



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LOS ANDES DE LA PARROQUIA LA PENÍNSULA-TUNGURAHUA” .

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

OMAR ALEXANDER PASMAY LEMA

Riobamba – Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LOS ANDES DE LA PARROQUIA LA PENÍNSULA-TUNGURAHUA”

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: OMAR ALEXANDER PASMAY LEMA

DIRECTORA: Ing. MÓNICA LILIAN ANDRADE AVALOS. MSc.

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Omar Alexander Pasmay Lema

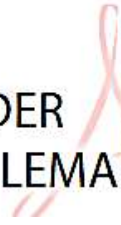
Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Omar Alexander Pasmay Lema, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de diciembre de 2021

OMAR
ALEXANDER
PASMAY LEMA



Firmado digitalmente
por OMAR ALEXANDER
PASMAY LEMA
Fecha: 2022.02.04
16:22:02 -05'00'

Omar Alexander Pasmay Lema

172307769-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que el presente Trabajo de Integración Curricular de Tipo: Proyecto Técnico “**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LOS ANDES DE LA PARROQUIA LA PENÍNSULA-TUNGURAHUA**” ., realizado por el señor: **OMAR ALEXANDER PASMAY LEMA** ha sido revisado minuciosamente por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, quedando autorizada su presentación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro. PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**CESAR
ARTURO
PUENTE
GUIJARRO**
Firmado digitalmente por CESAR
ARTURO PUENTE GUIJARRO
DN: cn=CESAR ARTURO
PUENTE GUIJARRO, o=EC
ONDISOLUBI DATAS S.A. 1
ou=ENTIDAD DE
SERVICIOS DE
INFORMACION
Móvil: Soy el autor de este
documento
Ubicación:
Fecha: 2021.02.08 07:47:05.00

2021-12-01

Ing. Mónica Lilian Andrade Avalos. MSc
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

 Firmado electrónicamente por:
**MONICA LILIAN
ANDRADE
AVALOS**

2021-12-01

Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy. MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

 Firmado electrónicamente por:
**CARLOS RAMIRO
CEPEDA GODOY**

2021-12-01

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiv |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xv |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xvi |
| RESUMEN..... | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |

CAPÍTULO I

| | |
|---|-----------|
| 1. DIÁGNOSTICO DEL PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1. Identificación del problema..... | 1 |
| 1.2. Justificación del proyecto | 1 |
| 1.3. Antecedentes de la empresa..... | 2 |
| 1.3.1. <i>Curtiduría Los Andes</i> | 2 |
| 1.3.1.1. <i>Equipamiento de la curtiduría Los Andes</i>..... | 2 |
| 1.3.1.2. <i>Compuestos químicos utilizados por la curtiduría Los Andes</i>..... | 3 |
| 1.3.1.3. <i>Normativa ambiental</i>..... | 3 |
| 1.4. Localización geográfica de la Empresa | 5 |
| 1.4.1. <i>Características</i> | 6 |
| 1.4.2. <i>Demografía</i> | 7 |
| 1.4.3. <i>Socioeconomía</i>..... | 7 |
| 1.4.4. <i>Componente geo ambientales</i> | 8 |
| 1.4.4.1. <i>Recursos hídricos</i> | 8 |
| 1.4.4.2. <i>Relieve</i>..... | 8 |
| 1.4.4.3. <i>Clima y temperatura</i> | 8 |
| 1.4.4.4. <i>Ecosistema</i> | 9 |
| 1.5. Beneficiarios directos e indirectos | 9 |
| 1.5.1. <i>Beneficiarios directos</i> | 9 |
| 1.5.2. <i>Beneficiarios indirectos</i> | 9 |
| 1.6. Objetivos del trabajo | 10 |
| 1.6.1. <i>Objetivo General</i>..... | 10 |
| 1.6.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 10 |

CAPÍTULO II

| | | |
|---------------|---|----|
| 2. | FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 11 |
| 2.1. | Industria curtiembre | 11 |
| 2.2. | Operaciones en la industria del curtido | 12 |
| 2.2.1. | <i>La ribera</i> | 12 |
| 2.2.2. | <i>Curtido</i> | 13 |
| 2.2.3. | <i>Recurtido, Teñido y Engrase</i> | 13 |
| 2.2.4. | <i>Acabado</i> | 13 |
| 2.3. | Tipos de residuos en la industria curtiembre | 16 |
| 2.3.1. | <i>Residuos sólidos</i> | 16 |
| 2.3.2. | <i>Residuos líquidos</i> | 16 |
| 2.4. | Aguas residuales | 17 |
| 2.5. | Caracterización de las aguas residuales | 17 |
| 2.6. | Principales métodos de tratamiento para aguas residuales | 18 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-----------------|--|----|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 20 |
| 3.1. | Tipo y diseño de la investigación | 20 |
| 3.1.1. | <i>Tipo de estudio</i> | 22 |
| 3.2. | Metodología | 22 |
| 3.3. | Métodos y técnicas | 23 |
| 3.3.1. | <i>Métodos</i> | 23 |
| 3.3.1.1. | <i>Métodos para analizar aguas residuales</i> | 23 |
| 3.3.2. | <i>Técnicas</i> | 25 |
| 3.3.2.1. | <i>Toma de muestras</i> | 25 |
| 3.3.2.2. | <i>Preservación de las muestras</i> | 26 |
| 3.4. | Procedimiento a nivel laboratorio | 27 |
| 3.4.1. | <i>Materiales, equipos y reactivos</i> | 27 |
| 3.4.1.1. | <i>Materiales</i> | 27 |
| 3.4.1.2. | <i>Equipos</i> | 27 |
| 3.4.1.3. | <i>Reactivos</i> | 28 |
| 3.4.2. | <i>Métodos Estandarizados de caracterización</i> | 29 |
| 3.4.2.1. | <i>Alcalinidad</i> | 29 |
| 3.4.2.2. | <i>Aceites y Grasa</i> | 29 |
| 3.4.2.3. | <i>Conductividad</i> | 30 |
| 3.4.2.4. | <i>Cloruros</i> | 31 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.4.2.5. | <i>Cromo hexavalente</i> | 32 |
| 3.4.2.6. | <i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)</i> | 32 |
| 3.4.2.7. | <i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i> | 33 |
| 3.4.2.8. | <i>Turbiedad</i> | 33 |
| 3.4.2.9. | <i>Potencial de hidrogeno (pH)</i> | 34 |
| 3.4.2.10. | <i>Sólidos sedimentables (SD)</i> | 34 |
| 3.4.2.11. | <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i> | 35 |
| 3.4.2.12. | <i>Sólidos totales (ST)</i> | 35 |
| 3.4.2.13. | <i>Sulfatos (SO42 -)</i> | 36 |
| 3.4.2.14. | <i>Sulfuros (S2 -)</i> | 37 |
| 3.4.2.15. | <i>Temperatura</i> | 37 |
| 3.5. | Selección de las muestras de aguas | 38 |
| 3.5.1. | <i>Caudal</i> | 38 |
| 3.5.2. | <i>Determinación de caudales</i> | 38 |
| 3.5.2.1. | <i>Caudal, agua de pelambre a la entrada del sistema de tratamiento.</i> | 38 |
| 3.5.2.2. | <i>Caudal del agua de pelambre a la salida del sistema de tratamiento</i> | 39 |
| 3.5.2.3. | <i>Caudal del agua de curtido</i> | 39 |
| 3.5.2.4. | <i>Caudal del agua de lavado</i> | 39 |
| 3.5.2.5. | <i>Promedio de caudales</i> | 40 |
| 3.6. | Caracterización inicial de las aguas residuales | 40 |
| 3.6.1. | <i>Caracterización fisicoquímica inicial del agua residual</i> | 40 |
| 3.6.1.1. | <i>Caracterización del agua de pelambre 1</i> | 40 |
| 3.6.1.2. | <i>Caracterización del agua de pelambre 2</i> | 41 |
| 3.6.1.3. | <i>Caracterización del agua de curtido antes de su ingreso al sistema de tratamiento</i> | 42 |
| 3.6.1.4. | <i>Caracterización del agua de lavado antes de su ingreso al sistema de tratamiento.</i> | 42 |
| 3.7. | Parámetros fuera del límite permisible | 43 |
| 3.7.1. | <i>Aceites y grasas</i> | 43 |
| 3.7.2. | <i>Cromo hexavalente</i> | 43 |
| 3.7.3. | <i>Demanda bioquímica de oxígeno (5 días) (DBO5)</i> | 43 |
| 3.7.4. | <i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i> | 44 |
| 3.7.5. | <i>Potencial de hidrogeno (pH)</i> | 44 |
