas pasan por las tuberías (PVC) al tanque de coagulación-floculación donde se añade cal para aumentar el pH y continuamente se adhiere policloruro de aluminio y floculante no iónico PHP-70, estas aguas son recogidas en el tanque de sedimentación (T-S2) donde interviene la gravedad enviando los flóculos al fondo del recipiente, el agua es enviada al tanque (T-CA) donde se realiza la aireación por aproximadamente 13 h; para darle un mejor tratamiento estas aguas pasan a un filtro (F-2) donde se consigue un porcentaje de remoción de cromo igual a 99,88 %; el lodo recogido en el sedimentador pasa por los orificios instalados en el mismo hacia el tanque espesador de lodos donde se retira la máxima cantidad de agua posible y se añade ácido sulfúrico 1:10 hasta obtener un pH de 3,3-3,5 se deja secar y se procede con la recuperación del cromo III.

3.5.7. Distribución y rediseño de la planta para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros

Para conseguir el máximo aprovechamiento de los recursos con los que ya cuenta la planta de tratamiento instalada en la curtiembre pieles “PUMA”, se ocuparan los tanques ya instalados y se adaptaran al rediseño propuesto por lo que solo será necesario aumentar dos filtros y ajustar los tanques para cada proceso, con lo que se pretende reducir los costos de operación e instalación de nuevos equipos, la planta propuesta deberá cumplir con los parámetros establecidos en la sección en la que se realizó la propuesta tecnológica de los equipos, a continuación, se describen las áreas de la planta.

3.5.7.1. Descripción de las áreas

- ✓ **Área de recepción y almacenamiento de las aguas:** Se pretende que este ubicada continua a los canales por los que circulan las aguas residuales, el área propuesta incluirá un sistema de cribas, vertedero rectangular, tuberías de PVC y el tanque de almacenamiento.
- ✓ **Área de tratamiento:** Se trabajará con los equipos que ya estén instalados en la planta para realizar el tratamiento primario, se designará según su tamaño un tanque para la coagulación-floculación continuamente la aireación, tanque de sedimentación, espesador de lodos y recuperación de cromo, se implementará un filtro para cada agua, además, se deben ubicar las tuberías necesarias para el transporte de las aguas hacia los distintos tratamientos.
- ✓ **Cuarto de máquinas:** En esta área se colocarán las bombas necesarias para el transporte de las aguas residuales hacia las distintas secciones de la planta; se ubicará continua al área de tratamiento.
- ✓ **Bodega:** Ubicada en la parte posterior de la planta, en la que se guardarán las herramientas y aditivos necesarios para el adecuado mantenimiento de las máquinas; las que deben estar situadas en perchas y con la respectiva rotulación, mientras que las sustancias que se emplean para el tratamiento de las aguas se almacenarán en la sección de reactivos con la que ya cuenta la curtiembre pieles “PUMA”.

3.6. Análisis económico de la planta

3.6.1. Inversión para maquinaria y rediseño de los tanques

Para la ejecución del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario realizar la inversión en maquinaria, esta consiste en motores y accesorios útiles para el normal funcionamiento de los equipos propuestos anteriormente; para establecer el presupuesto a la necesidad de inversión se realizó una proforma en el sitio (Abel, 2018); sitio web que se dedica a la instalación de plantas de tratamientos de aguas residuales, a continuación, se reportan los costos desglosados.

Tabla 42-3: Adecuación del área disponible para el rediseño de la planta

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Replanteo y nivelación de estructuras	m ²	10	9,72	97,2
2	Excavación a mano en suelo sin clasificar, Profundidad entre 0 y 2 m	m ²	10	14,17	141,7
3	Replanteo de piedra, e=20cm	m ²	10	6,01	60,1
Subtotal					299

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 43-3: Instalación del vertedero y sistema de cribado

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Hormigón premezclado f'c=210 kg/cm ² mas aditivo	m ³	1,05	166,9	175,25
2	Sum,-Ins, Malla electrosoldada R257	m ²	1,2	15,12	18,14
3	Encofrado Recto, con retirado de cofres para hormigón visto	m ²	2,84	17,62	50,04
4	Preparado y pintado de Superficie	m ²	2,84	5,27	14,97
5	Regleta con flotador	u	1	120,34	120,34
6	Rejilla metálica	m ²	1,89	177,12	334,76
7	Sum, Válvula HF D=200 mm	u	2	682,84	1365,68
8	Enlucido 1:2 + Impermeabilizante	m ²	2,84	17,14	48,68

9	Colocaci3n Tuberia PVC Alcant. D=640 mm	m	4,5	9,53	42,89
10	Barras met3licas de acero Inoxidable	u	9	17,12	154,08
Subtotal					2324,82

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 44-3: Adecuaci3n del tanque de coagulaci3n-floculaci3n

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Desbroce y limpieza	m ²	6	0,17	1,02
2	Replanteo mayor a 1 Ha	m ²	6	9,6	57,6
3	Relleno compactado para conformaci3n de Plataformas	m ³	6,16	1,97	12,14
4	Material de Reposici3n	m ³	6,16	9,36	57,66
5	Sum. Inst. Geomembrana 1000 micras	m ²	6,6	6,49	42,83
6	Cargada de Material a M3quina	m ³	6,16	0,9	5,54
7	Transporte de material hasta 5 km	m ³	6,16	1,8	11,09
8	Sum. Inst. Tee PVC Desague D=50 mm	u	2	5,52	11,04
9	Sum. Inst. Codo PVC Desague D=110 mm 90 grad.	u	2	12,65	25,3
10	Sum. Inst. Codo PVC Desague D=50 mm 90 grad.	u	2	8,14	16,28
16	Agitador de acero	u	1	400	400
17	Motor el3ctrico a 220 V de 1/4 Hp	u	1	150	150
Subtotal					790,50

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 45-3: Instalación del sistema de aireación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Desbroce y limpieza	m ²	19	0,17	3,23
2	Hormigón Simple 210 kg/cm2	m ³	6,16	183,67	1131,41
3	Colocación de una pantalla difusora de hormigón simple 210 kg/cm2	m ³	5	183,67	918,35
4	Motor para compresión de 5 Hp	u	1	590	590
Subtotal					2642,99

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 46-3: Adecuación del tanque de sedimentación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Desbroce y limpieza	m ²	6	0,17	1,02
2	Replanteo mayor a 1 Ha	m ²	6	9,6	57,6
3	Relleno compactado para conformación de Plataformas	m ³	6,16	1,97	12,14
4	Material de Reposición	m ³	6,16	9,36	57,66
5	Sum. Inst. Geomembrana 1000 micras	m ²	6,6	6,49	42,83
6	Cargada de Material a Máquina	m ³	6,16	0,9	5,54
7	Transporte de material hasta 5 km	m ³	6,16	1,8	11,09
8	Sum. Inst. Tee PVC Desague D=50 mm	u	2	5,52	11,04
9	Sum. Inst. Codo PVC Desague D=110 mm 90 grad.	u	2	12,65	25,3
10	Sum. Inst. Codo PVC Desague D=50 mm 90 grad.	u	2	8,14	16,28
Subtotal					240,50

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tanque 47-3: Adecuación del tanque espesador de lodos y recuperación de cromo

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Desbroce y limpieza	m ²	20	0,17	3,4
2	Replanteo mayor a 1 Ha	m ²	20	9,6	192
3	Relleno compactado para conformación de Plataformas	m ³	15,87	1,97	31,26
4	Material de Reposición	m ³	15,87	9,36	148,54
5	Sum. Inst. Geomembrana 1000 micras	m ²	20	6,49	129,80
6	Cargada de Material a Máquina	m ³	15,87	0,9	14,28
7	Transporte de material hasta 5 km	m ³	15,87	1,8	28,57
8	Agitador de acero	u	1	400	400
9	Motor eléctrico a 220 V de 3/4 Hp	u	1	200	200
Subtotal					1147,86

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 48-3: Instalación de los filtros para las aguas tratadas de cada proceso

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Desbroce y limpieza	m ²	6	0,17	1,02
4	Material de Reposición	m ³	6	9,36	56,16
5	Carbón activado	m ³	7,92	1000	7920,00
6	Grava gruesa lavada sin finos 3/4" - 2"	m ³	2,34	8,79	20,57
7	Grava fina uniforme lavada sin finos 3/8"	m ³	0,78	8,79	6,86
9	motor eléctrico a 220 V de 3/4 Hp	u	2	200	400
Subtotal					8404,60

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 49-3: Costo de mano de obra para el rediseño e instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO, \$	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO TOTAL, \$
Operario de maquinaria pesada	500	1	-	500
Ayudante de maquinaria pesada	500	2	-	1000
Albañil (maestro)	650	1	-	650
Albañil (ayudante)	450	3	-	1350
Soldador	300	1	-	300
Chofer	350	2	-	700
Subtotal				4500

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 50-3: Costo total de obra

ÍTEM	VALOR \$
Adecuación de la zona para la planta	299
Vertedero y sistema de cribado	2324,82
Tanque de coagulación-floculación	790,5
Sistema de aireación	2642,99
Tanque de sedimentación	240,5
Tanque espesador de lodos y recuperación de cromo	1147,86
Filtro de aguas tratadas	8404,6
Costo de mano de obra	4500
Costo Total	20350,27
Gasto en imprevistos 1%	203,50
Total de inversión	20553,77

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

El valor total que será destinado para el rediseño e implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, asciende a \$20553,77; este monto incluye la reconstrucción de los tanques ya implementados por la empresa y la adquisición de motores y accesorios obligatorios para el funcionamiento de la planta, este rubro económico variará de acuerdo al coste de materiales al momento del rediseño de la planta.

