

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL TRATAMIENTO DE
EFLUENTES INDUSTRIALES DE CURTIEMBRES. CASO DE
ESTUDIO: PICAIHUA, TUNGURAHUA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL.**

DANIEL ENRIQUE ARCOS NÚÑEZ

darcos255@gmail.com

DIRECTOR: ING. NATHALIA TERESA VALENCIA BONILLA

nathalia.valencia@epn.edu.ec

Quito, diciembre 2017

DECLARACIÓN

Yo, Daniel Enrique Arcos Núñez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

DANIEL ENRIQUE ARCOS NÚÑEZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Daniel Enrique Arcos Núñez, bajo mi supervisión.

ING. NATHALIA TERESA VALENCIA BONILLA
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a mis padres (Enrique y Mónica) por su paciencia, su apoyo incondicional y palabras de ánimo frente a los retos que presenta la vida, ya que, sin ellos, culminar todo este proceso no hubiera sido posible.

A mis Abuelos, Tíos y primos que de una u otra manera me apoyaron y alentaron durante toda mi etapa universitaria.

A Carolina por su ayuda incondicional y estar presente en los mejores momentos de mi vida.

A Alejandro por ser mi inspiración y motivación.

A la Ingeniera Nathalia Valencia por su infinita paciencia, tiempo y conocimiento que, como directora del presente trabajo, le estoy inmensamente agradecido.

A Erick, Byron, Samuel, Leandro y a todos mis amigos y compañeros con quienes compartí y aprendí durante toda la carrera.

A los curtidores del barrio La Atarazana por su apertura e interés en el proyecto.

A la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental de Tungurahua por los momentos que compartimos y por brindarme todo su conocimiento y apoyo para el desarrollo del presente proyecto.

DEDICATORIA

A mis padres Enrique y Mónica.

A mis hermanos Marco, Diego y Ximena.

A Carolina y Alejandro.

A todos quienes de una u otra manera hicieron posible la realización del presente trabajo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS	X
ABREVIATURAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
PRESENTACIÓN	XV
CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 GENERAL	3
1.2.2 ESPECÍFICOS	3
1.3 ALCANCE	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2	6
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 LA INDUSTRIA DEL CUERO	6

2.1.1	LA INDUSTRIA DEL CUERO A NIVEL MUNDIAL.....	6
2.1.2	LA INDUSTRIA DEL CUERO A NIVEL NACIONAL	8
2.1.3	PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	9
2.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS CURTIEMBRES.....	14
2.3	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE	16
2.3.1	PRE – TRATAMIENTO.....	17
2.3.1.1	Homogenización.....	17
2.3.1.2	Cribado.....	18
2.3.1.3	Eliminación de sulfuros	18
2.3.1.4	Eliminación de cromo	18
2.3.2	TRATAMIENTO PRIMARIO	18
2.3.2.1	Coagulación y Floculación.....	19
2.3.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	19
2.3.3.1	Tratamientos aerobios.....	20
2.3.3.1.1	Lodos activados.....	20
2.3.3.1.2	Reactores aerobios.....	21
2.3.3.2	Tratamientos anaerobios.....	21
2.3.3.2.1	Reactores anaerobios.....	22
2.3.4	TRATAMIENTO TERCARIO.....	24
CAPÍTULO 3	25
3	MARCO NORMATIVO, POLÍTICO E INSTITUCIONAL	25
3.1	NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL APLICABLE.....	25
3.1.1	CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	25
3.1.2	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	25
3.1.3	LEY ORGÁNICA DE LA SALUD.....	26
3.1.4	LEY REFORMATORIA AL CÓDIGO PENAL.....	26
3.1.5	LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN	27
3.1.6	TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)	27

CAPÍTULO 4	29
4 METODOLOGÍA	29
4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.....	29
4.1.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN.....	29
4.1.2 ESTADO ACTUAL.....	31
4.1.3 PROCESOS UTILIZADOS.....	32
4.1.3.1 Consumo de agua.....	35
4.1.4 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	36
4.2 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES.....	37
4.2.1 MEDICIÓN DE CAUDALES GENERADOS.....	37
4.2.2 TOMA DE MUESTRAS.....	38
4.2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO.....	39
4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO.....	40
4.3.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD.....	40
4.3.2 CONSTRUCCIÓN DE REACTORES A ESCALA LABORATORIO.....	42
4.3.2.1 Reactor Biológico Secuencial, SBR.....	43
4.3.2.1.1 Aclimatación de la biomasa.....	45
4.3.2.2 Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente, UASB.....	45
4.3.2.2.1 Diseño del sistema de tratamiento.....	46
4.3.2.2.2 Aclimatación de los lodos anaerobios.....	49
4.3.2.3 Monitoreo de las variables del experimento.....	50
4.4 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO.....	51
4.4.1 ANÁLISIS TÉCNICO.....	51
4.4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	51
CAPÍTULO 5	52
5 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO	52
5.1 TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO.....	53
5.1.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD: PRUEBA DE JARRAS.....	54
5.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	55

5.2.1	REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL, SBR	56
5.2.2	REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE, UASB.....	60
5.3	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	63
5.3.1	ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO PROPUESTAS.....	63
5.3.2	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS 67	
5.3.2.1	Reactor Biológico Secuencial, SBR	67
5.3.2.2	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente, UASB 68	
5.3.3	CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO ..	70
5.3.3.1	Ubicación.....	70
5.3.3.2	Determinación del caudal de diseño	72
5.3.3.3	Tanque de homogenización	74
5.3.4	ANÁLISIS TÉCNICO REACTOR SBR.....	76
5.3.4.1	Consumo de oxígeno	82
5.3.4.2	Purga de lodos del reactor SBR.....	83
CAPÍTULO 6	87
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
6.1	CONCLUSIONES	87
6.2	RECOMENDACIONES	88
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS	96
ANEXO No 1:	INFORMES DE LABORATORIO LACQUANALISIS S.A	97
ANEXO No 2:	REGISTRO DE MONITOREO.....	102
ANEXO No 3:	MEMORIA DE CÁLCULO TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN	109
ANEXO No 4:	REGISTRO FOTOGRÁFICO	125
ANEXO No 5:	PLANOS.....	128

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO.....	11
FIGURA 2.2	TREN DE TRATAMIENTO GLOBAL PARA EFLUENTES DE CURTIEMBRES.....	17
FIGURA 4.1	UBICACIÓN DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO	30
FIGURA 4.2	POZO DE TOMA DE MUESTRA.....	38
FIGURA 4.3	EQUIPO UTILIZADO PARA LA PRUEBA DE JARRAS	41
FIGURA 4.4	REACTOR SBR CONSTRUIDO A ESCALA LABORATORIO.....	44
FIGURA 4.5	ACLIMATACION DE LOS LODOS AEROBIOS.....	45
FIGURA 4.6	REACTOR SBR A ESCALA LABORATORIO.....	46
FIGURA 4.7	ACONDICIONAMIENTO DE LOS LODOS ANAEROBIOS.	50
FIGURA 5.1	TRATAMIENTO EXISTENTE Y PROPUESTA.....	52
FIGURA 5.2	MUESTRAS CON LAS DIFERENTES DOSIFICACIONES DE COAGULANTE.....	55
FIGURA 5.3	COMPORTAMIENTO DQO, REACTOR SBR.....	57
FIGURA 5.4	COMPORTAMIENTO LA TEMPERATURA Y PH.....	58
FIGURA 5.5	COMPORTAMIENTO DQO, REACTOR UASB.....	60
FIGURA 5.6	COMPORTAMIENTO LA TEMPERATURA Y PH.....	61
FIGURA 5.7	PUNTO DE MUESTREO Y TERRENO DISPONIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	71
FIGURA 5.8	ESQUEMA PARA LA APLICACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO.....	72

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1. EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES MÁS CRÍTICOS	13
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRES ...	15
TABLA 2.3 VALORES DE CONCENTRACIÓN TÍPICOS DE PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE CURTIEMBRES	16
TABLA 2.4 PARÁMETROS EL CONTROL DE MICROORGANISMO EN TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS.....	23
TABLA 3.1 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE PARÁMETROS DE MONITOREO PARA CURTIEMBRES ESTABLECIDOS POR EL TULSMA	28
TABLA 4.1 CURTIEMBRES EN ESTUDIO	29
TABLA 4.2 PROCESOS INVOLUCRADOS EN LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.	32
TABLA 4.3 REQUERIMIENTO DE PIELES	35
TABLA 4.4 REQUERIMIENTO DE AGUA.....	35
TABLA 4.5 DETERMINACIÓN DE EFLUENTES DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO	36
TABLA 4.6 PARÁMETROS CRÍTICOS DE MONITOREO PARA DESCARGAS INDUSTRIALES DE CURTIDO.....	39
TABLA 4.7 PARÁMETROS DE MONITOREO ANALIZADOS.	40
TABLA 4.8 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE.....	41
TABLA 4.9 ÍNDICE DE WILLCOMB	42
TABLA 4.10 PARÁMETROS DE DISEÑO ADOPTADOS	47
TABLA 4.11 PARÁMETROS DE DISEÑO REACTOR.....	47
TABLA 4.12 PARÁMETROS DE DISEÑO SEPARADOR GSL.....	49
TABLA 4.13 FRECUENCIA DE MONITOREO Y EQUIPO.....	51
TABLA 5.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN Y COMPARACIÓN CON LA NORMA53	
TABLA 5.2 DOSIS DE COAGULANTE, CROMO Y DQO	54
TABLA 5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES PREVIO AL INGRESO AL REACTOR SBR Y UASB.....	56

TABLA 5.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN REACTOR SBR Y COMPARACIÓN CON LA NORMA.....	59
TABLA 5.5 EFICIENCIA DE REMOCIÓN REACTOR UASB Y COMPARACIÓN CON LA NORMA.....	62
TABLA 5.6 EFICIENCIA DE REMOCIÓN REACTOR SBR Y UASB.	64
TABLA 5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALTERNATIVAS.....	65
TABLA 5.8 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	68
TABLA 5.9 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	69
TABLA 5.10 DETER DE EFLUENTES DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.	73
TABLA 5.11 DETERMINACION DEL CAUDAL DE DISEÑO.....	74
TABLA 5.12 VOLUMEN DEL TANQUE.	75
TABLA 5.13 VALORES PARA EL DIMENCIONAMIENTO DEL TANQUE.	75
TABLA 5.14 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL TANQUE DE HOMOGENIZACION.....	76
TABLA 5.15 RANGOS DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES QUE INGRESAN AL REACTOR SBR	76
TABLA 5.16 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL REACTOR SBR A ESCALA REAL.....	77
TABLA 5.17 DIMENSIONES DEL REACTOR SBR.....	81
TABLA 5.18 FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR SBR.....	82
TABLA 5.19 DIMENSIONES LECHO DE SECADO.....	85
TABLA II.1 REG DEL MONITOREO DE DQO PARA EL REACTOR SBR.	103
TABLA II.2 REG DEL MONITOREO DE TEM Y PH DEL REACTOR SBR.....	104
TABLA II.3 REG DEL MONITOREO DE DQO PARA EL REACTOR UASB.....	106
TABLA II.4 REG DEL MONITOREO DE TEMP Y PH DEL REACTOR UASB..	107
TABLA III.1 REG DEL CAUDAL DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO Y DETER DEL VOLUMEN PARA EL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN.	110
TABLA IV.1 REG FOTOGRÁFICO DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.	126

ABREVIATURAS

A	Area (m ²)
cm	Centímetros
CO ₂	Dióxido de Carbono (mg/L)
d	Días
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
DQO	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
DGCA	Dirección de Gestión y Calidad Ambiental
Ec.	Ecuación
Fig.	Figura
F	Semana final
Graf.	Gráfico
h	Horas
HGPT	Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua
Kg	Kilogramos
L	Litros
m	Metros
pH	Potencial Hidrógeno
PTAR	Planta de Tratamiento para Aguas Residuales
Q	Caudal
s	Segundos
SBR	Reactor Biológico Secuencial
Si	Semana 1, Semana 2, Semana 3, etc.
SSLM	Solidos Suspendidos en el Licor de Mezcla
T	Tiempo (s)
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
TRH	Tiempo de Retención Hidráulico
UASB	Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente
V	Volumen (m ³)

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está enfocado en realizar un análisis de alternativas de tratamiento para las aguas residuales generadas en seis (6) curtiembres artesanales en el sector de la Atarazana de la parroquia Picaihua, en la provincia de Tungurahua.

La metodología utilizada incluye la recolección de información, muestreo, monitoreo y análisis de resultados. Para verificar el cumplimiento de la normativa aplicable vigente, se estima la eficiencia de tratamiento de dos reactores a escala de laboratorio, in situ: SBR y UASB, alimentados con los efluentes de las curtiembres en estudio, realizando un análisis de los criterios teóricos, técnicos y económicos para seleccionar la mejor alternativa.

Una vez terminada la fase experimental y mediante un análisis técnico, se establece que el uso del reactor SBR cumple con los objetivos planteados, produciendo un efluente que está dentro de los límites de descarga al sistema de alcantarillado, acorde con la normativa vigente. Con este tratamiento se logra reducir la DQO en 88,1%, la DBO₅ en un 86%, sólidos suspendidos en un 95.4%, sulfuros en un 99.9%, y cromo un 54%.

Finalmente se realiza el análisis técnico del reactor SBR en donde se dimensiona a escala real, se determina las características específicas de funcionamiento y se realizan los planos para su posible implementación. Adicionalmente se presenta un breve análisis económico para estimar los costos involucrados en la implementación de la planta de tratamiento, de donde se concluye que el costo de construcción bordea los 13676,0 \$, el costo de operación y mantenimiento es de 808,5 \$/mes.

Con los resultados obtenidos se presenta una alternativa viable y se establece una propuesta de tratamiento que está acorde a la realidad socioeconómica de la región, constituyéndose en un sustento para tomar acciones frente a la problemática ambiental generada por estas curtiembres.

ABSTRACT

This study is focused on an analysis of alternatives for wastewater treatment generated in six traditional tanneries in Picaihua, Tungurahua.

Experimental methodology was based in data collection, sampling, monitoring and analysis of results. To verify the fulfillment of environmental normative, is necessary estimates the treatment efficiency of two scale laboratory reactors, SBR and UASB that worked with effluents of the tanneries in study, with an analysis of the theoretical, technical and economic criteria for selecting the best alternative.

In the end of the experimental phase and through a technical analysis, it concludes that the SBR reactor meets the objectives and produces an effluent that is within the limits of discharge to the sewer system, in accordance with current regulations. This treatment it is able to reduce the COD 88.1%, BOD5 86%, suspended solids in 95.4%, 99.9% sulfides and chromium 54%.

Finally, a brief economic analysis was performed to estimate the costs involved in implementing SBR reactor treatment plant, the cost of construction round the 14,000.0 \$, The cost of operation and maintenance is 808.5 \$/month.

This results presents a viable alternative wastewater treatment and is proportional with the economic reality of the region, becoming a support for action against environmental problems caused by these traditional tanneries.

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de titulación se conforma por seis capítulos, estructurados como se muestra a continuación:

El Capítulo 1, presenta la introducción de la investigación: la situación actual y a la problemática involucrada con el tratamiento de efluentes de las curtiembres en estudio. También se incluye la justificación del estudio, sus objetivos y alcance.

En el Capítulo 2, se realiza una revisión bibliográfica de la problemática ambiental entorno a las curtiembres, los tipos de tratamiento para este tipo de efluentes y las diferentes tecnologías utilizadas.

En el Capítulo 3, hace referencia al marco legal e institucional que corresponde a la gestión de este tipo de efluentes, tomando en cuenta la adquisición de competencias ambientales por parte del H. Consejo Provincial de Tungurahua a través de la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental.

En el Capítulo 4, incluye la metodología utilizada en el presente trabajo, donde se describe el sitio de estudio y la situación actual, se explica los procesos de producción de las curtiembres en estudio y se realiza la caracterización de sus efluentes.

En el Capítulo 5, se realiza la propuesta de alternativas para el tratamiento, donde se realiza el análisis de la información obtenida mediante experimentación con los reactores a escala laboratorio, y se detalla la operación, monitoreo, análisis técnico y económico para seleccionar la mejor alternativa de tratamiento. Adicionalmente, se incluye el diseño preliminar de la mejor alternativa, con el respectivo análisis de costos de implementación, operación y mantenimiento.

Finalmente, en el Capítulo 6 se exponen las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado, para la implementación de un sistema de tratamiento para las curtiembres en estudio.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

La industria curtiembre ya sea a pequeña escala (artesanal) o a gran escala (industrial), es considerada como una de las más contaminantes, puesto que consume grandes cantidades de agua y de insumos químicos para procesar las pieles, generando grandes volúmenes de aguas residuales con un amplio espectro de contaminantes como metales pesados, sólidos en suspensión, sales inorgánicas, sulfuros y gran cantidad de materia orgánica, lo que agudiza su impacto y problemática ambiental, afectando directamente a la flora y fauna de la región, a la calidad de vida de la población y principalmente al recurso hídrico. (Méndez et al., 2007).

La industria del curtido de pieles se destaca por su alto y excesivo consumo de agua e importante generación de residuos sólidos. En países en vías de desarrollo el consumo de agua no supera los 100 m³ por tonelada de producto terminado (Lorber, 2007), sin embargo, la cantidad y calidad de los efluentes de las curtiembres dependen de procesos internos de cada industria, caracterizándose generalmente por una alta concentración de contaminantes específicos (Rivela et al., 2010).

En el Ecuador, la mayor concentración de industrias relacionadas con la curtiembre se encuentra en las provincias de Tungurahua y Guayas, mismas que en su mayoría se encuentran localizadas cerca de algún cuerpo hídrico de donde pueden abastecerse de agua y realizar sus descargas líquidas que contienen materia orgánica, sulfuros y concentraciones elevadas de cromo (Mafla, 2015).

El estudio “Control de la calidad ambiental y la planificación urbana”, realizado en el cantón Ambato, afirma que las curtiembres descargan alrededor de 1.925 m³ de

aguas residuales por día, que corresponde al 65% del total de las descargas del sector industrial de la ciudad (Tayupanda, 2010; MIPRO, 2013), por lo que resulta imprescindible tomar acciones y proponer diferentes alternativas para el tratamiento de estas aguas residuales.

En el barrio semi urbano La Atarazana de la Parroquia de Picaihua, provincia de Tungurahua, se encuentran asentadas 6 curtiembres artesanales, mismas que son sujetas a estudio en el presente trabajo. La problemática que presentan estas curtiembres refiere a: i) la significativa contribución a la descarga de efluentes contaminados, ii) efectos negativos a la calidad de vida de la población aledaña, iii) olores persistentes en el ambiente y, iv) la continua afectación a la flora y fauna. Actualmente, se observa que dichas curtiembres realizan únicamente un tratamiento primario avanzado de los efluentes, lo cual no garantiza que se cumplan los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo a la normativa nacional vigente. Dichos efluentes en ocasiones son descargados al sistema de alcantarillado y en el peor de los casos, son dispuestos en terrenos aledaños a las curtiembres (HGPT-DGCA, 2016).

Los problemas que tiene en la actualidad este tipo de industria son muy variados, siendo imprescindible para su viabilidad no solo la optimización de los procesos y tecnologías de fabricación, sino también un adecuado tratamiento de sus efluentes y sus impactos ambientales (Suárez, 2012). Las curtiembres comúnmente se preocupan por proveer productos de calidad dejando a un lado el aspecto ambiental, debido a que el tratamiento de sus efluentes implica gastos económicos elevados (Bustos, 2012).

En tal virtud, el presente trabajo se enfoca principalmente en analizar alternativas para el tratamiento de las aguas industriales, esperando obtener un efluente que cumpla con las normativas ambientales vigentes y por ende estén en condiciones apropiadas para la descarga al sistema de alcantarillado. Esta información servirá para que el H. Consejo Provincial de Tungurahua a través de la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental pueda tomar acciones frente a este problema y contribuir con una gestión apropiada de los recursos hídricos de la provincia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Analizar alternativas para el tratamiento de los efluentes industriales generados por curtiembres en la parroquia Picaihua, con el fin de cumplir la normativa ecuatoriana de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Recopilar información relevante a través de visitas e inspecciones a las 6 curtiembres en estudio para identificar y determinar su estado y realidad actual.
- Caracterizar el efluente generado por las curtiembres en la zona de estudio mediante toma de muestras y análisis de laboratorio para determinar la calidad del agua residual a tratarse.
- Construir un reactor, modelo laboratorio, del tratamiento secundario a emplearse para definir eficiencias de tratamiento.
- Evaluar posibles alternativas de tratamiento mediante un análisis técnico, ambiental y económico para establecer la alternativa óptima.

1.3 ALCANCE

El presente proyecto de titulación busca generar una propuesta de tratamiento para las aguas residuales generadas por las seis curtiembres en el sector de la Atarazana de la parroquia Picaihua, provincia de Tungurahua. La presente propuesta, busca realizar un análisis de alternativas para determinar la mejor opción de tratamiento secundario (biológico) tomando en cuenta aspectos económicos y técnicos los cuales se adapten a los procesos de producción y la realidad socioeconómica de la región. Para seleccionar la mejor alternativa de tratamiento, se realiza una caracterización de la zona de estudio en donde se toma en cuenta la ubicación geográfica, los procesos de producción de las curtiembres, se determinan las características físico-químicas de las aguas residuales a tratarse y se realizan modelos a escala de laboratorio para determinar el porcentaje de

eficiencia de tratamiento y determinar si cumple con la normativa ambiental vigente (Unido, 2011). Este estudio servirá para proporcionar una alternativa a la problemática de contaminación y constituirse en una sugerencia para implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para las 6 curtiembres en estudio.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Gran parte de la contaminación generada por la industria curtiembre, se debe a la falta de capacitación en el uso de los recursos e insumos utilizados en los procesos productivos. La mayoría de estas industrias son pequeñas curtiembres “artesanales”, las cuales tienen procesos particulares de curtido que consiste en transformar las pieles de los animales en cuero, generalmente a través de procesos como el pre-tratamiento y almacenamiento, ribera, curtido y acabado (Menéndez, 2003). Los efluentes líquidos generados en curtiembres artesanales provienen de los procesos de ribera (remojo, pelambre, descarne y división), los cuales presentan altos valores de pH, cal y sulfatos, sulfuros y una elevada DBO debido a la presencia de materia orgánica y grasas animales. Otro aporte de contaminantes a los efluentes, proviene del proceso de curtido y lavado final, en donde el principal contaminante es el cromo, que es aprovechado solo entre el 60 y 80% y el restante se pierde en los efluentes líquidos (Salas, 2005).

La ineficiente o nula aplicación de estudios de ingeniería en las curtiembres de tipo artesanal (familiar), ocasiona que se produzca una mayor contaminación en comparación con curtiembres que operan bajo condiciones óptimas de producción; y consecuentemente, los efluentes producidos, acentúan aún más el impacto ambiental de estas industrias. Dentro de este contexto, resulta de vital importancia proponer sistemas de tratamiento con base a una caracterización de los efluentes particulares generados, ya que proporcionará parámetros objetivos, comparables y cuantificables, para realizar el análisis de alternativas de tratamiento de los efluentes industriales de curtiembres, adaptables a las condiciones sociales y económicas de la zona.

Las iniciativas de regulación medioambiental por parte de las entidades de control, ayudan a que las industrias produzcan efluentes menos contaminados e inviertan en procesos de tratamiento para sus aguas residuales, esta tendencia está en auge en nuestro entorno local, y es a la vez una tendencia global para conservación del medio ambiente. (Menéndez, 2003; Salas, 2005). Sin embargo, las curtiembres en estudio no cuentan con un adecuado manejo ni tratamiento de las aguas residuales, las cuales superan los límites permisibles de descargas líquidas al alcantarillado.

Por lo mencionado, el encontrar una alternativa de tratamiento a implementarse, en base a aspectos técnicos, ambientales y económicos, se convierte en un asunto prioritario para cumplir con la normativa nacional y consecuentemente mejorar la calidad del ambiente.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 LA INDUSTRIA DEL CUERO

Las pieles de los animales son un subproducto de la industria pecuaria y faenado de animales (carnes), las cuales pueden ser aprovechadas para transformarlas en otros productos útiles. El proceso de curtido tiene como finalidad convertir las pieles bovinas, ovinas o porcinas en cuero y su producción está estrechamente ligada con la cultura ganadera en los países. La fabricación de cuero produce desechos sólidos, grandes cantidades de aguas residuales que contienen diferentes cargas de contaminantes y genera emisiones a la atmosfera, razón por la cual es considerada como una de las industrias más contaminantes (CNPMLTA, 2004).

2.1.1 LA INDUSTRIA DEL CUERO A NIVEL MUNDIAL

La industria del cuero en Europa, Asia y Estados Unidos, con relación a sus procesos de curtido han sufrido una aguda industrialización. En algunos países de Latinoamérica como Ecuador, Colombia, Argentina, Bolivia y Perú esta industrialización ha traído consecuencias negativas debido a la rapidez del cambio de tecnologías y las dificultades para competir con el mercado internacional, esto produjo desequilibrios internos en los países que intentaban adaptarse al cambio, debido al escaso acceso a materias primas de calidad e injusta competencia en los mercados internacionales, generando una caída de precios y clientes, lo que derivó en el cierre de muchas industrias (CEC-FECUR, 2005).

Desde la década de los setenta la industria curtiembre está afrontando el desafío de mantenerse en un mercado internacional exigente y competitivo. Este desafío se planteó en la “Cumbre de la Tierra” de Río de Janeiro en 1992 con el concepto de “desarrollo sustentable” (IPPC, 2003).

En Europa, Asia y Estados Unidos la industria curtiembre está encaminada con políticas de desarrollo económico, tecnológico y ambiental para generar entornos competitivos para sus empresas. En América Latina, la industria del cuero está constantemente luchando por competir internacionalmente, pero se ha ido debilitando por la dificultad de adquisición de nuevas tecnologías para estar al nivel con respecto a cantidad y calidad (CNTL/SENAI-RS, 2003).

La alternativa de los países latinoamericanos es competir internamente acorde a la capacidad de adquisición de tecnologías, condiciones de mercado y políticas internas que ayuden con el comercio de sus productos. Este comercio interno se ha establecido como industrias a gran escala que abastecen tanto regional como nacionalmente, y también con industrias a pequeña escala (artesanales) que producen diversos productos tradicionales para consumo local (Méndez et al., 2007).

El común denominador de estas industrias, ya sean a gran o a pequeña escala, es la carga contaminante generada por sus procesos de producción. En el caso de los países desarrollados, esta carga contaminante está sujeta a medios de control para mitigar su impacto al ambiente, pero en países en vías de desarrollo el control que se tiene sobre los efluentes de las curtiembres es mínimo o ninguno lo que produce efectos negativos al ambiente y al ser humano (Menéndez, 2003).

Existe la necesidad de que las industrias curtidoras y todo tipo de industria adquieran nuevas formas de producción para elevar el aprovechamiento de materias primas y de gestión de sus desechos para generar una mínima o nula emisión al medio ambiente. Este correcto, óptimo y eficiente manejo y gestión en la industria curtiembre representa un importante rubro económico de inversión y solo las industrias con una gran solvencia económica se lo pueden permitir. Sin embargo, la implementación y aplicación de políticas de control y regularización por parte de la autoridad ambiental son cada vez más estrictas en los países en vías de desarrollo, lo que obliga a cambiar la forma de producción acorde a la realidad de la región con tecnologías accesibles y con capacitación teórica y técnica para

las pequeñas industrias, e implementar sistemas de tratamiento para sus efluentes (Menéndez, 2003).

2.1.2 LA INDUSTRIA DEL CUERO A NIVEL NACIONAL

En Ecuador la producción de cuero se origina desde el periodo precolombino con técnicas primitivas de curtido, en donde se enraizaron en ciertas poblaciones como Tungurahua y Guayas convirtiéndose en productos típicos que posteriormente formaran parte de la tradición del país (MIPRO, 2013).

Debido al aumento en la demanda de productos de cuero, resultado del incremento poblacional, en la década de los setenta el sector curtidor pasa de ser una industria artesanal para convertirse en un sector industrial importante a nivel económico. Adicionalmente, rempazan su modalidad de importar productos de cuero para crear industrias nacionales que suplan la creciente demanda. Para mantener una línea de desarrollo y mejoras en la industria curtidora, en la década de los noventa se crea la ANCE (Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador).

En Tungurahua, Pichincha, Azuay y Guayas se generan cerca de 350 mil pieles procesadas al año, el 90% corresponde a la demanda del mercado interno para la elaboración de calzado. La cadena productiva del cuero involucra principalmente al sector ganadero y alimenticio de donde se obtienen las pieles como subproducto y son aprovechadas por las curtiembres para transformarlas a cuero, esto representa entre el 80% y 60% de la materia prima (principalmente de la sierra), el restante se importa de países aledaños. Debido a la complejidad de la competencia con el mercado extranjero, cerca del 10% de la producción total nacional es para la exportación (MIPRO, 2013).

La historia curtidora en el país es trascendental ya que la mayoría de curtidores son artesanales o familiares y pocas son las curtiembres que han incursionado en la producción a gran escala. La ANCE registra alrededor de 30 curtiembres en todo el país como industrias grandes o medianas y cerca de 60 curtiembres artesanales, de donde cerca del 80% están ubicadas en Ambato, provincia de Tungurahua siendo las más importantes Tenería San José, Ecuatoriana de Curtidos Salazar,

Curtiduría Tungurahua, Tenería Díaz y Propiel, las cuales producen aproximadamente el 90% del cuero nacional (Moreta, 2009).