| 3.7.6. | <i>Sólidos sedimentables (SD)</i> | 44 |
| 3.7.7. | <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i> | 44 |
| 3.7.8. | <i>Sólidos totales (ST)</i> | 45 |
| 3.7.9. | <i>Sulfatos (SO42 -)</i> | 45 |
| 3.7.10. | <i>Sulfuros (S2 -)</i> | 45 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.8. | Índice de biodegradabilidad | 45 |
| 3.8.1. | <i>Cálculo del índice de biodegradabilidad (IB)</i> | 46 |
| 3.9. | Descripción del procedimiento experimental | 48 |
| 3.9.1. | <i>Pruebas de tratabilidad</i> | 48 |
| 3.10. | Selección del coagulante óptimo | 48 |
| 3.11. | Selección del pH óptimo | 48 |
| 3.11.1. | <i>Remoción de sulfuros</i> | 57 |
| 3.12. | Selección de la dosis óptima de coagulante | 59 |
| 3.13. | Rediseño de la planta de tratamiento | 87 |
| 3.13.1. | <i>Situación actual de la planta de tratamiento</i> | 87 |
| 3.13.2. | <i>Carga contaminante</i> | 87 |
| 3.13.2.1. | <i>Cálculo de la carga contaminante del agua de pelambre 1</i> | 88 |
| 3.13.2.2. | <i>Cálculo de la carga contaminante del agua de pelambre 2</i> | 88 |
| 3.13.2.3. | <i>Cálculo de la carga contaminante del agua de curtido</i> | 88 |
| 3.13.2.4. | <i>Cálculo de la carga contaminante del agua de lavado</i> | 88 |
| 3.13.3. | <i>Determinación del caudal de diseño</i> | 89 |
| 3.13.3.1. | <i>Cálculo del caudal de rediseño para el agua de pelambre 1</i> | 89 |
| 3.13.3.2. | <i>Cálculo del caudal de rediseño para el agua de pelambre 2</i> | 89 |
| 3.13.3.3. | <i>Cálculo del caudal de rediseño para el agua de curtido</i> | 89 |
| 3.13.3.4. | <i>Cálculo del caudal de rediseño para el agua de lavado</i> | 90 |
| 3.13.3.5. | <i>Cálculo del caudal de rediseño a la entrada del sedimentador</i> | 90 |
| 3.13.4. | <i>Determinación del canal de entrada</i> | 90 |
| 3.13.4.1. | <i>Cálculo del radio hidráulico del canal</i> | 91 |
| 3.13.4.2. | <i>Cálculo de la velocidad de flujo</i> | 91 |
| 3.13.5. | <i>Diseño de un sistema de rejillas</i> | 91 |
| 3.13.5.1. | <i>Determinación del área de las rejillas</i> | 91 |
| 3.13.5.2. | <i>Cálculo de la altura tirante</i> | 92 |
| 3.13.5.3. | <i>Cálculo de la altura del canal</i> | 92 |
| 3.13.5.4. | <i>Cálculo de la longitud de las barras</i> | 93 |
| 3.13.5.5. | <i>Cálculo del número de barras</i> | 93 |
| 3.13.6. | <i>Diseño de una trampa de grasas</i> | 94 |
| 3.13.6.1. | <i>Determinación del área del tanque</i> | 94 |
| 3.13.6.2. | <i>Determinación del ancho del tanque</i> | 94 |
| 3.13.6.3. | <i>Determinación del largo del tanque</i> | 95 |
| 3.13.6.4. | <i>Determinación del volumen del tanque</i> | 95 |
| 3.13.7. | <i>Diseño de un vertedero rectangular</i> | 95 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 3.13.7.1. | <i>Cálculo del ancho del vertedero</i> | 95 |
| 3.13.7.2. | <i>Cálculo de la longitud del vertedero</i> | 96 |
| 3.13.7.3. | <i>Cálculo del caudal real del vertedero</i> | 96 |
| 3.13.7.4. | <i>Cálculo de la velocidad teórica del vertedero</i> | 97 |
| 3.13.7.5. | <i>Cálculo del coeficiente de la velocidad del vertedero</i> | 98 |
| 3.13.7.6. | <i>Cálculo del caudal teórico del vertedero</i> | 98 |
| 3.13.8. | Rediseño de la piscina de pelambre | 98 |
| 3.13.8.1. | <i>Dosificación en la piscina de pelambre</i> | 99 |
| 3.13.9. | Rediseño de la piscina de curtido | 101 |
| 3.13.9.1. | <i>Dosificación en la piscina de curtido</i> | 102 |
| 3.13.10. | <i>Rediseño del tanque de depósito</i> | 103 |
| 3.13.10.1. | <i>Determinación del volumen nominal del depósito</i> | 104 |
| 3.13.10.2. | <i>Determinación de la altura del depósito</i> | 104 |
| 3.13.10.3. | <i>Determinación del volumen de rediseño del depósito</i> | 104 |
| 3.13.10.4. | <i>Determinación de la longitud del depósito</i> | 105 |
| 3.13.10.5. | <i>Determinación del ancho del depósito</i> | 105 |
| 3.13.10.6. | <i>Dosificación en el agua de lavado</i> | 106 |
| 3.13.11. | Rediseño del sedimentador | 107 |
| 3.13.11.1. | <i>Determinación de la carga superficial en el sedimentador</i> | 107 |
| 3.13.11.2. | <i>Determinación de la velocidad media</i> | 108 |
| 3.13.11.3. | <i>Determinación de la longitud relativa</i> | 108 |
| 3.13.11.4. | <i>Determinación del tiempo de retención</i> | 109 |
| 3.13.11.5. | <i>Determinación del volumen del sedimentador</i> | 109 |
| 3.13.12. | Diseño de una bandeja de recolección de lodos | 111 |
| 3.13.12.1. | <i>Determinación del volumen del lodo a secar</i> | 111 |
| 3.13.12.2. | <i>Determinación del área superficial de la bandeja</i> | 111 |
| 3.13.12.3. | <i>Determinación de la longitud de la bandeja</i> | 112 |
| 3.13.12.4. | <i>Determinación de la inclinación de la bandeja en longitud</i> | 112 |
| 3.13.12.5. | <i>Determinación de la inclinación de la bandeja en altura</i> | 113 |
| 3.13.12.6. | <i>Determinación de la altura de la bandeja</i> | 113 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|--------|---|-----|
| 4. | RESULTADOS | 114 |
| 4.1. | Resultados finales de la caracterización del agua residual | 114 |
| 4.1.1. | Caracterización del agua de pelambre 1 | 114 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.1.2. | <i>Caracterización del agua de pelambre 2</i> | 114 |
| 4.1.3. | <i>Caracterización del agua de lavado</i> | 115 |
| 4.1.4. | <i>Caracterización del agua de curtido</i> | 116 |
| 4.1.5. | <i>Dosificaciones adecuadas para la tratabilidad de aguas</i> | 116 |
| 4.1.5.1. | <i>Resultados de tratabilidad</i> | 118 |
| 4.1.6. | <i>Comparación de resultados de los parámetros iniciales y finales</i> | 119 |
| 4.1.6.1. | <i>Aceites y grasas</i> | 119 |
| 4.1.6.2. | <i>Demanda bioquímica de oxígeno</i> | 120 |
| 4.1.6.3. | <i>Demanda química de oxígeno</i> | 120 |
| 4.1.6.4. | <i>Potencial de hidrógeno</i> | 121 |
| 4.1.6.5. | <i>Sólidos sedimentables (SD)</i> | 122 |
| 4.1.6.6. | <i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i> | 123 |
| 4.1.6.7. | <i>Sólidos totales (ST)</i> | 124 |
| 4.1.6.8. | <i>Sulfuros (S²⁻)</i> | 125 |
| 4.1.6.9. | <i>Sulfatos (SO₄)²⁻</i> | 126 |
| 4.1.6.10. | <i>Cromo hexavalente (Cr⁶⁺)</i> | 127 |
| 4.2. | Propuesta para el rediseño | 128 |
| 4.2.1. | <i>Diseño y rediseño de las etapas</i> | 129 |
| 4.2.1.1. | <i>Diseño de un sistema de rejillas</i> | 129 |
| 4.2.1.2. | <i>Diseño de una trampa de grasas</i> | 129 |
| 4.2.1.3. | <i>Diseño de un vertedero rectangular</i> | 129 |
| 4.2.1.4. | <i>Rediseño del tanque de depósito.</i> | 130 |
| 4.2.1.5. | <i>Rediseño del sedimentador</i> | 130 |
| 4.2.1.6. | <i>Diseño de una bandeja recolectora de lodos</i> | 131 |
| 4.3. | Validación del proceso | 131 |
| 4.3.1. | <i>Remoción de contaminantes</i> | 131 |
| 4.3.1.1. | <i>Agua de pelambre 1</i> | 131 |
| 4.3.1.2. | <i>Agua de lavado</i> | 133 |
| 4.3.1.3. | <i>Agua de curtido</i> | 134 |
| 4.4. | Operaciones unitarias en el proceso de tratamiento de aguas | 135 |
| 4.4.1. | <i>Trasferencia de sólidos</i> | 135 |
| 4.4.1.1. | <i>Cribado</i> | 135 |
| 4.4.1.2. | <i>Sedimentación</i> | 136 |
| 4.4.1.3. | <i>Flotación</i> | 136 |
| 4.4.2. | <i>Transferencia de iones</i> | 136 |
| 4.4.2.1. | <i>Coagulación</i> | 136 |