3.6.2. Costo producido para el tratamiento de las aguas

Los consumos económicos incluyen; energía consumida mensualmente por la planta, salarios a operarios, mantenimiento mensual de la planta y el costo de análisis de laboratorio certificado para la caracterización final de las aguas residuales en el CENTRO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL AMBIENTAL (CICAM), además de los gastos de adquisición de reactivos para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros, estos análisis se proponen realizar una vez al mes, a continuación, se muestra el desglose de los gastos mensuales en la tabla 51-3.

Tabla 51-3: Gasto producido por la operación para el tratamiento de las aguas residuales de curtido

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	COSTO UNITARIO, \$	COSTO TOTA, \$
1	Coagulante Policloruro de Aluminio (kg/L)	1,55	1,15	1,78
2	Floculante no iónico PHP-70 (kg/L)	0,31	6,5	2,02
3	Cal p-24	26,1	0,35	9,14
Subtotal				12,93

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 52-3: Gasto producido por la operación para el tratamiento de las aguas residuales de pelambre

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	COSTO UNITARIO, \$	COSTO TOTA, \$
1	Coagulante Policloruro de Aluminio (kg/L)	3,1	1,15	3,57
4	Sulfato de manganeso (kg/L)	6,2	0,9	5,58
5	Ácido Sulfúrico (mL)	2,5	9	22,5
Subtotal				31,65

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

Tabla 53-3: Gasto producido por la operación para la recuperación del cromo reciclado

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	COSTO UNITARIO, \$	COSTO TOTA, \$
1	Cal p-24	26,1	0,35	9,14
2	Ácido Sulfúrico (mL)	2,5	9	22,5
Subtotal				31,64

Realizado por: OCLES, Jessica. 2019

El total de costos de producidos para el tratamiento será de \$72,22 por cada tratamiento en ambas aguas y posterior recuperación de cromo, los cuales deben ser invertidos por la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato, este rubro puede disminuir al adquirir los insumos en grandes cantidades y que la operación de la planta sea realizada por los trabajadores de la curtiembre.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El inicio de la presente investigación consistió con la toma de muestras de las aguas residuales de curtido y pelambre directamente de los bombos, a continuación en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias, ESPOCH y el laboratorio de Calidad del Agua de la UNACH se realiza la caracterización inicial de las muestras para determinar el tipo de tratamiento que se debe aplicar, de los resultados establecidos se determinó que ningún parámetro analizado estuvo dentro de la norma, mencionados a continuación: Cromo hexavalente, Sulfuros, Sulfatos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales, por lo que se hizo evidente lo necesario que es el tratamiento de las aguas para reducir su carga contaminante.

Una vez identificados los parámetros fuera de norma se empieza a nivel de laboratorio con la determinación de la dosis óptima de coagulante, floculante y pH en las que se debe controlar las condiciones de operación, para el tratamiento de coagulación-floculación se realizaron test de jarras en donde se comparó entre tres tipos de coagulantes: Policloruro de Aluminio (PAC), Cloruro Férrico y Sulfato de Aluminio facilitados por la curtiembre pieles “PUMA” y el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias, reportándose que para ambas aguas el mejor coagulante fue el PAC para agua de curtido con un porcentaje de remoción de la turbiedad igual a 55,82 % al adicionar 20 mg/L y de 80,06 % para agua de pelambre al adicionar 40 mg/L del coagulante seleccionado, el pH óptimo para las aguas fue de 9; por lo que para un buen funcionamiento del tratamiento es conveniente mantener valores cercanos; el tratamiento preliminar debe ser por medio de un sistema de cribado.

Una vez seleccionado el tratamiento óptimo, para la reducción de los contaminantes presentes en las aguas se adicionó procesos como la sedimentación, aireación y filtración que permiten reducir el contenido de los sólidos presentes, se evaluó si los parámetros que no cumplieron con la norma lograron disminuir y como resultado se consiguió que el cromo hexavalente y la demanda bioquímica de oxígeno entraran en los límites establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, mientras que los demás parámetros disminuyeron más de lo esperado;

con lo que se pudo validar el tratamiento y se registraron las variables evidenciadas en cada etapa para el dimensionamiento de los equipos.

Para el rediseño de la planta el primer paso fue establecer el caudal de diseño, realizando un estudio de la producción de aguas residuales en los distintos días de producción de la planta, con esto se logró determinar que el caudal promedio de producción es de 0,11 L/s; este dato se tomó como base de cálculo para el dimensionamiento del sistema.

Se rediseño el vertedero rectangular donde ingresaran las aguas residuales, cuyas medidas primordiales fueron el ancho de la cresta de 0,11 m, el área del vertedero de 0,11 m² y la altura mínima de 0,75 m; para el tratamiento preliminar se rediseño el sistema de cribas metálicas, cuyas dimensiones importantes se mencionan a continuación, longitud de las rejillas igual a 1,27 m y el número de barras igual a 12 unidades.

El almacenamiento y transporte de las aguas se realizará mediante tuberías de PVC, que será impulsado por una bomba centrífuga de potencia igual a ½ Hp y el tanque de almacenamiento tendrá una altura de 2,45 m de forma cónica con un radio de 1,32 m; el tiempo de llenado establecido será de 47 minutos y el tiempo de vaciado de 12 minutos.

Las aguas pasaran por medio de tuberías al tanque de coagulación-floculación el que consta de una altura igual a 2,32 m, donde se añadirá 0,012 m³ de policloruro de aluminio y 0,006 m³ de floculante no iónico mediante un impulsor de dos aspas cuya potencia será de 5 Hp, terminado el proceso estas aguas pasaran al tanque de sedimentación donde reposaran hasta separar por completo por efecto de la gravedad el agua del lodo, el agua regresará al tanque donde se colocará una placa deflectora para realizar la aireación, y el lodo recogido del proceso de curtido será evacuado del sedimentador por medio de un orificio de 0,19 m, este pasará al tanque espesador de lodo donde se realizará la recuperación de cromo, mientras que el agua aireada pasará por un filtro formado de 1,32 m de carbón activado, 0,39 m de grava gruesa y 0,13 de grava fina y estará dotada de una bomba para el paso del agua de potencia igual a ¾ Hp.

Una vez concluido en tratamiento se recoge los lodos del proceso de curtido con lo que se realiza el espesamiento de los mismos, escurrida toda el agua posible se procede a añadir ácido sulfúrico 1:10 con agitación constante hasta alcanzar un pH de 3,3-3,5 se deja secar a temperatura ambiente hasta obtener una masa sólida que posteriormente es triturada y molida hasta finas partículas, una vez recuperada la sal de cromo se realizaron pruebas en la curtiembre cueros El AL-CE ubicada en el cantón Guano donde se comparó el cromo comercial con el cromo recuperado a nivel de

laboratorio curtiendo pieles de chivo (proceso de curtición, raspado, recurtido-teñido y acabado), a continuación, una vez concluido el proceso, en el laboratorio de Curtiembre de la Facultad de Ciencias Pecuarias, se realizaron pruebas físicas al cuero donde se pudo evidenciar que el cromo reciclado le da buenas propiedades al cuero terminado como la resistencia a la tensión que permite ser manejable al cuero.

La ventaja del rediseño de la planta de tratamientos de aguas residuales es que la curtiembre pieles “PUMA” ya cuenta con cuatro tanques para el tratamiento a lo que se adaptaran las mediciones determinadas para ahorrar los costos de mano de obra y como la empresa realiza el proceso de pelambre máximo dos veces al mes se propone utilizar los mismos tanques para el tratamiento de ambas, pero aumentando un filtro para cada tratamiento lo que permitirá obtener mejores resultados. Con este tratamiento primario que se les da a las aguas residuales se logró recuperar el cromo y reducir significativamente la carga de sulfuros presentes en las aguas del proceso de pelambre la que se reporta con un porcentaje de remoción de 95,91 %.