2.1.3 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

La principal y más grave problemática de las industrias de curtido es el elevado consumo de agua y, por ende, la generación de enormes cantidades de efluentes (aproximadamente de 30 a 50 m³/ton de pieles húmedas, frescas o saladas) contaminados con materia orgánica, sólidos, salinidad, grasas, cromo, sulfuros y amoniaco, afectando directamente la calidad del cuerpo receptor en donde se descarga, lo que ocasiona mortalidad de la vida acuática y limita su uso para actividades domésticas, agricultura, industriales, etc. Otro impacto de estos efluentes es que pueden llegar a aguas subterráneas en donde la autodepuración es lenta causando alta toxicidad y salinidad, que posteriormente puede afectar a poblaciones que se abastecen de este recurso (Menéndez, 2003).

La industria curtiembre transforma las pieles de los animales en cuero mediante diferentes operaciones que conforman la cadena de producción. El proceso de producción se puede clasificar en cuatro (4) principales etapas: i) ribera, ii) curtido, iii) post-curtido y, iv) terminación. Los procesos de ribera y curtido son los más críticos con respecto a la generación de efluentes contaminados (Higuera et al., 2005).

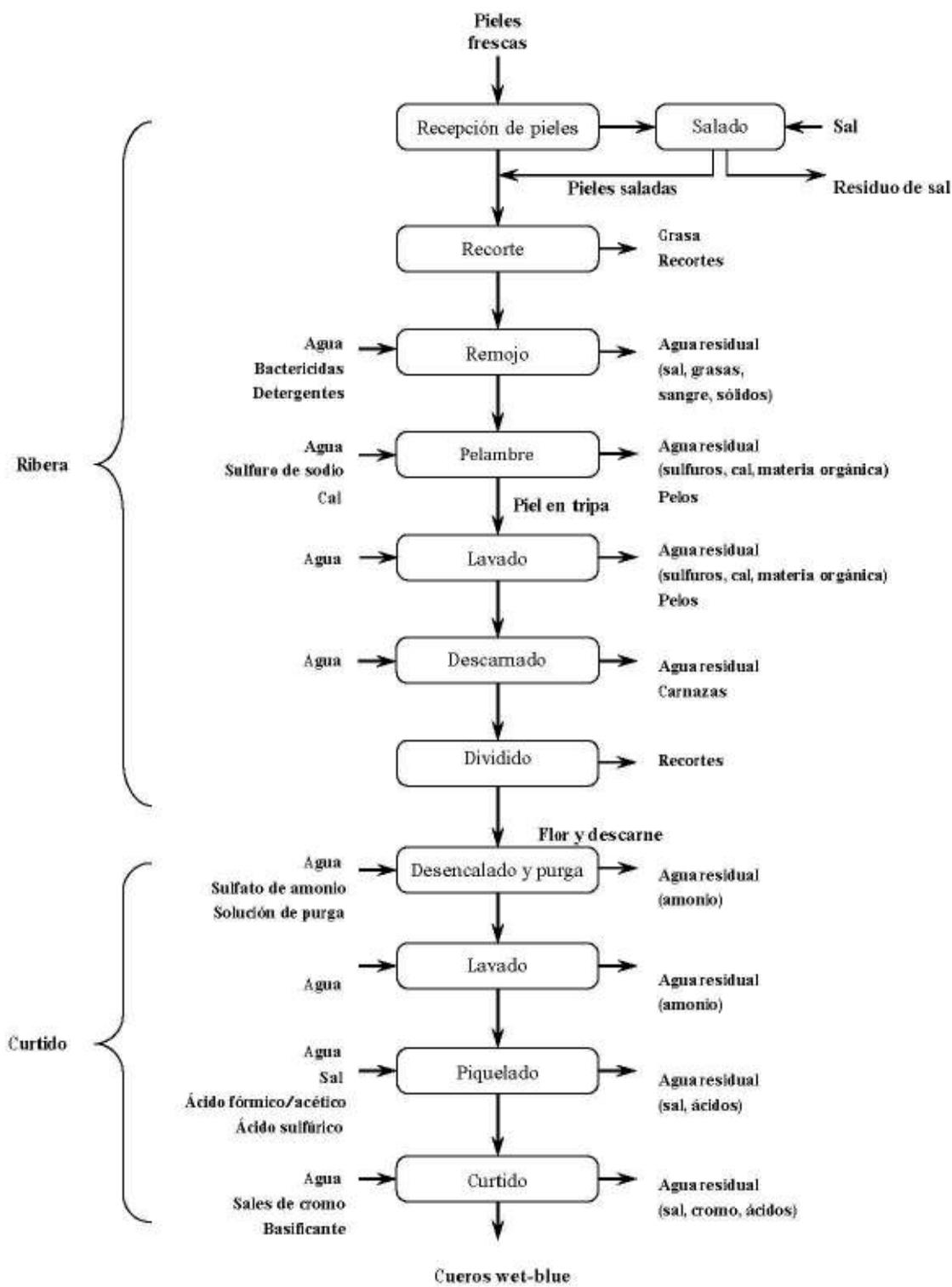
Dentro del proceso de ribera, en donde se preparan y acondicionan las pieles que vienen de los desaladeros, las pieles son remojadas con agua en tanques, donde se añaden bactericidas, humectantes y detergentes, para limpiarlas de la sangre, estiércol, parásitos, sal, suciedad y microorganismos presentes. Las pieles, además, pasan a fulones (tambores rotativos), en donde se realiza un baño con agua, sulfuro de sodio y cal hidratada, para eliminar restos o remanentes de sólidos suspendidos, cal, disminuir el pH, retirar el pelo e hinchar la piel para mejorar y facilitar el posterior de curtido. En este proceso, adicionalmente, son eliminadas las carnazas: tejidos grasos, carne (músculos) y sebos adheridos en la parte interna de la piel (Alzate, 2004).

Por otra parte, en el proceso de curtido se utilizan baños con agua, solución de sulfato de amonio y ácidos, para detener el hinchamiento de las pieles y eliminar restos de cal y sulfuros; baños con agua y enzimas pancreáticas o bacteriales y caolín, a pH entre 8 – 8.5, con el fin de eliminar las raíces del pelo y las proteínas no colágenas; baños con solventes orgánicos y enzimas, para desengrasar; baños con agua, ácido sulfúrico o fórmico y cloruro de sodio, con un pH entre 2.8 y 3.5, para detener el hinchamiento de las pieles y fijar las sales de Cromo; y, finalmente baños con agua, agentes curtidores (sales de aluminio, cromo, titanio o zirconio) con un pH entre 2.8 – 3.2, a una temperatura de 40 °C. Paulatinamente, se aumenta el pH hasta entre 3.8 – 4.2 usando agentes basificantes (carbonato ácido de sodio o magnesio) para obtener el “wet blue” que es un producto semiterminado (Higuera et al., 2005).

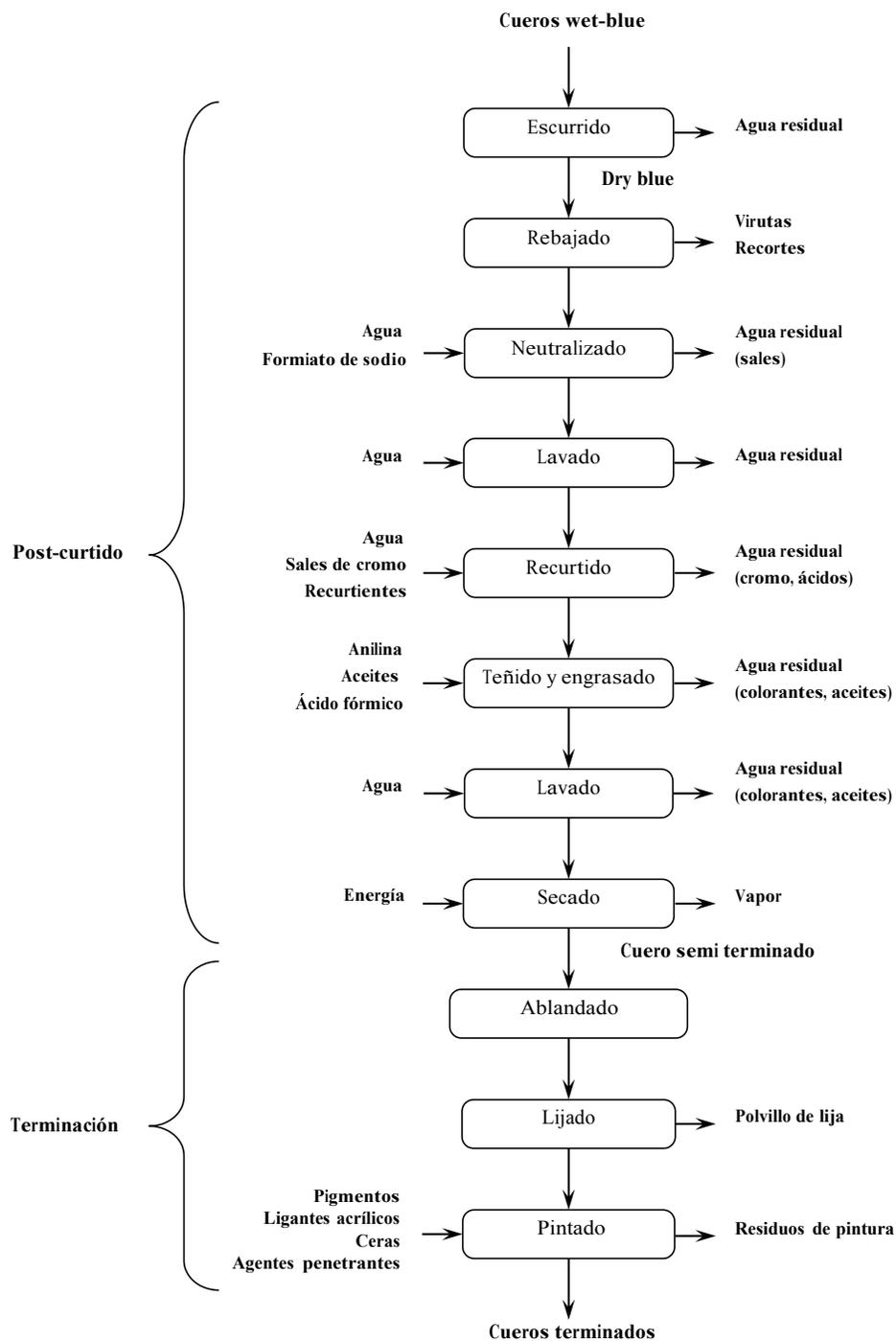
El proceso de curtido con cromo es el más crítico de toda la cadena de producción, ya que de todo el cromo utilizado solo fija en el cuero entre el 60 - 80% y lo demás queda en el efluente líquido. Los efluentes de este proceso contienen cromo en estado hexavalente de carácter cancerígeno siendo el más crítico y cromo trivalente que no es de gran toxicidad, pero bajo ciertas condiciones del medio se oxidan, transformándose en cromo hexavalente (Higuera et al., 2005).

La Figura 2.1 muestra de forma global el proceso de producción de cuero y adicionalmente los insumos, desechos y productos. Cabe mencionar que las curtiembres no necesariamente siguen una definida secuencia de producción, sino que, en función del producto deseado, pueden involucrar total o parcialmente diferentes operaciones en la cadena de producción (Silva et al., 2008).

FIGURA 2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO.



**FIGURA 2.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CUERO
(CONTINUACIÓN)**



Fuente: (CNTL/SENAI-RS, 2003)

Entonces, el principal problema ambiental que generan las curtiembres son los efluentes de todos los procesos de la cadena de productiva. Para transformar una

tonelada de pieles en cuero, se necesita 450 kg de insumos químicos, de los cuales solo 70 kg se fija y el restante que son 380 kg terminan en las aguas residuales, es decir que cerca de 85% de los insumos utilizados terminan en el agua residual junto con la materia orgánica de las pieles (CPTS, 2003).

Los parámetros más críticos en la caracterización de los efluentes de una curtiembre se muestran en la Tabla 2.1, los cuales tienen un significativo impacto ambiental.

TABLA 2.1. PARÁMETROS DE LOS CONTAMINANTES MÁS CRÍTICOS

Parámetro	Descripción	Factores que inciden en su valor	Efectos
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) *	Se define como la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para degradar la materia orgánica biodegradable en la presencia de oxígeno.	Presencia de pelo, grasas, salinidad, sulfuros, tensoactivos, cromo, color, entre otros incrementa su valor.	Valores altos genera malos olores, en cuerpos dulces tiende a consumir el oxígeno disuelto del cuerpo de agua para degradar sus contaminantes. Disminuye las posibilidades de que exista vida en el agua.
Demanda química de oxígeno (DQO) *	Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación por vía química.	Humectantes, tensoactivos, ésteres y ácidos orgánicos débiles, incrementan su valor.	Valores altos en cuerpos dulces tiende a consumir el oxígeno disuelto del cuerpo de agua para degradar sus contaminantes y aumenta la mortalidad de especies acuáticas.
Sulfuros	Producto esencial en el proceso de destrucción del pelo, es tóxico en el agua, disminuye el oxígeno disuelto en el agua.	Sulfuro de sodio	Generan ácido sulfhídrico en forma de gas, que si es inhalado en ciertas concentraciones es mortal para cualquier ser vivo. Provoca corrosión en las tuberías.
Cromo	Se utiliza sales de cromo III, pero por interacciones y reacciones con otros productos en el proceso, puede llegar a formarse anhídrido de cromo o también conocido como cromo VI.	Sales de cromo (sulfato de cromo)	El cromo III en elevadas concentraciones ocasiona problemas a la salud. El cromo VI es elevadamente tóxico y cancerígeno.

Fuente: (CPTS, 2003).

* No son contaminantes, indican la cantidad de materia orgánica en el agua presente en aguas residuales.

Por otra parte, el volumen de efluentes que se genera en la producción de cuero, es casi el mismo volumen del agua que se utiliza en todos los procesos involucrados, esto significa que el agua no se fija en el producto, sino que sirve como medio de transporte para los diferentes químicos facilitando su penetración. Aproximadamente el consumo de agua de las curtiembres se encuentra en un rango de 30 a 50 m³/ton de pieles húmedas, frescas o saladas. (Universidad de Santiago de Compostela, 2007).

Considerando la contaminación emitida por la industria curtiembre, la situación en Tungurahua, específicamente en Ambato, es delicada debido a los graves impactos ambientales. Existen alrededor de 50 curtiembres artesanales y otras que no están registradas, como es el caso de pequeños curtidores ubicados en la parroquia de Picaihua. La Dirección de Gestión y Calidad Ambiental de Tungurahua en el marco de sus competencias de regularización y control ambiental, lleva a cabo la elaboración del “catastro ambiental” para conocer el número exacto de curtiembres artesanales en la provincia y determinar las condiciones en las que se encuentran, con el fin de tomar medidas de acción frente a esta problemática ambiental (HGPT – DGCA, 2016).

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS CURTIEMBRES

Los efluentes generados en los procesos de curtido contienen altas cargas de contaminantes peligrosos con características específicas como:

- Olores molestos y desagradables.
- Color oscuro
- Elevada carga de contaminantes como, cromo, sulfuro y materia orgánica.
- Lodos con cromo, residuos de pelambre, grasa y virutas con cromo.

Se los puede diferenciar por sus características específicas, agrupándolos en efluentes de remojo, de pelambre, resto de los procesos de ribera, curtido y, de terminación (Rivela et al., 2010).

La Tabla 2.2 muestra los principales componentes del agua residual de curtiembres en cada proceso de producción, mientras que la Tabla 2.3 resume los rangos de la concentración de los contaminantes característicos presentes en estos efluentes (Cerón, 2011).

TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EFLUENTES DE CURTIEMBRES

Tipo de efluente	Características	Contenido
Remojo	Elevada carga orgánica Sólidos suspendidos y sedimentables, cloruros	Restos de sangre, en ocasiones estiércol, grasas, sal, tensoactivos, biocidas, otros compuestos orgánicos
Pelambre	Fuertemente alcalina, coloración blanquecina, carga orgánica Sulfuros, sulfatos, calcio, amonio (degradación de proteínas)	Cal Grasas Pelo Sólidos suspendidos.
Resto de ribera y curtido	Involucra a los efluentes de desencalado, piquelado y demás operaciones. Altos niveles de nitrógeno amoniacal pH muy bajos Sólidos disueltos	Ácido sulfúrico Bisulfito de sodio Enzimas Ácidos orgánicos débiles Fungicidas Sulfato o cloruro de amonio
Curtido	pH ácido Coloración verdosa (curtido al cromo) Coloración marrón oscura (curtido con taninos)	Sal, ácidos minerales y orgánicos, cromo, taninos Proteínas, en ocasiones fungicidas.
Procesos de terminación	El volumen generado por este caudal es menor con respecto a los demás caudales. Efluentes de coloración variada	Bajo contenido de materia orgánica Nutrientes Sólidos suspendidos Cromo Sales del recurtido Taninos

Fuente: Reynolds, 2002

TABLA 2.3 VALORES DE TÍPICOS CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES DE CURTIEMBRES

Parámetro	Rango de concentración
Potencial de hidrogeno, pH	7 – 10
Sulfuro, mg/L	10 – 250
Cromo, mg/L	10 – 800
Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, mg/L	900 – 2500
Demanda química de oxígeno DQO, mg/L	2300 – 10000
Sólidos suspendidos totales, mg/L	1000 – 5000
Aceites y grasas, sustancias solubles en hexano, mg/l	10 – 1000
Sólidos totales, mg/l	8000 – 15000

Fuente: Emmer et al, 2014.

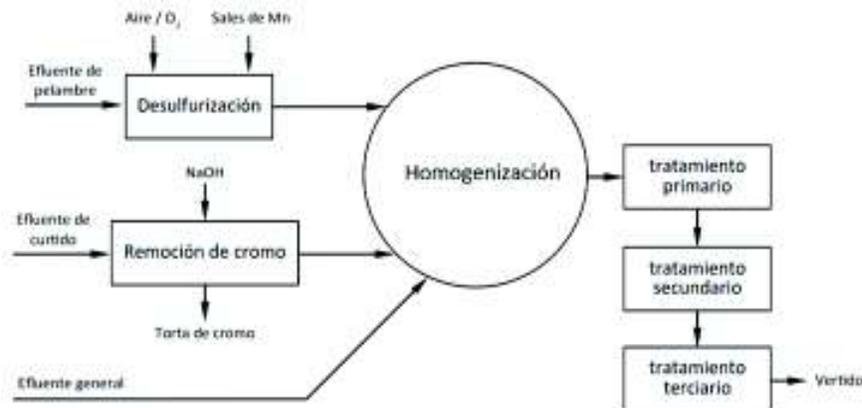
2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA CURTIEMBRE

Las métodos o formas de producción que se utilizan en cada curtiembre pueden variar individualmente en función a los insumos y cantidad de agua utilizada; esto influye en las características del efluente generado el cual puede someterse a tratamientos físico-químicos (primarios), biológicos (secundarios) o una combinación de ellos para mejorar la eficiencia de depuración de las aguas residuales y cumplir con la normativa vigente (Bogado, 2007).

Para tener un eficiente tratamiento de los efluentes de una curtiembre es importante segregar los caudales generados por los diferentes procesos de curtido (proceso de ribera, pelambre y curtido) debido a sus características, para poder tratar específicamente los contaminantes de cada caudal (Quezada et al., sf). Generalmente se tienen dos principales caudales debido a su volumen y carga contaminante específica, que son los efluentes de pelambre y de curtido (MAVDT, 2009).

El tratamiento de los efluentes de curtiembres involucra una gran variedad de procesos, en la Figura 2.2 se muestra de una forma esquemática todo el proceso de tratamiento.

FIGURA 2.2 TREN DE TRATAMIENTO GLOBAL PARA EFLUENTES DE CURTIEMBRES.



Fuente: Emmer et al, 2014.

2.3.1 PRE – TRATAMIENTO

El objetivo del pre-tratamiento es eliminar el material sólido grueso (generalmente con rejillas con un espaciamiento entre 60mm y 100mm), realizar una mezcla homogénea de las distintas caudales del proceso, ajuste de pH y eliminación de sulfuros y cromo (Muñoz, sf).

2.3.1.1 Homogenización

La homogenización consiste en mezclar uniformemente los distintos caudales de los procesos de pre tratamiento y demás efluentes del proceso de curtido (agitando de manera constante para evitar la sedimentación), para mantener caudales, composición química de contaminantes y valores de pH estables para los tratamientos posteriores. Es recomendable que la homogenización se lo realice en un espacio confinado para evitar la emanación de olores desagradables (Alzate, 2004).

2.3.1.2 Cribado

El cribado es una operación física que sirve para eliminar los materiales sólidos y en suspensión, mediante el uso de rejillas para retener el material grueso. La correcta operación de estos sistemas de cribado involucra una limpieza y mantenimiento constante (Artiga, 2005).

2.3.1.3 Eliminación de sulfuros

Para eliminar los sulfuros de los efluentes de pelambre, estos deben tener un pH básico ($\text{pH} > 9$), para evitar la formación de sulfuro de hidrógeno (gas altamente tóxico y de olor desagradable). En este proceso se tratan a los sulfuros por medio de oxidantes fuertes como el permanganato de potasio o el peróxido de oxígeno, que convierten los sulfuros en sulfatos y azufre elemental. (Schneider et al., 2005).

2.3.1.4 Eliminación de cromo

La eliminación de cromo consiste en recuperar el baño de curtido, precipitando el cromo mediante agente basificante como el hidróxido de sodio en medio alcalino controlado. El precipitado puede ser re disuelto con ácido sulfúrico y de esta forma poder reusarlo en el proceso de curtido (Van Lier, et al., 2001).

2.3.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Una vez finalizadas las operaciones de pretratamiento, el siguiente paso consiste en un tratamiento físico-químico (tratamiento primario), mediante sistemas de coagulación y floculación, y posteriormente, sistemas de sedimentación o flotación de sólidos. Con este tratamiento se elimina sólidos suspendidos, materia orgánica, cromo y sulfuros (si lograron atravesar los sistemas de pretratamiento) (Emmer et al., 2014).

En el estudio de Soto et al., 2004, respecto a la remoción de metales pesados de aguas residuales con coagulantes, se indica que el uso de sulfato de aluminio para la remoción de cromo tiene eficiencias cercanas al 99%, removiendo el cromo por precipitación en forma de hidróxido de cromo, mismo que se acumula en los lodos. Mediante este proceso también elimina posibles trazas de sulfuro. Adicionalmente, Orhon et al., 1998, afirma que usando sales de aluminio y hierro se logra conseguir

una reducción cercana al 55% de la DQO, 80% de los sólidos en suspensión (Nazmul et al., 2011).

Mantener un eficiente y óptimo pretratamiento y tratamiento primario de los distintos caudales del proceso de curtido, puede garantizar la depuración del efluente, cumpliendo con los límites máximo permisibles establecidos en la normativa. Esta condición es ideal, pero se necesita un estricto control y mantenimientos sobre todas las unidades de depuración para mantener la eficiencia, esto obviamente involucra una inversión económica importante. Para evitar esto, es necesario un tratamiento posterior (tratamiento secundario) para alcanzar los estándares de depuración (Artiga et al., 2003).

2.3.2.1 Coagulación y Floculación

La coagulación se aplica para eliminar del agua la materia en estado coloidal y en suspensión. La floculación es el proceso en donde las partículas se aglutinan en pequeñas masas (flóculos) con peso específico superior al agua, este proceso se logra mediante la agitación lenta del agua que contiene un floculante (Nazmul et al., 2011).

Para implementar este sistema de tratamiento se realiza la “pruebas de jarras” con los efluentes a tratar para determinar la dosis óptima de coagulante. Los coagulantes que generalmente se usan en efluentes industriales son el cloruro férrico, sulfato de aluminio y sulfato férrico. Espíndola & Fernández, 1995, afirman que la coagulación de partículas coloidales depende del potencial zeta, que es la fuerza que debe vencerse para que las partículas se acerquen y formen conglomerados, por lo general no se requiere que el potencial zeta se venza por completo, la coagulación en sí se manifiesta a un potencial zeta ligeramente negativo.

2.3.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario utiliza sistemas de tratamiento biológico con microorganismos para eliminar los compuestos no deseados de los efluentes, convierte la materia orgánica soluble en sólidos sedimentables, para luego ser

separados en tanques de sedimentación secundarios (Subramani et al., 2012). Para el adecuado funcionamiento de este tratamiento es importante eliminar compuestos inhibidores que afectan y reducen la eficiencia, de aquí la importancia de un correcto pretratamiento y tratamiento primario (Durai & Rajasimman, 2011).

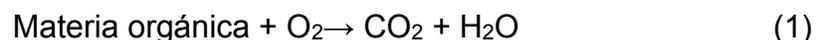
Una vez que se ha eliminado los compuestos tóxicos principalmente el sulfuro y cromo del efluente, este tiene características parecidas a agua residuales domésticas y esto es importante ya que se puede tratarlos de forma similar y en ocasiones de forma conjunta (Kurt et al., 2007).

La implementación de un sistema de tratamiento físico-químico (tratamiento primario) adecuado podría ser suficiente para que una curtiembre que descargue en alcantarillado cumpliendo los límites máximos permisibles. Si este tratamiento primario no es suficiente para llegar a lo exigido por la normativa vigente, es necesario implementar un tratamiento biológico (tratamiento secundario) (Bogado, 2007).

Los efluentes del proceso de curtido se los puede tratar mediante sistemas aerobios o anaerobios (Durai & Rajasimman, 2011).

2.3.3.1 Tratamientos aerobios

Los tratamientos aerobios utilizan procesos en donde intervienen microorganismos facultativos que en presencia de oxígeno metabolizan la materia orgánica, es utilizado generalmente para tratar aguas residuales con baja carga orgánica. Las bacterias heterótrofas llevan a cabo la oxidación de materia orgánica (Metcalf y Eddy, 2003):



2.3.3.1.1 Lodos activados

Los sistemas de lodos activados utilizan microorganismos que oxidan la materia orgánica y la convierte en compuestos tolerables para el medio ambiente. Las lagunas de oxidación es un sistema de tratamiento en donde se realiza un cultivo

biológico conformado por microorganismos que se encuentran suspendidos en el agua residual, después de un tiempo de retención en donde los microorganismos hacen su trabajo, el licor de mezcla pasa a un sistema de sedimentación en donde se separa el agua residual tratada de los lodos (Tare et al., 2003).

Según la experiencia de Vidal, Nieto, Cooman, Garjado y Bornhardt (2007) al tratar los efluentes de una curtiembre con lodos activados, se alcanza una remoción de DBO5 de hasta el 99% y de hasta una 80 % DQO, esto para efluentes con bajas velocidades de carga orgánica. Según Umaña (2011), utilizando un sistema de tratamiento primario previo se alcanza eficiencias de hasta el 80 % en la remoción de DQO y de hasta el 90 % en DBO5.

2.3.3.1.2 Reactores aerobios

La tecnología más utilizada son los reactores discontinuos secuenciales (SBR) por su simplicidad de diseño. Al reactor ingresa el agua a tratarse, se somete a periodos de aireación y sedimentación en el mismo reactor, para luego retirar el sobrenadante (agua tratada) y eliminar los lodos acumulados (Comisión Nacional del Agua, 2015). La ventaja de estos reactores es que se puede modificar la eficiencia de eliminación de nutrientes, el tiempo de cada fase variando el pH y OD. Estudios han demostrado una eficiencia de remoción del de DQO del 80 al 90 % (Murat et al., 2002; Mohini et al., 2010).

En la ciudad polaca de Nowy Targ se utilizaron reactores SBR posterior a sistemas de tratamiento primario para tratar afluente urbanos mezclados con aguas de curtiembres. Esta mezcla de efluentes provoca que el contenido de cromo en las aguas disminuya, se obtuvo porcentajes de remoción de DQO de hasta el 97% y hasta el 95% en SST, además de que aumenta la producción de lodos si se aumenta la concentración de cromo (Artiga, 2005).

2.3.3.2 Tratamientos anaerobios

Los sistemas de tratamiento anaerobios tienen ventajas como menores costos de inversión y mayores eficiencias para efluentes industriales, su aplicación para el sector curtido es escasa, debido a que el tratamiento es este tipo de efluentes

produce gases tóxicos e inflamables, lo cual supone un punto negativo para su aplicación (Van Haandel y Lettinga, 1994). Los sistemas anaerobios generalmente tratan efluentes con elevada alta carga orgánica, mediante bacterias específicas para degradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo metano (Fernández et al., 2015).

Para que la degradación de la materia orgánica se dé, se necesita la acción de diferentes tipos de microorganismos, los cuales son; i) bacterias formadoras de ácidos simples y ii) bacterias formadoras de metano las cuales convierten los ácidos simples en gas metano y CO₂ (Márquez et al., 2011).

2.3.3.2.1 Reactores anaerobios

Los reactores anaerobios más usados debido a su simplicidad de diseño son los reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), también conocido como RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente) los cuales logran remociones de DQO de hasta el 91.6% (Moncayo, 2011). Su principio de funcionamiento se basa que el agua residual a tratar ingresa por la parte inferior del reactor y entra en contacto con un manto de lodos conformado por gránulos biológicos, producto de la digestión anaerobia se generan gases que se liberan por la parte alta del reactor (Márquez et al, 2011).

Según Schenk et al. (1999) quien realizo estudios en 176 curtiembres de la India para el tratamiento de sus efluentes mediante reactores UASB, obtuvo mejores resultados al mezclarlos con los efluentes urbanos, esto hizo que se diluyan las concentraciones de sulfuros y sulfatos. Se obtuvo una reducción del 57 % en la DQO con respecto a la carga inicial. El tratamiento en unidades UASB es un proceso anaerobio que está en auge y en creciente desarrollo, su aplicación para efluente de curtidurías se debe a su capacidad de adaptarse a las altas concentraciones de contaminantes (Orozco et al., 2014).