| | | |
|------------------------------|--|-----|
| 4.4.2.2. | <i>Precipitación</i> | 136 |
| 4.5. | Diagrama del proceso | 136 |
| 4.5.1. | <i>Diagrama de tratabilidad del agua de pelambre 1</i> | 136 |
| 4.5.2. | <i>Diagrama de tratabilidad del agua de lavado</i> | 137 |
| 4.5.3. | <i>Diagrama de tratabilidad del agua de curtido</i> | 138 |
| 4.6. | Distribución y rediseño de la planta de tratamiento | 140 |
| 4.6.1. | <i>Descripción de las áreas</i> | 140 |
| 4.6.1.1. | <i>Diagrama de flujo del proceso actual</i> | 140 |
| 4.6.1.2. | <i>Diagrama de flujo del proceso rediseñado</i> | 141 |
| 4.6.1.3. | <i>Planta de tratamiento</i> | 142 |
| 4.7. | Análisis económico de la planta | 142 |
| 4.7.1. | <i>Inversión para maquinaria y rediseño</i> | 142 |
| 4.7.2. | <i>Costos generados en el tratamiento de agua</i> | 142 |
| CONCLUSIONES | | 144 |
| RECOMENDACIONES | | 145 |
| BIBLIOGRAFÍA | | |
| ANEXOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabla 1-1: | Límites de descarga al sistema de alcantarillado público..... | 4 |
| Tabla 2-1: | Coordenadas, Curtiduría Los Andes..... | 5 |
| Tabla 3-1: | Características de la parroquia La Península..... | 6 |
| Tabla 1-2: | Parámetros de monitoreo..... | 17 |
| Tabla 1-3: | Localización de la Investigación..... | 20 |
| Tabla 2-3: | Localización del laboratorio de Calidad de Agua..... | 21 |
| Tabla 3-3: | Parámetros de monitoreo y métodos..... | 23 |
| Tabla 4-3: | Toma de muestras..... | 25 |
| Tabla 5-3: | Métodos de muestreo..... | 26 |
| Tabla 6-3: | Método para alcalinidad..... | 29 |
| Tabla 7-3: | Método para aceite y grasas..... | 29 |
| Tabla 8-3: | Método para conductividad..... | 30 |
| Tabla 9-3: | Método para cloruros..... | 31 |
| Tabla 10-3: | Método para cromo hexavalente..... | 32 |
| Tabla 11-3: | Método para DBO5..... | 32 |
| Tabla 12-3: | Método para DQO..... | 33 |
| Tabla 13-3: | Método para turbiedad..... | 33 |
| Tabla 14-3: | Método para pH..... | 34 |
| Tabla 15-3: | Método para sólidos sedimentables..... | 34 |
| Tabla 16-3: | Método para sólidos suspendidos totales..... | 35 |
| Tabla 17-3: | Método para sólidos totales..... | 35 |
| Tabla 18-3: | Método para sulfatos..... | 36 |
| Tabla 19-3: | Método para sulfuros..... | 37 |
| Tabla 20-3: | Método para temperatura..... | 37 |
| Tabla 21-3: | Caudal del agua de pelambre sin tratamiento..... | 38 |
| Tabla 22-3: | Caudal del agua de pelambre con tratamiento..... | 39 |
| Tabla 23-3: | Caudal del agua de curtido sin tratamiento..... | 39 |
| Tabla 24-3: | Caudal del agua de lavado sin tratamiento..... | 39 |
| Tabla 25-3: | Parámetro de caudales..... | 40 |
| Tabla 26-3: | Agua de pelambre sin tratamiento de la curtiduría..... | 40 |
| Tabla 27-3: | Agua de pelambre con tratamiento de la curtiduría..... | 41 |
| Tabla 28-3: | Agua de curtido sin tratamiento de la curtiduría..... | 42 |
| Tabla 29-3: | Agua de lavado sin tratamiento de la curtiduría..... | 42 |
| Tabla 30-3: | Parámetro, aceites y grasas..... | 43 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 31-3: | Parámetro, cromo hexavalente | 43 |
| Tabla 32-3: | Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno..... | 43 |
| Tabla 33-3: | Parámetro, demanda química de oxígeno..... | 44 |
| Tabla 34-3: | Parámetro, pH..... | 44 |
| Tabla 35-3: | Parámetro, sólidos sedimentables..... | 44 |
| Tabla 36-3: | Parámetro, sólidos suspendidos totales | 44 |
| Tabla 37-3: | Parámetro, sólidos totales | 45 |
| Tabla 38-3: | Parámetro, sulfatos | 45 |
| Tabla 39-3: | Parámetro, sulfuros..... | 45 |
| Tabla 40-3: | Parámetros de monitoreo y métodos | 45 |
| Tabla 41-3: | Parámetros DBO5 y DQO | 46 |
| Tabla 42-3: | Resultados del índice de biodegradabilidad | 47 |
| Tabla 43-3: | Tipos de coagulantes y sus pH óptimos..... | 48 |
| Tabla 44-3: | Tipos de agua residual y sus pH | 48 |
| Tabla 45-3: | Características del ácido fórmico | 49 |
| Tabla 46-3: | Características del hidróxido de calcio..... | 49 |
| Tabla 47-3: | Ajuste del pH del agua de pelambre 1, 1000mL | 50 |
| Tabla 48-3: | Ajuste del pH del agua de pelambre 2, 1000mL | 52 |
| Tabla 49-3: | Ajuste del pH del agua de lavado sin tratamiento..... | 54 |
| Tabla 50-3: | Ajuste del pH del agua de curtido sin tratamiento..... | 55 |
| Tabla 51-3: | Remoción de sulfuros con MnSO ₄ y aireación de 5 horas..... | 58 |
| Tabla 52-3: | Dosificación del agua de pelambre 1, usando PAC, ensayo 1..... | 60 |
| Tabla 53-3: | Dosificación del agua de pelambre 1, PAC y Mn(SO ₄) ensayo 2..... | 62 |
| Tabla 54-3: | Dosificación del agua de pelambre 2, usando PAC, ensayo 3..... | 64 |
| Tabla 55-3: | Dosificación del agua de pelambre 2, PAC y Mn(SO ₄), ensayo 4..... | 66 |
| Tabla 56-3: | Dosificación del agua de lavado tratar, usando PAC, ensayo 5 | 68 |
| Tabla 57-3: | Dosificación del agua de lavado sin tratar, PAC y Mn(SO ₄), ensayo 6..... | 70 |
| Tabla 58-3: | Dosificación del agua de pelambre 1, usando (FeCl ₃), ensayo 7 | 72 |
| Tabla 59-3: | Dosificación del agua de pelambre 1, (FeCl ₃) y Mn(SO ₄), ensayo 8..... | 74 |
| Tabla 60-3: | Dosificación del agua de pelambre 2, usando (FeCl ₃), ensayo 9 | 76 |
| Tabla 61-3: | Dosificación del agua de pelambre 2, (FeCl ₃) y Mn(SO ₄), ensayo 10..... | 78 |
| Tabla 62-3: | Dosificación del agua de lavado sin tratar, usando (FeCl ₃), ensayo 11 | 80 |
| Tabla 63-3: | Dosificación del agua de lavado sin tratar, (FeCl ₃) y Mn(SO ₄), ensayo 12 | 82 |
| Tabla 64-3: | Dosificación del agua de curtido sin tratar, usando PAC, ensayo 13 | 84 |
| Tabla 65-3: | Dosificación del agua de curtido sin tratar, usando PAC y aireación, ensayo 14 .. | 86 |
| Tabla 66-3: | Descripción de las etapas del proceso..... | 87 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Tabla 67-3: | Dimensionamiento, piscina de pelambre..... | 99 |
| Tabla 68-3: | Características, piscina de pelambre, datos de la Curtiduría Los Andes | 99 |
| Tabla 69-3: | Dimensionamiento, piscina de curtido | 101 |
| Tabla 70-3: | Características, piscina de curtido, datos de la Curtiduría Los Andes..... | 101 |
| Tabla 71-3: | Dimensionamiento del depósito | 103 |
| Tabla 72-3: | Capacidad del depósito..... | 103 |
| Tabla 1-4: | Resultados del tratamiento del agua de pelambre 1..... | 114 |
| Tabla 2-4: | Resultados del tratamiento del agua de pelambre 2..... | 114 |
| Tabla 3-4: | Resultados del tratamiento del agua de lavado..... | 115 |
| Tabla 4-4: | Resultados del tratamiento del agua de curtido | 116 |
| Tabla 5-4: | Uso del equipo Test de jarras | 117 |
| Tabla 6-4: | Resultados de dosificación | 118 |
| Tabla 7-4: | Parámetro, aceites y grasas | 119 |
| Tabla 8-4: | Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno..... | 120 |
| Tabla 9-4: | Parámetro, demanda química de oxígeno..... | 120 |
| Tabla 10-4: | Parámetro, pH..... | 121 |
| Tabla 11-4: | Parámetro, sólidos sedimentables | 122 |
| Tabla 12-4: | Parámetro, sólidos suspendidos totales..... | 123 |
| Tabla 13-4: | Parámetro, sólidos totales | 124 |
| Tabla 14-4: | Parámetro, sulfuros..... | 125 |
| Tabla 15-4: | Parámetro, sulfatos | 126 |
| Tabla 16-4: | Parámetro, cromo hexavalente..... | 127 |
| Tabla 17-4: | Parámetro, diseño de rejillas..... | 129 |
| Tabla 18-4: | Parámetro, diseño de una trampa de grasas | 129 |
| Tabla 19-4: | Parámetro, diseño de un vertedero rectangular | 130 |
| Tabla 20-4: | Parámetro, rediseño del tanque de depósito | 130 |
| Tabla 21-4: | Parámetro, rediseño del sedimentador..... | 130 |
| Tabla 22-4: | Parámetro, diseño de una bandeja para lodos..... | 131 |
| Tabla 23-4: | Validación, rediseño para el agua de pelambre 1 | 131 |
| Tabla 24-4: | Validación, rediseño para el agua de pelambre 2 | 132 |
| Tabla 25-4: | Validación, rediseño para el agua de lavado | 133 |
| Tabla 26-4: | Validación, rediseño para el agua de curtido..... | 134 |
| Tabla 27-4: | Equipos de la planta de tratamiento..... | 142 |
| Tabla 28-4: | Costos totales del rediseño | 142 |
| Tabla 29-4: | Costos de insumos químicos | 143 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Figura 1-1: | Localización de la curtiduría..... | 6 |
| Figura 2-1: | Límites de la parroquia La Península..... | 7 |
| Figura 1-3: | Ubicación geográfica de la curtiduría Los Andes..... | 21 |
| Figura 2-3: | Ubicación geográfica, Laboratorio de Calidad de Agua, ESPOCH..... | 22 |
| Figura 3-3: | Agua de pelambre 1 con PAC, ensayo 1..... | 59 |
| Figura 4-3: | Agua de pelambre 1 con aireación y PAC, ensayo 2..... | 61 |
| Figura 5-3: | Agua de pelambre 2 con PAC, ensayo 3..... | 63 |
| Figura 6-3: | Agua de pelambre 2 con aireación y PAC, ensayo 4..... | 65 |
| Figura 7-3: | Agua de lavado con PAC, ensayo 5..... | 67 |
| Figura 8-3: | Agua de lavado con aireación y PAC, ensayo 6..... | 69 |
| Figura 9-3: | Agua de pelambre 1 con FeCl ₃ , ensayo 7..... | 71 |
| Figura 10-3: | Agua de pelambre 1 con aireación y FeCl ₃ , ensayo 8..... | 73 |
| Figura 11-3: | Agua de pelambre 2 con FeCl ₃ , ensayo 9..... | 75 |
| Figura 12-3: | Agua de pelambre 2 con aireación y FeCl ₃ , ensayo 10..... | 77 |
| Figura 13-3: | Agua de lavado con FeCl ₃ , ensayo 11..... | 79 |
| Figura 14-3: | Agua de lavado con aireación y FeCl ₃ , ensayo 12..... | 81 |
| Figura 15-3: | Agua de curtido con PAC, ensayo 13..... | 83 |
| Figura 16-3: | Lodo recuperado del ensayo 13..... | 83 |
| Figura 17-3: | Agua de curtido con aireación y PAC, ensayo 14..... | 85 |
| Figura 1-4: | Equipo Test de jarras..... | 117 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Gráfico 1-2: | Procesos en una curtiduría..... | 15 |
| Gráfico 1-3: | Variación de pH y conductividad, agua de pelambre sin tratar | 52 |
| Gráfico 2-3: | Variación de pH y conductividad, agua de pelambre tratada | 54 |
| Gráfico 3-3: | Variación de pH y conductividad, agua de lavado sin tratar | 55 |
| Gráfico 4-3: | Variación de pH, agua de curtido sin tratar | 56 |
| Gráfico 5-3: | Variación de la conductividad, agua de curtido sin tratar | 57 |
| Gráfico 1-4: | Parámetro, aceites y grasas..... | 119 |
| Gráfico 2-4: | Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno..... | 120 |
| Gráfico 3-4: | Parámetro, demanda química de oxígeno..... | 121 |
| Gráfico 4-4: | Parámetro, pH..... | 122 |
| Gráfico 5-4: | Parámetro, sólidos sedimentables..... | 123 |
| Gráfico 6-4: | Parámetro, sólidos suspendidos totales | 124 |
| Gráfico 7-4: | Parámetro, sólidos totales..... | 125 |
| Gráfico 8-4: | Parámetro, sulfuros..... | 126 |
| Gráfico 9-4: | Parámetro, sulfatos | 127 |
| Gráfico 10-4: | Parámetro, cromo hexavalente | 128 |
| Gráfico 11-4: | % de remoción en el agua de pelambre 1 | 132 |
| Gráfico 12-4: | % de remoción en el agua de pelambre 2 | 133 |
| Gráfico 13-4: | % de remoción en el agua de lavado | 134 |
| Gráfico 14-4: | % de remoción en el agua de curtido..... | 135 |
| Gráfico 15-4: | Tratamiento, agua residual de pelambre..... | 137 |
| Gráfico 16-4: | Tratamiento, agua residual de lavado..... | 138 |
| Gráfico 17-4: | Tratamiento, agua residual de curtido | 139 |
| Gráfico 18-4: | Situación actual del proceso | 140 |
| Gráfico 19-4: | Rediseño del proceso..... | 141 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 1
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 2
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE LAVADO
- ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE CURTIDO
- ANEXO E:** MUESTREO
- ANEXO F:** PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL
- ANEXO G:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD
- ANEXO H:** RESULTADOS OBTENIDOS
- ANEXO I:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 1 CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)
- ANEXO J:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 2 CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)
- ANEXO K:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE LAVADO CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)
- ANEXO L:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE CURTIDO CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)
- ANEXO M:** DIMENSIONAMIENTO DE LAS REJILLAS
- ANEXO N:** DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE DEPÓSITO
- ANEXO O:** DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR
- ANEXO P:** DIMENSIONAMIENTO DE LA BANDEJA DE LODOS
- ANEXO Q:** DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA REDISEÑADA
- ANEXO R:** DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA REDISEÑADA, VISTA ISOMÉTRICA