La inversión inicial para el rediseño de la planta e implementación de la misma será igual a \$ 20553, 77; lo que incluye la adquisición de equipos, rediseño de los tanques e implementación del sistema de aireación y la construcción de dos filtros para maximizar el tratamiento de las aguas residuales, mientras que para la operación de la planta se debe invertir \$ \$72,22 para el tratamiento de ambas aguas y la posterior recuperación del cromo.

CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización inicial de las aguas residuales producidas en la curtiembre pieles “PUMA” de la ciudad de Ambato, en las aguas del proceso de curtido reportaron los siguientes valores altos: Cromo hexavalente igual a 0,5 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno igual a 3700 mg/L, demanda química de oxígeno igual a 7200 mg/L, sólidos totales igual a 59989 mg/L y pH de 3,9 mientras que en el proceso de pelambre reportaron los siguiente valores: sulfuros igual a 1568 mg/L, demanda bioquímica de oxígeno igual a 18200 mg/L, demanda química de oxígeno igual a 28300, sólidos totales igual a 45564 mg/L y pH de 13,2; estos fueron los principales parámetros determinados que no cumplieron con los límites establecidos en el Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- ✓ El tratamiento óptimo de las aguas de proceso de pelambre y curtido se realizó mediante el test de jarras; para las aguas de pelambre primero se agregó como catalizador sulfato de manganeso inyectando burbujas de aire por un tiempo aproximando de 6 horas, con lo que se consiguió un porcentaje de remoción de sulfuros igual a 89,8 %; posteriormente se baja el pH con ayuda de ácido sulfúrico n dilución 1:10, en las aguas de curtido se añade cal para aumentar el pH; En la coagulación se trabajó con policloruro de aluminio (PAC), con dosis de 8 mL/1000mL de agua residual de pelambre alcanzando un porcentaje de remoción de turbiedad igual a 80,06%, dosis de 4mL/1000mL de agua residual de curtido logrando un porcentaje de remoción de turbiedad igual a 55,82 %; estos datos se obtuvieron a un pH aproximado de 9.
- ✓ Realizados los análisis de calidad del agua, para lograr el tratamiento de las aguas residuales se identificaron las siguientes operaciones unitarias: transporte y almacenamiento de fluidos, cribado, mezcla y homogenización, sedimentación; además las variables de proceso identificadas son las siguientes: disposición geométrica de los tanques, velocidad de flujo, caudal volumétrico, disposición geométrica de las tuberías, potencia de las bombas, compresores y tiempo de residencia de las aguas residuales y las concentraciones de las mismas.
- ✓ Se realizó los cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, en base a las pruebas que fueron simuladas en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, partiendo del caudal igual a 0,11 L/s,

las operaciones realizadas permitieron conocer que es necesario que en la planta se instalen: tuberías PVC, vertedero, bombas, sistema de aireación, filtros y un tanque espesador de lodos-recuperación de cromo, a más de esto se deben adecuar los tanques con los que ya cuenta la curtiembre pieles “PUMA”.

- ✓ Para la validación del proceso, se realizaron pruebas de calidad de acuerdo al Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Tabla 9, con esto se obtuvo que parámetros como el cromo hexavalente reportaron un valor igual a 0,02 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno igual a 69,33 mg/L para aguas del proceso de curtido, valores que están dentro de la norma, además se alcanzó un porcentaje de remoción de cromo igual a 97,66%, porcentaje de remoción de sulfuros igual a 96,11%; mientras que los demás parámetros disminuyeron significativamente siendo este un proceso muy eficaz para el tratamiento de las aguas.

- ✓ Con el cromo reciclado obtenido a nivel de laboratorio se calculó el porcentaje de óxido de cromo presente siendo este igual a 13,6 % mayor al que se obtiene en otros cromos reciclados, para validar el proceso se realizaron pruebas comparativas en la curtiembre cueros EL AL-CE del cantón Guano, comparando el cromo comercial utilizado en la curtiembre y el cromo reciclado recuperado en el laboratorio, curtiendo pieles de chivo y dando el acabado a los mismos, para las pruebas físicas del cuero se reportó que las medias para la Resistencia a la tensión fueron iguales a 995,92 N/cm² para cromo comercial mientras que para cromo reciclado fue igual a 1461,48 N/cm², en el porcentaje de Elongación el cromo comercial reportó un promedio de 75 % mientras que el cromo reciclado obtuvo un promedio de 63,75%, en la prueba final de Lastometría la media para el cromo comercial fue igual a 8,45 mm mientras que para el cromo reciclado la media es de 9,52 mm.

RECOMENDACIONES

- ✓ Alcanzar mejorar los tratamientos de las aguas residuales, con nuevos procesos como la adición de diferentes tipos de coagulantes, a distintas dosificaciones del mismo o probar otros tipos de filtración; todo con el objetivo de reducir los costos de operación e instalación de la planta de tratamiento.
- ✓ Una vez que se haya rediseñado la planta controlar todas las variables que se mencionaron en la sección anterior para lograr un óptimo tratamiento de la planta, además se debe probar diferentes tiempos de residencia para las aguas en los equipos, en especial en el tanque de sedimentación que es en el que mayor tiempo lleva reducir la carga contaminante.
- ✓ Realizar pruebas a diferentes concentraciones de cromo reciclado para probar si hay la posibilidad de realizar la curtición solo con la presencia del cromo reciclado mas no la mezcla de cromo comercial y cromo reciclado como se hace industrialmente.
- ✓ Se sugiere hacer la recirculación de las aguas tratadas para maximizar el proceso y aprovechar el tratamiento planteado, con el lodo obtenido del tratamiento primario de aguas de pelambre se propone realizar compostaje por su alto contenido de nitrógeno.
- ✓ El proyecto es factible por lo que la curtiembre pieles “PUMA” cuenta con el espacio necesario y el presupuesto para la incorporación del sistema de tratamiento de las aguas, lográndose disminuir el impacto ambiental y reduciendo los costos por salud de los moradores del sector, además de que facilitará el trabajo que realiza el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Tungurahua.

Cronograma del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO																			
	1° y 2 meses				3° y 4° meses				5° y 6° meses				7° mes				8° mes			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Elaboración del anteproyecto	■	■																		
Diagnóstico Inicial de la planta		■	■																	
Toma de muestra			■	■	■	■														
Caracterización de la muestra						■	■													
Pruebas de tratabilidad								■	■	■										
Análisis de la calidad del agua											■	■								
Ordenamiento y tabulación información													■	■	■					
Cálculos y propuestas (Dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua)																■	■			
Elaboración de borradores																		■		
Corrección borradores																			■	
Tipiado del trabajo final																			■	

GLOSARIO

PIB	Producto interno bruto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ST	Sólidos Totales
PAC	Policloruro de Aluminio
s	Sistema de muestreo simple
c	Sistema de muestre completo
TDS	Sólidos Totales Disueltos
SS	Sólidos Sedimentables
Q	Caudal de diseño
V_{er}	Velocidad de paso entre la reja
L	Longitud de las barras
C	Número de barras
V_{ac}	Velocidad de acercamiento aguas arriba
A_{re}	Área de las rejjas
h_{lo}	Pérdidas longitudinales
g	Fuerza de la gravedad
h_v	Altura mínima del vertedero
S₂	Sección transversal del agujero
V_{ww}	Volumen de agua residual
V_c	Volumen de coagulante
V_w	Volumen de agua residual
D_c	Dosis óptima de coagulante
V_f	Volumen de floculante
H_{ft}	Altura del impulsor con respecto al fondo del tanque
H_{tc}	Altura del tanque de coagulación
b_p	Ancho de las placas deflectoras
s_a	Solubilidad del aire
k_d	Constante de remoción de sólidos
t	Tiempo de aireación
k_d	Constante de remoción de sólidos
Y	Eficiencia de remoción
η	Eficiencia del compresor

ρ_{ww}	Densidad del agua residual
ρ_a	Densidad del aire
θ	Tensión superficial
μ	Viscosidad del agua
v_s	Velocidad de sedimentación
N_f	Número de filtros
H_c	Altura del lecho de carbón
h_{gg}	Altura del lecho de grava gruesa
h_{gf}	Altura del lecho de grava fina
%s	Porcentaje de sólidos en agua
%w	Porcentaje de agua sin sólidos
W_f	Masa de fangos producida
T-H₁	Tanque de homogenización 1
T-H₂	Tanque de homogenización 2
T-CA	Tanque de coagulación-aireación
T-S₁	Tanque de sedimentación 1
T-S₂	Tanque de sedimentación 2
T-CF	Tanque de coagulación-floculación
T-E	Tanque espesador de lodos
F-1	Filtro de agua 1
F-2	Filtro de agua 2

BIBLIOGRAFÍA

ABEL. *Abel Equipos S.A.* [en línea] 2018. [Consulta: 17 junio 2019]. Disponible en: <https://www.abelpumps.com/es/index.php>.