Los sistemas de tratamiento biológico sean aerobio o anaerobios requieren de un control y seguimiento continuo, por lo que se debe tener en cuenta varios parámetros para un óptimo y eficiente funcionamiento, ya que, si alguna de estas

variables se ven afectadas, los microorganismos se pueden perder, deteniendo completamente todo el proceso de depuración, hasta lograr reactivarlo, lo cual puede tomar alrededor de 1 a 3 meses (Chan et al, 2009).

Algunos parámetros críticos para el correcto funcionamiento se detallan en la Tabla 2.4.

TABLA 2.4 PARÁMETROS EL CONTROL DE MICROORGANISMO EN TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

Parámetro	Rango		Efecto
Temperatura	15 °C – 25 °C aerobio 15 °C – 40 °C anaerobio		Valores menores o superiores a ese rango, la reproducción es nula
pH	6 a 8		Valores fuera de rango, impide el desarrollo de microorganismos.
Oxígeno disuelto(OD)	OD < 0.5 mg/l		Favorable para condiciones anaerobias.
	OD < 1 mg/l		Favorece el crecimiento de bacterias aerobias.
	OD > 3 mg/l		No hay algún beneficio, existe un consumo de energía
Sustancias tóxicas	Sulfuros > 1 mg/l Cromo > 5 mg/l	Aerobio	Inhiben o detiene el crecimiento bacteriano
	Sulfuros > 1 mg/l Cromo > 150 mg/l	Anaerobio	

Fuente: Farabegoli et al., 2004

Un indicador que sirve para determinar si un efluente cualquiera sea su origen, puede ser tratado mediante un proceso biológico es la relación DQO/DB0₅, que indica el grado de biodegradabilidad del efluente, si esta relación está en 1,3 y 1,6 quiere decir que el efluente tiene materia orgánica muy degradable y es factible aplicar un tratamiento biológico, valores superiores pueden inhibir o suprimir la eficiencia de tratamiento (Behling, 2005).

2.3.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Generalmente este tratamiento se aplica para la eliminación de nutrientes mediante métodos como el uso de carbón activado y dependiendo del nivel de carga contaminante específica se aplican métodos como intercambio iónico, ultrafiltración, electrodiálisis, oxidación-reducción y desinfección (La Grega et al., 2001). Estos métodos son mayormente aplicados cuando necesariamente los efluentes deben ser descargados a cuerpos de agua y por ende deben cumplir normativas exigentes. La aplicación de este tipo de tratamiento en las curtiembres es poco frecuente debido a que los efluentes tratados en el tratamiento secundario ya cumplen con los parámetros mínimos para su descarga a los sistemas de alcantarillado (Méndez et al., 2007).

CAPÍTULO 3

3 MARCO NORMATIVO, POLÍTICO E INSTITUCIONAL

3.1 NORMATIVA LEGAL AMBIENTAL APLICABLE

La industria curtiembre es considerada como una de las más contaminantes, debido a la elevada carga de contaminantes en sus residuos y aguas residuales, razón por la cual, una adecuada gestión es necesaria, en base al conocimiento de la legislación ambiental nacional vigente y aplicable, para conocer los aspectos ambientales a ser controlados, los más importantes se mencionan a continuación:

3.1.1 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

En 2008 mediante la nueva Constitución Política del Ecuador, se reconoce al medio ambiente como sujeto de derecho. En el Art. 14 y 15 se menciona la necesidad de vivir en armonía con el medio ambiente, destacando el buen vivir o *sumak kawsay*, se prioriza la conservación y preservación de los ecosistemas y su biodiversidad, así como también la prevención y recuperación de zonas alteradas antropogénicamente, promoviendo el uso de tecnologías limpias y de energías alternativas que reduzcan el impacto ambiental. El Estado se ve en la obligación, según el Art. 66, de velar que la población viva en un medio ambiente sano, ecológicamente sustentable, equilibrado y libre de contaminación. También garantizar el derecho de vivir en un ambiente sano a través de la implementación de mecanismos de prevención y control de la contaminación ambiental, la recuperación de espacios afectados por el humano y el adecuado manejo de recursos naturales.

3.1.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

La ley de gestión ambiental publicada en el Registro Oficial No. 418 del 2004, hace referencia a la necesidad de crear políticas y directrices ambientales para su cumplimiento, a través de límites permisibles de descarga, control y sanciones. En el Art. 12, se establece que Estado es el encargado de ejecutar y verificar el

cumplimiento de las normas de calidad ambiental, límites permisibles de descarga, niveles de aplicación de tecnología y otras que establezca el ministerio pertinente, además de promover la participación ciudadana en la formulación de políticas para la protección del ambiente y manejo adecuado de los recursos naturales. El Art. 21, establece los sistemas de manejo ambiental, que para el caso de las curtiembres incluyen de forma obligatoria estudios de línea base, los cuales consten de una evaluación del impacto ambiental, evaluación de riesgos y sus planes de manejo: de riesgo, de monitoreo, de contingencia y mitigación, auditorías ambientales y de abandono, los cuales, si son satisfactoriamente aprobado por el ministerio del ramo, se podrá otorgar el permiso correspondiente. Estos permisos se otorgan en función de nivel de impacto ambiental ocasionado por actividad a desarrollarse, en el caso de las curtiembres es una licencia ambiental debido a su alto impacto.

3.1.3 LEY ORGÁNICA DE LA SALUD

Para la industria curtiembre la ley orgánica de salud es de suma importancia porque establece la normativa para la gestión de sus residuos y el fuentes, en el Art.103, consta que se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin dar previamente un tratamiento, con respecto a los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, se establece que deben recibir un adecuado tratamiento o a su vez contar con un gestor para su disposición final. Para las industrias que ocasionan un considerable impacto ambiental y además generen aguas residuales y residuos, en el Art. 104, se establece que tienen la obligación de instalar sistemas de tratamiento.

3.1.4 LEY REFORMATORIA AL CÓDIGO PENAL

La ley reformativa al código penal establece sanciones económicas y de privación de la libertad de hasta 3 años en su Art. 437, para quienes atenten contra el medio ambiente, infrinja normas de protección, vertiendo residuos por sobre los límites establecidos por la ley, siendo esto causa de perjuicios o alteraciones a la flora, fauna, potencial genético o la biodiversidad.

3.1.5 LEY DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

La ley de prevención y control de la contaminación ambiental publicada en el Decreto No. 418, de 2004, se dispone que de acuerdo al Art.1, está prohibido emitir a la atmosfera o realizar descargas contaminantes sin sujetarse a las normas técnicas y regulaciones vigentes y que puedan perjudicar al ser humano, a la flora, a la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares. El Art. 2, establece que está prohibido descargar, al sistema de alcantarillado, quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales y aguas marítimas, contaminantes que afecten a al ser humano o al medio ambiente. Con respecto a la gestión de los efluentes y residuos industriales y de acuerdo al Art. 8 y Art. 9, el ministerio pertinente está en la competencia de fijar el nivel de tratamiento adecuado y a ser entes de control para monitorear y obtener los resultados planteados.

3.1.6 TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA)

El TULSMA establece de forma global las normas nacionales para la prevención y control de la contaminación ambiental y los impactos ambientales generados por cualquier tipo de actividad que genere una afectación ambiental, de entre las cuales se tiene a la industria curtiembre como una de las más contaminantes.

Esta normativa controla las políticas ambientales del Ecuador, para el presente estudio se tomará como base a la Reforma de libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Año II - N° 316. Quito, lunes 4 de mayo de 2015.

En el presente estudio se realizará una caracterización de los parámetros establecidos para el monitoreo de descargas industriales como caudal, DBO, DQO, SST, Cromo (Cr), los cuales se compararán con la normativa vigente para establecer el grado de contaminación y determinar las alternativas de tratamiento.

Lamentablemente, la efectividad de la aplicación de buenas prácticas ambientales está en función de marco legal que rodea a la industria, ya que se únicamente busca lograr un desempeño ambiental mínimo con el fin de cumplir la normativa, mas no con el fin de una responsabilidad ecológica, social o ambiental. Este mejoramiento

mínimo se da por el miedo a sufrir sanciones económicas o para evitar el cierre de su actividad. Por lo tanto, si no existiera esta regularización y control, los dueños de dichas actividades tendrían a su criterio gestionar sus actividades sea ambientalmente o económicamente, lo que obviamente ha llevado a la situación actual, la cual ha generado serios problemas y degradación de la calidad de vida y del ambiente.

TABLA 3.1 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE PARÁMETROS DE MONITOREO PARA CURTIEMBRES ESTABLECIDOS POR EL TULSMA

Parámetro	Descargas al alcantarillado
Potencial de hidrogeno (pH)	5-9
Sulfuro (mg/L)	1,0
Cromo (mg/L)	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅, mg/L)	250
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	500
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	220
Aceites y grasas (sustancias solubles en hexano, mg/l)	100
Sólidos totales (mg/L)	1 600

Fuente: TULSMA, 2015.

CAPÍTULO 4

4 METODOLOGÍA

4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO

4.1.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

Las curtiembres en estudio están ubicadas en la Provincia de Tungurahua, a 10 Km de la ciudad de Ambato, en la Parroquia Picaihua, Barrio La Atarazana. En la Tabla 4.1 se enumera las curtiembres involucradas en el presente estudio y su ubicación geográfica.

TABLA 4.1 CURTIEMBRES EN ESTUDIO

Código	Razón Social	Propietario	Coordenadas		Dirección
			X	Y	
C1	Curtiduría Angelo	Sr. Nestor Moyolema	767119	9858414	La Atarazana
C2	Curtiduría Manuelito	Sr. Patricio Amancha Calucho	767314	9857587	La Atarazana
C3	Curtiduría Karvin	Sr. Willan Moyelema Morales	767301	9857653	La Atarazana
C4	Curtiduría Virgen del Cisne	Sr. Segundo Chaglla Criollo	767060	9857381	La Atarazana
C5	Curtiduría Moyolema Criollo	Sr. Mario Moyolema	767058	9873721	Barrio Terremoto Alto
C6	Curtiduría Cristo del Consuelo	Sr. Rodrigo Chaglla Sra. Blanca Sailema	767391	9857662	La Atarazana

Elaborado por: Daniel Arcos

Estas curtiembres son pequeños y medianos talleres artesanales que procesan pieles bovinas frescas y saladas, para la producción de cuero para calzado y para guante industrial, comercializando su producto a nivel de la provincia. Tienen una tradición curtidora familiar, es decir que laboran en esta actividad desde hace ya 2

generaciones. En promedio las 6 curtidurías cuentan con alrededor de 5 trabajadores por taller y de 3 a 5 colaboradores ocasionales.

La parroquia Picaihua ha sido tradicionalmente, desde hace varias generaciones, un sector en donde se han concentrado numerosas curtiembres artesanales familiares, especialmente en el barrio de La Atarazana donde se ubican 5 curtiembres y en el barrio Terremoto Alto donde se ubica 1 curtiembre. Estas tenerías han ejercido sus labores desde hace 20 años con ningún tipo de control ambiental en sus procesos de producción, generando una degradación del medio ambiente en su área de influencia, por lo que es necesario implementar un adecuado tratamiento de sus aguas residuales, frente a las exigencias de la normativa vigente.

En la Figura 4.1 se muestra la ubicación geográfica y el área de influencia de las curtiembres en estudio.

FIGURA 4.1 UBICACIÓN DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO



Elaborado por: Daniel Arcos

Conforme a la visita de campo realizada a la zona de estudio, se evidencia que la zona en donde se asientan las curtiembres es un barrio semi rural del cantón Ambato en donde existe actividad agrícola y comercial.

4.1.2 ESTADO ACTUAL

La situación actual de las curtiembres en estudio con respecto al tema ambiental es crítica, debido a que son establecimientos que realizan el curtido de pieles de forma artesanal, sin conocimiento teórico o técnico de los procesos involucrados. De acuerdo al Informe de Visita Técnica Realizada a Curtiembres en la Parroquia Picaihua. N° de informe DGCA- 095- 2016, realizado por la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental del H. Gobierno Provincial de Tungurahua, el principal problema es el excesivo consumo de agua y energía, alto consumo de insumos químicos, la generación de residuos sólidos y líquidos con elevadas cargas contaminantes y la poca atención hacia la salud y seguridad de los trabajadores.

El H. Consejo Provincial de Tungurahua a través de la Dirección de Gestión y Calidad Ambiental, ha recibido varias denuncias por parte de los pobladores aledaños a las instalaciones de las curtiembres en estudio, alertando de la precaria situación ambiental. Los pobladores denuncian la generación de desechos y efluentes y su disposición en terrenos adyacentes, los cuales generan olores desagradables y destrucción del paisaje. Los pobladores del barrio La Atarazana no se oponen al trabajo de estas curtiembres, ya que es su sustento, pero esperan acciones por parte de la autoridad competente para que generen alternativas o medidas necesarias para su regulación y la correcta gestión de sus residuos y efluentes.

Adicionalmente para determinar el estado y situación actual, se programó visitas e inspecciones a cada una de las curtiembres con el fin de recopilar información relevante con relación al consumo de agua, insumos químicos, procesos particulares y generación de efluentes.

Debido al hermetismo en los pobladores de la zona por razones como miedo a sanciones por parte de las autoridades de control o al robo de sus procedimientos

particulares, los propietarios de cada una de las curtiembres no permitieron que se realice la caracterización de sus efluentes ni la evaluación de sus procesos de producción. La información recopilada se la obtuvo por medio de entrevistas directas a los propietarios de las curtiembres, pues prohibían que sus trabajadores den versiones o información de los procesos productivos. Finalmente se constató personalmente el estado de las curtiembres a través de breves visitas en donde se logró realizar un registro fotográfico (Anexo 4) de las curtiembres en estudio.

4.1.3 PROCESOS UTILIZADOS

Para iniciar con el proceso de producción, después del faenamiento del animal, los curtidores obtienen pieles frescas (sin conservar, después de la muerte del animal) o saladas (conservadas con sal para evitar la degradación y el crecimiento y acción de microorganismos). El proceso de salado de pieles se usa generalmente para tener un inventario de materia prima durante varias semanas y no pausar la producción.

Las curtiembres en estudio se caracterizan por tener procesos de producción similares, con ciertas variaciones con relación al producto deseado. Las operaciones y procesos se los puede agrupar en 4 etapas: i) recepción de pieles, ii) ribera, iii) curtido y recurtido, iv) acabados, tal como se detalla a continuación:

TABLA 4.2 PROCESOS DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.

Proceso		Curtiembre					
		1	2	3	4	5	6
Recepción de las pieles							
Las pieles llegan de distintos proveedores ya sean frescas o saladas, se las clasifica y apila de acuerdo al tamaño y/o calidad. Las pieles pueden ser de camales de la sierra o costa.		X	X	X	X	X	X
Ribera							
Remojo	Se lavan las pieles en tanques para eliminar suciedades como: sangre, lodos y sal para devolverles su hinchamiento natural. No es necesario si las pieles son frescas.	X	X	X	X	X	
Pelambre	Se lo realiza en fulones, en donde se elimina el pelo, con cal y sulfuros.	X	X	X	X	X	
Descarnado	El descarnado sirve para eliminar restos adiposos y cebos adheridos en la flor de la piel.	X	X	X	X	X	X
Dividido	El dividido separa la flor de la piel de la carnaza. La flor de la piel se usa para el cuero de calzado. La carnaza se usa para subproductos como gelatinas, gamuzon y Split (usado para la elaboración del guante industrial).	X	X	X	X	X	X

**TABLA 4.2 PROCESOS DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.
(CONTINUACIÓN)**

Curtido							
Lavado	Se realiza en los fulones, únicamente con agua para retirar los remanentes de la etapa anterior.	X	X	X	X	X	X
Desencalado	Se lo realiza en fulones para eliminar la cal de la piel que fue absorbida en el pelambre y para el deshinchamiento de la piel, para lo cual se ayuda con agentes químicos.		X		X	X	X
Rendido o Purga	Se realiza en fulones solo con agua para limpiar la flor de la piel de pelos y grasas restantes de procesos anteriores.		X		X	X	X
Piquelado	Se realiza en fulones, se adiciona ácido fórmico o sulfúrico para llevar el pH de las pieles de 3 – 3.8, valores en donde el curtido es óptimo en donde los curtientes ingresen al interior de la piel y que la curtición no sea superficial.	X	X	X	X	X	X
Curtido	Se la realiza en fulones en donde las pieles se transforman en cuero mediante la adición de sales de cromo, para evitar su degradación, las pieles toman un color azulado.	X	X	X	X	X	X
Ecurrido	Se lo realiza en máquinas para retirar la mayor parte de humedad y evitar aparición de manchas de cromo.				X	X	
Rebajado	Se lo puede realizar en máquinas raspadoras o de forma manual mediante cuchillas, esto sirve para que el cuero tenga un espesor uniforme.				X	X	
Recurtido							
Lavado y neutralizado	Se realiza en fulones para eliminar remanentes de la etapa anterior y para permitir que los recurtientes y colorantes penetren en forma regular en el cuero.				X		
Recurtido	Se realiza en fulones con la adición de recurtientes para dar características finales al cuero como resistencia al agua, ayuda a la igualación al teñido, la buena firmeza de flor, buena lijabilidad.				X	X	
Tintura	Se da color al cuero mediante el uso de anilinas.				X	X	
Engrase	Se dan a las pieles una textura suave, sedosa y flexible, mediante el uso de engrasantes.	X	X	X	X	X	X
Acabados							
Secado	Las pieles son extendidas al aire libre para eliminar humedad, este proceso es lento y depende del clima.	X	X	X	X	X	X
Ablandado	Se realiza en un bombo giratorio llamado zaranda, en donde las pieles son golpeadas, dándoles flexibilidad y blandura.				X		

**TABLA 4.2 PROCESOS DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.
(CONTINUACIÓN)**

Estacado	Las piles son estiradas con ganchos metálicos en marcos metálicos perforados, para quitar las arrugas y dar una textura lisa.	X	X	X	X	X	X
Terminado	Se da la apariencia final al cuero, se lijan para eliminar imperfecciones. Se aplican pinturas para dar color Y para cuero de calzado se aplica lacas para dar brillo.	X	X	X	X	X	X
Empaquetado	Se clasifican de acuerdo a la calidad y tonalidad; posteriormente se empaquetan de 5 a 10 cueros en cada paquete.				X		

Elaborado por: Daniel Arcos.

Cuatro de las seis curtiembres se dedican exclusivamente a la elaboración de cuero duro y resistente para guante industrial (no se realizan el proceso de recurtido). Una vez curtido el cuero, se procede al lavado para después ser engrasado donde se da una ligera suavidad, seguido del secado al aire libre y finalmente al estacado en donde se elimina todas las arrugas de la superficie del cuero.

Las curtiembres 4 y 5 realizan adicionalmente el proceso de recurtido y la mayoría de procesos de acabado como es ablandado, prensado, pintado y lacado, necesario para la elaboración del cuero para calzado, el cual necesita una mayor calidad y detalle del producto final. Adicionalmente, la producción de estas dos curtiembres es significativamente mayor que las demás. Para la producción ya sea de cuero para guante industrial o para calzado, las curtiembres manejan un cierto promedio de pieles que pueden procesar. Las pieles en su mayoría llegan saladas de proveedores de región costa y en ocasiones llegan pieles frescas del camal de la ciudad. Un dato importante es que los talleres familiares también pueden ser alquilados o arrendados para el uso de sus diferentes maquinarias o equipos a otros curtidores de la zona. Las curtiembres en estudio tienen un requerimiento de pieles como indica la Tabla 4.3.

TABLA 4.3 REQUERIMIENTO DE PIELES

Código Curtiembre	Promedio de pieles procesadas por mes
C1	200 – 300
C2	400 – 500
C3	200 – 300
C4	500 – 600
C5	400 – 500
C6	200 – 300

Elaborado por: Daniel Arcos.

4.1.3.1 Consumo de agua

Cada una de las curtiembres en estudio, cuentan con tanques reservorios de agua para sus procesos, los cuales son llenados en función del consumo de agua de sus respectivos talleres, a través de camiones cisterna o tanqueros de 10 m³ de capacidad. En la Tabla 4.4 se muestra el volumen de los tanques reservorios y los requerimientos de agua de los camiones cisterna.

TABLA 4.4 REQUERIMIENTO DE AGUA.

Código Curtiembre	Volumen tanque (m³)	Número de tanqueros /día	Requerimiento de agua de tanqueros m³/día
1	30	2	20
2	50	2	20
3	40	1	10
4	80	2	20
5	60	3	30
6	40	2	20
Total		12	120

Elaborado por: Daniel Arcos.

Para cada una de las seis curtiembres se necesitan de 1 a 3 tanqueros por día, es decir 120 m³ de agua por día y 600 m³ de agua por semana. El agua de estos reservorios se usa para todos los procesos de la cadena productiva.

Las curtiembres en estudio cuentan con sistemas rudimentarios de pre tratamiento y tratamiento primario de sus efluentes, a estos sistemas ingresan todos los caudales de los procesos productivos, que incluyen ribera, curtido y si es el caso de recurtido. Posteriormente, son descargados al sistema de alcantarillado.

Actualmente, ya no se disponen los efluentes en los terrenos, debido a denuncias por parte de la población aledaña y políticas de control por parte de la Autoridad Competente.

En la Tabla 4.5 se muestra los procesos que usan las curtiembres en estudio para el tratamiento de sus efluentes.

TABLA 4.5 EFLUENTES DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO

Proceso	Descripción
Pre tratamiento	
Homogenización	Todos los caudales de los procesos productivos ingresan a un tanque diseñado con un volumen determinado en donde se mezclan para tratar de mantener caudales constantes, y valores de pH estables.
Desbaste	Posterior al tanque se realiza el desbaste que es una operación física en donde se retiene los materiales sólidos y en suspensión, mediante el uso de rejas y tamices.
Tratamiento Primario	
Coagulación	Los efluentes sin sólidos ni material suspendido ingresan en tanques para un tratamiento físico-químico mediante un sistema de coagulación y floculación, en donde se elimina sólidos suspendidos remanentes, cierta cantidad de materia orgánica, cromo y sulfuros. Las curtiembres en estudio utilizan sulfato de aluminio como coagulante.

Elaborado por: Daniel Arcos.

4.1.4 IDENTIFICACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La problemática ambiental identificada hace referencia principalmente a los efluentes generados, los cuales han sido objeto de denuncias por parte de la población aledaña, alegando que las actividades de las curtiembres ocasionan:

- Contribución a la descarga de efluentes contaminados

- Impacto negativo a la calidad de vida de la población aledaña
- Olores persistentes en el ambiente
- Afectación a la flora, fauna y destrucción del paisaje

A través de la normativa ambiental vigente en los últimos dos años, se ha logrado que estas pequeñas industrias gestionen sus residuos y efluentes, para tratar de reducir su impacto al ambiente. El temor a sanciones económicas o cierre de su actividad por parte de la Autoridad Competente, ha conseguido que todas las curtiembres en estudio implementen sistemas de tratamiento primario para sus efluentes, sin embargo, estos procesos se lo realizan con poco conocimiento técnico, ya que se adicionan los coagulantes en cantidades mayores o menores a la dosis óptima requerida, por lo que no se puede garantizar el cumplimiento de los límites máximos permisibles de descarga de acuerdo a la normativa vigente.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE EFLUENTES

4.2.1 MEDICIÓN DE CAUDALES GENERADOS

Para determinar el caudal del agua residual que se produce en las curtiembres, se utiliza el método de aforo, mismo que consiste en medir el tiempo que toma llenar un recipiente con un volumen conocido. Cabe recalcar que las descargas incluyen los caudales de ribera, curtido y si es el caso, de recurtido.

Las descargas de agua residual se realizan durante el día, de forma esporádica en un tiempo determinado. La medición fue realizada después del tratamiento primario que tiene cada una de las curtiembres, utilizando un recipiente de 20 litros.

El aforo se lleva a cabo diariamente, durante 5 días laborables en los horarios en los cuales se realizan las descargas, para generar datos representativos. Se determina el caudal del efluente con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Donde:

Q: caudal usado en el proceso, L/min

V: volumen del recipiente, L

t : tiempo de llenado del recipiente, min

4.2.2 TOMA DE MUESTRAS

El procedimiento utilizado para el muestreo de las aguas residuales, es el detallado en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo. Esta metodología también fue aplicada para el muestreo de los efluentes de los experimentos a escala laboratorio.

Para la caracterización del efluente de las industrias, se realiza un primer muestreo en un pozo del sistema de alcantarillado mostrado en la Figura 4.2, donde confluyen los efluentes de las 6 curtiembres. La toma de muestras se realiza posterior al tratamiento primario.

FIGURA 4.2 POZO DE TOMA DE MUESTRA.



a) Caudal ingresando al pozo

b) Pozo

Fuente: Daniel Arcos.

Con el fin de caracterizar el efluente previo al tratamiento primario y verificar la dosis de coagulante utilizado en el tratamiento primario de las curtiembres, se realiza un muestreo en el punto de muestreo (Figura 4.1), cuando las curtiembres no realizaron su tratamiento primario respectivo, descargando directamente sus efluentes al sistema de alcantarillado. La muestra compuesta se realizó tomando alícuotas de 5 litros cada 15 minutos durante 2 horas, de 7 am a 9 am. La muestra fue recolectada en 2 recipientes de 20 litros, de acuerdo a las necesidades para las pruebas de jarras y su caracterización.

Una segunda campaña de muestreo, incluye la toma de muestras después del tratamiento primario existente en cada una de las curtiembres y en el efluente de los reactores experimentales, desde el 27 de marzo del 2017 hasta el 30 de mayo del 2017. En este periodo, las curtiembres realizaron normalmente su tratamiento primario respectivo, utilizando las dosis usuales de coagulante.

Todas las muestras fueron conservadas a una temperatura de 4 °C hasta su análisis en el laboratorio.

4.2.3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Los parámetros de monitoreo a seguir en el presente estudio, sugeridos para la industria curtiembre y recomendados según la Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador (ANCE) y Código Internacional Industrial Uniforme (CIIU), se muestran en la Tabla 4.6.

TABLA 4.6 PARÁMETROS CRÍTICOS DE MONITOREO CURTIEMBRES

Actividad industrial	Parámetros de monitoreo
Industrias manufactureras	
Adobo y teñido de pieles; fabricación de artículos de piel	Caudal, DBO, DQO, SST, Sulfuros (S ₂), Cromo (Cr), Cromo Hexavalente (Cr ⁺⁶), Color
Curtido y adobo de pieles	Caudal, DBO, DQO, SST.
Fabricación de partes de calzado	

Fuente. ANCE, CIIU

Los parámetros sugeridos para el monitoreo de efluentes industriales de curtiembres fueron analizados con el fin de establecer el nivel de la carga contaminante. Los resultados servirán además para realizar una comparación con la normativa vigente. En la Tabla 4.7 se presenta los parámetros analizados y el método de análisis.

TABLA 4.7 PARÁMETROS DE MONITOREO ANALIZADOS.

Parámetro	Unidad	Método
Potencial de hidrogeno	Unidades pH	ph metro
Sulfuro	mg/L	PRO TEC 042 / HACH 8131
Cromo total	mg/L	HACH METOD 8024
Cromo hexavalente	mg/L	HACH METOD 8023
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅	mg/L	OXITOP
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	HACH METOD 800
Sólidos suspendidos totales	mg/L	PRO TEC 029 / HACH 8006

Elaborado por: Daniel Arcos.

La caracterización físico-química de las muestras tomadas en el pozo en donde confluyen las descargas de las 6 curtiembres, se la realizó en tres partes: i) cuando las curtiembres no realizaron su tratamiento primario, ii) cuando las curtiembres si realizaron su tratamiento primario y iii) para los experimentos a escala laboratorio. Los análisis se realizaron en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional para los parámetros de pH, turbidez, DBO₅, DQO y cromo, mientras que los SST y sulfuros se determinaron en el laboratorio acreditado Lacquanálisis S.A, Anexo 1.

Estos resultados servirán para determinar las eficiencias de remoción de los parámetros analizados y para comparar con los límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado que especifica la norma, con el fin de seleccionar la mejor alternativa de tratamiento.

4.3 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

4.3.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD

Con el fin de verificar la dosificación del coagulante utilizado en el tratamiento primario, se realizan pruebas de tratabilidad utilizando un equipo Jar Test marca Philips & Bird PB-700

FIGURA 4.3 EQUIPO UTILIZADO PARA LA PRUEBA DE JARRAS

Fuente: Daniel Arcos.

La prueba de jarras se ejecutó en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, utilizando una muestra compuesta de los efluentes de las 6 curtiembres, cuyo pH y temperatura medidos in situ son 8,1 y 17 °C, respectivamente.

El coagulante utilizado en la prueba de jarras, fue sulfato de aluminio al 30% de pureza, mismo que es utilizado por todas las curtiembres en estudio. Las concentraciones del coagulante utilizado en esta prueba se muestran en la Tabla 4.8.

TABLA 4.8 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE

Muestra	Dosis de coagulante mg/l
1	16,8
2	33,6
3	100,8
4	168,0
5	268,8
7	672,0
8	1680,0

Elaborado por: Daniel Arcos.

Las concentraciones más altas de coagulante utilizado, corresponden a la dosificación usualmente colocada en el proceso de tratamiento de las curtiembres en estudio.

La mezcla rápida se realiza durante un tiempo de 30 segundos a 330 rpm, mientras que la mezcla lenta, durante un tiempo de 15 minutos a 30 rpm. Una vez terminado el proceso de mezcla se deja sedimentar por un lapso de 20 minutos.

Finalizado el tiempo de sedimentación, se toman muestras del clarificado para analizar las concentraciones de cromo y DQO presentes en el efluente. Adicionalmente, se caracteriza el flóculo formado, utilizando el índice de Willcomb (Tabla 4.9).