RESUMEN

En el presente proyecto de carácter técnico se planteó rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la Curtiduría Los Andes – Tungurahua. Mediante análisis de caracterización fisicoquímicos se obtuvieron resultados que expusieron un inadecuado manejo de residuos líquidos, incumpliendo con el Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8. Se trabajó con cuatro muestras de agua: pelambre 1 sin tratamiento, pelambre 2 con tratamiento por parte de la empresa, lavado y curtido. Para optar por un tratamiento adecuado se estableció la índice biodegradabilidad para cada una de las muestras, estableciendo que un tratamiento fisicoquímico es idóneo para estos casos. Para el tratamiento del agua de pelambre proveniente del proceso de ribera y del agua de lavado se adicionando ácido fórmico al 85% para alcanzar un pH de 5,90. Para el residuo líquido proveniente de la etapa del curtido se adicionó hidróxido de calcio para lograr un pH de 9,10. Posteriormente, se empleó el coagulante cloruro férrico al 1% y un polímero aniónico al 1% como coadyuvante, para el tratamiento de las aguas de pelambre y lavado. En el agua de curtido se manejó el policloruro de aluminio (PAC) al 1% como coagulante y un polímero aniónico al 1% como coadyuvante. En el rediseño de la planta de tratamiento de la curtiduría se planteó un correcto dimensionamiento de equipos como: rejillas, vertedero rectangular, desengrasador, bandeja de lodos, depósito de agua y el sedimentador de alta tasa. Se realizó pruebas de jarras para cada muestra con el fin de obtener la mayor eficiencia en cuanto a dosificación de coagulante y coadyuvante. Posterior al tratamiento se realizó la caracterización de las aguas residuales. Comprobando que el rediseño de la planta y la dosificación propuesta alcanza niveles satisfactorios por lo cual se recomienda realizar los cambios propuestos para cumplir con lo estipulado en la normativa.

Palabras clave: <CURTIDURÍA>; <PELAMBRE>; <PROCESO INDUSTRIAL>; <DOSIFICACIÓN>; <AGUA RESIDUAL>; <ÁCIDO>; <BASICIDAD>; <ACUERDO MINISTERIAL 097-A>.

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.09.30
07:59:38 -05'00'



1847-DBRA-UTP-2021

Abstract

In this technical project, it was stated to redesign the residual water treatment system belonging to the Los Andes - Tungurahua Tannery. Through analysis of physicochemical characterization, results were obtained that exposed an inadequate management of liquid waste, not complying the Ministerial Agreement 097-A, TABLE 8. Four water samples were used: untreated fur 1, fur 2 treated by the company, washing and tanning. To select an adequate treatment, a biodegradability index was established for each sample, establishing that a physicochemical treatment is ideal for these cases. For the treatment of fur water from the bathing process and wash water, an 85% formic acid was added to reach a 5.90 pH. For the liquid residue from the tanning stage, calcium hydroxide was added to achieve 9.10 pH. Subsequently, 1% coagulant ferric chloride and 1% anionic polymer were used as an adjuvant, for the treatment of fur water and washing. At tanning water, 1% poly aluminum chloride (PAC) was used as a coagulant and 1% anionic polymer as an adjuvant. In the redesign of the tannery treatment plant, a correct equipment sizing was proposed such as: grids, rectangular dump, degreaser, sludge tray, water tank and high-rate settler. Jug tests were carried out for each sample to obtain the highest efficiency in terms of coagulant and adjuvant dosage. After the treatment, the residual water characterization was carried out, demonstrating that the plant redesign and the proposed dosage reach satisfactory levels. Therefore, it is recommended to conduct the proposed changes to comply with the provisions of the regulations.

Keywords: <TANNERY>; <FUR>; <INDUSTRIAL PROCESS>; <DOSAGE>; <RESIDUAL WATER>; <ACID>; <BASICITY>; < 097-A MINISTERIAL AGREEMENT >.



Firmado electrónicamente por:
**ANA GABRIELA
REINOSO
ESPINOSA**

CAPÍTULO I

1. DIÁGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La industria del cuero genera gran relevancia en la economía de la provincia de Tungurahua. Mas del 60% de las actividades que se efectúan en la provincia están estrechamente relacionadas con la curtiduría. Ricardo López, gerente de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA) en un comunicado señaló: *“las empresas están haciendo un esfuerzo económico para contar con plantas procesadoras, estas únicamente harían la separación de sólidos, que se refiere a tratamientos primarios”* (La Hora, 2020, p.3).

La Curtiduría Los Andes pertinentemente cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la eficiencia del tratamiento que propone la empresa no satisface las exigencias de la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Anexo I, debido a que su sistema actual presenta averías falta de supervisión y un control adecuado de las sustancias químicas que se utilizan en cada uno de los procesos, esto provoca que el sistema de tratamiento falle en gran parte del proceso de tratabilidad. Generándose un problema ambiental ya que estas aguas posteriormente están siendo descargadas al alcantarillado público.

1.2. Justificación del proyecto

Los desechos que se producen en la industria del curtido no son tratados con eficiencia, diariamente se generan aguas residuales de distinta composición: orgánica (pelos) y tóxicos (cromo, sulfatos y sulfuros), los cuales terminan siendo descargados en diferentes cuerpos de agua y alcantarillados.

La necesidad de rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría Los Andes de la Parroquia La Península tendrá como finalidad intervenir los efluentes provenientes de los procesos industriales que realiza la Empresa y así generar una alternativa viable de tratabilidad para el manejo de residuos líquidos de las etapas de pelambre y curtido, las cuales están siendo descargados al sistema de alcantarillado sin un tratamiento adecuado como exige la normativa ambiental vigente.

Posterior a la implementación de los parámetros redefinidos de tratabilidad en la Curtiduría Los Andes se determinará la calidad del agua residual de sus efluentes para que puedan ser

descargados al sistema de alcantarillado cumpliendo los requerimientos de la normativa ambiental vigente.

1.3. Antecedentes de la empresa

1.3.1. Curtiduría Los Andes

La curtiduría Los Andes ubicada en la parroquia la Península perteneciente al cantón Ambato es un taller artesanal que se dedica al procesamiento de pieles de ganado vacuno. Gran parte de las pieles que procesa la curtiduría provienen de la ciudad de Quito, precisamente de camal metropolitano.

En el año de 1998 la curtiduría dio sus primeros pasos de forma artesanal el Sr. José Guaño, quien junto a su esposa e hijos forjaron un emprendimiento familiar, el cual tras 22 años de operación ha ido creciendo y mejorando la calidad de tu producto final. Mensualmente procesan un intervalo de 350 a 400 pieles, sin embargo, gran parte de la producción de la curtiduría se basa en la primera etapa que es pelambre, cuyas pieles principalmente son destinadas a la producción de gelatinas.

La curtiduría también cuenta con la segunda etapa que es el curtido, pero esta acción se la lleva a cabo por temporadas o cuando existe pedidos de fábricas que se dedican a la producción de artículos de cuero.

Al ser una empresa dedicada al procesamiento de materia, esta genera residuos líquidos de composición orgánica y química afectando principalmente el medio en el que desarrolla sus actividades, motivo principal por el cual la curtiduría desde su apertura contaba con un sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, la falta de mantenimiento de los equipos, el descontrol de sus descargas y el desconocimiento de procesos de tratabilidad y el avance tecnológico han provocado que su sistema adquiriera fallas.

1.3.1.1. Equipamiento de la curtiduría Los Andes

La curtiduría Los Andes cuenta con equipos como:

- **Bombo grande:** se lo utiliza para el proceso de pelambre.
- **Bombo pequeño:** se lo utiliza para curtido.
- **Piscinas:** se las utiliza para el lavado y remojo de pieles crudas o ya procesadas.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría está conformado por:

- **Tamiz:** atrapa las partículas grandes (pelo, cebo, pedazos de cuero) en las piscinas antes de descargar el agua en el depósito.

- **Deposito:** junta el agua de las etapas de pelambre y curtido antes de pasar al sedimentador.
- **Sedimentador:** separa los residuos sólidos y los residuos líquidos por acción de la gravedad y por los floculantes y coagulantes adheridos.
- **Compresor:** inyecta aire a presión en el sedimentador para una mezcla homogénea del coagulante
- **Rejillas:** atrapa los residuos sólidos antes de ser vaciado al sistema de alcantarillado.

1.3.1.2. Compuestos químicos utilizados por la curtiduría Los Andes

Para las actividades tanto de tratamiento del cuero como para el tratamiento de las aguas residuales se utilizan sustancias como:

- Hidróxido de calcio. SC-200
- Policloruro de aluminio. PAC
- Sulfuro de sodio.
- Sulfato de aluminio o alumbre.
- Sulfato Básico de Cromo. Salcromo M33
- Sulfato de amonio.
- Acido fórmico.
- Formiato de sodio.
- Sal en grano.

La cantidad de cada una de estas sustancias va a depender del proceso a realizar, si las pieles son para la elaboración de gelatina o para artículos de cuero.

1.3.1.3. Normativa ambiental

La normativa ambiental vigente de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua y al sistema de alcantarillado público estipula en uno de sus párrafos, “*Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa* (Tulsma, 2015 p.7).

Entre las sustancias y materiales se incluye:

- a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados).
- b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio.

- c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse.
- d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis.
- e) Fosgeno, cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno, sustancias comprobadamente tóxicas (Tulsma, 2015 p.7).