ADZET. *Química Técnica de curtición.* Barcelona : SN, 2015. ISSN 157, pp. 14-21.

AFANADOR, Jose. *Sulfuro en agua por volumetria.* IDEAM, 2007, pp. 25-36.

APHA. *Standar Methods for the examination of water and wastewater.* Washintong : Arnold, 2012. ISBN, pp 68-69.

ASOLEKAR. *Characteristics Of Sewage And Overview of Treatment Methods. Module 13.* Canadá : NPTELL, 2015, pp. 13-14

BHARGAVA. *Physico-Chemical Waste Water Treatment Technologies: An Overview.* India: ResearchGate, 2016, pp. 78-80.

CABASSO, I. *Membrane Encyclopedia Polymer Science* [en línea]. India : ELSEVIER, 2014. [Consulta: 19 abril 2019]. Disponible en: <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>.

CATALÁN, J. *Química del Agua.* Madrid: Bellisco, 2016, pp. 109-111.

CORDERO. *Tecnología de la curtición.* Cuenca: Bico, 2011. ISBN 978, pp. 11-13.

GHATE, R. *Developments in wastewater treatment methods.* India: ELSEVIER, 2014, p. 17.

GROZZA. *Curtición de cueros y pieles.* Barcelona: Sintes, 2014, p. 89.

HANSEN. *Principios y aplicaciones del riego.* Madrid: Reverté, 2012, pp. 4-6

HARDY. *Involvement of testicular growth factors in fetal Leydig cell aggregation after exposure to phthalate in utero.* USA: Proc, 2014, pp. 45-46.

IPPC. *Draft reference document on the best available techniques in the tanning of hides and skins.* New Jersey: Greenpeace, 2011.

ITD. *Protocolo de toma de muestras de agua residual.* [aut. libro] Instituto de toxicología de la defensa. *PROTOCOLO DE TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL.* - :SN, 2010.

JARAMILLO. [en línea] 25 de Enero de 2016. [Consulta: 7 Octubre 2018]. Disponible en: <https://www.accuweather.com/es/ec/ambato/126320/weather-forecast/126320>. ISBN.

JOHNSON, W. *Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates.* United States: Publicación de recursos, 2013, p. 137.

LÓPEZ, M. *Aspectos sanitarios del estudio de aguas.* [en línea] Universidad de Granada, 2015. [Consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf.

MCCABE. *Operaciones unitarias en Ingeniería Química.* Ontario: McGraw-Hill, 2011. ISSN 1963.

MCCARTY. *Chemistry for Environmental Engineering and Science 5.* Delhi : McGra-Hill, 2013.

METCALF. *Ingeniería de las aguas residuales.* Mexico D.F: McGraw Hill, 2015. ISSN 154.

MIJARES. *Tratamiento de aguas residuales. 2ª ed.* Caracas: Vega, 2016.

MYLCHREEST. *Fetal testosterone insufficiency and abnormal proliferation of Leydig cells and gonocytes in rats exposed to di(n-butyl) phthalate.* Boston: PMD, 2012. ISSN 2589.

NTE INEN. *Agua potable. determinación de cromo hexavalente.* Quito: SN, 2014.

NTE INEN. *Agua. calidad del agua. muestreo.* Quito : WATER QUALITY, 2012. ISBN.

NTE INEN. *Agua. demanda química de oxígeno (DQO).* Quito : WATER. CHEMICAL OXYGEN DEMAND, 2013. ISBN.

NTE INEN. *Agua. Determinación del pH.* Quito : SN, 2014. ISBN.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SASLUD. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* Lima: Cosude, 2015. ISBN 789.

RIVERA. *Manual de defectos en cuero.* Leon: CIATEC, 2011. ISSN 458.

ROEST. *MBR Technology in municipal wastewater treatment.* Londres: Water Sci Technol, 2015, p.67.

ROZZI. *Perspectives of MBR use for agro-industrial wastewater treatment and reuse.* . Londres : International Conference, 2013.

SOLER. *Proceso de curtido.* Barcelona : NA, 2015. ISBN 45.

TANCOUS. *Hide and leather defects.* Leon : CIATEC, 2015. ISSN 159.

WEBER. *Process Design Manual for Suspended Solids Removal.* New Jersey: Environmental Protection, 2015. ISSN 457.

ANEXOS

Anexo A: Caracterización inicial de las aguas residuales 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: Jessica Liliana Ocles Morales

Fecha de Análisis: 14/11/2018

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Curtiembre pieles "PUMA".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION- MUESTRA 1


Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	3,9
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	35,2
TDS	mg/L	2540-C	.....	20100
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	79
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	3700
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	7200
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	8
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	59989
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,5

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

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.


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

Anexo B: Caracterización inicial de las aguas residuales 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: Jessica Liliana Ocles Morales

Fecha de Análisis: 13/02/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Curtiembre pieles "PUMA".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1

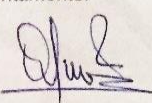
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	13,2
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	1,83
TDS	mg/L	2540-C	.....	980
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	3150
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	28300
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	18200
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	10
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	45564
Sulfuros	mg/L	4500-S ² -E	0,5	1568

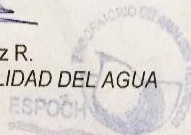
*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.


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



Anexo C: Caracterización final de las aguas tratadas 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: Jessica Liliana Ocles Morales

Fecha de Análisis: 28/11/2018

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Curtido, Curtiembre pieles "PUMA".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	7,5
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	7,4
TDS	mg/L	2540-C	....	9600
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	5,6
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	1475
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	91
Sólidos				0,5
Sedimentables	mL/L	2540-B	.....
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	53363
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,023

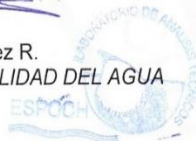
*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

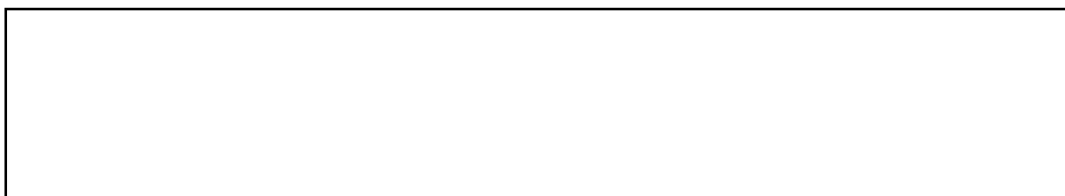
Observaciones:

Atentamente.

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



Anexo D: Caracterización final de las aguas tratadas 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: Jessica Liliana Ocles Morales

Fecha de Análisis: 11/03/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Pelambre, Curtiembre pieles "PUMA".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	7,8
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	2,74
TDS	mg/L	2540-C	....	1460
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	67
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	2320
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	126
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	1,5
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	18796
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ -E	0,5	64
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	1000	1501

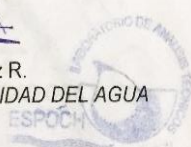
*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