TABLA 4.9 ÍNDICE DE WILLCOMB

Índice	Tipo de Floc	Descripción
0	Floc coloidal	No hay signo de aglutinación
2	Visible	Floc demasiado pequeño, casi imperceptible
4	Disperso	Floc consolidado, pero no distribuido de manera uniforme, casi no sedimenta o lo hace muy lentamente.
6	Claro	Floc relativamente grande, pero no sedimenta con la suficiente rapidez
8	Bueno	Floc que sedimenta rápidamente pero no completamente
10	Excelente	Floc que sedimenta rápidamente y deja el agua cristalina.

Fuente: Ibarra, 2004.

4.3.2 CONSTRUCCIÓN DE REACTORES A ESCALA LABORATORIO

Se plantean dos alternativas de tratamiento, elegidas por su relativa simplicidad de diseño, facilidad de construcción, poca necesidad de espacio y buenas eficiencias de remoción para tratar este tipo de aguas residuales: i) Reactor Biológico

Secuencial (SBR) y, ii) Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB).

Estas alternativas se evalúan con base a modelos de laboratorio, y en función de las eficiencias de remoción de contaminantes logrado, se hace un análisis técnico para definir y elegir la mejor alternativa para el tratamiento a los efluentes de las 6 curtiembres.

Los reactores a escala laboratorio fueron montados en la Curtiduría Moyolema Criollo del Sr. Mario Moyolema, ubicado en la parroquia Picaihua en la ciudad de Ambato. La temperatura promedio de operación fue de 16 °C.

4.3.2.1 Reactor Biológico Secuencial, SBR

Los reactores discontinuos secuenciales son un sistema que funciona en base a lodos activados, en donde todas las reacciones se dan en el mismo reactor y opera mediante un sistema de llenado-vaciado.

La elección de esta alternativa se debe a que ofrecen diversas ventajas por su flexibilidad, estabilidad, alto rendimiento y su capacidad de amortiguamiento ante cargas contaminantes y caudales elevados, ideal para los efluentes de la industria curtiembre.

El reactor biológico secuencial a escala de laboratorio construido in situ, está compuesto por:

- Reactor cilíndrico de material PET de 27 cm de diámetro y 31 cm de altura, y volumen total de 18 L. El reactor cuenta con dos agujeros laterales ubicados perpendicularmente en su parte inferior, para introducir los conductos de aire.
- Tapa cilíndrica del reactor de material PET de 27 cm de diámetro, que consta de un agujero central por donde se introduce el eje del agitador, y otro por donde ingresan las aguas a ser tratadas del tanque reservorio.

- Tanque reservorio de material PET de 40 L de capacidad, con una válvula en su parte inferior para regulación del caudal en la fase de alimentación.
- Motor eléctrico Kansew de 110 V y 60 Hz como agitador, con velocidad regulable por medio de la adaptación de un potenciómetro.
- Eje de 24 cm y paleta de 18 cm de diámetro de acero inoxidable conectado al motor eléctrico.
- Recipientes de PET de 2 litros para la descarga y recepción del agua tratada.
- 1 bomba sumergible pecera Boyu de 110 V y 60 Hz adaptada para regular el caudal en la fase de vaciado.
- 1 compresor de aire de pecera de doble salida Boyu, con una capacidad mínima de 0,5 L/min, de 110 V y 60 Hz.
- Estructura metálica de soporte para el sistema.

En la Figura 4.4 se muestra el reactor SBR con todas las adecuaciones y adaptaciones en el soporte metálico y con el cual se realizaron los ensayos experimentales. El reactor se encuentra en la fase de sedimentación por lo que se puede observar el lodo sedimentado y el sobrenadante (agua tratada).

FIGURA 4.4 REACTOR SBR CONSTRUIDO A ESCALA



Elaborado por: Daniel Arcos.

4.3.2.1.1 *Aclimatación de la biomasa*

El inóculo utilizado para este reactor, procede del sistema de tratamiento de la “Curtiembre Aldaz”, dedicada a la producción a gran escala de cuero para calzado, ubicada en la parroquia Totoras de la ciudad de Ambato. Para aclimatar la biomasa, se sustituye de manera gradual el medio original con el agua residual a tratarse, y así lograr que los microorganismos se adapten a las nuevas condiciones de sustrato. El proceso de aclimatación de los lodos se realizó diariamente desde el 27 de febrero del 2017 hasta el 26 de marzo del 2017, con una duración de 28 días.

FIGURA 4.5 ACLIMATACIÓN DE LOS LODOS AEROBIOS



(a) Inoculación de lodos en el reactor (b) Agitación de lodos

Elaborado por: Daniel Arcos.

4.3.2.2 **Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente, UASB**

Este tratamiento tiene algunas ventajas en comparación con otros sistemas, las cuales son bajo costo de operación, poca necesidad de espacio para su construcción, se produce biogás que puede producir energía y baja producción de lodo, razones por las cuales se ha elegido como una de las alternativas a ser evaluadas en el presente estudio.

4.3.2.2.1 *Diseño del sistema de tratamiento*

El reactor UASB (Figura 4.6) utilizado en el presente estudio, fue diseñado y construido por Daniela Esperanza Tenecota Intriago en su tesis “Estudio de la eficiencia en la remoción de DQO mediante reactores Anaerobios UASB en zonas frías andinas”, el cual fue adaptado a las nuevas necesidades y condiciones de las aguas a tratarse.

FIGURA 4.6 REACTOR UASB A ESCALA LABORATORIO



Fuente: Daniel Arcos

Para el diseño del UASB se tomaron en cuenta algunos parámetros de los cuales dependerá el óptimo funcionamiento y la eficiencia de depuración. Se tomó como base de diseño los valores de parámetros recomendados por Van Haandel y

Lettinga, 1994 y por el Manual plantas UASB Aqualimpia, 2011, como el tiempo de retención hidráulico, caudal y diámetro.

La selección del TRH (tiempo de retención hidráulico) es importante ya que de este depende en gran parte la eficiencia de depuración. De acuerdo al Manual plantas UASB Aqualimpia, 2011, para temperaturas con las que se trabaja en el presente estudio de entre 10 a 16°C, el tiempo de retención debe ser aumentado de 8 a 12h. Este tiempo se determina de acuerdo al tiempo mínimo de retención para evitar la subutilización del reactor, así como la capacidad de la bomba utilizada.

Se utiliza una bomba sumergible de pecera adaptada para regular el caudal, para la conducción de las aguas residuales a ser tratadas hacia el reactor, la cual se regula para que funcione con un caudal mínimo de 6,3 ml/min. El modelo utilizado fue un reactor cilíndrico de PET de 8 cm de diámetro. En la Tabla 4.10 se resume los parámetros adoptados para el presente estudio.

TABLA 4.10 PARÁMETROS DE DISEÑO ADOPTADOS

Parámetro	Unidad	Valor
Tiempo de retención hidráulico, TRH	h	12
Caudal, Q	ml/min	6,3
Diámetro, d	cm	8

Elaborado por: Daniel Arcos.

En base a estos parámetros de diseño adoptados de tiempo de retención hidráulico, caudal y diámetro, se procede a dimensionar los parámetros de diseño y operacionales del reactor, los cálculos se muestran en la Tabla 4.11.

TABLA 4.11 PARÁMETROS DE DISEÑO REACTOR

Parámetro	Cálculo	Valor	Unidad
Volumen del reactor	$V_R = TRH * Q$ (3)	4.5	L
Área del reactor	$A_R = \frac{\pi d^2}{4}$ (4)	50,26	cm ²
Altura efectiva del reactor	$H = \frac{4*V_R}{\pi d^2}$ (5)	90	cm

**TABLA 4.11 PARÁMETROS DE DISEÑO REACTOR
(CONTINUACIÓN)**

Carga hidráulica	$CH = \frac{Q}{A_R}$ (6)	0,075	m/h
Velocidad de flujo en la campana	$VF = 4 * CH$ (7)	0,3	m/h
Carga hidráulica volumétrica	$CHV = \frac{Q}{V_R}$ (8)	2,01	m ³ /d*m ³

Fuente: Tenecota, 2016

Elaborado por: Daniel Arcos.

Se obtuvo un valor de velocidad de flujo en la campana o velocidad ascensional de 0,3 m/h, dicho valor no supera el límite recomendado por el Manual plantas UASB Aqualimpia, 2011, que es de 1 m/h. Esto significa que los lodos del reactor no serán lavados por efecto de la velocidad.

La carga hidráulica volumétrica se encuentra por debajo de 5m³/d*m³ que es lo recomendado por Gomes, 2011. Esto indica que el reactor no se encuentra subutilizado en su capacidad de tratar las aguas residuales que ingresan.

La campana o separador GSL (gas, solido, líquido) es una parte importante para lograr un correcto funcionamiento del reactor, su finalidad es mantener el lodo sedimentable dentro del reactor, clarificar el efluente al separar los gases producidos por la digestión anaerobia.

La construcción y el diseño se basa en parámetros recomendados por Lettinga y Hushoff, 1995, el cual recomienda una campana convencional debido a su fácil construcción, es de simple instalación, práctico funcionamiento y eficiencia. Los parámetros adoptados en el diseño fueron el ancho interno de la campana (H_T) y la altura máxima del separador sobre la superficie del líquido, igual a 2 cm, los cálculos se muestran en la Tabla 4.12.

TABLA 4.12 PARÁMETROS DE DISEÑO SEPARADOR GSL

Parámetro	Cálculo	Valor	Unidad
Área de la abertura	$A_a = \frac{Q}{v_F}$ (9)	12,60	cm ²
Radio mayor de la campana	$A_R - A_a = \pi R_C^2$ (10)	3,5	cm
Área de la sección transversal de la campana	$A_C = \pi R_C^2$ (11)	37,66	cm ²
Ancho de la abertura	$W_A = R_R - R_C$ (12)	0,5	cm
Ancho de la campana	$W_G = R_R - W_A - 0,5H_T$ (13)	2,5	cm
Altura de la campana	$H_G = W_G * \tan 60$ (14)	4,3	cm
Traslapo	$T_V = 1,5 W_A$ (15)	0,8	cm
Ancho de los deflectores	$W_D = T_V + W_A$ (16)	1,3	cm
Longitud de los deflectores	$L_D = 2W_D * \tan 45$ (17)	2,7	cm
Distancia del deflector a la campana	$L_T = 0,5(L_D - W_A)$ (18)	1,1	cm

Fuente: Tenecota, 2016

Elaborado por: Daniel Arcos.

Los parámetros utilizados no son fijos y estos pueden variar y pueden ajustarse en función de las proporciones de reactor a diseñar.

4.3.2.2.2 *Aclimatación de los lodos anaerobios*

Se inicia la aclimatación de los lodos anaerobios, con la inoculación de 4 litros de agua residual proveniente del sistema de tratamiento de la “Curtiembre Aldaz”. Los lodos fueron acondicionados durante un periodo aproximado de 42 días, manteniéndolos en movimiento para generar la mezcla continua, mediante un sistema de recirculación adaptado al reactor USAB previamente construido.

El acondicionamiento consiste en sustituir continuamente 0,5 L de estos efluentes por 0,5 L de agua de las 6 curtiembres en estudio mezclado con estiércol de vaca, para aumentar de materia orgánica y proveer de alimento a los microorganismos

(el estiércol de vaca se lo utilizo durante los 21 primeros días de la aclimatación). Esto se realiza diariamente de forma lenta y gradual, para hacer que los microorganismos se adapten a estas nuevas condiciones y evitar que mueran.

El proceso de aclimatación de los lodos se realiza diariamente desde el 13 de febrero del 2017 hasta el 26 de marzo del 2017, con una duración de 42 días.

FIGURA 4.7 ACONDICIONAMIENTO DE LOS LODOS ANAEROBIOS.



Elaborado por: Daniel Arcos.

4.3.2.3 Monitoreo de las variables del experimento

Los parámetros que se monitorea son: Temperatura, pH, Sulfuros, Cromo total, Cromo hexavalente, Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅, Demanda química de oxígeno DQO, y Sólidos suspendidos totales (SST). La frecuencia de monitoreo se indican en la Tabla 4.13.

TABLA 4.13 FRECUENCIA DE MONITOREO Y EQUIPO

Parámetro	Frecuencia
Temperatura	Diario
Ph	Diario
Sólidos suspendidos totales (SST)	Inicio y final del experimento
Sulfuros	
Cromo total	
Cromo hexavalente	
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	
Demanda química de oxígeno DQO	8 muestreos durante el experimento

Elaborado por: Daniel Arcos.

4.4 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO

4.4.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Las herramientas de análisis técnico consisten en determinar la viabilidad técnica, de las alternativas seleccionadas y su posible implementación a escala real. Este análisis se realiza con base a factores determinantes que inciden en el desarrollo del presente estudio. La selección de la mejor alternativa se realiza a través de la investigación y experimentación con modelos de laboratorio, para examinar el funcionamiento y determinar ventajas y desventajas de las alternativas de tratamiento secundario y las eficiencias de remoción de DQO, con el fin de obtener un tren de tratamiento acorde con las necesidades de depuración de estos efluentes.

4.4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

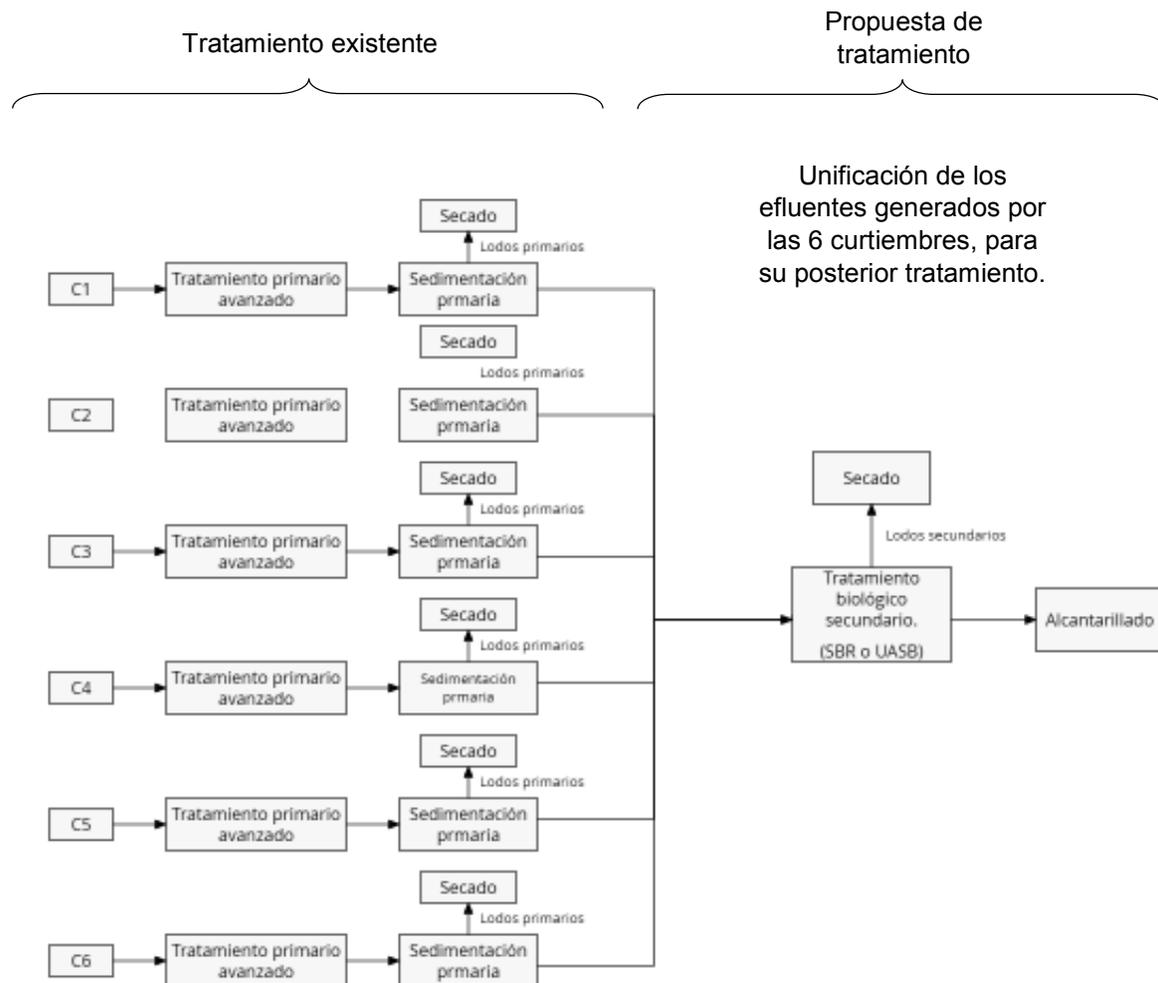
El análisis económico involucra en determinar los precios actuales de los materiales que se necesitan para la implementación y mantenimiento de las alternativas de tratamiento. Los costos considerados para las alternativas analizadas son: adquisición del terreno para construcción, materiales necesarios para la construcción de toda la infraestructura y obra civil, monitoreo y análisis de laboratorio, mantenimiento de las instalaciones de la planta de tratamiento y la contratación de un operador.

CAPÍTULO 5

5 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

La propuesta de las alternativas de tratamiento para las aguas residuales de la industria curtiembre analizadas, contempla mantener el tratamiento primario avanzado existente realizando una optimización a la dosis de coagulante, seguido por un tratamiento biológico secundario (Figura 5.1), en función de los resultados de la evaluación de los sistemas experimentales in situ.

FIGURA 5.1 TRATAMIENTO EXISTENTE Y PROPUESTA



Elaborado por: Daniel Arcos.

5.1 TRATAMIENTO PRIMARIO AVANZADO

La caracterización del influente y efluente del tratamiento primario avanzado existente, se muestran en la Tabla 5.1. Se evidencia en los resultados presentados, que varios de los parámetros de calidad del agua evaluados superan los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA de descarga al sistema de alcantarillado, por lo que actualmente el único sistema de tratamiento existente no garantiza que las descargas cumplan con la normativa nacional.

TABLA 5.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN Y COMPARACIÓN CON LA NORMA

Parámetro	Unidad	Antes tratamiento primario	Después tratamiento primario	Eficiencia de remoción %	LMP	Verificación
Potencial de hidrogeno	Unidades pH	8,1	7,8	-	5 a 9	Cumple
Sulfuro	mg/L	66,25	59,05	10,88	1	No cumple
Cromo total	mg/L	410	22.1	94,6	-	-
Cromo hexavalente	mg/L	0,16	0,09	43,8	0,5	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L	3460	1983	42,7	250	No cumple
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	4800	3357	30,1	500	No cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1017	432	57,52	220	No cumple

Elaborado por: Daniel Arcos.

Los resultados obtenidos muestran la necesidad de proponer alternativas para implementar un tratamiento secundario, en donde se reduzcan las demandas de oxígeno, DBO₅ y DQO, con el fin de cumplir con la normativa ambiental vigente para descargas a sistemas de alcantarillado; y optimizar el uso de coagulante mediante una prueba de tratabilidad del efluente de las curtiembres en estudio.

5.1.1 PRUEBAS DE TRATABILIDAD: PRUEBA DE JARRAS

Utilizando las dosis de coagulante y las velocidades de mezcla rápida y lenta, detalladas en el capítulo 4, se procede a realizar la prueba de jarras y a determinar la calidad de floc obtenido, mediante el índice de Willcomb. Los parámetros de calidad del agua evaluados en cada una de las pruebas son cromo total y DQO. Los resultados de la prueba de jarras se muestran en la Tabla 5.2.

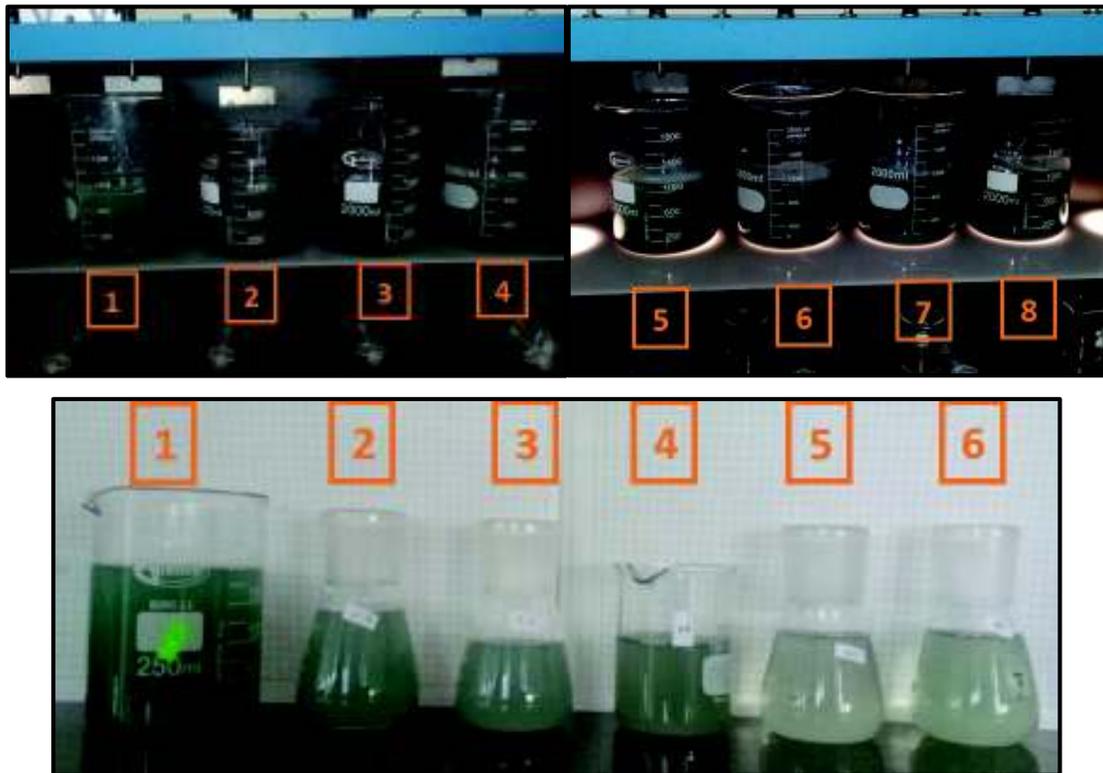
TABLA 5.2 DOSIS DE COAGULANTE, CROMO Y DQO

Muestra	Dosis de coagulante (mg/l)	Cr total(mg/l)	DQO (mg/l)	Índice de Willcomb	Eficiencia de remoción Cr %	Eficiencia de remoción DQO %
1	16,8	2	3990	2	99,5	16,9
2	33,6	1	3010	6	99,8	37,3
3	100,8	2,41	3730	4	99,4	22,3
4	168	3,65	3617	4	99,1	24,6
5	268,8	3,87	3600	4	99,1	25,0
7	672	32	2760	6	92,2	42,5
8	1680	29	2630	6	92,9	45,2

Elaborado por: Daniel Arcos.

La dosis óptima se elige de acuerdo a la obtención de un floc compacto, visible a simple vista y que sedimenta de forma rápida. (Figura 5.2)

FIGURA 5.2 MUESTRAS CON LAS DIFERENTES DOSIFICACIONES DE COAGULANTE



Elaborado por: Daniel Arcos.

Se determina que la dosis que cumple satisfactoriamente las condiciones de remoción de cromo y DQO es la muestra 2, presenta un índice de Willcomb de 6, una eficiente de remoción de cromo del 99,8 % y de DQO del 37,3%.

Se elige la dosis de 33,6 mg/l de coagulante, con la que se disminuye el gasto en la adquisición del químico y los gastos de operación de cada una de las plantas de tratamiento de las curtiembres en estudio.

5.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Las alternativas de tratamiento secundario que se analizan en el presente trabajo son:

- Reactor Biológico Secuencial, SBR
- Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente, UASB

La construcción de los reactores a escala laboratorio de las alternativas seleccionadas se describe en el numeral 4.3.2.

El agua residual utilizada en los reactores experimentales, corresponde al efluente del tratamiento primario avanzado existente, cuya caracterización se presenta en la Tabla 5.3.

TABLA 5.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES PREVIO AL INGRESO AL REACTOR SBR Y UASB

Parámetro	Unidad	Resultado
Potencial de hidrógeno	Unidades pH	6,65
Sulfuro	mg/L	59,05
Cromo total	mg/L	22.1
Cromo hexavalente	mg/L	0,09
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L	1983
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	3357
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1017

Elaborado por: Daniel Arcos.

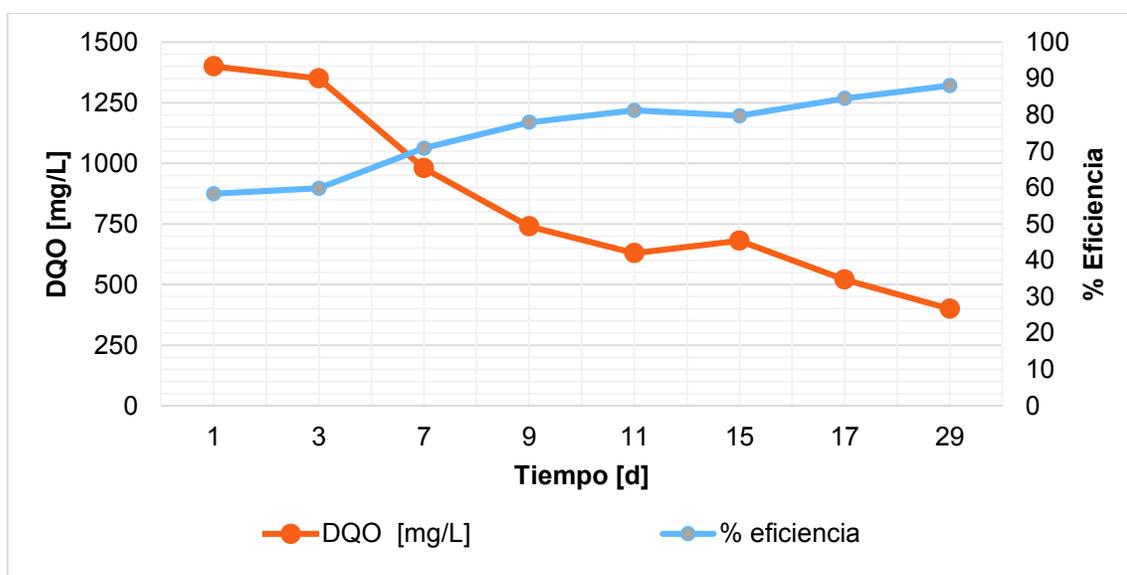
5.2.1 REACTOR BIOLÓGICO SECUENCIAL, SBR

Una vez aclimatada la biomasa durante 28 días, se inicia la operación y monitoreo del reactor SBR con un tiempo de retención de 2 días y un caudal 2,5 l/día.

En la Figura 5.3 se muestra el comportamiento del reactor respecto a la eficiencia de remoción de DQO desde el 11 de abril hasta el 2 de mayo de 2017 (29 días). Se observa que la DQO tiene un comportamiento inestable durante los primeros días

del monitoreo con valores que tienden a disminuir, esto se debe a que los lodos no están adaptados completamente a las nuevas condiciones de los efluentes a tratar y debido a las fluctuaciones en la carga contaminante que ingresa al reactor. En el día 17 se registra un valor de 520 mg/L el cual está cerca del límite máximo permisible de descarga al alcantarillado, mientras que el último dato registrado durante la etapa de monitoreo es de 400 mg/L, con lo que se logra cumplir con el límite máximo permisible de descargas al alcantarillado. En el Anexo 2, Tabla II.1 se muestra el registro de monitoreo de la DQO.

FIGURA 5.3 COMPORTAMIENTO DQO, REACTOR SBR.

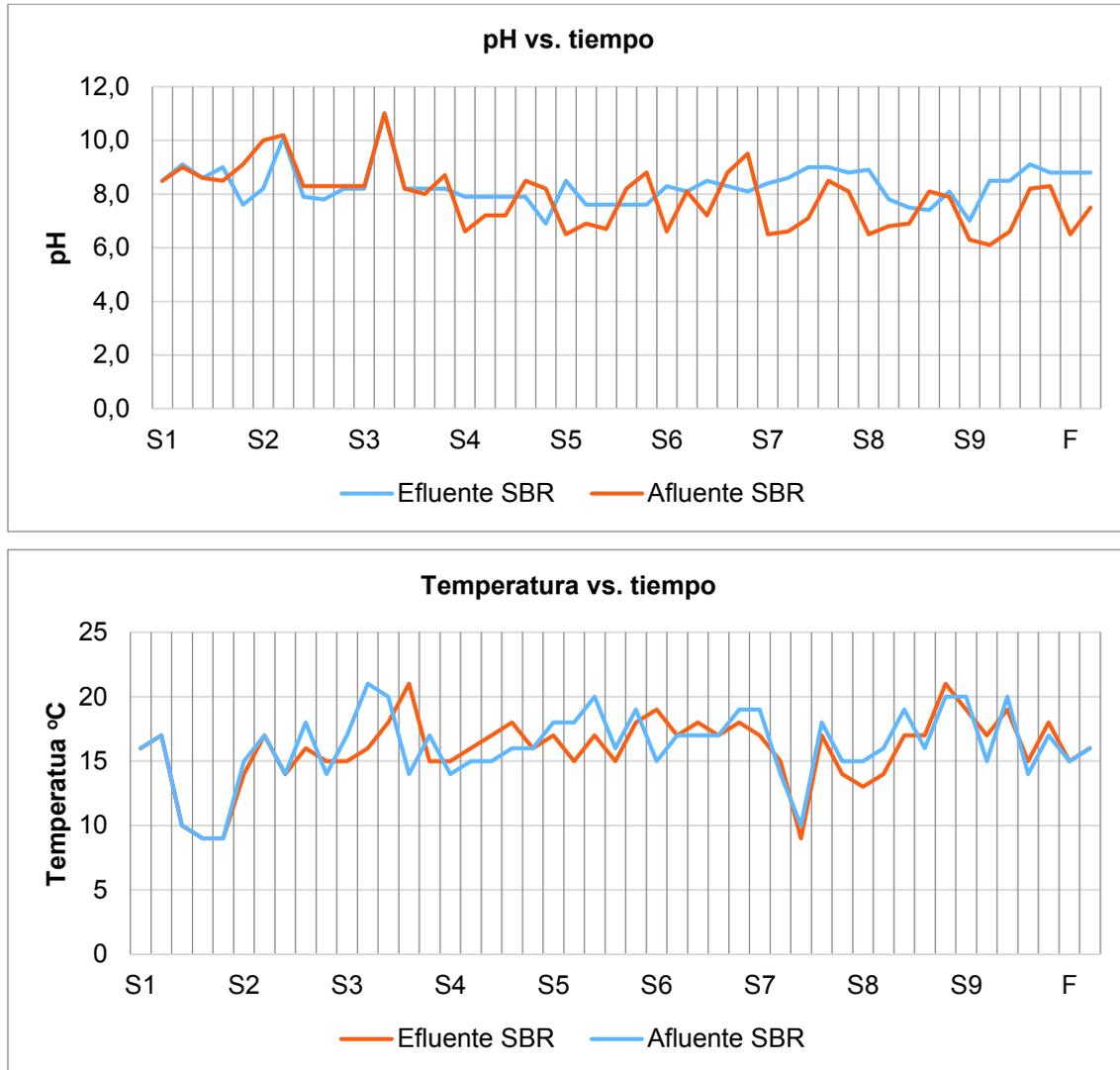


Elaborado por: Daniel Arcos.