Tabla 1-1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|--|--------------------------|--------|--------------------------|
| Aceites y Grasas | Sust. solubles en hexano | mg/l | 70,0 |
| Explosivos o inflamables | Sustancias | mg/l | Cero |
| Alkil mercurio | - | mg/l | No detectable |
| Aluminio | Al | mg/l | 5,0 |
| Arsénico total | As | mg/l | 0,1 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,02 |
| Cianuro total | CN | mg/l | 1,0 |
| Cinc | Zn | mg/l | 10,0 |
| Cloro Activo | Cl | mg/l | 0,5 |
| Cloroformo | Ext. carbón cloroformo | mg/l | 0,1 |
| Cobalto total | Co | mg/l | 0,5 |
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Compuestos fenólicos | Expresados como Fenol | mg/l | 0,2 |
| Compuestos organoclorados | Organoclorados totales | mg/l | 0,05 |
| Cromo hexavalente | Cr^{+6} | mg/l | 0,5 |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | DBO_5 | mg/l | 250,0 |
| Demanda Química de Oxígeno | DQO | mg/l | 500 |
| Dicloroetileno | Dicloroetileno | mg/l | 1,0 |
| Fósforo Total | P | mg/l | 15,0 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 20,0 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 25,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 10,0 |
| Mercurio total | Hg | mg/l | 0,01 |
| Níquel | Ni | mg/l | 2,0 |
| Nitrógeno Total Kjeldahl | N | mg/l | 60,0 |
| Compuestos Organofosforados | Especies Totales | mg/l | 0,1 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,5 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,5 |
| Potencial de hidrógeno | pH | - | 6-9 |

| | | | |
|-----------------------------|--|------|--------|
| Selenio | Se | mg/l | 0,5 |
| Sólidos Sedimentables | SD | ml/l | 20,0 |
| Sólidos Suspendidos Totales | SST | mg/l | 220,0 |
| Sólidos totales | ST | mg/l | 1600,0 |
| Sulfatos | SO_4^{-2} | mg/l | 400,0 |
| Sulfuros | S^{-2} | mg/l | 1,0 |
| Temperatura | °C | - | <40,0 |
| Tensoactivos | Sustancias Activas al Azul de Metileno | mg/l | 2,0 |
| Tetracloruro de carbono | Tetracloruro de carbono | mg/l | 1,0 |
| Tricloroetileno | Tricloroetileno | mg/l | 1,0 |

Fuente: (M.D.A, 2015).

1.4. Localización geográfica de la Empresa

La Curtiduría Los Andes, está ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, en la parroquia La Península, en la calle Rio de Janeiro y pasaje San José. Dicha empresa es de tipo privada, se encuentra a nombre del Sr. José Antonio Guaño Silva.

Tabla 2-1: Coordenadas, Curtiduría Los Andes.

| | |
|----------|----------------|
| Latitud | 1°14'29.36''S |
| Longitud | 78°36'30.40''O |
| Altitud | 2491 msnm |

Realizado por: Pasmay, O. 2021.



Figura 1-1: Localización de la curtiduría.

Fuente: (Google Maps, 2021).

1.4.1. Características

La parroquia La Península, ubicada a cinco minutos de la ciudad de Ambato era conocida antiguamente como Lligua. Es una parroquia urbana que pertenece al Cantón Ambato se encuentra situada en el centro del país. Posee un clima subtropical, similar al de las ciudades de Baños y Patate con precipitaciones moderadas.

Tabla 3-1: Características de la parroquia La Península.

| | |
|------------------------|---|
| Relieve | 2369 - 2607 m.s.n.m |
| Limites | Norte: Parroquias de Izamba y Atocha Ficoa Sur: Parroquias Huachi Loreto y Pishilata. Este: Parroquia La Merced. Oeste: Parroquia Pishilata. |
| Extensión Territorial. | 4,82 kilómetros cuadrados. |
| Temperatura mínima | 9°C |
| Temperatura máxima | 27°C |

Realizado por: Pasmay, O; 2021.

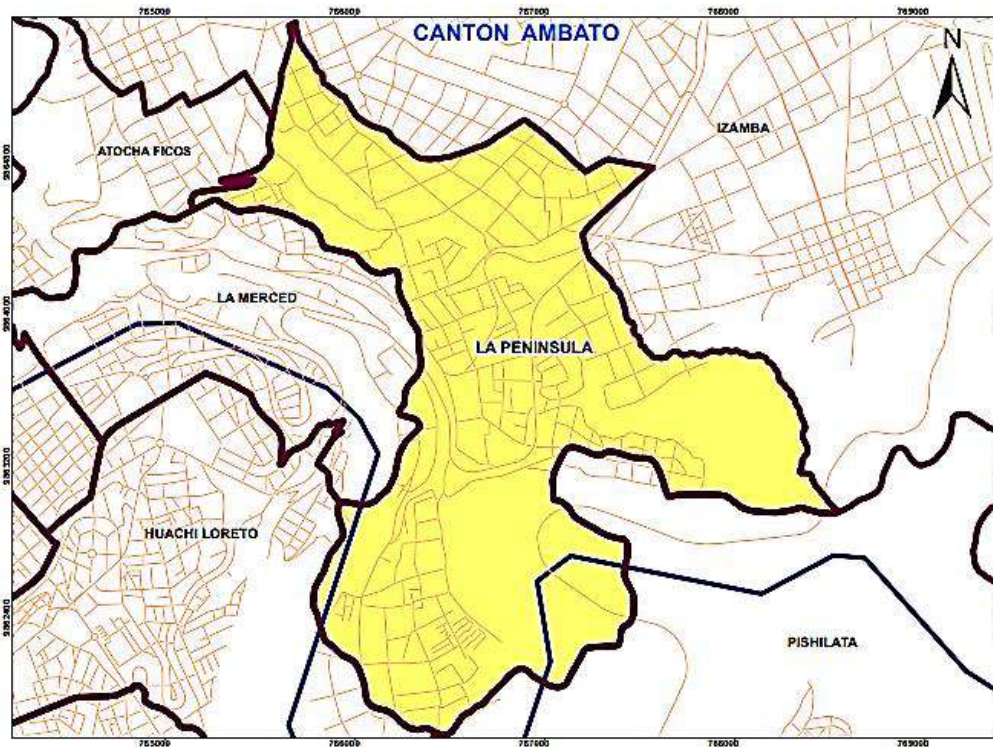


Figura 2-1: Límites de la parroquia La Península.
Fuente: (Villegas, 2016 p.28).

1.4.2. Demografía

Una visualización a los datos presentados por el INEC del año 2010 muestra que la parroquia La Península presenta una población de 8009 habitantes de los cuales el 49,29% son de género masculino y el 50,71% son de género femenino, lo que revela una densidad poblacional en la zona de 16.62 habitantes por hectárea y 1,03 mujeres por cada hombre (INEC, 2010 p.15).

1.4.3. Socioeconomía

Los datos presentados por el INEC en el 2010 muestran que 3889 habitantes de la parroquia La Península se encuentra dentro de la población económicamente activa (PEA). Este grupo lo conforman personas desde los 10 años, las mismas que trabajan al menos una hora por semana.

1.4.4. Componente geo ambientales

1.4.4.1. Recursos hídricos

El río principal que recorre la parroquia La Península es el Ambato, el cual en años remotos era muy caudaloso, sin embargo, aún conserva una corriente rápida, esto se debe a que parte del caudal del río es desviado con acequias hacia los cultivos y otras actividades de la zona.

Esto más que ventaja también se considera una desventaja ya que al delimitar con este río está propenso a graves casos de contaminación por parte de las industrias y talleres artesanales propios de la zona, y en muchos de los casos las aguas servidas también llegan hasta el río, afectando el agua, suelo, aire, flora y fauna (Basin, 2016 p.47).

1.4.4.2. Relieve

La parroquia se encuentra a una altitud que va desde los 2369 hasta los 2607m.s.n.m, razón por lo cual su terreno es rugoso conformado principalmente por una meseta entre el cerro Ambato y el Río Ambato.

La zona se divide dos sectores:

- **Sector 1:** la meseta localizada en la parte urbana, centro de la parroquia.
- **Sector 2:** conformado por senderos, quebradas, empinados, los cuales están dentro de la parroquia y en sus límites parroquiales.

1.4.4.3. Clima y temperatura

El clima de La Península es considerado como subtropical con una temperatura que ondea entre 9 y 27°C, según los datos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. El tiempo de gran parte del año es bien visto por turistas los cuales consideran al clima de la parroquia similar al de la ciudad de Baños.

Las precipitaciones en el área son menores a 500mm al año, concentrando la mayor parte de lluvias en los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio, con una velocidad en el viento mínima de 6m/s y máxima de 20m/s, precisamente en el mes de agosto.

1.4.4.4. Ecosistema

- **Flora:** la parroquia La Península posee una vegetación seca propia de la región interandina que sobresale por sus coloridas flores. El clima es adecuado para que se pueda cultivar tomate, maíz, lechuga, brócoli, café, guineo, yuca, papa china y naranjilla.
- **Fauna:** la zona presenta una amplia variedad de especies entre las que sobresalen están colibríes, tórtolas y mariposas. Parte de esta área se dedica a la agricultura por tal razón aún se puede presenciar rezagos de ganado vacuno y ovino.

“Las pendientes de las quebradas y las orillas del río Ambato, son determinadas por ley como áreas de protección natural y de uso público” (Morales, 2015 p.37).

1.5. Beneficiarios directos e indirectos

1.5.1. Beneficiarios directos

- La Curtiduría Los Andes ubicada en la parroquia La Península-Tungurahua será beneficiaria directa del proyecto dado que esta podrá contar con un sistema de adecuado de tratamiento de aguas residuales, disminuyendo el daño al sistema de alcantarillado y al medio ambiente.

1.5.2. Beneficiarios indirectos

- Los pobladores de la parroquia La Península, serán testigos y los beneficiarios indirectos de un adecuado sistema de tratamiento de aguas residuales en la Curtiduría Los Andes, ya que el manejo inadecuado de los residuos líquidos puede ser causante de enfermedades.
- La zona de descarga de este tipo de efluentes provenientes del proceso de curtido, se lo realiza de forma directa al sistema de alcantarillado del cantón Ambato parroquia La Península. El alcantarillado de esta zona se beneficiaría indirectamente ya que, este podría verse afectado si no se mantiene un control de los valores diarios de descargas de este tipo de efluentes.
- Curtidurías y talleres artesanales relacionados con la actividad del curtido, podrán beneficiarse de forma indirecta ya que podrán realizar sus propias estrategias de rediseño o diseño de un eficiente sistema de tratamiento de sus residuos líquidos.

1.6. Objetivos del trabajo

1.6.1. Objetivo General

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría Los Andes de la Parroquia La Península-Tungurahua.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físico – químicas y microbiológicas del agua residual, basadas en los límites permisibles bajo la normativa vigente, Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.
- Identificar las variables de proceso apropiadas para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- Validar el rediseño propuesto considerando la caracterización físico – química y microbiológica del agua tratada, en base a los límites permisibles bajo la normativa vigente, Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Industria curtiembre

Trabajar el cuero es una actividad que se da desde tiempos remotos. Tallar la piel o pellejo de los animales que se cazaba para posteriormente elaborar prendas de vestir se convirtió en una labor la cual aprovechaba al máximo ese residuo del animal. Las prendas que se elaboraban servían como protección del entorno natural, mejorando cada vez más la calidad de los procesos para elaborar pieles que perduren y se acoplen a sus actividades.

En el desarrollo del siglo XX, este tipo de manufacturas transforman el cuero en productos como: calzado, correas, bolsos, prensas de vestir, etc. La materia prima que se utiliza como base es la piel de animales y gran parte de esta proviene del ganado vacuno, el cual tras ser sacrificado en camales deja este subproducto a disposición de curadurías las cuales se encargan del proceso de estabilización y transformación de la piel en cuero, un material óptimo para elaborar otros productos (Sánchez, 2019 p.77).