**TULSMA.

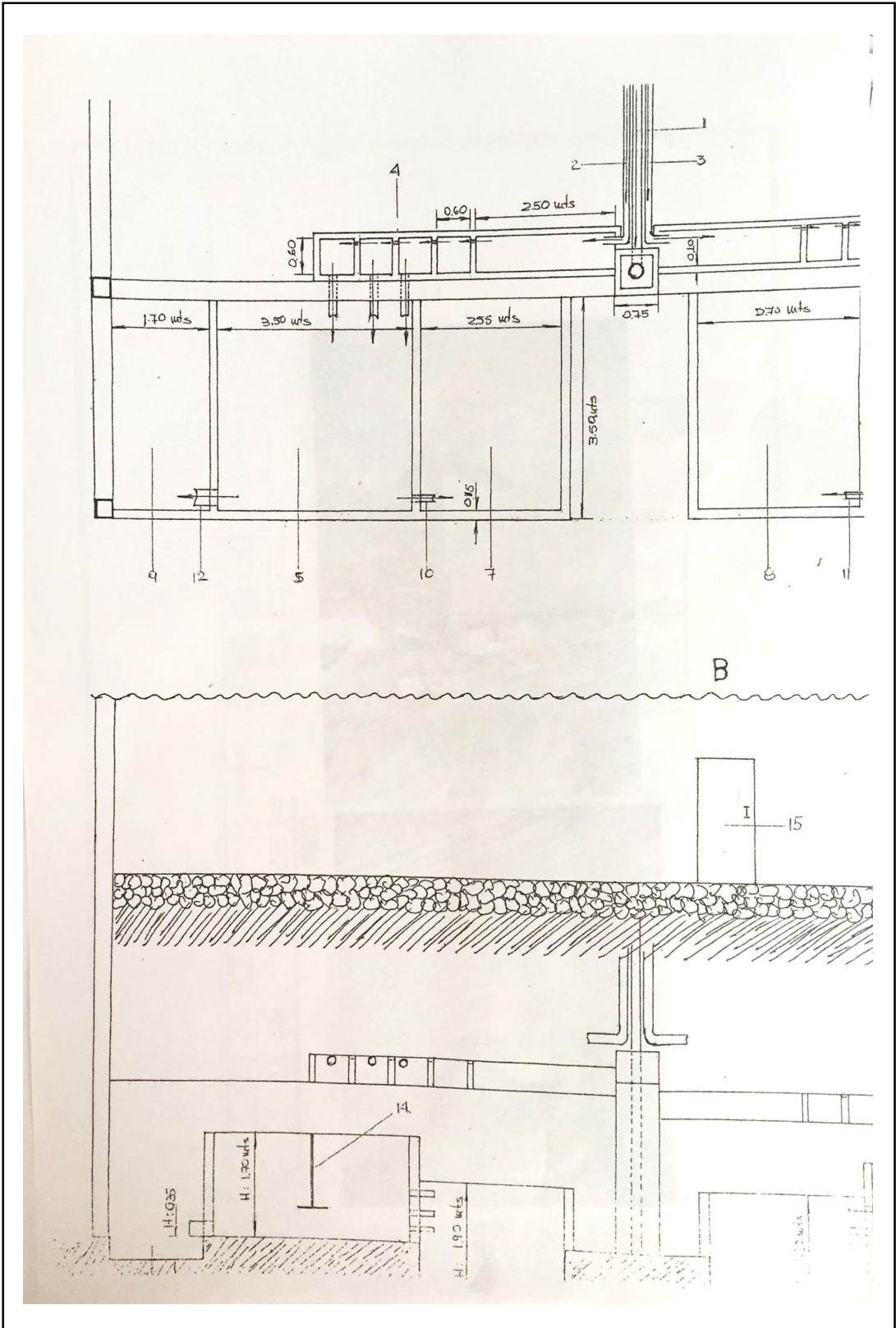
Observaciones:

Atentamente,

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



Anexo E: Planos de la Planta actual de la curtiembre pieles "PUMA"



Anexo F: Proceso de recuperación de cromo III



NOTAS

- a.** Obtención del lodo
- b.** Secado del lodo
- c.** Precipitación del lodo con H_2SO_4 (1:10)
- d.** Cromo obtenido

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	X	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	APROBADO		POR VERIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR		

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 JESSICA LILIANA OCLES MORALES

RECUPERACIÓN DEL CROMO III

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	21/01/2019	1

Anexo G: Proceso de curtido de pieles en la curtiembre cueros EL AL-CE

a.



b.



c.



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA		<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">REALIZADO POR: JESSICA LILIANA OCLES MORALES</p>			<p style="text-align: center;">PROCESO DE CURTICIÓN DE PIELES</p>			
<p>a. Piel curtida con cromo reciclado</p> <p>b. Raspado de pieles</p> <p>c. Piel tinturada</p>	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">X</td> <td style="text-align: center;">POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"></td> <td style="text-align: center;">POR VERIFICAR</td> </tr> </table>				X	POR CALIFICAR		POR VERIFICAR
X	POR CALIFICAR								
	POR VERIFICAR								
			1:1	27/04/2019	1				

Anexo H: Pruebas físicas del cuero curtido con cromo comercial y cromo reciclado



DATOS CLIENTE



CÓDIGO:983301
NOMBRE: Jessica Liliana Ocles Morales
C.I.: 080445968-3
DIRECCIÓN: Isidoro Barriga y Francisco Flor
TELÉFONO: 0986786969
CORREO ELECTRÓNICO: jesslili0395@gmail.com
RESPONSABLE DE ENTREGA: Ing. Julio Cesar Llerena Zambrano

DATOS GENERALES

REGISTRO:057
FECHA DE RECEPCIÓN:14 de mayo del 2019
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:17 de mayo del 2019
DE MUESTRAS: 4
IDENTIFICACIÓN: Cromo reciclado y Cromo comercial
CONDICIONES AMBIENTALES: Específicas del laboratorio



MUESTRAS DE CUERO CURTIDO CON CROMO
RECICLADO

C1	C2
	





HOJA TÉCNICA: CUEROS CURTIDOS CON CROMO RECICLADO

PRUEBA	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL SUGERIDO
Resistencia a la tensión (N/cm ²)	C1	IUP6	1581,429	800
	C2		1341,538	a 1500
Elongación (%)	C1	IUP6	62,50	40
	C2		65,00	a 80

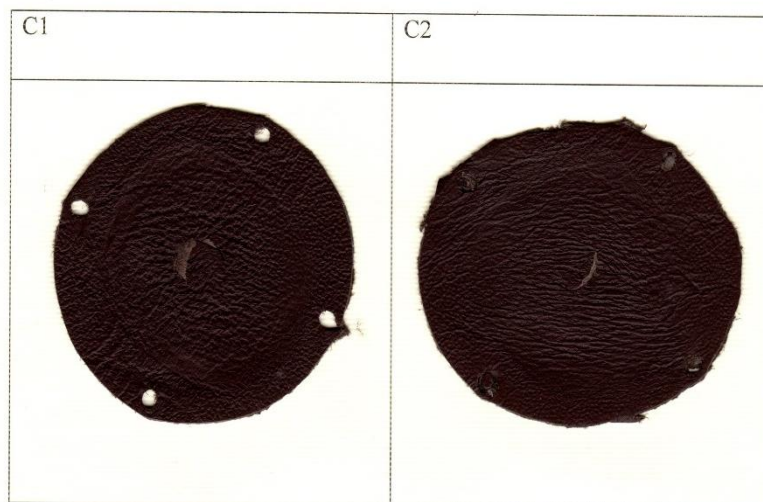


HOJA TÉCNICA: CUEROS CURTIDOS CON CROMO COMERCIAL

PRUEBA	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL SUGERIDO
Resistencia a la tensión (N/cm ²)	C1	IUP6	876,842	800 a
	C2		1115,000	1500
Elongación (%)	C1	IUP6	50,00	40 a
	C2		100,00	80



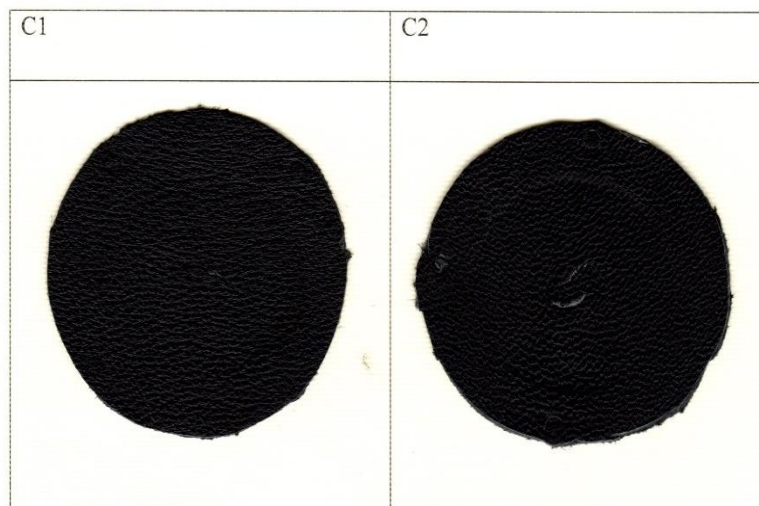
MUESTRAS DE CUERO CURTIDO CON CROMO
RECICLADO



HOJA TÉCNICA: CUERO CURTIDO CON CROMO RECICLADO

PRUEBA	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO
Lastometria	C1	IUP8 Min 7.5 mm	7,97
	C2		11,07

MUESTRAS DE CUERO CURTIDO CON CROMO
COMERCIAL



HOJA TÉCNICA: CUERO CURTIDO CON CROMO COMERCIAL

PRUEBA	UNIDAD	METODO DE ENSAYO	RESULTADO OBTENIDO
Lastometria	C1	IUP8 Mín 7.5 mm	10,31
	C2		6,59



OBSERVACIONES:

Muestreo realizado de acuerdo con la norma IUP 6.

El equipo utilizado para este ensayo de Resistencia a la Tensión del Cuero es un dinamómetro, y para la prueba de lastometría en un lastometro.