La Figura 5.3 también muestra el porcentaje de eficiencia para la remoción de DQO durante el tiempo de monitoreo, al inicio se tuvo un 58 % y posteriormente este valor fue incrementándose hasta llegar a un 88 % de eficiencia de remoción con lo que cumplió con la normativa vigente.

Las condiciones bajo las cuales se opera el reactor durante el tiempo de monitoreo respecto a los parámetros de pH y temperatura se incluyen en la Figura 5.4, junto con los valores medidos en el efluente. Las mediciones corresponden al agua residual en el interior de reactor, mismas que se exponen en el Anexo 2, Tabla II.2.

FIGURA 5.4 COMPORTAMIENTO LA TEMPERATURA Y pH.



Elaborado por: Daniel Arcos.

De acuerdo a los datos presentados en las figuras anteriores, la temperatura con la que opera el reactor oscila entre los 14 y 21 °C, con variaciones notorias, esto puede ser un limitante ya que bacterias necesitan una temperatura estable. Se registran ciertas mediciones en donde la temperatura cae por debajo de los 10 °C debido a temporal de lluvias en la región, afectando negativamente a la eficiencia del proceso y a las bacterias porque ralentizan su metabolismo.

El promedio de temperatura durante el monitoreo fue de 16 °C. Según Metcalf y Eddy, 2003, el rango de temperatura óptima para un sistema de tratamiento aerobio es de 15 a 30 °C, las temperaturas menores a este rango registradas en el

monitoreo pueden afectar la velocidad de crecimiento de las bacterias, reduciendo su metabolismo.

Con relación al pH, las mediciones permanecieron en un rango de 6 a 9,5, factor importante para el desarrollo y crecimiento de la población microbiana. Se dieron variaciones ocasionadas por los distintos procesos de curtido utilizados en ciertas curtiembres en estudio, en donde se realiza de manera separada las descargas acidas (pelambre) y básicas (curtido). Para evitar esto, se mantuvo una reunión con dichas curtiembres, para que homogenicen sus efluentes antes de pasar al pozo de muestreo, con lo que se logró estabilizar los efluentes.

Los resultados de las eficiencias de remoción obtenidas se presentan en la Tabla 5.4, en donde se evidencia que se ha logrado cumplir con los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado, establecidos en el TULSMA.

TABLA 5.4 EFICIENCIA REACTOR SBR Y COMPARACIÓN CON LA NORMA

Parámetro	Unidad	SBR Influyente	SBR Efluente	Eficiencia de remoción %	LMP	Verificación
Potencial de hidrogeno	Unidades pH	6,65	8,1	-	5 a 9	Cumple
Sulfuro	mg/L	59,05	0,05	99,99	1	Cumple
Cromo total	mg/L	22,1	10,17	54,0	-	-
Cromo hexavalente	mg/L	0,09	0,065	27,8	0,5	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L	1983	225	86,0	250	Cumple
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	3357	400,3	88,1	500	Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	432	20	95.37	220	Cumple

Elaborado por: Daniel Arcos.

La DBO₅ con una eficiencia del 86 % y DQO con 88,1 %. Con estas eficiencias se obtuvieron valores dentro de los límites, por consiguiente, estos efluentes están en condiciones para ser descargados al sistema de alcantarillado, pues cumplen con

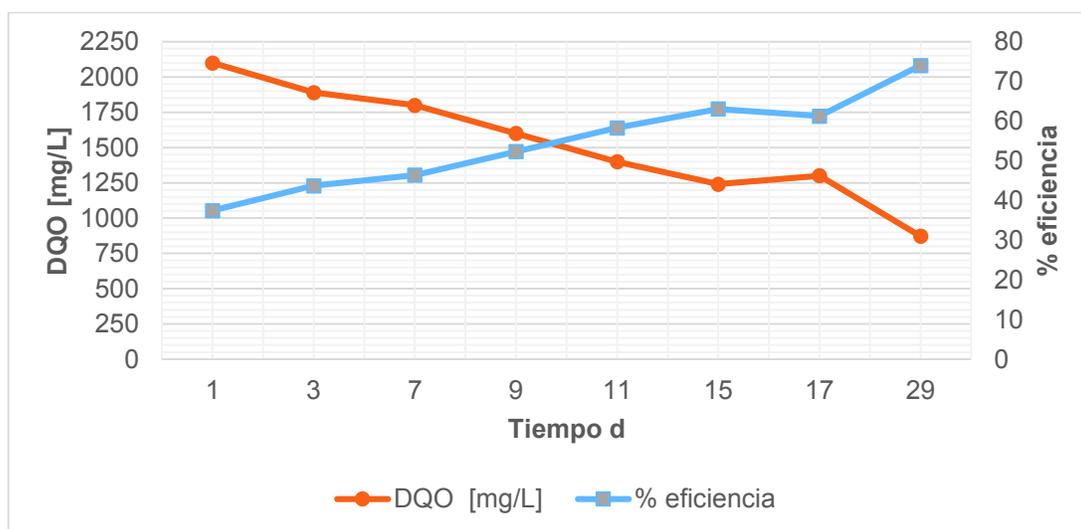
la normativa vigente. Con los resultados que se obtuvieron, se establece que el reactor SBR experimental posee altas eficiencias de remoción con relación a los valores iniciales obtenidos en las descargas realizadas por las curtiembres objeto de estudio. Por consiguiente, estos efluentes están en condiciones para ser descargados al sistema de alcantarillado, pues cumple con la normativa vigente.

5.2.2 REACTOR ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE, UASB

Al igual que el reactor SBR, el reactor UASB contempla una etapa de aclimatación previa al monitoreo. Una vez aclimatados los lodos, se utiliza el mismo influente sometido a tratamiento en el reactor SBR, con un tiempo de retención de 12 h y un caudal 9 L/d.

En la Figura 5.5 se muestra el comportamiento de la DQO desde el 11 de abril hasta el 2 de mayo del 2017 con una duración de 29 días. Se observa que la DQO disminuyó constantemente, más lentamente en comparación con el reactor SBR, ya que en el día 17 se registra un valor de 1300 mg/L y, en el último dato del monitoreo al día 29, se registra un valor de 872 mg/L, valor con el que no se llega a cumplir con el límite máximo permisible de descargas al alcantarillado en una sola etapa. En el Anexo 2, Tabla II.3 se muestra el registro de monitoreo de la DQO.

FIGURA 5.5 COMPORTAMIENTO DQO, REACTOR UASB.

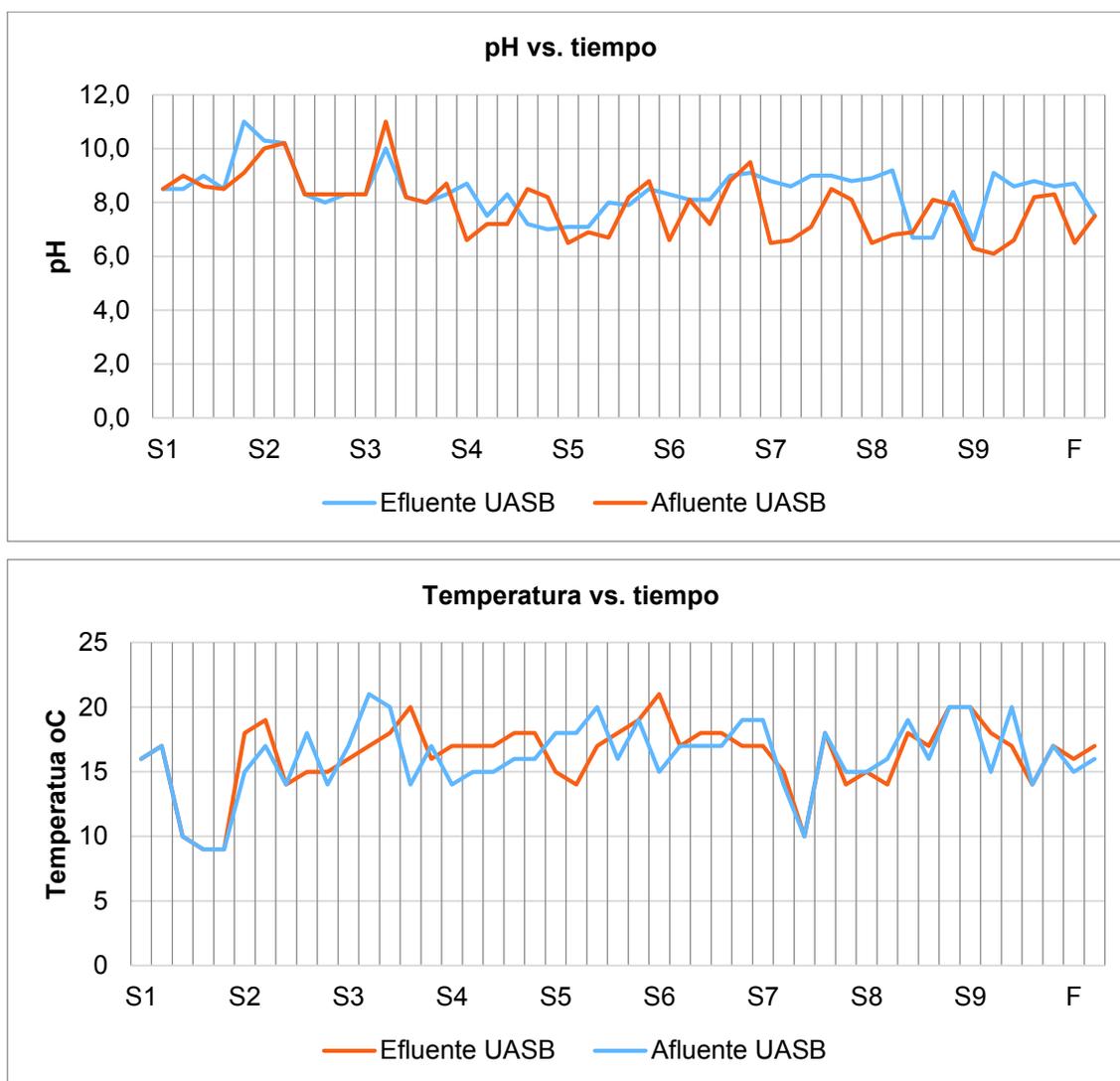


Elaborado por: Daniel Arcos.

En la Figura 5.5 se muestra el porcentaje de eficiencia para la remoción de DQO durante el tiempo de monitoreo, al inicio se tuvo 37 % y posteriormente este valor fue incrementándose hasta llegar a un 74 % de eficiencia de remoción, con lo que no se cumplió con los límites estipulados en la normativa vigente.

Las condiciones bajo las cuales se opera el reactor durante el tiempo de monitoreo respecto a los parámetros de pH y temperatura se incluyen en la Figura 5.6, junto con los valores medidos en el efluente. Las mediciones corresponden al agua residual en el interior de reactor, mismas que se exponen en el Anexo 2, Tabla II.4.

FIGURA 5.6 COMPORTAMIENTO LA TEMPERATURA Y pH.



Elaborado por: Daniel Arcos.

De acuerdo a los datos, la temperatura con la que operó el reactor osciló entre los 9 y 21 °C, con variaciones notorias, esto puede ser un limitante ya que bacterias necesitan una temperatura estable. Se registran ciertas mediciones en donde la temperatura cae por debajo de los 10 °C debido a temporal de lluvias en la región, esto afecta negativamente a la eficiencia del proceso y a las bacterias porque ralentizan su metabolismo. El promedio de temperatura durante el monitoreo fue de 16,3 °C Según Metcalf y Eddy, 2003, el rango de temperatura óptimo para un sistema UASB es de 25 a 40 °C en donde presenta mejores tasas de reacción y proveen rendimientos más estables. Durante el tiempo de monitoreo no se trabajó bajo estos rangos de temperatura, siendo un factor que influyó en el bajo rendimiento del reactor.

Con relación al pH, las mediciones permanecieron en un rango de 6,6 y 11, factor relevante para el desarrollo y crecimiento de la población microbiana. Se dieron variaciones ocasionadas por los procesos que se dan en algunas de las curtiembres en estudio, en donde ciertos días solo realizaban descargas acidas (pelambre) o básicas (curtido). Los resultados de las eficiencias de remoción obtenidas se presentan en la Tabla 5.5, en donde se evidencia que se ha logrado cumplir con los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado, establecidos en el TULSMA.

TABLA 5.5 EFICIENCIA REACTOR UASB Y COMPARACIÓN CON LA NORMA.

Parámetro	Unidad	Antes tratamiento UASB	Después tratamiento UASB	Eficiencia de remoción %	LMP	Verificación
Potencial de hidrogeno	Unidades pH	6,65	8,9	-	5 a 9	Cumple
Sulfuro	mg/L	59,05	0,06	99,8	1	Cumple
Cromo total	mg/L	22,1	12,1	45,2	-	-
Cromo hexavalente	mg/L	0,09	0,08	11,1	0,5	Cumple
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO ₅	mg/L	1983	610,1	69,2	250	No Cumple
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	3357	872,7	74,0	500	No Cumple
Sólidos suspendidos totales	mg/L	432	29	93,28	220	Cumple

Elaborado por: Daniel Arcos.

La DBO₅ con una eficiencia del 69,2% y DQO con 74%, a pesar de que sus eficiencias son altas, los valores obtenidos están fuera de los límites, por consiguiente, estos efluentes no están en condiciones para ser descargados al sistema de alcantarillado, pues no cumplen con la normativa vigente.

La causa de no llegar a los límites establecidos en la normativa a pesar de las altas eficiencias obtenidas puede ser debido al aumento de la concentración de cromo o sulfatos que hacen que se inhiba la actividad metabólica de los microorganismos que se encuentran en el lodo anaerobio. Aun cuando la concentración de cromo disminuyó de 22,1 mg/L a 12,1 mg/L, se puede decir que fue un compuesto inhibidor y se acumuló en el reactor. Para evitar esto, es necesario un adecuado tratamiento primario para eliminar estos compuestos inhibidores antes del tratamiento secundario.

5.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis de los datos obtenidos durante los experimentos con los reactores a escala laboratorio y su discusión de los resultados, se ha realizado tomando en cuenta los porcentajes de eficiencia de remoción para todos los parámetros analizados en los reactores SBR y UASB, así como los tiempos de retención y caudal tratado.

5.3.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO PROPUESTAS

Con base en los resultados que se obtuvieron durante el tiempo de operación de los reactores a escala laboratorio, se determinó que para el reactor SBR se tiene una eficiencia promedio del 75,21% y que el reactor UASB tiene un porcentaje de eficiencia del 65,43%. Se puede afirmar que el tratamiento con el reactor SBR generó mejores resultados.

TABLA 5.6 EFICIENCIA DE REMOCIÓN REACTOR SBR Y UASB.

Parámetro	%Eficiencia de remoción SBR	%Eficiencia de remoción UASB
Potencial de hidrogeno	-	-
Sulfuro	99,9	99,8
Cromo total	54,0	45,2
Cromo hexavalente	27,8	11,1
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅	86,0	69,2
Demanda química de oxígeno, DQO	88,1	74,0
Sólidos suspendidos totales	95,37	93,28

Elaborado por: Daniel Arcos.

El reactor SBR alcanzó remociones de 54% para cromo total y 27,8% para cromo hexavalente. Para este último cabe recalcar que se cumplió con el límite máximo permisible durante el tratamiento primario.

Un estudio realizado por Sproul. et al. 1966, afirma que únicamente al mezclar los efluentes ácidos y básicos de curtiembres en proporciones adecuadas y manteniendo condiciones estables de pH mayor a 8, se puede lograr eficiencias de remoción de cromo alrededor del 88%. Durante el funcionamiento de los reactores no se pudo realizar esta mezcla proporcional de los efluentes, ya que las curtiembres estudiadas mezclan todos sus caudales previos al tratamiento primario y ventajosamente su pH varía entre 7 y 9, aproximándose las condiciones establecidas por Sproul. et al. 1966 para la remoción de cromo, lo que explicaría las altas eficiencias de remoción de cromo tanto en el tratamiento primario que dan las curtiembres mediante la adición de un coagulante como en el tratamiento secundario realizado (reactor SBR).

Con relación al cromo total, la Legislación Ambiental del Ecuador no establece un límite de descarga, sin embargo, los resultados obtenidos muestran una alta eficiencia de remoción del 54%.

La remoción de sulfuros fue de un 99.9% en el reactor SBR y de 99,8% en el reactor UASB, esta elevada remoción de cromo se puede atribuir al excesivo uso de cal en

la etapa de pelambre. Schneider et, al. (2005), afirma que soluciones de hidróxido de calcio (cal) puede oxidar los sulfuros dando porcentajes de eliminación del 80 al 92%, lo que favorecería las condiciones de remoción de cromo y, adicionalmente, esta remoción se ve mejorada con el proceso de coagulación que tiene cada una de las curtiembres en estudio.

Previo a elegir una de las alternativas se toma ciertas consideraciones para la implementación del tratamiento secundario:

- La carga contaminante de las curtiembres en estudio puede variar ampliamente en función de los diferentes procesos del curtido que se realicen durante la semana.
- Los representantes de las curtiembres optan por que la alternativa de tratamiento sea una obra pequeña, sin edificaciones elevadas, preferentemente bajo el suelo.
- Los representantes de las curtiembres necesitan de un tratamiento rápido, eficiente y que principalmente cumplan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa vigente.
- La alternativa de tratamiento debe tener facilidad de construcción e inversiones acordes a la realidad socio económica de la región.

En función de las experiencias con los reactores a escala laboratorio, los análisis realizados y las consideraciones para la planta de tratamiento, en la Tabla 5.7 se muestra una comparativa entre las ventajas y desventajas de las alternativas seleccionadas, de la cual se puede definir que el reactor SBR es la alternativa más idónea para la aplicación práctica.

TABLA 5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALTERNATIVAS.

Ventajas	Desventajas
SBR	
Resistencia y adaptación a variaciones de temperatura	Se requiere de capacitación técnica al personal de operación.
Bajo requerimiento de espacio, diseño compacto.	Alta inversión inicial debido a los sistemas de aireación.

**TABLA 5.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ALTERNATIVAS.
(CONTINUACIÓN)**

Se logra una mayor estabilidad y flexibilidad frente a variaciones de carga orgánica.	No es aplicable a todos los efluentes, ya que hay varios compuestos inhibidores disminuye su eficiencia.
Eficiente eliminación de DQO, DBO ₅ , N, P y nutrientes.	Requiere mayor sofisticación y mantenimiento.
Se puede controlar los microorganismos filamentosos y problemas de sedimentación.	Mayor demanda de energía.
No se requiere de un sedimentador secundario.	
La obra civil no provoca un impacto visual, pueden construir bajo el nivel del suelo.	
Producen de lodos estabilizados.	
Fácil construcción.	
UASB	
Producen de lodos estabilizados.	Se necesita de largos periodos de aclimatación y arranque 1 a 4 meses.
Buena eficiencia a altas cargas hidráulicas y orgánicas.	No es aplicable a todos los efluentes, ya que hay varios compuestos inhibidores que disminuye la eficiencia de la mayoría de las bacterias anaerobias.
Bajo requerimiento de espacio, diseño compacto.	Baja reducción o no elimina patógenos.
Los lodos pueden mantenerse sin alimentación por largos períodos.	Su operación debe ser estrictamente controlada y puede haber alteraciones en su eficiencia.
Bajos consumo energético, de costos, de operación y mantenimiento.	Se puede requerir de un tratamiento posterior.
Producción de metano aprovechable.	Su construcción involucra elevadas alturas de los reactores.
Fácil construcción.	

Elaborado por: Daniel Arcos.

En conclusión, el tratamiento aerobio es la opción más conveniente principalmente por sus buenas eficiencias de remoción y flexibilidad frente a cambios en el caudal o concentración de entrada (algo común en las curtiembres en estudio). De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede afirmar que el reactor UABS no cumple los límites establecidos para la descarga al sistema de alcantarillado, por lo que se opta por el reactor SBR ya que presenta un mayor porcentaje general de remoción y se cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

5.3.2 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

La evaluación económica se realizó con el fin de determinar los costos de inversión, de operación y mantenimiento de las alternativas seleccionadas. Este análisis servirá como un guía de partida para la posible implementación a escala real de una de las dos alternativas estudiadas.

El costo de inversión considera el capital fijo que es el costo requerido o necesario para la construcción de la planta de tratamiento, además, intervienen costos de materiales y mano de obra para la construcción, esto llega a representar entre un 80 a 85% del capital fijo.

Para el análisis de costos se tomó en cuenta el tanque de homogenización, los valores de construcción de los reactores, sus equipos auxiliares y el área requerida. No se tomó en cuenta el costo del tratamiento primario que dan cada una de las curtiembres, por ser costos particulares. Los costos de los diferentes rubros se cotizaron en base a la experiencia con la planta de tratamiento de la “Curtiembre Aldáz”.

5.3.2.1 Reactor Biológico Secuencial, SBR

Los costos de operación y mantenimiento son importantes para definir el gasto de mantener el sistema en funcionamiento, este criterio involucra el análisis de costos de energía, gastos administrativos y de personal, y costo de mantenimiento general. Este análisis se realizó para un mes de operación en el cual se tuvo en cuenta los costos en valor presente de salarios y de energía eléctrica para el sector industrial artesanal.

En la Tabla 5.8 se muestra los costos considerados para la implementación de la planta de tratamiento secundario para los efluentes de las 6 curtiembres en estudio, para un caudal de diseño de 3,9 m³/h.

TABLA 5.8 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Construcción					
Nº	Descripción/rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario \$ + IVA 12%	P. Total
1	Desbroce y limpieza de terreno	m ²	120	1,84	220,8
2	Excavación y conformación de plataformas (0 a 2m)	m ³	140	5,08	711,2
3	Replanteo y nivelación	m ²	100	1,94	194
4	Construcción del reactor	U	1	6000	6000
5	Compresor de aire 2HP	U	2	200	400
6	Motor eléctrico trifásico Potencia 5HP	U	4	400	1600
7	Sistema de control de motores y aireadores (temporizadores)	U	1	3000	3000
8	Conexiones e instalación de equipos	U	1	600	600
9	Señalética y diseño	U	1	250	250
10	Tanque homogeneizador	U	1	700	700
TOTAL					13676,0
Operación y mantenimiento/mes					
11	Operador	U	1	375	375
12	Energía	KW/h	3938	0,072	283,5
13	Asistencia técnica	U	1	100	100
14	Mantenimiento	U	1	50	50
TOTAL					808,5
TOTAL					14484,5

Elaborado por: Daniel Arcos.

5.3.2.2 Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente, UASB

Los costos de operación y mantenimiento son importantes para definir el gasto de mantener el sistema en funcionamiento, este criterio involucró el análisis de costos de energía, gastos administrativos y de personal, y costo de mantenimiento general.

Este análisis se realizó para un mes de operación en el cual se tuvo en cuenta los costos en valor presente de salarios y de energía eléctrica para el sector industrial artesanal.

En la Tabla 5.9 se muestra los costos asumidos para la implementación de la planta de tratamiento secundario para los efluentes de las 6 curtiembres en estudio.

TABLA 5.9 COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Construcción					
Nº	Descripción/rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario \$ + IVA 12%	P. Total
1	Desbroce y limpieza de terreno	m ²	120	1,84	220,8
2	Excavación y conformación de plataformas (0 a 2m)	m ³	140	5,08	711,2
3	Replanteo y nivelación	m ²	100	1,94	194
4	Construcción del reactor	U	1	6000	6000
5	Separador GLS	U	1	800	800
6	Conexiones e instalación de equipos	U	1	600	600
7	Señalética y diseño	U	1	250	250
8	Tanque homogenizador	U	1	700	700
TOTAL					9476
Operación y mantenimiento/mes					
8	Operador	U	1	375	375
9	Energía	KW/h	1800	0,072	129,6
10	Asistencia técnica	U	1	100	100
11	Mantenimiento	U	1	50	50
TOTAL					654,6
TOTAL					10130,6

Elaborado por: Daniel Arcos.

El costo total de inversión para el reactor SBR es de \$ 14484,5 y para el reactor UASB es de \$ 10130,6, que son valores están acorde a la realidad socio económica

de la región. Sin embargo, debe considerarse la necesidad de implementar una unidad de tratamiento adicional en la opción del UASB, debido al incumplimiento de los límites máximos permisibles, lo que ocasionaría un incremento aproximado de \$6000 en su implementación.

Con estos datos, los representantes de las curtiembres quienes tuvieron acceso a una charla para informarlos sobre las ventajas, desventajas, aspectos técnicos y los valores económicos estimados para la posible construcción de la planta de tratamiento con cada una de las alternativas seleccionadas, se inclinan por el reactor SBR como la mejor alternativa de tratamiento para las curtiembres en estudio, pese a su costo mayor en operación y mantenimiento respecto al reactor UASB y por las condiciones presentadas en el numeral 5.3.1.

5.3.3 CONSIDERACIONES PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO

Cada una de las curtiembres en estudio trata sus efluentes a través de un sistema de tratamiento primario para todos los caudales de sus procesos productivos. Una vez tratados, los efluentes presentan características como: color azulado y olor penetrante, con alto contenido de DBO, DQO y concentraciones relativamente altas de cromo, sulfuros y SST. Estos parámetros fueron reducidos para cumplir con la normativa ambiental vigente, mediante las alternativas de tratamiento secundario propuestas. Previo a proponer la mejor alternativa se deberá tener en cuenta algunas consideraciones:

- El caudal de descarga es intermitente, lo que significa que su caudal no es constante y depende de la producción en cada una de las 6 curtiembres.
- Para proponer la mejor alternativa de tratamiento secundario y su pre diseño es importante realizar un dimensionamiento de la planta, caudales de diseño, la ubicación y área de construcción.

5.3.3.1 Ubicación

Una vez que los efluentes de cada una de las 6 curtiembres pasan por su tratamiento primario, estos efluentes son descargados al sistema de alcantarillado

secundario, los cuales confluyen antes de incorporarse al sistema de alcantarillado principal, punto en el cual fueron tomadas las muestras con las que operaron los reactores a escala laboratorio, esto se explica en el punto 4.2.

El punto de muestreo se encuentra ubicado en la parte central del área de influencia de las 6 curtiembres en estudio (Figura 4.1), a 10 m. de este punto ventajosamente se encuentra disponible un terreno baldío con un área de 400 m², en donde se podría realizar la construcción de la planta de tratamiento para las 6 curtiembres involucradas en el presente estudio, dicho terreno pertenece a la Sra. Blanca Sailema que está ubicado cerca de la Curtiembre Cristo del Consuelo (curtiembre 6).

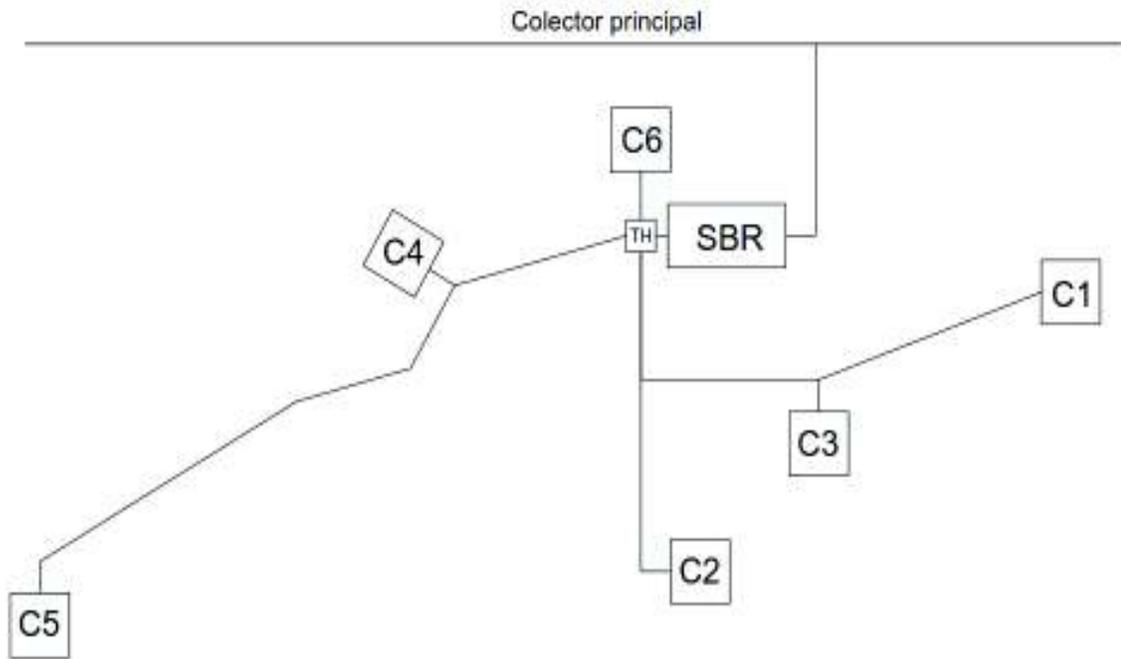
FIGURA 5.7 PUNTO DE MUESTREO Y TERRENO DISPONIBLE PARA LA CONSTRUCCIÓN.