La industria manufacturera dedicada exclusivamente a actividades relacionadas con el procesamiento del cuero se encuentra entre las 18 industrias cuyo porcentaje de aportación al estado ecuatoriano fue del 13.0% del PIB durante el 2019, como indica las estadísticas presentadas por el Banco Central del Ecuador-BCE. La información que maneja el sistema SAIKU del Servicio de Rentas Internas SRI, detalla que, durante ese mismo año, la provincia de Tungurahua tuvo un aporte del 54.4%, siendo la provincia con más industrias relacionadas con la curtiduría (Mayorga, y otros, 2020 p.68).

Para que esto sea posible las curtidurías utilizan componentes químicos que en su gran mayoría son altamente contaminantes. Como modelo se revela que de una Tonelada métrica de materia prima (pieles) apenas el 19.7% se transforma en material aprovechable (cuero), con un 0.3% de cromo adherido al producto, el cual es un metal pesado y altamente cancerígeno. El restante 60,0% comprenden los residuos sólidos y líquidos que se formados durante el proceso (Barik, y otros, 2019 p.44).

Al usarse cromo como estabilizador de las pieles para evitar su degradación, las industrias dedicadas a este tipo de actividades implementan sistemas de tratamientos de aguas residuales idóneos para cumplir la función de minimizar las concentraciones de cromo y otro tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos que posiblemente provoquen un grave impacto ambiental en la zona.

2.2. Operaciones en la industria del curtido

Durante años una producción estable de pieles frescas se ha dado por parte de los ganaderos, los cuales previamente preparan las pieles desde la crianza del animal, que en su gran mayoría son de ganado bobino y ovino. La piel proveniente del sacrificio de estas especies se las somete a una serie de procesos fisicoquímicos y reacciones químicas que fortalecen la piel y evitan su rápido deterioro.

La piel está compuesta de tres capas: la epidermis, la dermis y las capas subcutáneas. La dermis (30%-35% de proteínas), en su mayoría colágeno, es la base para la creación del cuero, el resto de la piel se compone principalmente de grasa y agua. Para este proceso se utiliza ácidos, álcalis, sales, enzimas y agentes de curtido para disolver grasas y proteínas no deseadas, para que pueda darse una unión química entre las fibras de colágeno con los curtientes (SILVATEAM, 2021).

Para transformar la piel cruda de los animales en un material estable y con propiedades adecuadas para su manufacturación se realiza una serie de procesos.

2.2.1. La ribera

La ribera es la primera fase de transformación, se recibe la materia prima, la piel (verde salado, en sangre o seca), los insumos que se utilizan son: agua, cal y Na_2S para hidratar, quitar el pelo y la endodermis, la cual está conformada por proteínas y grasa; se aumenta el espacio interfibrilar y se eliminan las impurezas presentes, manteniendo un grado de humedad estable.

Dentro de este proceso se desarrollan otras etapas como:

- **Preparación:** eliminación de los desechos de piel (trozos de piel) y transporte a la zona de tratamiento.
- **Remojo:** se realiza en tambores giratorios donde se inserta agua para hidratar y limpiar la piel, se separa residuos de estiércol, sangre, productos empleados en la conservación, etc.
- **Descarne:** mediante una operación mecánica se retira la endodermis del resto de la piel, la cual está compuesta por proteínas y grasa.
- **Pelambre:** ataque químico para separar el pelo y la epidermis, aumenta la separación entre las fibras de colágeno de la piel, destruyendo proteínas no estructurales, así como nervios, vasos sanguíneos, etc.
- **Lavado:** limpieza con o sin tensoactivos para apaciguar la acción de las enzimas y agentes químicos utilizados, no es necesario utilizar agua de calidad, se puede usar una recirculación para esta etapa (DePiel, 2020).

2.2.2. *Curtido*

La segunda etapa es una de las más importantes, aquí se evita que las proteínas presentes en la piel se pudran. Los curtientes orgánicos más usados son: acacia, mimosa, quebracho, castaño, y cascalote, esto gracias a que poseen compuestos aromáticos denominados taninos. Toda esta etapa se la realiza en menos de un día dentro de contenedores cilíndricos que giran durante el todo el proceso.

Dentro de este proceso se desarrollan otras etapas como:

- **Pickle:** se adiciona ácidos y sales que dificultan las reacciones enzimáticas del rendido, se elimina la cal combinada con el colágeno y se prepara al cuero para el curtido. Se controla el pH final el cual varía entre 1.8 y 3.5 y esto dependerá del tipo de proceso que utilice la curtiduría.
- **Curtido:** se añade al pickle, sulfato básico de cromo u otra sal curtiente. Esta sal se hidroliza manteniendo Cr^{3+} en solución para que penetre en la piel y reaccione con los componentes orgánicos, formando complejos bio-inorgánicos de Cr^{3+} con las proteínas que son los que distribuyen la estabilidad.
- **Basificado:** se añade sales alcalinas para aumentar el pH de la solución para que pueda darse la reacción del Cr^{3+} con los ligantes orgánicos.
- **Rebajado:** se da un espesor uniforme al cuero mediante una operación mecánica (DePiel, 2020).

2.2.3. *Recurtido, Teñido y Engrase*

Etapa del proceso donde se da las tonalidades a los cueros, agregando anilinas y pigmentos de toda clase, se obtiene un producto terminado.

- **Recurtido:** los curtientes inorgánicos como las sales y de cromo y aluminio le dan la suavidad, elasticidad, llenura y cuerpo al cuero.
- **Teñido:** proceso químico que le da color al cuero a nivel superficial, frecuentemente el color suele traspasar el espesor de todo el cuero. Se utilizan colorantes aniónicos directos y básicos.
- **Engrase:** se lubrican las fibras utilizando aceites naturales o sintetizados con el fin de aportar elasticidad, suavidad o dureza, hidrofobicidad, textura, tacto, elongación, conductividad térmica, peso específico, etc (DePiel, 2020).

2.2.4. *Acabado*

Es la etapa final del proceso, se dan las características propias de un cuero de calidad las cuales cumplirán con las especificaciones requeridas por los mercados.

Dentro de este proceso se desarrollan otras etapas como:

- **Escurrido y estirado:** se elimina el exceso de agua interfibrilar.
- **Secado:** se busca una humedad estable entre 14 y 16%, con la evaporación de agua aun presente en el cuero, esto con el fin de evitar la proliferación de microorganismos.
- **Desorillado y esmerilado:** se elimina los bordes y las partes con fallas, este procedimiento se denomina "recorte en crust".
- **Planchado y grabado:** se aplica presión al cuero contra una placa caliente, esta puede ser lisa o poseer figuras.
- **Laqueado:** se utiliza laca para lograr un acabado de calidad (DePiel, 2020).

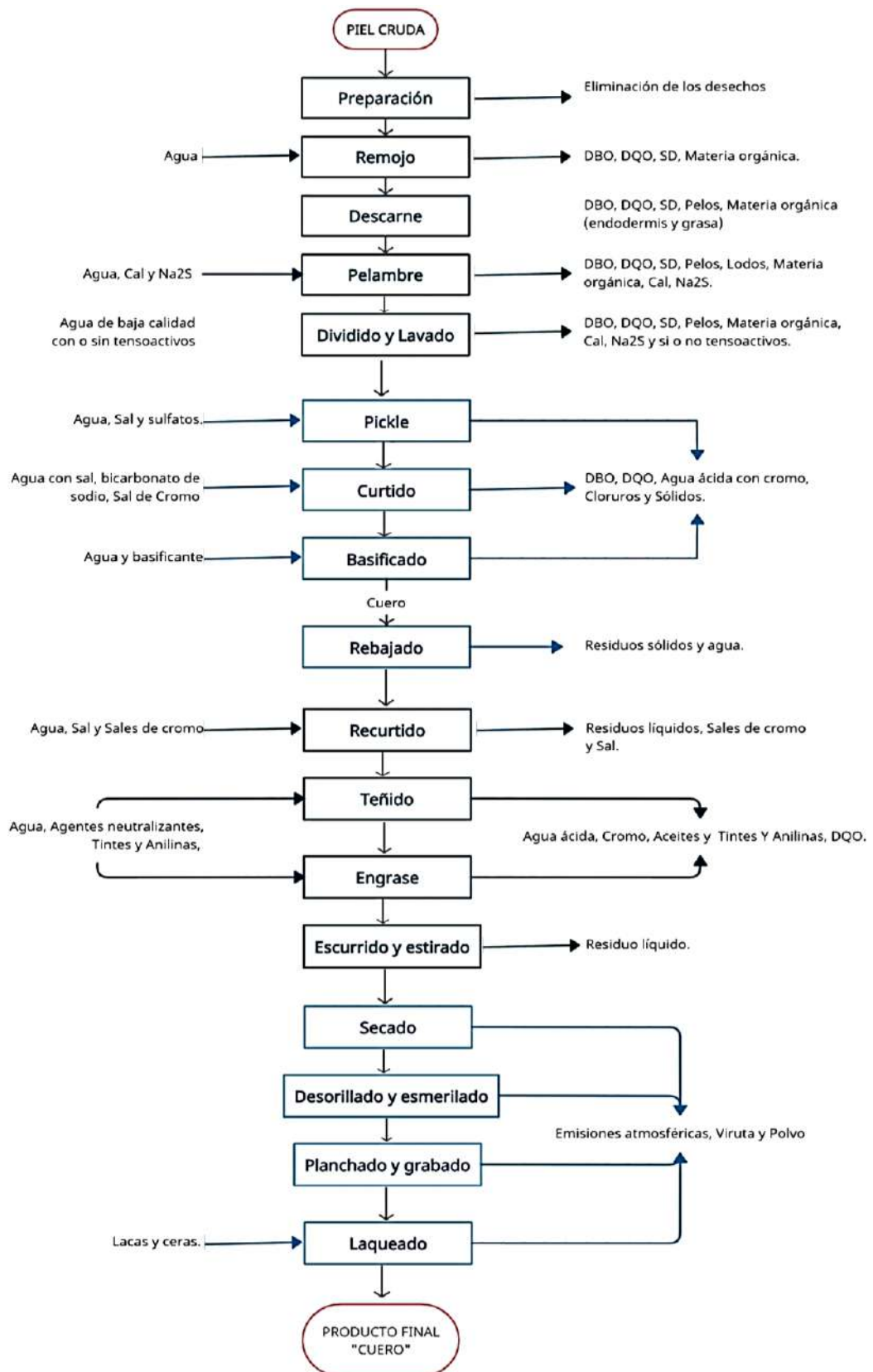


Gráfico 1-2: Procesos en una curtiduría.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

2.3. Tipos de residuos en la industria curtiembre

2.3.1. Residuos sólidos

Las curtidurías generan una cantidad considerable de residuos sólidos que en su gran mayoría lo conforma materia orgánica e inorgánica motivo por lo cual están clasificados como residuos biodegradables y especiales.

Etapas del proceso donde se genera este tipo de residuos sólidos son:

- **Ribera:** carnaza, pelo, colágeno.
- **Curtido:** viruta.
- **Acabado:** polvillo, trozos de cuero.