Los resultados de las pruebas en el Laboratorio de Curtiembre son obtenidos de las muestras proporcionadas por nuestro cliente.

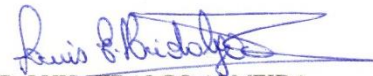
FECHA DE ENTREGA: 17 de mayo del 2019.

ENTREGO CONFORME



ING. JULIO CESAR LLERENA ZAMBRANO

AUTORIZA



DR. LUIS HIDALGO ALMEIDA

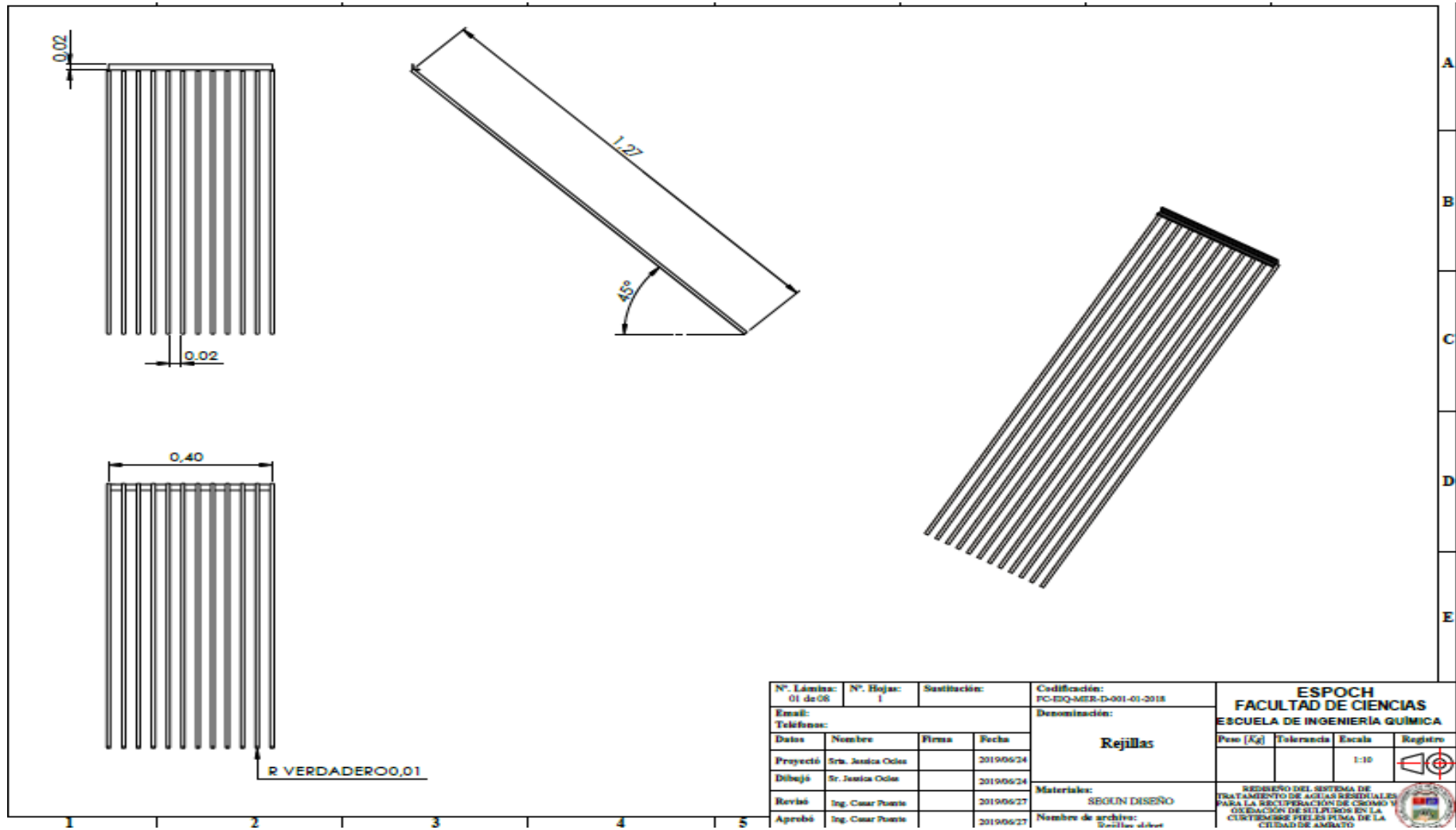
RECIBI CONFORME



JESSICA OCLES

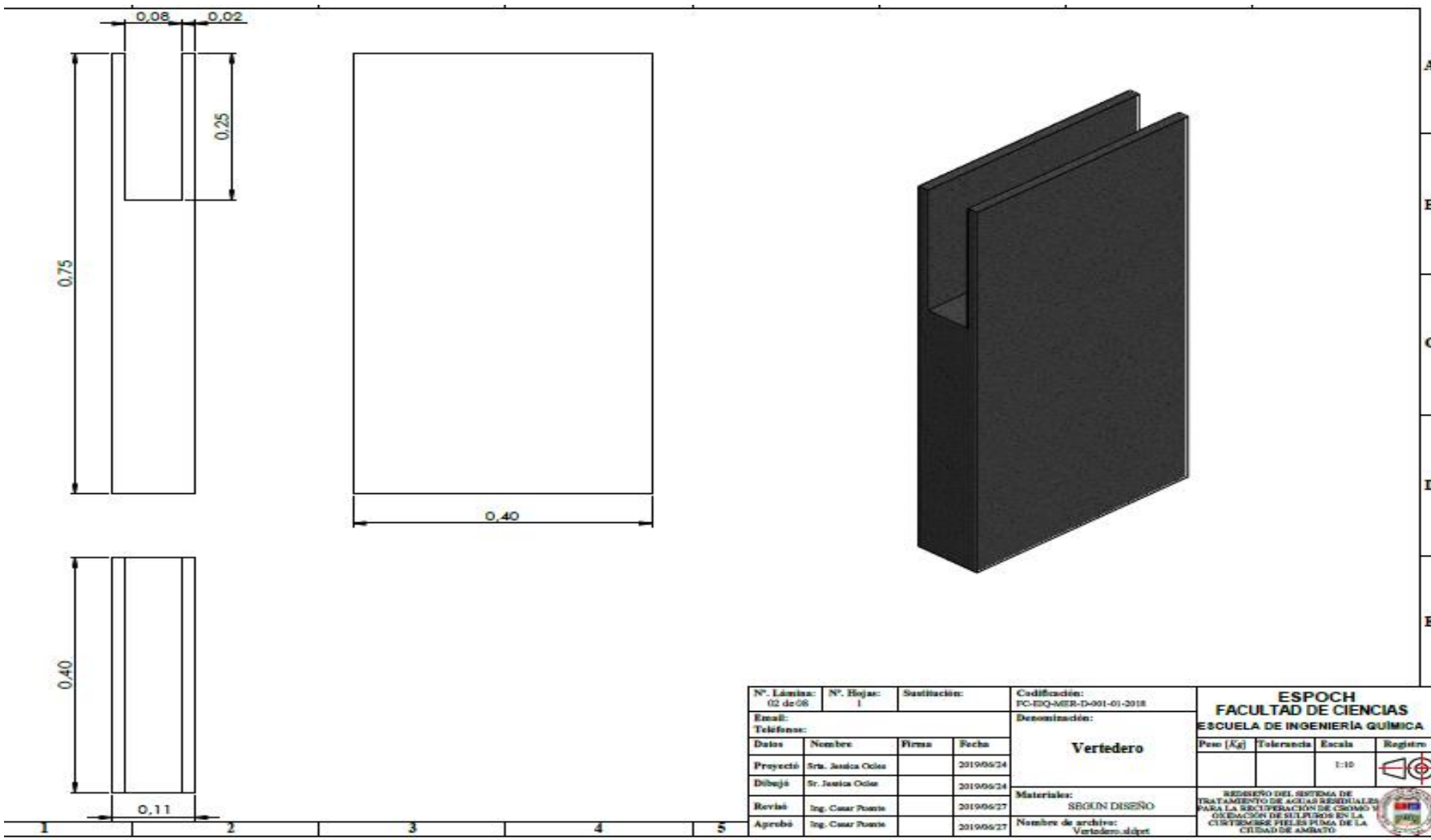


Anexo I: Diseño del Sistema de cribado

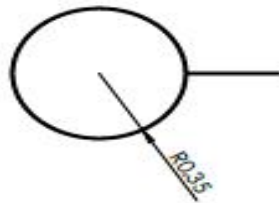
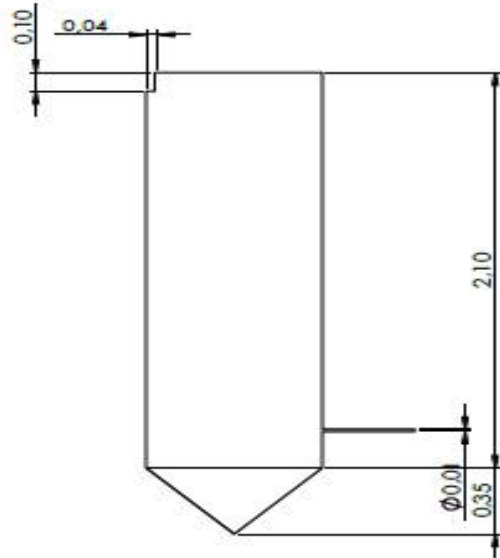