Elaborado por: Daniel Arcos.

El área designada para la planta de tratamiento secundario recibirá los efluentes procedentes del tratamiento primario de cada una de las curtiembres en estudio. El punto de muestreo en donde confluyen todos los efluentes de las 6 curtiembres y el terreno para la construcción de la planta de tratamiento secundario están ubicados como lo indica la Figura 5.7, a una distancia de 10 m entre sí. La propuesta de la distribución de la planta de tratamiento está representada en la Figura 5.8.

FIGURA 5.8 ESQUEMA PARA LA APLICACIÓN DE LA ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO.



TH: Tanque de homogenización

Elaborado por: Daniel Arcos.

5.3.3.2 Determinación del caudal de diseño

Utilizando el método del aforo se calculan los caudales generados por cada una de las 6 curtiembres en estudio, el cual consiste en tomar el tiempo de llenado de un recipiente de 20 litros para posteriormente determinar el volumen durante el tiempo de descarga en cada día de trabajo.

La medición del caudal es indispensable para el posterior diseño de los sistemas de tratamiento, es importante determinar caudales mínimos, máximos y promedios para determinar las condiciones de operación y factores para el dimensionamiento final.

En la Tabla 5.10 se muestra los datos obtenidos para la determinación del caudal del efluente de las curtiembres en estudio.

TABLA 5.10 DETERMINACIÓN DE EFLUENTES DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.

Curtiembre	Lunes			Martes			Miércoles			Jueves			Viernes		
	TI (s)	ti (h)	V (m ³)												
Curtiduría Ángelo	35	4	8,2	37	4	7,8	35	4	8,2	33	4	8,7	36	4	8,0
Curtiduría Manuelito	20	5	18,0	25	6	17,3	14	4	20,6	16	4	18,0	22	5	16,4
Curtiduría Karvin	34	4	8,5	29	3	7,4	34	4	8,5	39	5	9,2	30	3	7,2
Curtiduría Virgen del Cisne	20	5	18,0	22	5	16,4	18	6	26,0	18	6	24,0	23	5	15,7
Curtiduría Moyolema Criollo	27	6	16,0	25	6	17,3	25	6	17,3	22	5	16,4	17	4	16,9
Curtiduría Cristo del Consuelo	31	4	9,3	28	4	10,3	26	4	11,1	40	4	7,2	33	4	8,7
TOTAL			78,0			73,9			91,7			83,5			72,9

Elaborado por: Daniel Arcos.

TI: tiempo de llenado del recipiente de 20 litros, s

Ti: tiempo de descarga de las curtiembres, h

V: volumen generado, m³

Los datos de la Tabla 5.11 corresponden a la medición de los efluentes diarios de las 6 curtiembres, tomadas durante la expulsión de los tanques de remojo, fulones de ribera y curtido y otros procesos que demandan agua. Las 6 curtiembres juntas generan alrededor de 72,9 a 91,7 m³ diarios de aguas residuales. En el Anexo 3 se muestra el procedimiento para determinar el caudal de diseño, para su cálculo se utilizaron los valores de la Tabla 5.10.

TABLA 5.11 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO.

Día	Volumen generado m³	Caudal m³/h
Lunes	79,78	3,32
Martes	79,07	3,29
Miércoles	93,66	3,90
Jueves	89,77	3,74
Viernes	74,38	3,10

Elaborado por: Daniel Arcos.

El caudal promedio es de 3,47 m³/h, mientras que el caudal máximo es de 3,90 m³/h el cual se tomará como caudal de diseño.

Como se dijo anteriormente, la función del agua únicamente es de transporte para que los reactivos se fijen en el cuero, por ende, la cantidad efluentes debería ser similar o parecida a cantidad de agua consumida. Comparando con la cantidad de agua requerida por día para las 6 curtiembres que es de 120 m³/día con la cantidad de efluentes generados que en promedio es de 83,28 m³/día, se evidencia que existe una pérdida de alrededor del 30,6 % de agua con respecto a la cantidad inicial. Estas pérdidas pueden deberse a la absorción en la piel en los diferentes procesos, pérdidas en el sistema de tuberías, fugas, ineficiente manejo de mangueras por parte de los trabajadores, lavado de maquinaria, empozamiento en los talleres, etc.

5.3.3.3 Tanque de homogenización

Las descargas de las curtiembres no son continuas y lo realizan indistintamente durante el día, con el tanque se logrará controlar el caudal que ingresa al tratamiento secundario propuesto. Además de servir como un sistema de amortiguamiento para el posterior tratamiento secundario evitando variaciones de pH producto de la incorporación de los caudales de los efluentes de las 6 curtiembres.

Para tener un caudal constante se diseñó un tanque de homogenización en base al procedimiento descrito por Hummenick, para su cálculo se tomaron los datos de la determinación del caudal de los efluentes generados (Tabla 5.10), la memoria de

cálculo del diseño se encuentra en el Anexo 3. En la Tabla 5.12 se muestra el resumen del cálculo para determinar el volumen del tanque de homogenización.

TABLA 5.12 VOLUMEN DEL TANQUE.

Día	Volumen generado m³	Volumen tanque m³
Lunes	79,78	6,65
Martes	79,07	6,11
Miércoles	93,66	10,01
Jueves	89,77	5,68
Viernes	74,38	10,31

Elaborado por: Daniel Arcos.

Se toma como volumen de diseño el valor máximo determinado durante los cinco días que es 10,31 m³. El dimensionamiento del tanque se lo hace tomando en cuenta el volumen máximo generado y el caudal máximo de descarga. En la tabla 5.13 se muestran los valores con que se realizó el dimensionamiento.

TABLA 5.13 VALORES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE.

Parámetro	Valor
Volumen máximo generado m³	93,66
Caudal máximo m³/h	3,90
Volumen diseño tanque m³	10,31

Elaborado por: Daniel Arcos.

Los parámetros adoptados y el cálculo del dimensionamiento del tanque se muestran en la Tabla 5.14. Se ha sobredimensionado un 20 % el volumen del tanque como margen de seguridad.

TABLA 5.14 PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN.

Parámetro	Valor	Unidad
Parámetros adoptados		
Caudal de diseño	3,90	m ³ /h
Altura	2	m
Volumen	12,37	m ³
Dimensionamiento del tanque		
Área	6,25	m ²
Largo	2,50	m
Ancho	2,50	m

Elaborado por: Daniel Arcos.

El volumen del tanque de homogenización es de 12,37 m³, se adoptará un volumen de 12,5 m³, para fines de construcción. Preferencialmente, el tanque debe ser de hormigón armado, diseñado para soportar la corrosión de sulfatos y sulfuros.

5.3.4 ANÁLISIS TÉCNICO REACTOR SBR

En base a los parámetros utilizados en el diseño del reactor SBR a escala laboratorio, se procedió a realizar un pre diseño a escala real con el fin de hacer un análisis técnico aplicado al tratamiento de los efluentes de las curtiembres en estudio.

El rango de las concentraciones de contaminantes de los efluentes de las 6 curtiembres a ser tratado en el reactor SBR se muestra en la Tabla 5.15.

TABLA 5.15 RANGOS DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES QUE INGRESAN AL REACTOR SBR

Parámetro	Unidad	Rango*	Afluente SBR
Potencial de hidrógeno	Unidades pH	6-9	6,65

TABLA 5.15 RANGOS DE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES QUE INGRESAN AL REACTOR SBR (CONTINUACIÓN)

Sulfuro	mg/L	20 -100	59,05
Cromo	mg/L	10 – 800	22.1
Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅	mg/L	800 – 5000	1983
Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L	1500 – 100	3357
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1000 – 3000	1017

Elaborado por: Daniel Arcos.

*Fuente: Menéndez, 2003.

Para realizar el dimensionamiento del reactor SBR, se consideró el caudal producido por las 6 curtiembres, posterior al tratamiento primario, de 3,90 m³/h. En la Tabla 5.16 se presentan los parámetros que se adoptaron para el diseño del reactor SBR.

TABLA 5.16 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DEL REACTOR SBR A ESCALA REAL

Parámetro	Unidad	Valor adoptado
Caudal (Q)	m ³ /h	3,90
Temperatura	°C	10-20
pH	Unidades de pH	8
SSLM	mg/l	1017
Índice volumétrico de lodos (IVL)	Kg/m	165
DBO (So)	Kg DBO/m ³	1983

Elaborado por: Daniel Arcos.

El dimensionamiento se realizó en base al reactor a escala laboratorio, el volumen del reactor SBR a escala real se calculó con el caudal adoptado de 3,90 m³/h.

Se consideran dos reactores circulares, esto da más flexibilidad al proceso y se puede dar mantenimiento a una unidad mientras la otra opera normalmente, además es necesario mantener un flujo constante, con el fin de que mientras en uno se encuentra en la fase de llenado, el otro esté en la fase de reacción, así:

t_A (reacción o aireación) = 0,21 d

t_S (sedimentación) = 0,03 d

t_V (vaciado) = 0,01 d

$t_F = \text{Tiempo de llenado}$

$$t_F = t_A + t_S + t_V \quad (19)$$

$$t_F = 0,21d + 0,03d + 0,01d$$

$$t_F = 0,25d$$

El tiempo total del ciclo, será:

$TC = \text{Tiempo total ciclo}$

$$TC = t_F + t_A + t_S + t_V \quad (20)$$

$$TC = 0,25d + 0,208d + 0,028d + 0,014d$$

$$TC = 0,5d$$

El número de ciclos por día por tanque ($N_c \text{ tanq}$), está determinado por:

$$N_c \text{ tanq} = 1d / TC \quad (21)$$

$$N_c \text{ tanq} = 1d / 0,5d$$

$$N_c \text{ tanq} = 2 \text{ ciclos/tanque}$$

Como el diseño está enfocado en construir 2 tanques, el Número Total de Ciclos por día (NTC) es:

NT (Tanques a diseñar) = 2

$$\begin{aligned}
 NTC &= NT * Nc \text{ tanque} & (22) \\
 NTC &= 2 \text{ ciclos/tanque} * 2 \text{ tanques} \\
 NTC &= 4 \text{ ciclos/día}
 \end{aligned}$$

El Volumen de llenado (VF), se calcula en función del caudal de diseño y de la cantidad de ciclos por día, así:

Q = 3,9 m³/h

$$\begin{aligned}
 VF &= Q / NTC & (23) \\
 VF &= 3,9 \text{ m}^3/\text{h} / 4 \text{ ciclos/día} \\
 VF &= 23,40 \text{ m}^3/\text{ciclo}
 \end{aligned}$$

La concentración de sólidos suspendidos totales en el volumen sedimentado (SSTs) se calcula en base al Índice Volumétrico de lodos (IVL):

IVL = 165 ml/g

SSTLM (sólidos suspendidos totales en el licor de mezcla) = 1017 mg/l

$$\begin{aligned}
 SSTs &= SSTLM \text{ mg/l} / IVL \text{ l/g} * SSTLM \text{ g/l} & (24) \\
 SSTs &= 1017 \text{ mg/l} / 0,165 \text{ l/g} * 1,017 \text{ g/l} \\
 SSTs &= 6060,61 \text{ mg/l} \\
 SSTs &= 6,06 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

La Fracción de Volúmenes (Vs/V), indica la fracción de volumen total en relación al volumen sedimentado, se la obtiene a través de:

V = Volumen total

Vs = Volumen sedimentado

$$V * SSTLM = Vs * SSTs \quad (25)$$

$$V_s / V = SSTLM / SSTs \quad (26)$$

$$V_s / V = 1017 \text{ mg/l} / 6060,61 \text{ mg/l}$$

$$V_s / V = 0,17 \quad (27)$$

Es necesario tener un rango de seguridad (25 %) por encima de la capa de lodos para evitar que los lodos sean eliminados por el mecanismo de vaciado.

$$V_s / V = 0,17 * 1,25$$

$$V_s / V = 0,21 \quad (28)$$

El volumen del reactor está determinado por:

$$V = VF + V_s \quad (29)$$

Donde:

V=volumen total del tanque

Vs=volumen sedimentado

VF=volumen de llenado

Con la ecuación 28 podemos determinar la fracción de llenado (VF/V) que es la relación entre el volumen total y el volumen de llenado, así:

$$VF = V - V_s$$

$$VF = V - (0,21 V)$$

$$VF = V (1 - 0,21)$$

$$VF = V * 0,79$$

$$VF / V = 0,79 \quad (30)$$

El volumen del reactor está determinado por:

$$V = VF / 0,79 \quad (31)$$

$$V = 23,40 \text{ m}^3/\text{ciclo} / 0,79$$

$$V = 29,60 \text{ m}^3/\text{reactor}$$

El volumen de sedimentación del reactor está determinado por:

$$V_s = V - VF \quad (32)$$

$$V_s = 29,60 \text{ m}^3 - 23,40 \text{ m}^3$$

$$V_s = 6,20 \text{ m}^3/\text{reactor}$$

El tiempo de retención hidráulico (TRH) para cada reactor viene dado por:

$$TRH = NT * V / Q \quad (33)$$

$$TRH = 2 * 29,6 \text{ m}^3 / 3,90 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$TRH = 0,63d$$

$$TRH = 15,82h$$

El volumen de cada reactor es de 29,6 m³, en la tabla 5.17 se muestra el dimensionamiento del reactor SBR.

TABLA 5.17 DIMENSIONES DEL REACTOR SBR.

Dimensión	Unidad	Valor calculado	Valor adoptado
Altura	m	2	2
Radio	m	2,17	2.2
Área Superficial	m ²	14,8	15,2

Elaborado por: Daniel Arcos.

Las características de funcionamiento de cada reactor a escala real están en base al reactor a escala laboratorio, en la tabla 5.18 se resume el funcionamiento del reactor.

TABLA 5.18 FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR SBR.

Parámetro	Valor	Unidad
Duración del ciclo	12	h
Tiempo llenado	360	min
Tiempo aireación	300	min
Tiempo sedimentación	40	min
Tiempo vaciado	20	min
Numero de ciclos	2	Ciclos/d
Volumen de agua tratada	23,40	m ³ /reactor

Elaborado por: Daniel Arcos.

5.3.4.1 Consumo de oxígeno

La cantidad de oxígeno que se introducirá depende de la carga de DBO, de la edad de los lodos y de la temperatura, el rango de concentración de mínimo de oxígeno en el reactor es de 2 mg/L.

La aireación tiene la función de transferir oxígeno y generar, se la realizará mediante un aireador sumergible radial Aqua Turbo AER-SB, el cual por medio de una tubería aspira el aire que luego transmite al agua a través de canales difusores.

$$O_N = Q * S_o * a * 1,5 \quad (34)$$

Donde:

O_N : Oxígeno Necesario, KgO₂ /d

Q : caudal de diseño: 93,6 m³/d

S_o : DBO en la alimentación o entrada al sistema: 1,983 Kg/m³

a : Coeficiente de utilización de oxígeno para la síntesis: 0,79 KgO₂ / Kg DBO₅ eliminado

$$O_N = 46,8 * 1,983 * 0,79 * 1,5$$

$$O_N = 109,97 \text{ KgO}_2 / \text{d}$$

La cantidad de oxígeno que se requiere para degradar la materia orgánica del caudal a ser tratado es de 109,97 KgO₂ /d.

5.3.4.2 Purga de lodos del reactor SBR

El cálculo de la producción de lodos está en función del caudal, de la carga de DBO diaria y de un factor o coeficiente de producción (Y) que especifica la conversión de DBO a SSML. Según Ramalho, (1991) los rangos de Y están entre 0,5 a 0,85 (se adoptará un valor de 0,74 mg de MLSS/mg DBO5).

La carga de sólidos que ingresa al reactor (m_{lodos}) es:

$$m_{\text{lodos}} = Y * Q * S_o \quad (35)$$

Donde:

Q : caudal de diseño: 93,6 m³/d

So: DBO en la alimentación o entrada al sistema: 1,983 Kg/m³

$$m_{\text{lodos}} = 0,74 * 93,6 * 1,983$$

$$m_{\text{lodos}} = 137,35 \text{ kg/día}$$

La masa de sólidos que conforman los lodos ($m_{\text{sólidos lodos}}$) está dado por:

$$m_{\text{sólidos lodos}} = (0,5 * 0,7 * 0,5 * m_{\text{lodos}}) + (0,3 * 0,5 * m_{\text{lodos}}) \quad (36)$$

$$m_{\text{sólidos lodos}} = 44,63 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El volumen diario de lodos digeridos (Vd) se determina por:

$$Vd = \frac{m_{\text{sólidos lodos}}}{\rho_{\text{lodo}} * \% \text{ sólidos}} \quad (37)$$

Donde:

ρ_{lodo} = Densidad del lodo: 1,5 Kg/L

% sólidos = Porcentaje de sólidos (%)

El porcentaje de sólidos se refiere a los sólidos que están presentes en el lodo, y que varían entre el 8 y 12%.

$$Vd = \frac{44,63}{1,5 * 0,12}$$

$$Vd = 247,99 \text{ l/día}$$

El volumen de lodos a extraerse (Vl) está dado por:

$$Vl = \frac{Vd * Td}{1000} \quad (38)$$

Donde:

Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos.

El tiempo de digestión varía según la temperatura, para el presente estudio la temperatura promedio con la cual trabajo el reactor SBR fue de 16 °C, para lo cual Td = 55 días

$$Vl = \frac{247,99 * 55}{1000}$$

$$Vl = 13,64 \text{ m}^3$$

El área total del lecho (Al) de secado está dada por:

$$Al = \frac{Vl}{h} \quad (39)$$

Donde:

h = Profundidad de aplicación: 0,5 m

$$Al = \frac{13,64}{0,5}$$

$$Al = 27,28 \text{ m}^2$$

El área individual de los lechos (A_{il}) de secado está determinada por:

$$A_{il} = \frac{Al}{\# \text{ lechos}} \quad (40)$$

$$A_{il} = \frac{27,28}{4}$$

$$A_{il} = 6,82 \text{ m}^2$$

El diseño dimensionamiento final de los lechos de secado para los dos reactores SBR se muestra en la tabla 5.19.

TABLA 5.19 DIMENSIONES LECHO DE SECADO

Dimensión	Unidad	Valor calculado	Valor adoptado
# Lechos	U	-	4
Área individual lechos	m ²	6,82	7
Altura	M	0,5	0,5
Ancho	M	2	2
Largo	M	3,41	3,5

Elaborado por: Daniel Arcos.

Los lodos purgados del reactor SBR serán dispuestos en lechos de secado previo a su gestión final, dichos lodos serán tratados como residuos peligrosos debido a que tienen cromo y sulfuros. Su disposición final será encargada a gestores autorizados por la autoridad ambiental nacional y se procederá conforme a lo establecido la normativa ambiental vigente.

Una vez realizado el análisis técnico y económico de la alternativa seleccionada, se convocó una reunión con los curtidores involucrados, con los vecinos y personas que de una u otra manera estarían relacionados con la ejecución del presente

proyecto para informarles sobre las ventajas y desventajas de la implementación del Reactor SBR para el tratamiento de sus efluentes, en donde manifestaron su conformidad con relación a la infraestructura, aspectos económicos y su compromiso con el cuidado ambiental, la salud de los ciudadanos y el cumplimiento de las leyes ambientales vigentes.

El predio en donde posiblemente se construirá la planta de tratamiento de aguas residuales se ha utilizado con fines agrícolas, principalmente para el cultivo del maíz, papas o alfalfa y no existe ningún tipo de vegetación propia de la zona. El predio se encuentra ubicado en la parte posterior de la casa de la Sra. Blanca Sailema que está ubicado cerca de la Curtiembre Cristo del Consuelo (Figura 5.7), ventajosamente el lugar de implementación es una zona con terrenos baldíos y cerca de compleja topografía (laderas) por lo cual se reduce al mínimo el impacto sobre la población aleva. Con el fin de reducir o minimizar los posibles impactos que se podrían dar con la implantación del sistema de tratamiento se colocará cerramiento (bloques o concreto) con el fin de aislar posibles ruidos y una barrera verde para reducir posibles olores.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los efluentes provenientes de las 6 curtiembres de la parroquia Picaihua, por su alta carga contaminante y debido a los insumos químicos que emplean en sus procesos, constituye una amenaza a la calidad de vida de la población, a la flora y a la fauna aledaña. Por lo tanto, para la obtención de un efluente adecuado para su descarga al sistema de alcantarillado, es necesario la implementación de un tratamiento previo a su descarga.
- De acuerdo a los análisis realizados a los efluentes líquidos de las 6 curtiembres, se determinó que todos los parámetros críticos e importantes en la caracterización de efluentes de curtiembres se encuentran fuera de la Norma, estos son: el pH, la DQO, la DBO, sólidos suspendidos, cromo total, cromo hexavalente y sulfuros, lo que justifica una inversión en un sistema de depuración de estos efluentes.
- Cada una de las 6 curtiembres involucradas en el estudio cuentan con rejillas como pretratamiento y sistemas de coagulación y floculación como tratamiento primario avanzado, estos sistemas son gestionados de una forma ineficiente y con poco conocimiento técnico de sus procesos, los cuales no son suficientes para cumplir con los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado.
- Se determinó que la dosis óptima de coagulante a ser utilizado en un tratamiento primario avanzado, es de 33,6 mg/l de sulfato de aluminio, la cual presenta una remoción del 99,8 % de cromo y del 37,3 % de DQO.
- Posterior a la fase de aclimatación de la biomasa de los reactores, se realizó el monitoreo de la DQO durante 29 días. El reactor UASB tuvo una eficiencia del 74% mientras que el reactor SBR alcanzó el 88,1 % de eficiencia, esto indica que el tratamiento aerobio presenta mejores condiciones de remoción para este tipo de fluentes.

- En base al análisis económico para el reactor SBR, a pesar de que la inversión inicial es de \$ 13676,0 y el costo mensual por operación y mantenimiento es de transporte es \$ 808,5, constituye una alternativa técnica-económica adecuada para el tratamiento de los efluentes de las 6 curtiembres analizadas en este trabajo.
- El reactor SBR refleja resultados satisfactorios al momento de tratar los efluentes de las 6 curtiembres en estudio, en cuanto a la disminución de DQO y DBO, con este conocimiento, la factibilidad técnico-económica y tomando en cuenta la opinión de los curtidores, se establece como la mejor propuesta de tratamiento para implementarse en el área de influencia de las curtiembres en estudio del barrio La Atarazana de la parroquia Picaihua. La ejecución de esta propuesta de tratamiento implica beneficios ambientales, al evitar que realicen sus descargas a terrenos aledaños evitando también que se afecte la calidad de vida de la población, la flora y la fauna de la zona, además de cumplir con los límites máximos permitidos acorde a la normativa ambiental vigente.
- De acuerdo a los resultados satisfactorios del reactor SBR y en base caracterización de los contaminantes tomados en cuenta en el presente estudio, se puede concluir que dichos efluentes son aptos para su utilización como agua para riego, debido a que la zona en donde se lo implementará es agrícola.

6.2 RECOMENDACIONES

- Los sistemas de tratamiento que posee cada una de las 6 curtiembres en estudio, no son suficientes para la obtención de un efluente apto para la descarga al sistema de alcantarillado. De acuerdo a la caracterización de los efluentes de los sistemas de tratamiento primario avanzado existentes, estos no llegan a cumplir con lo permitido en la normativa. Por lo que se recomienda la aplicación de tratamientos biológicos o secundarios con el fin de cumplir con la normativa establecida.
- Con base en las visitas realizadas durante toda la fase de experimentación del presente estudio, se constató que las curtiembres involucradas realizan

su actividad sin ningún conocimiento técnico. Por lo que se recomienda realizar una gestión integral de sus procesos basados en producción más limpia con el fin de reducir la cantidad de agua y de insumos utilizados, optimizando y mejorado su producción de forma técnica, económica y ambiental.

- Debido a las limitaciones que se presentaron durante la fase experimental, se recomienda hacer todos los análisis de laboratorio necesarios para poder apreciar las fluctuaciones de las diferentes variables involucradas y nos permita conocer con mayor exactitud las variaciones y eficiencias que se utilizaran en el diseño final de la planta de tratamiento.
- Durante la operación del reactor SBR los sólidos obstaculizaban los difusores aire con mucha frecuencia, para evitar esto se recomienda un monitoreo frecuente, limpieza y mantenimiento de las unidades.
- La zona en donde se implementará la planta de tratamiento para las curtiembres en estudio es agrícola, por lo que si se desea utilizar el agua tratada como agua para riego es necesario realizar una caracterización de contaminantes específicos que no se contemplaron en el presente estudio a fin de determinar su calidad y establecer si es apta para dicho de uso.
- Con el fin de reducir o minimizar los posibles impactos se sugiere implementar una barrera verde para reducir posibles olores que afecte a la población aledaña.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alzate, A. y Tobón, O. (2004). Manual Ambiental Sectorial. Proyecto Gestión Ambiental en la Industria de la Curtiembre.
2. ANCE. (2013). Asociación Nacional de Curtidores del Ecuador. Aumento de la producción de curtido (ANCE)
3. CIIU. (2019). Código Internacional Industrial Uniforme. Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas. Serie M, No. 4/Rev. 4.
4. Artiga P, Garrido J, Méndez R. (2003). Alternativas para la optimización del tratamiento biológico de aguas de curtiduría. Tecnología del agua.
5. Artiga P. (2005). Contribución a la mejora del tratamiento biológico de aguas residuales de la industria de curtidos. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Ingeniería Química.
6. Behling E., Caldera Y., Marín J. (2005). Eficiencia de un reactor anaeróbico en el tratamiento del efluente de una tenería. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (DISA), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.
7. Bogado R. (2007). Propuestas para el Tratamiento de Efluentes Industriales. Ecopreneur Paraguay S.A.
8. Bustos, I., (2012). "Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las etapas ribera y curtido para la tenería San José", ESPOCH.
9. CEC-FECUR. (2005). Confederación Española de Curtidores. Libro Blanco: "Estudio estratégico sobre la curtición de la piel en España". Editado por Curtidores Españoles, Elaborado: Competitiveness, 56 p.
10. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), (2003). Guía técnica de producción más limpia para curtiembres. Cámara Nacional de Industrias. Bolivia.
11. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales CNPMLTA. (2004). Sistema de Referenciación Ambiental (SIRAC) para el Sector curtiembre en Colombia, Medellín-Colombia.
12. Centro Nacional de Tecnologías Limpas (CNTL/SENAI-RS), (2003). Produção mais limpa no processamento do couro vacum. Brasil.

13. Cerón, P. (2011). Estudio de un sistema físico - químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre. Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito, Ingeniería Ambiental.
14. Chan, Y. J., Chong M. F., Law, Ch. L., y Hassell, D.G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*.
15. Comisión Nacional del Agua. (2015). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Procesos de Oxidación Bioquímica con Biomasa Suspendida. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México.
16. Durai, G., & Rajasimman, M. (2011). Biological treatment of tannery wastewater - A review. *Journal of environmental science and technology*,
17. Emmer V., del Campo M., et al. (2014). Guía de Producción Más Limpia en el Sector Curtiembres
18. Espíndola, M., & Fernández, G. (1995). Procesos fisicoquímicos que se utilizan para el tratamiento de residuos peligrosos. México D.F, México.
19. Farabegoli G., Carucci A., Majone M., Rolle E. (2004). Biological treatment of tannery wastewater in the presence of chromium. *J Environ Manage*.
20. Fernández P., Seghezzo L. (2015). Diseño de Reactores Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB). Cuaderno Tecnológico N°15. Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional - INENCO, CONICET.
21. HGPT – DGCA, (2016), Informe de Visita Técnica Realizada a Curtiembres en la Parroquia Picaihua. N° de informe DGCA- 095- 2016.
22. Higuera, O., Escalante, H. y Laverde, D., (2005), “Reducción del Cromo Contenido en Efluentes Líquidos de la Industria del Cuero, Mediante un Proceso Adsorción-Desorción con Algas Marinas”, *Scientia et Technica*.
23. Ibarra P. (2004). Estudio de Factibilidad de un Proceso físico - químico para la remoción de carga orgánica, color y turbiedad en aguas residuales de una central de sacrificio. Universidad Nacional de Colombia Departamento de Ingeniería Química, Sede Manizales
24. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). (2003). Reference Document of Best Available Techniques for the tanning of Hides and Skins. Reference Document, European Commission.