En muchos de los casos estos desperdicios no son tratados por la misma curtiduría si no que estos terminan en relleno sanitario. Las curtidurías ya sean de tipo artesanal o industriales no cuentan con un plan para el manejo de este tipo de residuos.

En el cantón Ambato, el manejo y transporte de estos desperdicios se lo hace a determinada hora, momento y lugar. Los propietarios de estas industrias acumulan magnas cantidades de desperdicios sólidos para llevarlos al rellano sanitario del cantón.

2.3.2. Residuos líquidos

Los residuos líquidos representan el mayor de los problemas para las curtidurías debido a que estos antes de ser desacertados a cuerpos de agua natural, quebradas o el sistema de alcantarillado deben cumplir con una serie de especificaciones técnicas determinadas por el Acuerdo N.º 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Entre los procesos que más generan aguas residuales están: el remojo, pelambre, lavado, pickle, curtido, recurrido, teñido y engrase, y el escurrido y estirado. Estas aguas van cargadas de proteínas disueltas y con restos de químicos utilizados en la producción tales como: carga orgánica e inorgánica, metales pesados y tóxicos como el cromo y sulfuros.

- **Sulfuros:** inhiben la acción de la enzima oxidasa disminuyendo la captación de nitrógeno y el desarrollo de las plantas, siendo altamente tóxicos ya que podrían generar sulfuro de hidrógenos en condiciones de pH ácidos.
- **Cromo:** el cromo trivalente es menos tóxico que el cromo hexavalente, sin embargo, el problema reside en que el cromo (III) puede transformarse en cromo (VI) por medio de oxidación, el cual pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal.

- **Sales:** son químicos inofensivos en dosis controladas, sin embargo, la industria curtidora genera grandes volúmenes de agua residual con altas concentraciones de sales, esto provoca una salinización de los cuerpos de agua donde es descargada el agua residual (Rosales, 2018 p.22).

2.4. Aguas residuales

La norma técnica presentada por la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental determina a las aguas residuales como: *“aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original”* (Tulsma, 2015 p.7).

- **Aguas residuales domésticas:** aquellas aguas que se originan en viviendas por actividades que se relacionan dentro del hogar y las que se producen por el metabolismo humano.

- **Aguas residuales industriales:** aquellas aguas que se han vertido después de cumplir un fin comercial o industrial.

- **Aguas residuales urbanas:** aquellas aguas compuestas por la mezcla de aguas residuales domésticas, industriales y pluviales (HIDROTEC, 2020).

Las aguas residuales provenientes de la industria del curtido deben cumplir con ciertos requisitos para que esta pueda ser descargada en el alcantarillado, dado que estas contienen materia orgánica, químicos orgánicos e inorgánicos y sustancias tóxicas. Las aguas residuales de curtiembres conllevan un problema ambiental y de salud, debido a las altas concentraciones de contaminantes como el cromo, sulfuros, entre otros (Rosales, 2018 p.22).

2.5. Caracterización de las aguas residuales

Los parámetros de monitoreo de las descargas industriales que están directamente relacionados a las curtiembres son identificados según el Código Internacional Industrial Uniforme (CIIU), para determinar y ubicar el tipo de problema a solucionar. Mediante estas cuantificaciones la caracterización fisicoquímica del agua residual determina el cumplimiento no de la normativa ambiental.

Tabla 1-2: Parámetros de monitoreo.

| CIIU | ACTIVIDAD INDUSTRIAL | PARAMETROS DE MONITOREO |
|------|---------------------------|--|
| 1910 | Curtido y adobo de pieles | m^3/d , DBO, DQO, pH, SST, SAAM, Grasas y aceites, |

| | |
|--|--|
| | Fenoles, Sulfatos (SO_4), Sulfuros (S^{-2}), Cromo (Cr), Cromo hexavalente (Cr^{+6}), Color. |
|--|--|

Fuente: (TULSMA, 2015).

- **Caudal:** cantidad de fluido que pasa por una determinada área en una unidad de tiempo.
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** cantidad equivalente de oxígeno (mg/L) necesaria para oxidar biológicamente los componentes presentes en las aguas residuales.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** cantidad equivalente de oxígeno en (mg/L) necesaria para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes.
- **Potencial de hidrógeno:** es la concentración de iones hidrogeno disueltos en el agua.
- **Sólidos (SST):** la cantidad de sólidos puede afectar directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento de agua.
- **Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM):** cantidad de detergentes y agentes superficiales activos, presentes en el efluente, disminuyen la tensión superficial del cuerpo de agua donde estén presentes.
- **Grasas y aceites:** son sustancias solubles en hexano, cuyo origen puede ser vegetal, animal o de hidrocarburos.
- **Sulfatos:** es un ion común presente en las aguas residuales que en condiciones anaeróbicas origina problemas de olor y corrosión al sistema de alcantarillado.
- **Fenoles:** son compuestos orgánicos que causan problemas en el sabor del agua de consumo tratada con cloro.
- **Cromo:** el cromo trivalente que se utiliza en forma de sales minerales, dada las condiciones en se oxida a cromo hexavalente, el cual es conocido por su alto grado de toxicidad.
- **Color:** el color negro es característico de las aguas que presentan sulfuros metálicos disueltos. Esto puede indicar el origen del contaminante y la calidad del tratamiento (Lombeida, 2017, p.11-14).

La normativa ambiental vigente establece que: *“las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización deberán cumplir, al menos, con los valores que se establecen en una de sus tablas, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios”* (M.D.A, 2015).

2.6. Principales métodos de tratamiento para aguas residuales

La combinación de residuos líquidos proveniente de diversos orígenes que a través del tiempo y hayan cumplido un fin ya sea comercial, industrial o doméstico, es conocido como aguas residuales. Se caracterizan por tener colores oscuros y mal olor, generando proliferaciones de agentes patógenos causantes de enfermedades. El tratamiento de este tipo de aguas se lo lleva a

cabo mediante de una serie de operaciones unitarias las cuales a través de procesos fisicoquímicos y microbiológicos. El trabajo conjunto de algunas de las operaciones y procesos se conocen como: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Lombeida, 2017, p.11-14).

- **Pretratamiento:** separación de material y cuerpo grandes (pelos, trozos de carne, retazos de cuero, etc.), previene el taponamiento de los conductos y tuberías del sistema. Entre los pretratamientos más frecuentes están: Tanque de tormentas, separación de grandes sólidos (pozo de gruesos), cribado o desbaste (rejas), tamizado, dilaceración, desarenado, desengrasado (mantiene un buen rendimiento de los procesos químicos y biológicos.), homogeneización.
- **Tratamiento primario:** se separa por medios físicos-químicos los sólidos en suspensión sedimentables, al igual que grasa y fibras que no hayan sido atrapadas en el tratamiento previo. Las operaciones unitarias que sobresalen en esta etapa de tratabilidad son: sedimentación, decantación, flotación y estilización del pH.
- **Tratamiento secundario:** elimina la materia orgánica biodegradable combinada con otros contaminantes que no puede sedimentar. Esta etapa de tratabilidad consiste en cultivar microorganismos los cuales asimilarn la materia orgánica generando un fango el cual estará destinado a una digestión directa o indirecta.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

EL presente proyecto de tipo técnico se llevará a cabo en dos partes, que se enfocaran tanto en el muestreo como en el rediseño del sistema de tratamiento de agua residual donde se realizará el estudio.

La primera etapa de este estudio se orientará a la toma de muestras, monitoreo, control y análisis de los efluentes provenientes de la curtiduría Los Andes, la cual está ubicada en la parroquia La Península - Tungurahua. Esta etapa preliminar se la realizará en las instalaciones de la curtiduría con el fin conocer y verificar sus parámetros de descarga en cuanto a residuos líquidos y el tipo de contaminación que está generándose en los alrededores.

Tabla 1-3: Localización de la Investigación.

| Detalles | Descripción |
|----------------------|--|
| Provincia | Tungurahua |
| Cantón | Ambato |
| Parroquia | La Península |
| Nombre de la Empresa | Curtiduría Los Andes |
| Dirección | Calle Rio de Janeiro y pasaje San José |
| Coordenadas | Latitud: 1°14'29.36''S Longitud: 78°36'30.40''O |
| Altitud | 2491 msnm |

Realizado por: Pasmay, O, 2021.

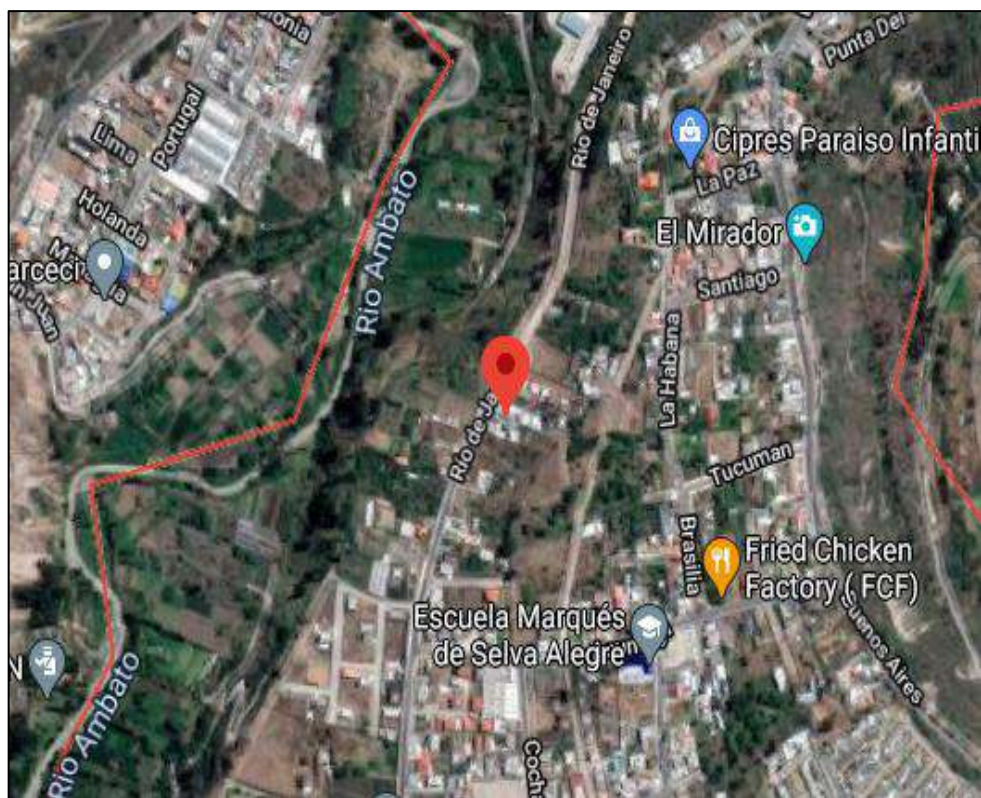


Figura 1-3: Ubicación geográfica de la curtiduría Los Andes.

Fuente: (Google Earth Pro, 2019).