N° Lámina: 01 de 06	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: PC-EIQ-MER-D-001-01-2018	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA				
Email: Teléfono:			Denominación: Rejillas					Peso (Kg)	Tolerancia	Escala 1:10	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN DISEÑO				REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CIBANOS Y OPERACIÓN DE SU PLANTAS EN LA CIUDAD DE AMBATO
Proyectó	Sr. Jessica Oca		2019/06/24					
Diseñó	Sr. Jessica Oca		2019/06/24					
Revisó	Ing. Cesar Ponce		2019/06/27					
Aprobó	Ing. Cesar Ponce		2019/06/27	Nombre de archivo: Rejillas.dwg				

Anexo J: Diseño del Vertedero de entrada



Anexo K: Diseño del Tanque de homogenización

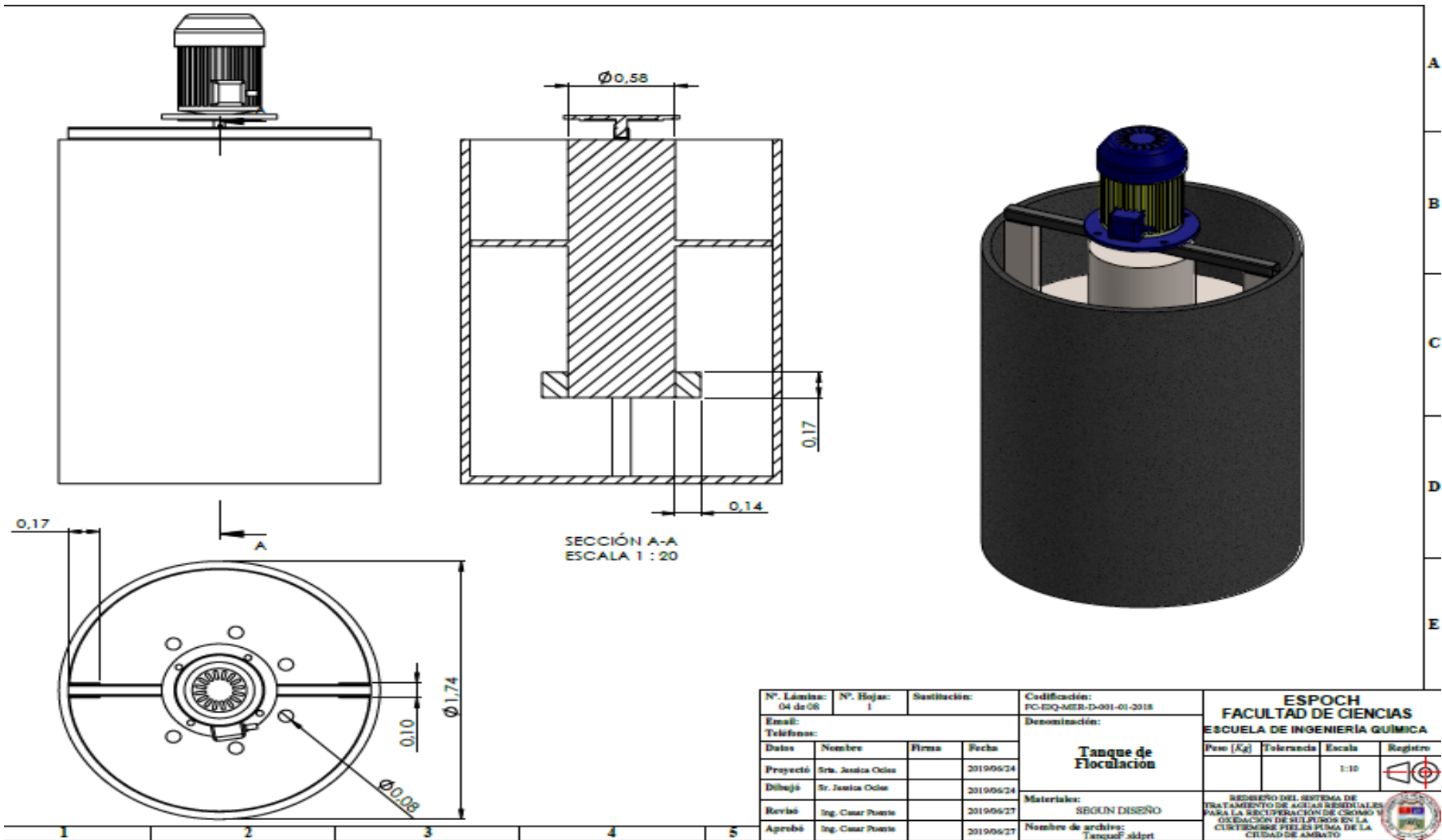


A
B
C
D
E

N° Láminas: 03 de 08		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: PC-EIQ-MER-D-001-01-2018		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Email: Teléfono:						Denominación: Tanque de Homogenización						Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha			Materiales: SEGUN DISEÑO		REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACION DE CROMO Y OSMÓLISIS DE SUELOS EN LA CIUDAD DE AMBATO 			
Proyectó	Sra. Jessica Ochoa		2019/05/24			Nombre de archivo: TanqueH.sldprt					
Dibujó	Sr. Jessica Ochoa		2019/05/24								
Revisó	Ing. Cesar Ponce		2019/05/27								
Aprobó	Ing. Cesar Ponce		2019/05/27								

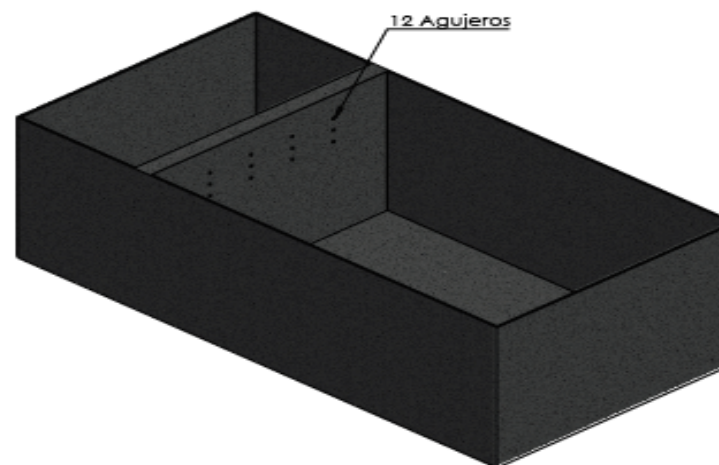
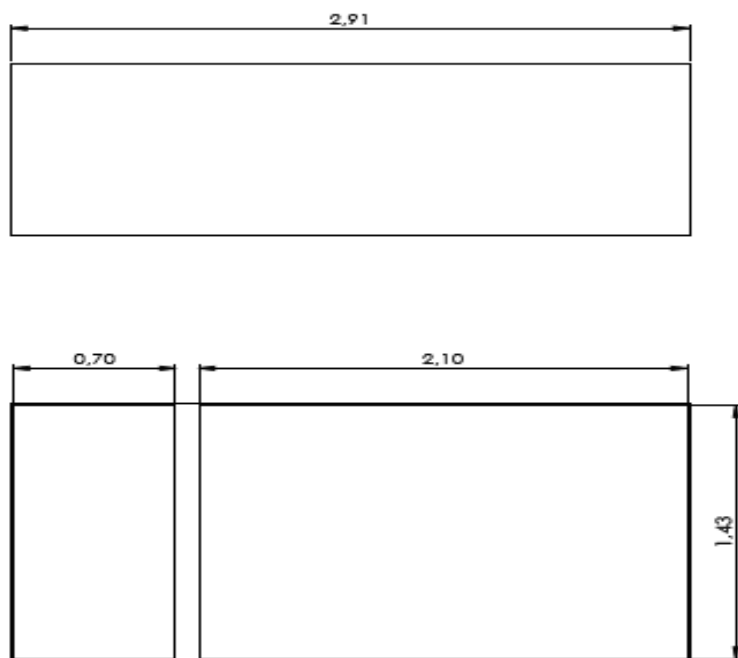
2 3 4 5