25. Kurt, U., Apaydin, O., & Gonullo, T. (2007). Reduction of COD in wastewater from an organized tannery industrial region by Electro-Fenton process. *Journal of Hazardous Materials*, 143, 33-40.
26. La Grega, M., Buckingham, P., & Evans, J. (2001). *Hazardous Waste Management* (2a edición ed.). New York, New York, United States of America: McGraw - Hill.
27. Lorber, K. (2007). Gestión de residuos en la industria de curtido. En Méndez, R., Vidal G., Lorber, K. y Márquez, F. (Ed.). *Producción Limpia en la Industria de Curtiembre* (pp. 63-95). Santiago de Compostela, España: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.
28. Mafla, E., (2015); "Determinación de cromo, plomo y arsénico en aguas del canal de riego Latacunga – Salcedo - Ambato y evaluación de la transferencia de dichos metales a hortalizas cultivadas en la zona; mediante espectrofotometría de absorción atómica". Recuperado de: www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6289/1/T-UCE-0008-P006.pdf
29. Márquez M., Martínez S. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB). Centro Tecnológico Aragón. Laboratorio de Ingeniería Ambiental
30. Mclcalf y Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4^a edition. McGraw-Hill, Inc, New York.
31. Méndez R., Vidal G., Lorber K., & Márquez F. (2007). *Producción Limpia en la Industria de curtiembre* (págs. 97-111). Santiago de Compostela, España.
32. Menéndez, G., (2003), "Guía de Prevención de la Contaminación del Recurso Hídrico, Caracterización y tratamiento de aguas residuales para el Sector de Tenerías". Recuperado de :<http://www.quimicanuclear.org/martinez.pdf>
33. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2009), *Guía Ambiental para la Industria del Curtido y Preparado de Cueros*. Recuperado de: http://slbn.files.wordpress.com/2009/02/guia_ambiental_industria_curtido_y_preparado_de_cueros.pdf
34. Ministerio de Industrias y Productividad, MIPRO. (2013). B092-Sector curtiembre creció. Quito, Ecuador: Ministerio de Industrias y Productividad.
35. Mohini S. & Srivastava R. (2010). Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review. Department of Environmental

- Sciences, G.B. Pant University of Agriculture & Technology, Pantnagar-263 145, Uttarakhand, India.
36. Moncayo G. (2011). Dimensionamiento de Plantas Depuradoras UASB. Grupo Aqualimpia Consultores.
 37. Moreta, M. (2009). Tungurahua eje productivo de la Sierra centro, Revista Líderes, Diario El Comercio Ecuador.
 38. Muñoz, M. (s.f). Tratamientos primarios de los efluentes de pelambre y curtido. paper, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
 39. Murat S, Ates E, Tasli R, Artan N, Orhon D (2002) Sequencing batch reactor treatment of tannery wastewater for carbon and nitrogen removal. *Wat Sci Technol*.
 40. Nazmul, K., Misbahuzzaman, K., Kamruzzaman, A., & Chakrabarty, M. (2011). Efficiency of different coagulants combination for the treatment of tannery effluents: A case study of Bangladesh. *African Journal of Environmental Sciences and Technology*.
 41. Orhon D, Tünay O (1998) Characterization of tannery wastewaters for pretreatment - Selected case studies. *Wat Sci Technol*.
 42. Orozco C., Triviño C., Manrique L., (2014). Arranque de un Reactor UASB para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Condiciones Andino Amazónicas. Universidad Militar Nueva Granada.
 43. Quezada, R., & Varela, E. (s.f). Tratamiento de aguas residuales provenientes la curtiembre. Revisión Bibliográfica, Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba.
 44. Ramalho, R.S. (1991). Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial reverté. Canadá.
 45. Reynolds, K. (2002). Tratamiento de Aguas Residuales en América Latina. Agua Latinoamérica.
 46. Rivela, B., Bornhardt, C., Vidal, G. y Méndez, R. (2010). Caracterización ambiental de una planta de curtidos. En Méndez, R., Vidal, G., Lorber, K. y Márquez, F. (Ed.). *Producción limpia la industria de curtiembre* (pp. 79-95). Santiago de Compostela, España: Servizo de Publicacións e Intercambio Científico.

47. Salas, G., (2005). Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. 8(1). 49-54.
48. Schenk H., Wiemann M. and Hegemann W. (1999) Improvement of anaerobic treatment of tannery beamhouse wastewater by an integrated sulphide elimination process. *Water Science Technology*.
49. Schneider, A., Flores, H., & Guala, M. (2005). Recuperación de sulfuros de efluentes de curtiembre. Paper, Universidad Nacional Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe.
50. Sproul, O., Atkins, P., & Woodard, F. (1966). Investigation on physical and chemical treatment methods for cattleskin tannery wastes. *Water Environment Federation*
51. Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*.
52. Suárez, I., (2012), Gestión Ambiental en una Curtiembre Artesanal. Estudio de Caso Curtiembre "Andaluz". EPN. Quito. Recuperado de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4937/1/CD-4469.pdf>
53. Subramani, T., & Haribalaji, D. (2012). Biodegradation of tannery effluent and designing the reactor clarifier and activated sludge process. *International journal of modern engineering research (IJMER)* , 2 (3), 774-781.
54. Tare, V., Gupta, S., & Bose, P. (2003). Case studies on biological treatment of tannery effluents in India. technical paper, Indian Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Kanpur.
55. Tayupanda, S., (2010). "Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles PUMA", ESPOCH. Riobamba.
56. Tenecota D. (2016). Estudio de la Eficiencia en la Remoción de DQO Mediante Reactores Anaerobios UASB en Zonas Frías Andinas. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Quito.
57. TULSMA. (2015). Norma de Calidad Ambiental: Recurso Agua. Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental, Libro VI, Anexo I.

58. Umaña, R. (2011). Tratamiento de aguas 110roceso110s de industria de curtiembre mediante lodos activados. (1ra. Ed.) Saarbrucken, Alemania: Editorial Académica Española.
59. Unido. (2011). What every tanner should know about effluent treatment. Introduction to treatment of tannery effluents (pp. 1-67). Vienna, Austria: United Nations Industrial Development Organization.
60. Universidad de Santiago de Compostela. (2007). Producción limpia en la industria de curtiembre
61. Van Haandel, A. C. y Lettinga, G. (1994). Influence of Retention Time on the Performance of the UASB-reactor for Sewage Treatment. 7th International Symposium on Anaerobic Digestion.
62. Van Lier J., F. Van Der Zee, N. Tan, S. Rebac Y R. Kleerebezem. (2001). Advances in high-rate anaerobic treatment: staging of reactor systems. Water Science Technology.
63. UASB Aqualimpia. (2011). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos. Recuperado de <http://www.aqualimpia.com/PDF/UASB%20Ventajas.pdf>

ANEXOS

**ANEXO No 1: INFORMES DE LABORATORIO LACQUANALISIS
S.A**

ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES CUANDO NO SE REALIZO EL TRATAMIENTO PRIMARIO




*Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables.
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN: Nº OAE LE C 13-030	DATOS DEL CLIENTE		Versión: 9
	CLIENTE:		Pág. 1 de 1
	REPRESENTANTE:	Sr. Daniel Arcos	Código: REG TEC 018
	DIRECCION:	Parroquia Montalvo	Fecha formato: 20/05/2017
	TELEFONO:		NUMERO DE INFORME:
	CELULAR:	099 558 0320	LACQUA 17-11860
e-mail:	darcos25@gmail.com		

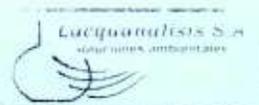
CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 51	TEM. AMBIENTE(°C): 19
--------------------------------	------------------------	------------------------------

TIPO DE MUESTRA:	Agua Entrada Planta de Tratamiento Primario	FECHA TOMA DE MUESTRA:	29 de mayo de 2017
RESPONSABLE MUESTRO:	Cliente		
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual		
FECHA DE ANALISIS:	Desde el 30 de mayo al 01 de junio de 2017		
FECHA EMISION DE INFORME:	01 de junio de 2017		

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	1017	PRO TEC 029 / HACH 8006	± 20,26 %
Sulfuros*	mg/l	66,249	PRO TEC 042 / HACH 8131	± 4,74 %

* Parámetro acreditado
 ** Parámetro No acreditado
 *** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
 **** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:  Ing. Marcelo Tirado ANALISTA		 Dr. Harold Jiménez DIRECTOR TECNICO
---	---	---

NOTA:
 El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 202, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
 Teléfono Móvil: 09-5363620 - info@lacquanalisis.com
 Ambato, Ecuador - Sud América

ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES CUANDO SE REALIZO EL TRATAMIENTO PRIMARIO

Lacquanálisis S.A.
soluciones ambientales

Contribuimos con la protección ambiental
Contribuimos con la protección ambiental

*Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio certificados
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAS CON ACREDITACIÓN Nº OAS 12 C 11-030	DATOS DEL CLIENTE		Versión: 9
	CLIENTE:	-----	Pág. 1 de 1
	REPRESENTANTE:	Sr. Daniel Arcos	Código: REG TEC 018
	DIRECCIÓN:	Parroquia Montalvo	Fecha formato: 20/03/2017
	TELEFONO:		NUMERO DE INFORME:
CELULAR:	099 558 0320	LACQUA	17-11861
e-mail:	darcos200@gmail.com		

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 51	TEM. AMBIENTE(°C): 19
-------------------------	-----------------	-----------------------

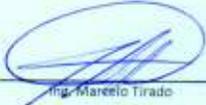
TIPO DE MUESTRA: Agua Salida Planta de Tratamiento
RESPONSABLE MUESTREO: Cliente
TIPO DE TOMA DE MUESTRA: Puntual
FECHA DE ANALISIS: Desde el 30 de mayo al 01 de junio de 2017
FECHA EMISION DE INFORME: 01 de junio de 2017
FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de mayo de 2017

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	432	PRO TEC 029 / HACH 8006	± 20,26 %
Sulfuros*	mg/l	59,053	PRO TEC 042 / HACH 8131	± 4,74 %

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance
** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:


Ing. Marcelo Tirado
ANALISTA


Dr. Harold Jiménez
DIRECTOR TECNICO

NOTA:
El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 202, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono Móvil: 09-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América

ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES DEL REACTOR SBR




"Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables."
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN Nº OAE LC 11-010	DATOS DEL CLIENTE		Versión: 9
	CLIENTE:	-----	Pág.: 1 de 1
	REPRESENTANTE:	Sr. Daniel Arcos	Código: REG TEC 018
	DIRECCION:	Parroquia Montalvo	Fecha formato: 20/03/2017
	TELEFONO:		NUMERO DE INFORME:
	CELULAR:	099 558 0320	LACQUA 1 7 1 8 el 3
e - mail:	darcos200@gmail.com		

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 51	TEM. AMBIENTE(°C): 19
--------------------------------	------------------------	------------------------------

TIPO DE MUESTRA:	Agua Salida Reactor SBR		
RESPONSABLE MUESTREO:	Cliente	FECHA TOMA DE MUESTRA:	29 de mayo de 2017
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual		
FECHA DE ANALISIS:	Desde el 30 de mayo al 01 de junio de 2017		
FECHA EMISION DE INFORME:	01 de junio de 2017		

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Sólidos Suspendedos Totales	mg/l	20	PRO TEC 029 / HACH 8006	± 20,26 %
Sulfuros*	mg/l	0,050	PRO TEC 042 / HACH 8131	± 4,74 %

* Parámetro acreditado
 ** Parámetro No acreditado
 *** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
 **** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:



Ing. Márcelo Tirado
ANALISTA





Dr. Harold Jiménez
DIRECTOR TECNICO

NOTA:
 El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 202, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo.
 Teléfono Móvil: 09-5363620 - info@lacquanalisis.com
 Ambato, Ecuador - Sud América

ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES DEL REACTOR UASB




Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables.
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN Nº OAE LE C 11-010	DATOS DEL CLIENTE		Versión: 9
	CLIENTE:	*****	Pág. 1 de 1
	REPRESENTANTE:	Sr. Daniel Arcos	Código: REG TEC 018
	DIRECCIÓN:	Parroquia Montalvo	Fecha formato: 20/03/2017
	TELÉFONO:		NUMERO DE INFORME:
	CELULAR:	099 558 0320	LACQUA 1 7 1 8 6 3
e-mail:	darcos205@gmail.com		

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 51	TEM. AMBIENTE[°C]: 19
-------------------------	-----------------	-----------------------

TIPO DE MUESTRA: Agua Salida Reactor UASB
 RESPONSABLE MUESTREO: Cliente
 TIPO DE TOMA DE MUESTRA: Puntual
 FECHA DE ANÁLISIS: Desde el 30 de mayo al 01 de junio de 2017
 FECHA EMISIÓN DE INFORME: 01 de junio de 2017
 FECHA TOMA DE MUESTRA: 29 de mayo de 2017

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	29	PRO TEC 029 / HACH 8006	± 20,26 %
Sulfuros*	mg/l	0,060	PRO TEC 042 / HACH 8131	± 4,74 %

* Parámetro acreditado fuera del alcance
 ** Parámetro No acreditado
 *** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
 **** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A

PERSONAL RESPONSABLE:



Ing. Marcelo Tirado
ANALISTA





Dr. Harold Jiménez
DIRECTOR TECNICO

NOTA:
 El informe sólo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 202, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
 Teléfono Móvil: 09-5363620 : info@lacquanalisis.com
 Ambato, Ecuador - Sud América

ANEXO No 2: REGISTRO DE MONITOREO

TABLA II.1 REGISTRO DEL MONITOREO DE DQO PARA EL REACTOR SBR.

Sem.	SBR			
	Fecha	Día	DQO [mg/L]	% eficiencia
	11/04/2017	1	1400	58
	12/04/2017	2		
	13/04/2017	3	1350	60
	14/04/2017	4		
S2	10/04/2017	7	980	71
	11/04/2017	8		
	12/04/2017	9	740	78
	13/04/2017	10		
	14/04/2017	11	630	81
S3	17/04/2017	14		
	18/04/2017	15	680	80
	19/04/2017	16		
	20/04/2017	17	520	85
	21/04/2017	18		
S4	24/04/2017	21		
	25/04/2017	22		
	26/04/2017	23		
	27/04/2017	24		
	28/04/2017	25		
S5	01/05/2017	28		
	02/05/2017	29	400	88

TABLA II.2 REGISTRO DEL MONITOREO DE TEMPERATURA Y PH DEL REACTOR SBR.

Sem.	SBR		
	Fecha	pH	Temperatura [°C]
S1	27/03/2017	8,5	16
	28/03/2017	9,1	17
	29/03/2017	8,6	10
	30/03/2017	9,0	9
	31/03/2017	7,6	9
S2	03/04/2017	8,2	14
	04/04/2017	10,1	17
	05/04/2017	7,9	14
	06/04/2017	7,8	16
	07/04/2017	8,2	15
S3	10/04/2017	8,2	15
	11/04/2017	11,0	16
	12/04/2017	8,2	18
	13/04/2017	8,2	21
	14/04/2017	8,2	15
S4	17/04/2017	7,9	15
	18/04/2017	7,9	16
	19/04/2017	7,9	17
	20/04/2017	7,9	18
	21/04/2017	6,9	16
S5	24/04/2017	8,5	17
	25/04/2017	7,6	15
	26/04/2017	7,6	17
	27/04/2017	7,6	15
	28/04/2017	7,6	18
S6	01/05/2017	8,3	19
	02/05/2017	8,1	17
	03/05/2017	8,5	18
	04/05/2017	8,3	17
	05/05/2017	8,1	18
S7	08/05/2017	8,4	17
	09/05/2017	8,6	15
	10/05/2017	9,0	9
	11/05/2017	9,0	17
	12/05/2017	8,8	14

TABLA II.2 REGISTRO DEL MONITOREO DE TEMPERATURA Y PH DEL REACTOR SBR (CONTINUACIÓN)

S8	15/05/2017	8,9	13	
	16/05/2017	7,8	14	
	17/05/2017	7,5	17	
	18/05/2017	7,4	17	
	19/05/2017	8,1	21	
S9	22/05/2017	7,0	19	
	23/05/2017	8,5	17	
	24/05/2017	8,5	19	
	25/05/2017	9,1	15	
	26/05/2017	8,8	18	
F	29/05/2017	8,8	15	
	30/05/2017	8,8	16	

**TABLA II.3 REGISTRO DEL MONITOREO DE DQO PARA EL REACTOR
UASB.**

Sem.	UASB			
	Fecha	Dia	DQO [mg/L]	% eficiencia
	11/04/2017	1	2100	37
	12/04/2017	2		
	13/04/2017	3	1890	44
	14/04/2017	4		
S2	10/04/2017	7	1800	46
	11/04/2017	8		
	12/04/2017	9	1600	52
	13/04/2017	10		
	14/04/2017	11	1400	58
S3	17/04/2017	14		
	18/04/2017	15	1240	63
	19/04/2017	16		
	20/04/2017	17	1300	61
	21/04/2017	18		
S4	24/04/2017	21		
	25/04/2017	22		
	26/04/2017	23		
	27/04/2017	24		
	28/04/2017	25		
S5	01/05/2017	28		
	02/05/2017	29	872	74

TABLA II.4 REGISTRO DEL MONITOREO DE TEMPERATURA Y PH DEL REACTOR UASB.

Sem.	UASB		
	Fecha	pH	Temperatura [°C]
S1	27/03/2017	8,5	16
	28/03/2017	8,5	17
	29/03/2017	9,0	10
	30/03/2017	8,5	9
	31/03/2017	11,0	9
S2	03/04/2017	10,3	18
	04/04/2017	10,2	19
	05/04/2017	8,3	14
	06/04/2017	8,0	15
	07/04/2017	8,3	15
S3	10/04/2017	8,3	16
	11/04/2017	10,0	17
	12/04/2017	8,2	18
	13/04/2017	8,0	20
	14/04/2017	8,3	16
S4	17/04/2017	8,7	17
	18/04/2017	7,5	17
	19/04/2017	8,3	17
	20/04/2017	7,2	18
	21/04/2017	7,0	18
S5	24/04/2017	7,1	15
	25/04/2017	7,1	14
	26/04/2017	8,0	17
	27/04/2017	7,9	18
	28/04/2017	8,5	19
S6	01/05/2017	8,3	21
	02/05/2017	8,1	17
	03/05/2017	8,1	18
	04/05/2017	9,0	18
	05/05/2017	9,1	17
S7	08/05/2017	8,8	17
	09/05/2017	8,6	15
	10/05/2017	9,0	10
	11/05/2017	9,0	18
	12/05/2017	8,8	14

TABLA II.4 REGISTRO DEL MONITOREO DE TEMPERATURA Y PH DEL REACTOR UASB (CONTINUACIÓN).

S8	15/05/2017	8,9	15
	16/05/2017	9,2	14
	17/05/2017	6,7	18
	18/05/2017	6,7	17
	19/05/2017	8,4	20
S9	22/05/2017	6,6	20
	23/05/2017	9,1	18
	24/05/2017	8,6	17
	25/05/2017	8,8	14
	26/05/2017	8,6	17
F	29/05/2017	8,7	16
	30/05/2017	7,5	17

**ANEXO No 3: MEMORIA DE CÁLCULO TANQUE DE
HOMOGENIZACIÓN**

TABLA III.1 REGISTRO DEL CAUDAL DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO Y DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN PARA EL TANQUE DE HOMOGENIZACIÓN.

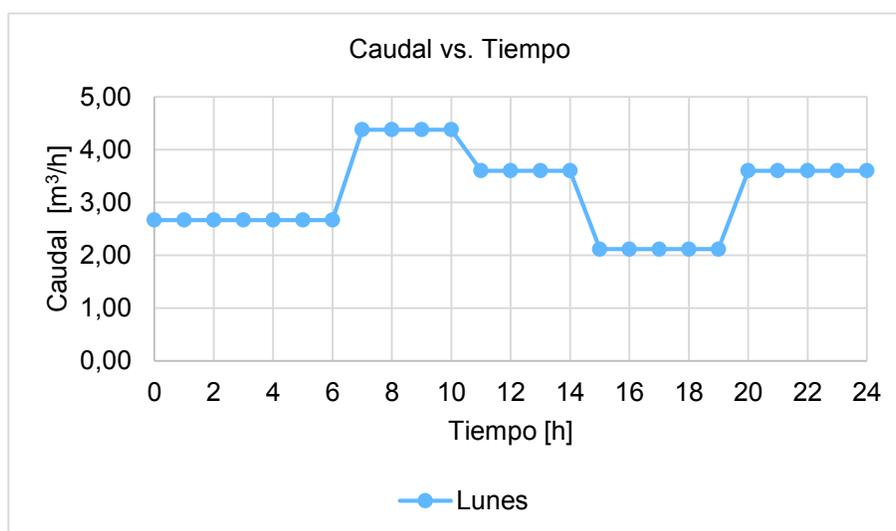
a) Lunes

Determinación de caudal generado por cada curtiembre, método del aforo.

Curtiembre	Intervalo de descarga h	Duración de la descarga h	Volumen recipiente l	Tiempo de llenado recipiente s	Caudal m ³ /h
C1	6-10	4	20	35	2,06
C2	10-15	5		20	3,60
C3	15-19	4		34	2,12
C4	19-24	5		20	3,60
C5	24-6	6		27	2,67
C6	6-10	4		31	2,32

Distribución horaria del caudal

Tiempo h	Caudal m ³ /h
0	2,67
1	2,67
2	2,67
3	2,67
4	2,67
5	2,67
6	2,67
7	4,38
8	4,38
9	4,38
10	4,38
11	3,60
12	3,60
13	3,60
14	3,60
15	2,12
16	2,12
17	2,12
18	2,12
19	2,12
20	3,60
21	3,60
22	3,60
23	3,60
24	3,60



Determinación del caudal medio.

Tiempo	Área bajo la curva	Volumen total diario m ³	Volumen acumulado m ³
h			
0	A0	0	0
6	A1	16,00	16,00
7	A2	3,52	19,52
10	A3	13,14	32,66
11	A4	4,77	37,43
14	A5	10,80	48,23
15	A6	4,34	52,57
19	A7	8,47	61,04
20	A8	4,34	65,38
24	A9	14,40	79,78

Volumen total diario m ³	79,78
Caudal promedio m ³ /h	3,32

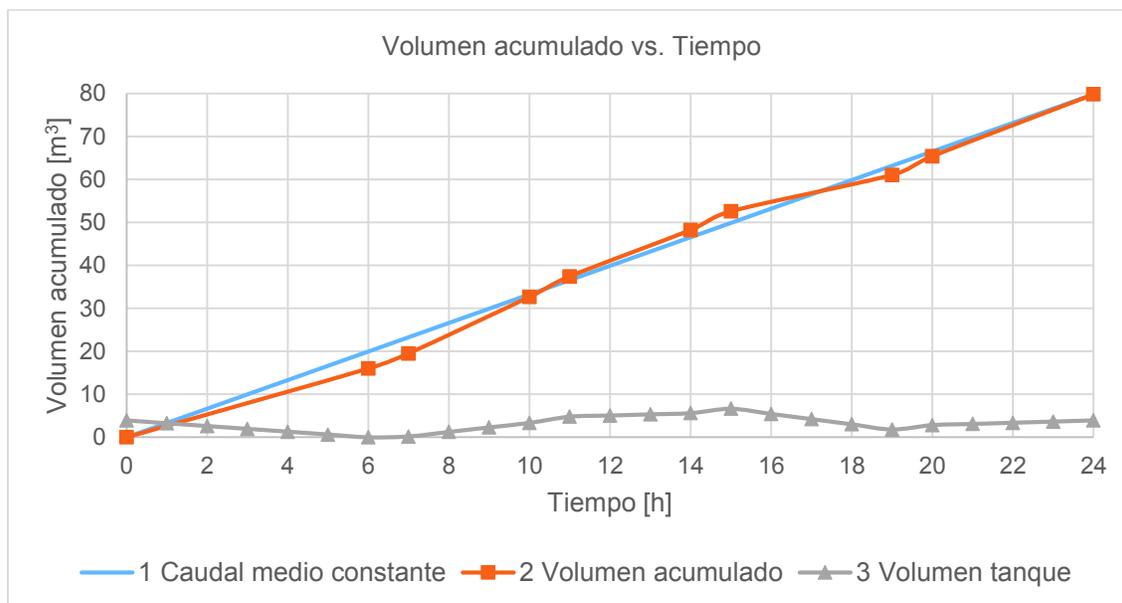
Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick

Descarga h	1	2	a	3
	Volumen recta m ³	Volumen acumulado m ³	(2) - (3) m ³	(máx. +) - a
0	0,00	0	0,00	3,95
1	3,32	2,67	0,66	3,29
2	6,65	5,33	1,32	2,63
3	9,97	8,00	1,97	1,97
4	13,30	10,67	2,63	1,32
5	16,62	13,33	3,29	0,66
6	19,95	16,00	3,95 (máx. +)	0,00
7	23,27	19,52	3,75	0,20
8	26,59	23,90	2,69	1,25
9	29,92	28,28	1,64	2,31
10	33,24	32,66	0,58	3,36
11	36,57	37,43	-0,86	4,81
12	39,89	41,03	-1,14	5,09
13	43,22	44,63	-1,42	5,36
14	46,54	48,23	-1,69	5,64
15	49,87	52,57	-2,71 (máx. -)	6,65
16	53,19	54,69	-1,50	5,45

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick (CONTINUACIÓN)

17	56,51	56,81	-0,29	4,24
18	59,84	58,93	0,91	3,03
19	63,16	61,04	2,12	1,83
20	66,49	65,38	1,10	2,84
21	69,81	68,98	0,83	3,12
22	73,14	72,58	0,55	3,39
23	76,46	76,18	0,28	3,67
24	79,78	79,78	0,00	3,95

Volumen del tanque de homogenización m ³	6,65
---	------



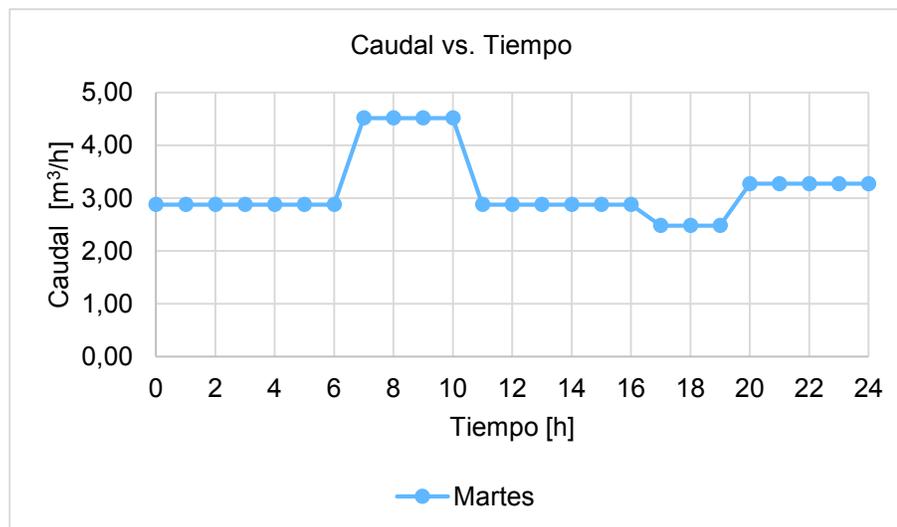
a) Martes

Determinación de caudal generado por cada curtiembre, método del aforo.

Curtiembre	Intervalo de descarga h	Duración de la descarga h	Volumen recipiente l	Tiempo de llenado recipiente s	Caudal m ³ /h
C1	6-10	4	20	37	1,95
C2	10-16	6		25	2,88
C3	16-19	3		29	2,48
C4	19-24	5		22	3,27
C5	24-6	6		25	2,88
C6	6-10	4		28	2,57

Distribución horaria del caudal

Tiempo h	Caudal m ³ /h
0	2,88
1	2,88
2	2,88
3	2,88
4	2,88
5	2,88
6	2,88
7	4,52
8	4,52
9	4,52
10	4,52
11	2,88
12	2,88
13	2,88
14	2,88
15	2,88
16	2,88
17	2,48
18	2,48
19	2,48
20	3,27
21	3,27
22	3,27
23	3,27
24	3,27



Determinación del caudal medio

Tiempo h	Área bajo la curva	Volumen total diario m ³	Volumen acumulado m ³
0	A0	0	0
6	A1	17,28	17,28
7	A2	3,70	20,98
10	A3	13,55	34,53
11	A4	5,34	39,87
14	A5	14,40	54,27
15	A6	3,08	57,35
19	A7	4,97	62,31
20	A8	3,67	65,98
24	A9	13,09	79,07

Volumen total diario m ³	79,07
Caudal promedio m ³ /h	3,29

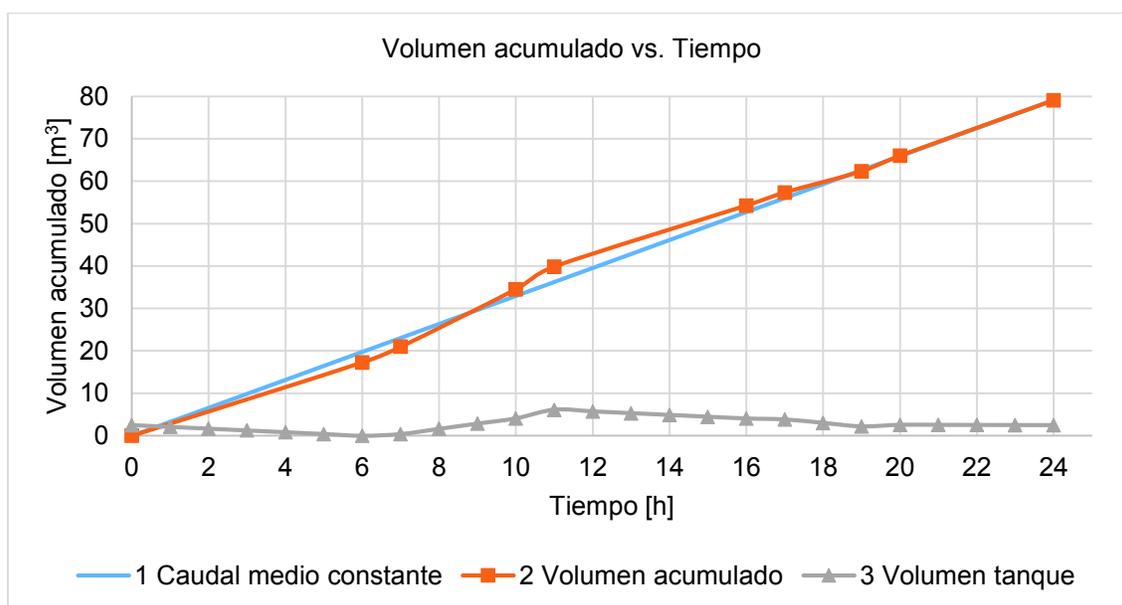
Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick

Descarga h	1	2	a	3
	Volumen recta m ³	Volumen acumulado m ³	(2) - (3) m ³	(máx. +) - a
0	0,00	0	0,00	2,49
1	3,29	2,88	0,41	2,07
2	6,59	5,76	0,83	1,66
3	9,88	8,64	1,24	1,24
4	13,18	11,52	1,66	0,83
5	16,47	14,40	2,07	0,41
6	19,77	17,28	2,49 (máx. +)	0,00
7	23,06	20,98	2,08	0,40
8	26,36	25,50	0,86	1,63
9	29,65	30,01	-0,36	2,85
10	32,95	34,53	-1,59	4,07
11	36,24	39,87	-3,63	6,11
12	39,53	42,75	-3,21	5,70
13	42,83	45,63	-2,80	5,28
14	46,12	48,51	-2,38	4,87
15	49,42	51,39	-1,97	4,46
16	52,71	54,27	-1,55	4,04
17	56,01	57,35	-1,34	3,83

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick (CONTINUACIÓN)

18	59,30	59,83	-0,53	3,01
19	62,60	62,31	0,29	2,20
20	65,89	65,98	-0,09	2,57
21	69,19	69,25	-0,07	2,55
22	72,48	72,52	-0,04	2,53
23	75,78	75,80	-0,02	2,51
24	79,07	79,07	0,00	2,49

Volumen del tanque de homogenización m³	6,11
---	-------------



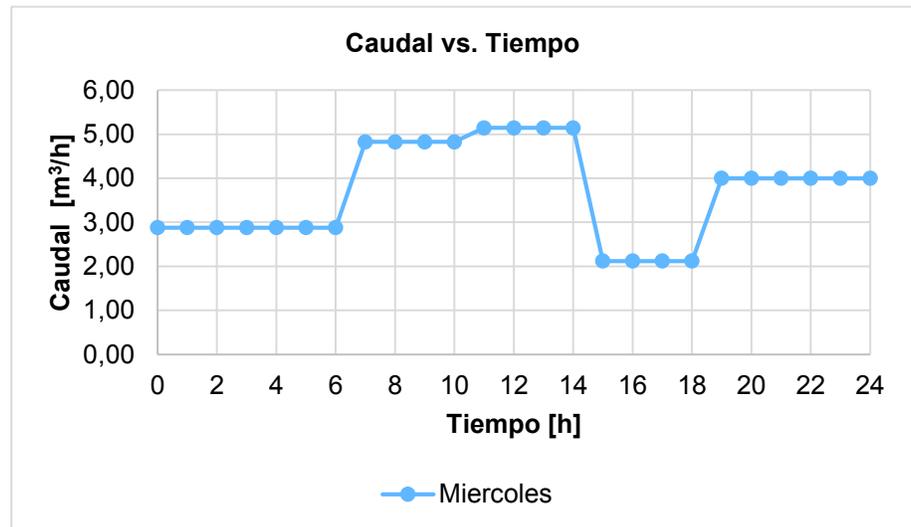
a) Miércoles

Determinación de caudal generado por cada curtiembre, método del aforo.