Anexo L: Diseño del Tanque de coagulación



Nº. Lámina: 04 de 08	Nº. Hojas: 1	Sustitución:		Codificación: PC-EIQ-MER-D-001-01-2018	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Email: Teléfono:				Desmontación:					Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Tanque de Floculación				
Proyectó	Sra. Jessica Ochoa		20190624					
Dibujó	Sr. Jessica Ochoa		20190624	Materiales: SEGUN DISEÑO				REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO Y COAGULACIÓN DE SULFIDOS EN LA CUETEMARSE PUEBLOS PUNTA DE LA CIUDAD DE AMBATO
Revisó	Ing. Cesar Pantoja		20190627					
Aprobó	Ing. Cesar Pantoja		20190627	Nombre de archivo: TanqueF adjpt				

Anexo M: Diseño del Tanque de sedimentación

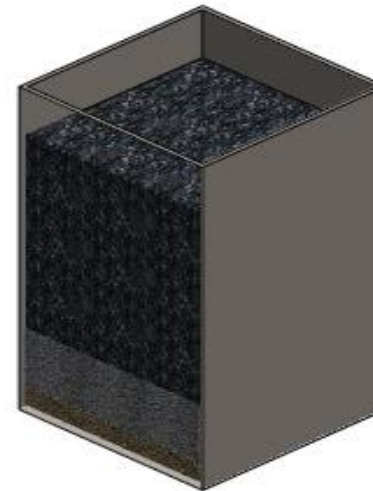
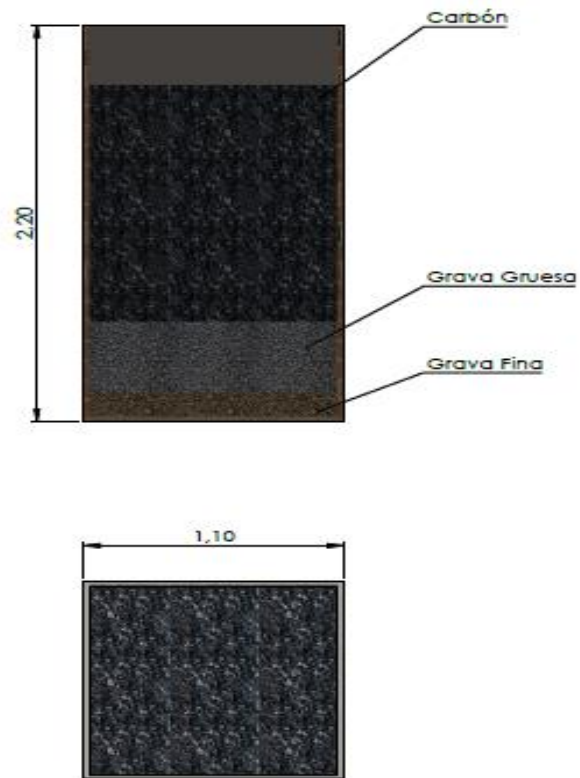


A
B
C
D
E

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

N°. Láminas: 05 de 08		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Certificación: FC-EIQ-MER-D-001-01-2018		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA			
Email:		Teléfono:		Denominación:		Tanque de Sedimentación						Peso (Kg)	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales:		SEGUN DISEÑO		REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO Y OXIDACIÓN DE SULFUROS EN LA CURTIEMBRE FIELLES PUMA DE LA CIUDAD DE AMBATO			
Proyectó	Sra. Justica Ocaña		2018/06/24	Nombre de archivo:		TanqueSd.dwg					
Dibujó	Sr. Justica Ocaña		2018/06/24	Aprobó		Ing. Conar Pantoja					
Revisó	Ing. Conar Pantoja		2018/06/27								
Aprobó	Ing. Conar Pantoja		2018/06/27								

Anexo N: Diseño de los Filtros



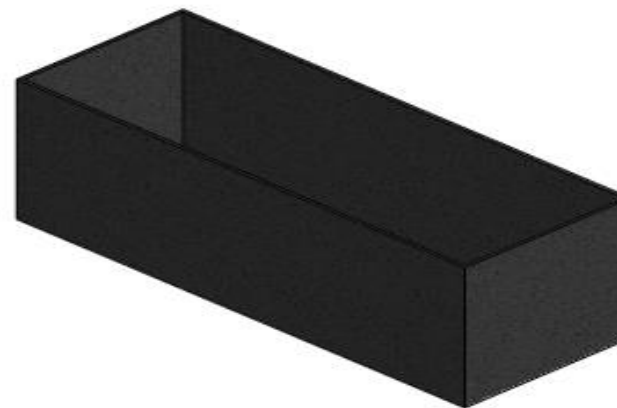
A
B
C
D
E

N° Lámina: 06 de 06	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: PC-EQ-MER-D-001-01-2018	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
Email: Teléfono:			Denominación: Filtro				
Datos		Nombre	Fecha	Peso (Kg)	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		Sra. Janina Ochoa	2019/06/24			1:10	
Dibujó		Sr. Janina Ochoa	2019/06/24				
Revisó		Ing. Cesar Pozo	2019/06/27	Materiales: SEGUN DISEÑO			
Aprobó		Ing. Cesar Pozo	2019/06/27	Nombre de archivo: Filtro.sldprt			
				DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE CROMO Y OXIDACIÓN DE SUELOS EN LA CUESTA DE PELES PUMA DE LA CIUDAD DE AMBATO.			

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---



Anexo O: Diseño del Tanque espesador de lodos - recuperación de cromo

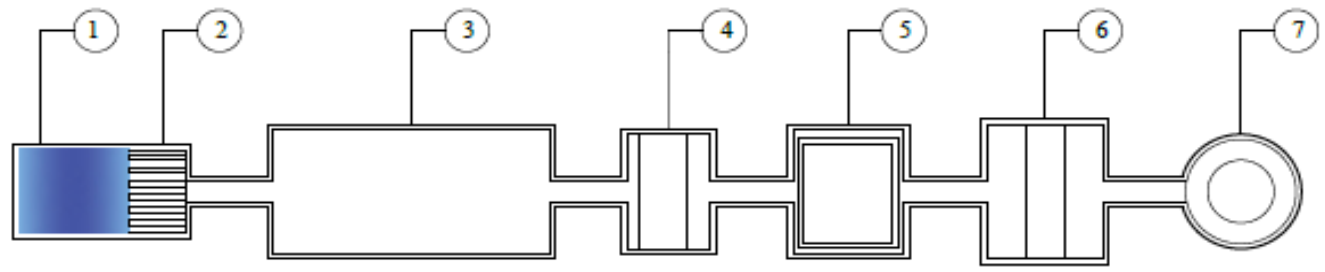


A
B
C
D
E

1 2 3 4 5

Nº. Láminas: 07 de 08		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: PC-ESQ-MER-D-001-01-2018		ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA				
Email:						Denominación:						Peso (Kg)		Tolerancia	Escala	Registro
Teléfono:						Tanque de Espesador				1:10		
Datos		Nombre	Firma	Fecha								
Proyectó		Sra. Jessica Ochoa		2019/06/24								
Dibujó		Sr. Jessica Ochoa		2019/06/24								
Revisó		Ing. Cesar Pozo		2019/06/27								
Aprobó		Ing. Cesar Pozo		2019/06/27								
Materiales:						SEGUN DISEÑO		REDDENO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA RECUPERACION DE CROMO Y COEXTRACCION DE SULFIDOS EN LA CIUDAD DE AMBATO				
Nombre de archivo:						TanqueS.sldprt						

Anexo Q: Distribución y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la recuperación de cromo y oxidación de sulfuros



NUMERO	CANTIDAD	DENOMINACIÓN
1	1	Sistema de Cribas
2	1	Vertedero con Cresta
3	1	Tanque de Homogenización
4	1	Tanque de Alredón Coagulación
5	1	Tanque de Sedimentación
6	2	Filtración
7	1	Espesamiento de Lodos

1 - Limit 8 de 8		No. Hojas: 1	Sustracción:	Codificación: FC-EIC-PDC-AD-001-2018	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA
Título: Vista Superior				Denominación: Vista Superior		Peso (Kg)/Tolerancia Escala Registro 1 : 50
Datos	Nombre	Firma	Fecha		
Dibujo	Sra. Jessica Ode		2019/05/24		
Proyecto	Sra. Jessica Ode		2019/05/24		
Revisó	Ing. Cesar Puente		2019/05/27	Verificación: Según Diseño	
Aprobó	Ing. Cesar Puente		2019/05/27	Nombre del archivo: Planta Vista.dwg	

B
C
D
E