Curtiembre	Intervalo de descarga h	Duración de la descarga h	Volumen recipiente l	Tiempo de llenado recipiente s	Caudal m ³ /h
C1	6-10	4	20	35	2,06
C2	10-14	4		14	5,14
C3	14-18	4		34	2,12
C4	18-24	6		18	4,00
C5	24-6	6		25	2,88
C6	6-10	4		26	2,77

Distribución horaria del caudal

Tiempo h	Caudal m ³ /h
0	2,88
1	2,88
2	2,88
3	2,88
4	2,88
5	2,88
6	2,88
7	4,83
8	4,83
9	4,83
10	4,83
11	5,14
12	5,14
13	5,14
14	5,14
15	2,12
16	2,12
17	2,12
18	2,12
19	4,00
20	4,00
21	4,00
22	4,00
23	4,00
24	4,00



Determinación del caudal medio

Tiempo h	Área bajo la curva	Volumen total diario m ³	Volumen acumulado m ³
0	A0	0	0
6	A1	17,28	17,28
7	A2	3,85	21,13
10	A3	14,48	35,61
11	A4	4,67	40,28
14	A5	15,43	55,71
15	A6	6,66	62,36
19	A7	6,35	68,72
20	A8	4,94	73,66
24	A9	20,00	93,66

Volumen total diario m ³	93,66
Caudal promedio m ³ /h	3,90

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick

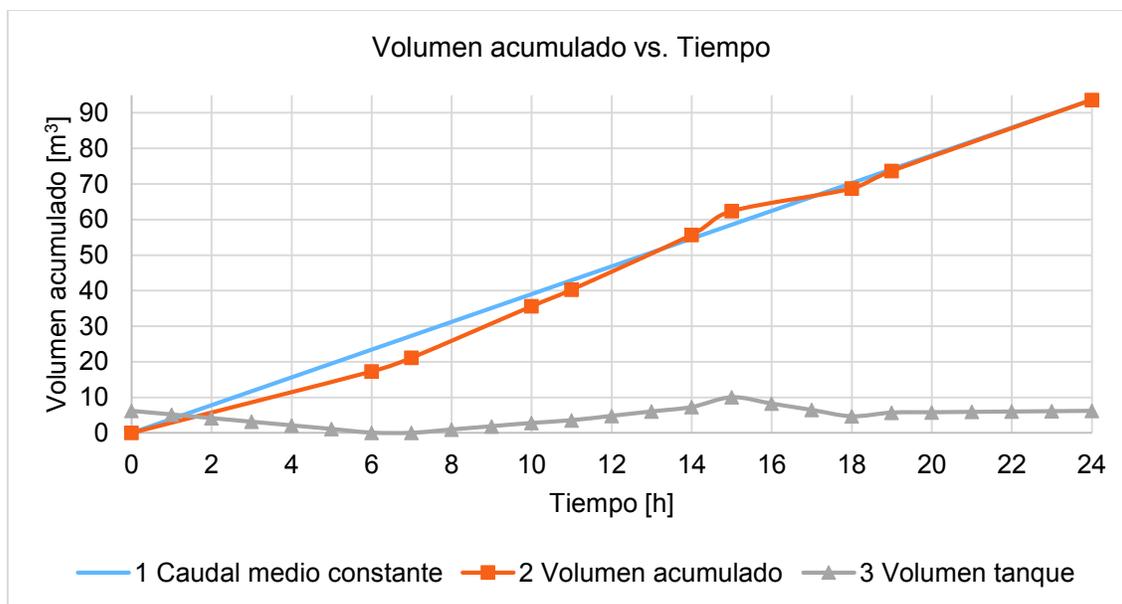
Descarga h	1	2	a	3
	Volumen recta m ³	Volumen acumulado m ³	(2) - (3) m ³	(máx. +) - a
0	0,00	0	0,00	6,18
1	3,90	2,88	1,02	5,16
2	7,80	5,76	2,04	4,14
3	11,71	8,64	3,07	3,12
4	15,61	11,52	4,09	2,09
5	19,51	14,40	5,11	1,07
6	23,41	17,28	6,13	0,05
7	27,32	21,13	6,18 (máx. +)	0,00
8	31,22	25,96	5,26	0,92
9	35,12	30,79	4,34	1,85
10	39,02	35,61	3,41	2,77
11	42,93	40,28	2,65	3,54
12	46,83	45,42	1,41	4,78
13	50,73	50,57	0,17	6,02

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick (CONTINUACIÓN)

14	54,63	55,71	-1,07	7,26
15	58,54	62,36	-3,83	10,01
16	62,44	64,48	-2,04	8,23
17	66,34	66,60	-0,26	6,44
18	70,24	68,72	1,53	4,66
19	74,15	73,66	0,49	5,70
20	78,05	77,66	0,39	5,79
21	81,95	81,66	0,29	5,89
22	85,85	85,66	0,20	5,99
23	89,76	89,66	0,10	6,09
24	93,66	93,66	0,00	6,18

Volumen del tanque de
homogenización m³

10,01



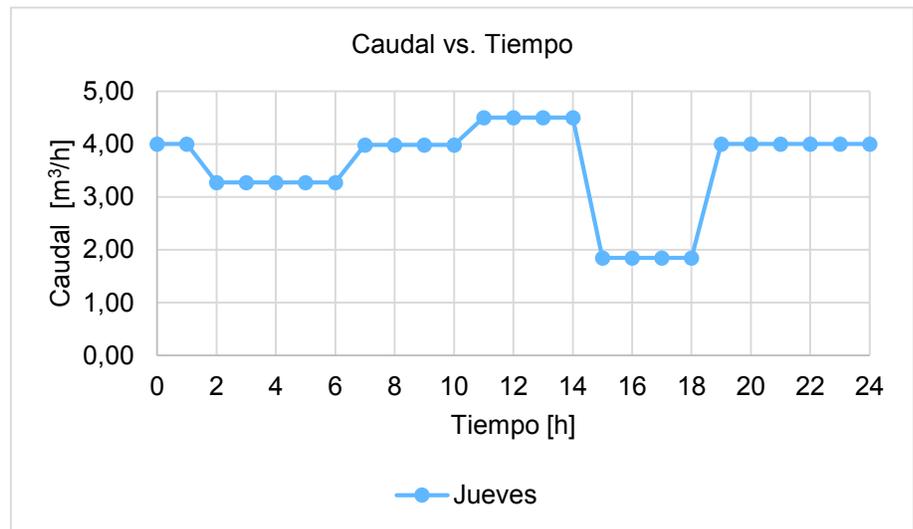
a) Jueves

Determinación de caudal generado por cada curtiembre, método del aforo.

Curtiembre	Intervalo de descarga h	Duración de la descarga h	Volumen recipiente l	Tiempo de llenado recipiente s	Caudal m ³ /h
C1	6-10	4	20	33	2,18
C2	10-14	4		16	4,50
C3	14-19	5		39	1,85
C4	19-1	6		18	4,00
C5	1-6	5		22	3,27
C6	6-10	4		40	1,80

Distribución horaria del caudal

Tiempo h	Caudal m ³ /h
0	4,00
1	4,00
2	3,27
3	3,27
4	3,27
5	3,27
6	3,27
7	3,98
8	3,98
9	3,98
10	3,98
11	4,50
12	4,50
13	4,50
14	4,50
15	1,85
16	1,85
17	1,85
18	1,85
19	4,00
20	4,00
21	4,00
22	4,00
23	4,00
24	4,00



Determinación del caudal medio

Tiempo	Área bajo la curva	Volumen total diario m ³	Volumen acumulado m ³
h			
0	A0	0	0
1	A1	4,00	4,00
2	A2	3,64	7,64
6	A3	13,09	20,73
7	A4	2,92	23,65
10	A5	11,95	35,59
11	A6	4,24	39,83
14	A7	13,50	53,33
15	A8	5,83	59,16
18	A9	5,54	64,70
19	A10	5,08	69,77
24	A11	20,00	89,77

Volumen total diario m ³	89,77
Caudal promedio m ³ /h	3,74

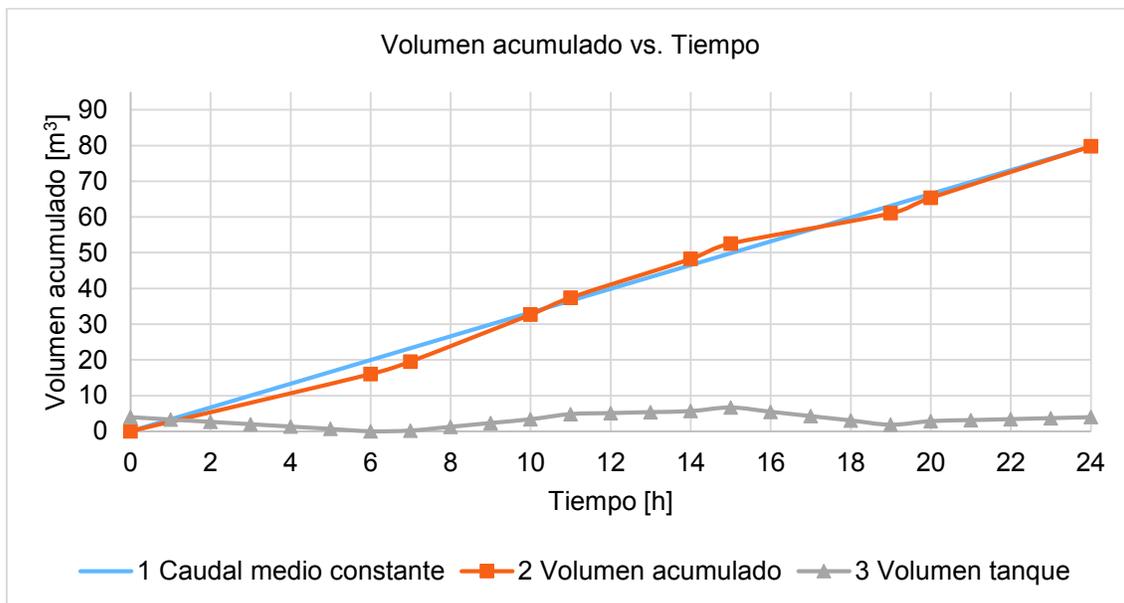
Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick

Descarga h	1	2	a	3
	Volumen recta m ³	Volumen acumulado m ³	(2) - (3) m ³	(máx. +) - a
0	0,00	0	0,00	2,63
1	3,74	4,00	-0,26	2,89
2	7,48	7,64	-0,16	2,79
3	11,22	10,91	0,31	2,32
4	14,96	14,18	0,78	1,85
5	18,70	17,45	1,25	1,38
6	22,44	20,73	1,72	0,92
7	26,18	23,65	2,54	0,09
8	29,92	27,63	2,30	0,34
9	33,67	31,61	2,06	0,58
10	37,41	35,59	1,81	0,82
11	41,15	39,83	1,31	1,32
12	44,89	44,33	0,56	2,08
13	48,63	48,83	-0,20	2,84
14	52,37	53,33	-0,96	3,60

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick (CONTINUACIÓN)

15	56,11	59,16	-3,05	5,68
16	59,85	61,00	-1,16	3,79
17	63,59	62,85	0,74	1,89
18	67,33	64,70	2,63 (máx. +)	0,00
19	71,07	69,77	1,30	1,34
20	74,81	73,77	1,04	1,60
21	78,55	77,77	0,78	1,86
22	82,29	81,77	0,52	2,11
23	86,03	85,77	0,26	2,37
24	89,77	89,77	0,00	2,63

Volumen del tanque de homogenización m ³	5,68
---	------



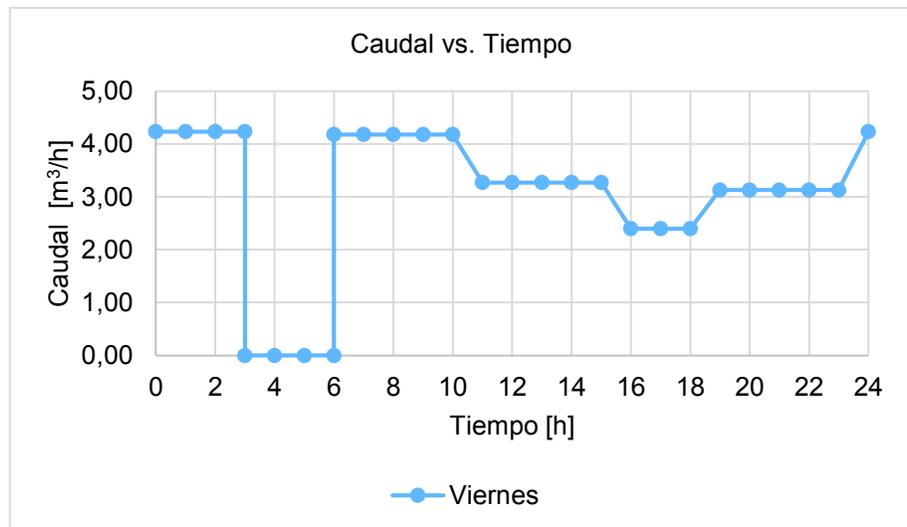
a) Viernes

Determinación de caudal generado por cada curtiembre, método del aforo.

Curtiembre	Intervalo de descarga h	Duración de la descarga h	Volumen recipiente l	Tiempo de llenado recipiente s	Caudal m ³ /h
C1	6-10	4	20	36	2,00
C2	10-15	5		22	3,27
C3	15-18	3		30	2,40
C4	18-23	5		23	3,13
C5	23-3	4		17	4,24
C6	6-10	4		33	2,18

Distribución horaria del caudal

Tiempo h	Caudal m ³ /h
0	4,24
1	4,24
2	4,24
3	4,24
4	0,00
5	0,00
6	0,00
7	0,00
8	4,18
9	4,18
10	4,18
11	4,18
12	4,18
13	3,27
14	3,27
15	3,27
16	3,27
17	3,27
18	2,40
19	2,40
20	2,40
21	3,13
22	3,13
23	3,13
24	3,13



Determinación del caudal medio

Tiempo	Área bajo la curva	Volumen total diario m ³	Volumen acumulado m ³
h			
0	A0	0	0
3	A1	12,71	12,71
3	A2	0,00	12,71
6	A3	0,00	12,71
7	A4	2,09	14,80
10	A5	12,55	27,34
11	A6	4,64	31,98
15	A7	13,09	45,07
16	A8	3,71	48,78
18	A9	4,80	53,58
19	A10	3,50	57,07
23	A11	12,52	69,60
24	A12	4,79	74,38

Volumen total diario m ³	74,38
Caudal promedio m ³ /h	3,10

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick

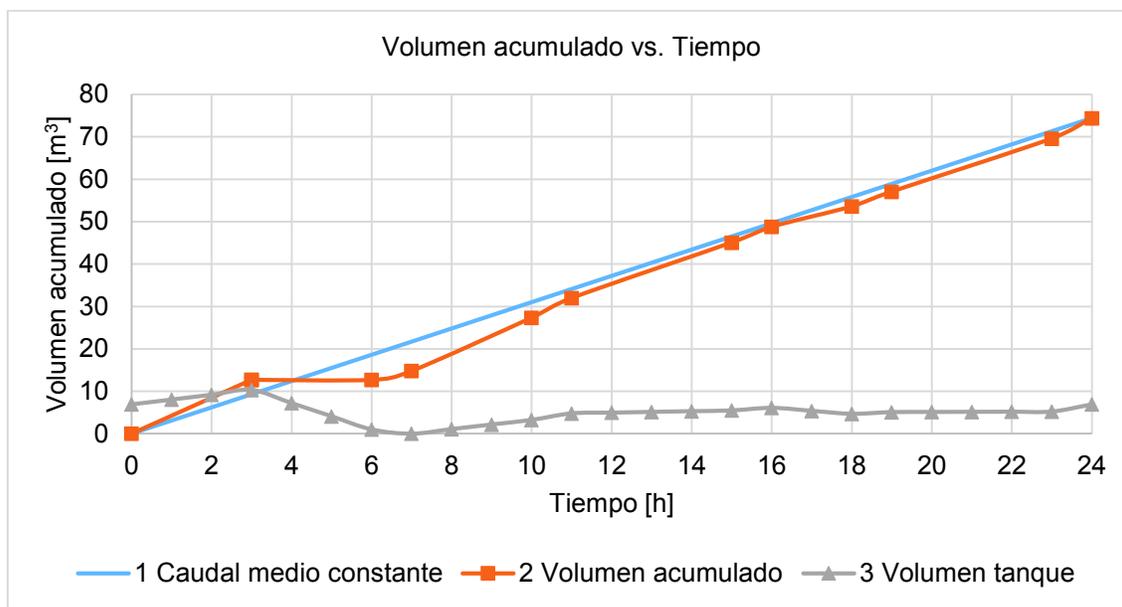
Descarga h	1	2	a	3
	Volumen recta m ³	Volumen acumulado m ³	(2) - (3) m ³	(máx. +) - a
0	0	0	0	6,90
1	3,10	4,24	-1,14	8,03
2	6,20	8,47	-2,27	9,17
3	9,30	12,71	-3,41	10,31
4	12,40	12,71	-0,31	7,21
5	15,50	12,71	2,79	4,11
6	18,60	12,71	5,89	1,01
7	21,70	14,80	6,90 (máx. +)	0,00
8	24,79	18,98	5,82	1,08
9	27,89	23,16	4,73	2,16
10	30,99	27,34	3,65	3,25

Determinación del volumen del tanque de almacenamiento por método de Hummenick (CONTINUACIÓN)

11	34,09	31,98	2,11	4,78
12	37,19	35,25	1,94	4,96
13	40,29	38,52	1,77	5,13
14	43,39	41,80	1,59	5,30
15	46,49	45,07	1,42	5,48
16	49,59	48,78	0,81	6,09
17	52,69	51,18	1,51	5,39
18	55,79	53,58	2,21	4,69
19	58,89	57,07	1,81	5,09
20	61,99	60,20	1,78	5,12
21	65,09	63,34	1,75	5,15
22	68,19	66,47	1,72	5,18
23	71,28	69,60	1,69	5,21
24	74,38	74,38	0,00	6,90

Volumen del tanque de
homogenización m³

10,31



ANEXO No 4: REGISTRO FOTOGRÁFICO

TABLA IV.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO.

**N.1 Curtiduría Angelo
Sr. Nestor Moyolema**



**N.2 Curtiduría Manuelito
Sr. Patricio Amancha Calucho**



**N.3 Curtiduría Karvin
Sr. Willan Moyolema Morales**



**N.4 Curtiduría Virgen del Cisne
Sr. Segundo Chaglla Criollo**



TABLA IV.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LAS CURTIEMBRES EN ESTUDIO (CONTINUACIÓN)

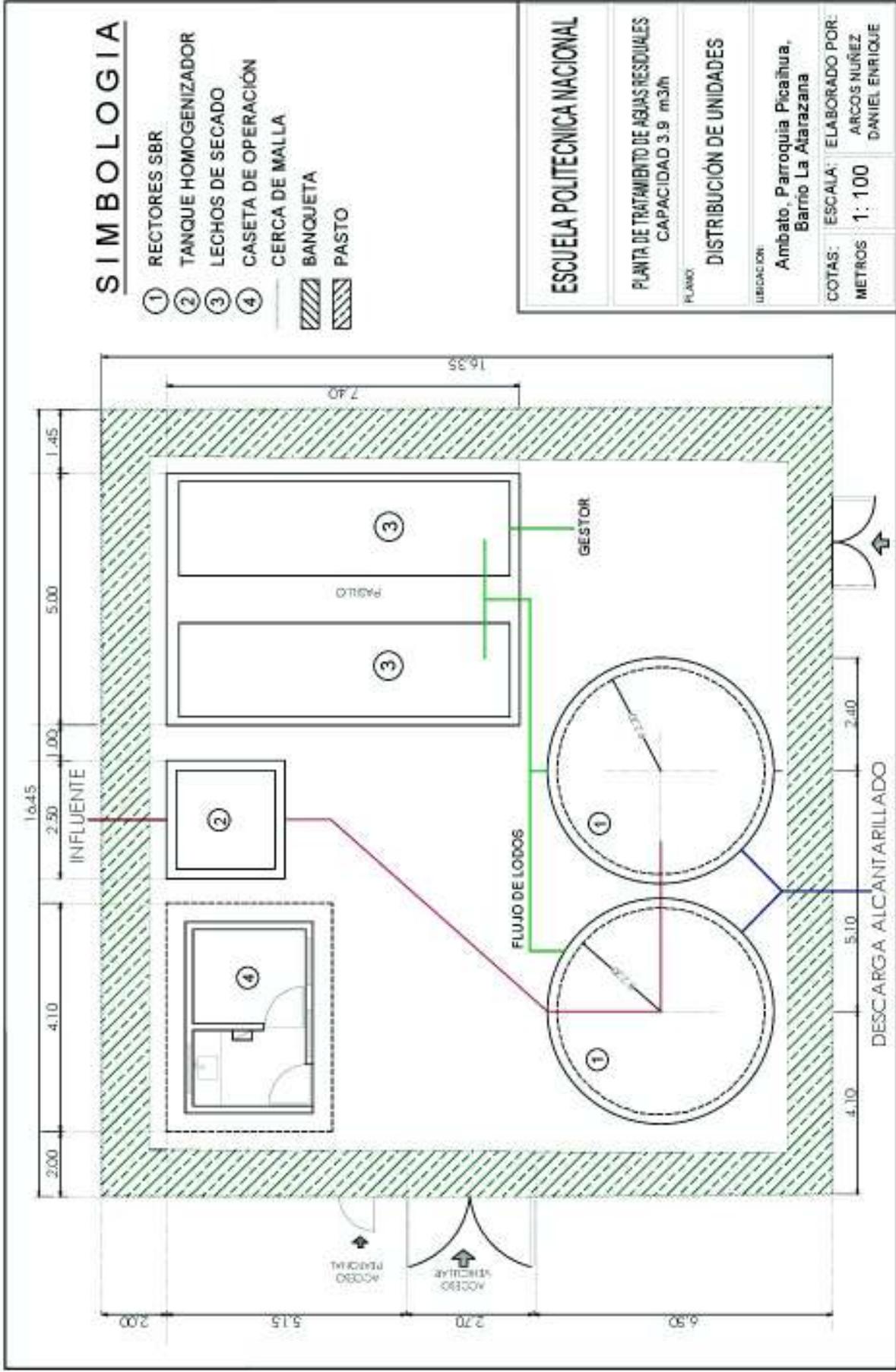
**N.5 Curtiduría Moyolema Criollo
Sr. Mario Moyolema**

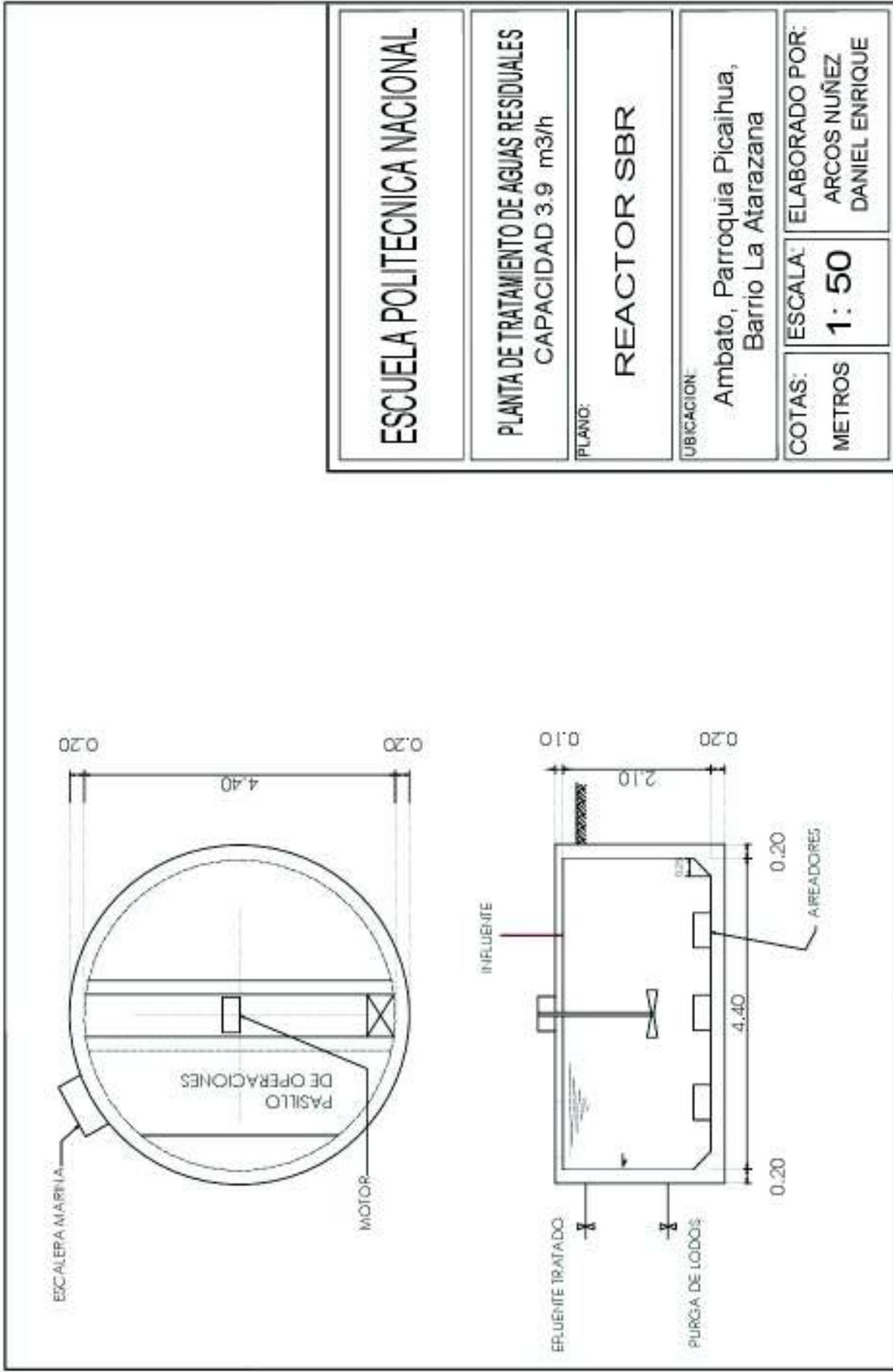


**N.6 Curtiduría Cristo del Consuelo
Sr. Rodrigo Chaglla y Sra. Blanca Sailema**



ANEXO No 5: PLANOS





ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
CAPACIDAD 3.9 m³/h

PLANO:

REACTOR SBR

UBICACION:

Ambato, Parroquia Picaihua,
Barrio La Atarazana

COTAS:
METROS

ESCALA:
1: 50

ELABORADO POR:
ARCOS NUÑEZ
DANIEL ENRIQUE