La segunda etapa del proyecto se basa en el análisis de muestras de agua residual propias de la curtiduría Los Andes, las cual indicará la concentración y el tipo de contaminante que sale de los valores permitidos por la normativa ambiental vigente. Posteriormente tras el análisis de los datos obtenidos se rediseñará el sistema de tratabilidad de agua residual que posee la curtiduría, primeramente, se lo realizará a escala de laboratorio para subsiguientemente determinar que tratamiento será factible y desarrollarlo a nivel industrial.

Se comparará estudios previos de tratamiento realizados por la curtiduría para realizar una comparación entre análisis externos y análisis realizados por quien desarrolla el proyecto.

El análisis y tratabilidad del agua se lo realizará en el laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el cual está ubicado en la ciudad de Riobamba.

Tabla 2-3: Localización del laboratorio de Calidad de Agua.

| Detalles | Descripción |
|-----------------|--|
| Provincia | Chimborazo |
| Cantón | Riobamba |
| Establecimiento | Escuela Superior Politécnica de Chimborazo |
| Laboratorio | Calidad de Agua |

| | |
|-------------|--|
| Dirección | Panamericana Sur km 1 ½ |
| Coordenadas | Latitud: 1°39'18.23''S Longitud: 78°40'43.95''O |
| Altitud | 2822 msnm |

Realizado por: Pasmay, O, 2021.



Figura 2-3: Ubicación geográfica, Laboratorio de Calidad de Agua, ESPOCH.

Fuente: (Google Earth Pro, 2019).

3.1.1. Tipo de estudio

El presente estudio es un trabajo de tipo técnico en cual se encuentra dentro del grupo de vinculación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, caracterizado por el cuidado del medio ambiente mediante la aplicación de la ingeniería en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria del curtido. La experimentación a nivel de laboratorio para la caracterización y tratabilidad tienen como fin el rediseño de estos sistemas de tratabilidad los cuales con el paso del tiempo han ido perdiendo su eficacia disminuyendo el rendimiento de la planta y provocando contaminación del área donde está ubicada este tipo de manufactura.

3.2. Metodología

En la empresa Curtiduría Los Andes se realizó un muestreo, el cual se determinó mediante el uso de la Norma INEN 2176:1998, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo”.

La toma de muestras serán de los residuos líquidos que están siendo descargados en el sistema de alcantarillado.

Para la toma de muestras se optó por la siguiente metodología:

- Selección del lugar donde se tomará las muestras.
- Utilización de recipientes adecuados para muestreo y transporte.
- Aplicación de la Norma INEN 2176 para la toma de muestras.
- Señalar de forma correcta cada muestra.
- En pruebas de campo por métodos in situ o equipos de medición, seguir las instrucciones del fabricante.
- Realizar los análisis de caracterización respectivos en el laboratorio de Calidad de agua.

3.3. Métodos y técnicas

3.3.1. Métodos

La utilización de métodos de tipo científico es la mejor alternativa al tratarse de un proyecto técnico, ya que, son la línea de inicio cuando se refiere a la obtención y medida de parámetros que determinaran el dimensionamiento adecuado para el tipo de diseño a rediseñar.

- **Método inductivo:** es la base del proyecto, una lluvia de ideas que determina la idea central de todo el proyecto. Se toma como punto de partida el origen de las pieles a trabajarse para obtener cuero como producto final, la caracterización de este y la calidad de los instrumentos y equipos que se utilizan durante el proceso de elaboración de cueros, para establecer alternativas de optimización de tratabilidad de sus efluentes resultantes donde existe una gran carga contaminante.

- **Método deductivo:** se basa en la aplicación de lo aprendido experiencias y práctica, sin dejar a un lado lo teórico, es una representación más abstracta de crear, una forma pensar, razonar y hacerlo. Se guía en proyectos previos y en nuevas tecnologías para ser implementadas en un plano diferente, esperando tener igual o mejores resultados.

3.3.1.1. Métodos para analizar aguas residuales

Tabla 3-3: Parámetros de monitoreo y métodos.

| Parámetros de monitoreo | Unidades | Método |
|-------------------------|----------|------------|
| Alcalinidad | mg/L | Titulación |

| | | |
|------------------------------------|-------|-------------------------------|
| Color | Pt-Co | Colorimétrico |
| Conductividad | mS/cm | Electrométrico |
| Cloruros | mg/L | Titulación |
| Cromo hexavalente | mg/L | Colorimétrico |
| Grasas y aceites | mg/L | Partición gravimétrica |
| DBO₅ | mg/L | Incubación 5 días |
| DQO | mg/L | Reflujo cerrado titulométrico |
| Potencial de Hidrogeno | pH | Potenciométrico |
| Sólidos Sedimentables | mg/L | Cono Imhoff |
| Sólidos suspendidos totales | ml | Colorimétrico |
| Sólidos disueltos totales | ppt | Electrométrico |
| Sulfatos | mg/L | Colorimétrico |
| Sulfuros | mg/L | Espectrofotómetro |
| Temperatura | °C | Termómetro |
| Turbidez | NTU | Nefelométrico |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **Alcalinidad.** – tomar 25ml de muestra, adicionar de 2 a 3 gotas de fenolftaleína y se titula con ácido sulfúrico hasta que se torne incoloro. Adicionar 3 gotas de naranja de metilo y titular con ácido sulfúrico. El viraje será de naranja a rosado.
- **Color.** – tomar 1ml de muestra y diluir en 100ml de agua destilada. Colocar la dilución en una celda Hach y medir, el resultado obtenido se deberá multiplicar por 100.
- **Conductividad.** – se utiliza un electrodo de cristal y se mide.
- **Cloruros.** – tomar 25ml de muestra en un matraz y adicionar 4 gotas de K₂CrO₄, titular con AgNO₃, el viraje será de amarillo a ladrillo.
- **Cromo hexavalente.** – para el análisis del cromo hexavalente se usa el método estandarizado HACH.
- **Grasas y aceites.** – tomar 200ml de muestra, adicionar 30ml de hexano y colocar en un balón de separación por 30 min. La grasa quedara en la parte superior. En una caja Petri previamente tarada colocar la grasa. Llevar a baño maría para eliminar el exceso de hexano y posteriormente poner en el secador.
- **DBO₅.** – colocar 157ml de muestra en el frasco. Añadir 3ml de solución rica en nutrientes, una pepita de KOH, tapar y colocar la muestra en el gasométrico, tomar datos cada día, para al final obtener el valor promedio al final de los 5 días.
- **DQO.** – tomar 1ml de muestra y colocar en un vial. Digestar la muestra por 2h, medición equipo HACH.
- **Potencial de Hidrogeno.** – se utiliza un electrodo de cristal y se mide.
- **Solidos Sedimentables (SS).** – colocar 250ml de agua residual y 750 de agua potable, dejar 24 horas hasta que sedimente totalmente.

- **Sólidos suspendidos totales (SST).** – tomar 10ml de muestra y diluir en 100ml de agua destilada. Colocar la dilución en una celda Hach y medir, el resultado obtenido se deberá multiplicar por 10.
- **Sólidos disueltos totales (TDS).** – se utiliza un electrodo de cristal y se mide.
- **Sulfatos.** – se realiza un blanco con agua destilada, tomar 10 ml de la muestra en la celda Hach, colocar en el espectrofotómetro Hach y medir.
- **Sulfuros.** – tomar 25 ml de muestra y añadir 0.5 ml de HCl (6N) + 10 ml de solución de yodo (0.1N), Titular con tiosulfato de sodio 0,025N. Añadir 0.5ml almidón y titular con Tiosulfato hasta color transparente, anotar el volumen total.
- **Temperatura.** – se utiliza un electrodo de cristal o un termómetro y se mide.
- **Turbidez.** – se utiliza el Turbidímetro para el análisis.

3.3.2. Técnicas

El análisis de los parámetros y la obtención de sus valores se lo realiza en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente en el laboratorio de Calidad del Agua tomando como referencia los métodos establecidos dentro del laboratorio para su análisis. Posteriormente se realizará una comparación entre los valores alcanzados con los valores establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8.

3.3.2.1. Toma de muestras

Las muestras que se obtendrán se lo realizarán como se estipula en la norma NTE INEN 2169 y NTE INEN 2176, del año 2013, anexo A y B respectivamente ya que no existe variación o actualización de estas normas, donde se detalla la forma de toma de muestras el equipo a utilizar y la forma de conserva y transporte de esta para evitar deterioro o contaminación.

Tabla 4-3: Toma de muestras.

| Lugar de la muestra de agua | Tipo de efluente | Hora | Muestras tomadas | Muestras analizadas |
|-----------------------------------|------------------|-------|------------------|---------------------|
| Ingreso al sistema de tratamiento | Pelambre | 07:00 | 3 | 3 |
| | Curtido | 08:00 | 3 | 3 |
| | Lavado | 10:00 | 3 | 3 |
| Salida del sistema de tratamiento | Pelambre | 8:00 | 3 | 3 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

El agua que se tomó como muestras fueron tomadas durante el mes de febrero, tiempo en el cual la curtiduría Los Andes comenzó a producir nuevamente tras el paro ocasionado por la pandemia del COVID-19.

Las muestras de aguas que se tomaron son las que estaban en las piscinas del bombo de curtido y pelambre y de las piscinas de lavado antes de que estas ingresen al sistema de tratamiento de agua propio de la curtiduría y se tomó una muestra de cada zona semana tras semana. Posteriormente se tomó el agua de a la salida del sistema de tratabilidad de la curtiduría, en este caso solo existía agua de pelambre ya que curtido y lavado no eran tratadas, simplemente atravesaban el sistema sin tratabilidad alguna.

Las muestras se las tomo en canecas de plástico previamente lavadas y descontaminadas para evitar alteraciones durante el transporte de estas hasta la ciudad de Riobamba donde se realizó la caracterización y posterior tratamiento para determinar un adecuado rediseño para la tratabilidad de residuos sólidos de pelambre y diseñar un eficiente tratamiento para el agua de curtido y lavado.

3.3.2.2. *Preservación de las muestras*

A preservación de las muestras es muy importante, ya que al mantenerlas en un ambiente estable estas no alteran sus propiedades y por ende los análisis y resultados que se las realizara serán viables.

Tabla 5-3: Métodos de muestreo.

| Parámetros de monitoreo | Recipiente | Técnica de conservación | Tiempo máximo de conservación |
|--------------------------------|---------------------|--|--------------------------------------|
| Alcalinidad | Plástico o vidrio | Refrigeración 2-5°C | 24h |
| Color | Plástico o vidrio | Refrigeración 2-5°C, guardar en la oscuridad | - |
| Conductividad | Plástico o vidrio | Refrigeración 2-5°C | 24h |
| Cloruros | Plástico o vidrio | - | 30 días |
| Cromo hexavalente | Plástico o vidrio | Refrigeración 2-5°C | 24h |
| Grasas y aceites | Vidrio | Refrigeración 2-5°C | 24h |
| DBO ₅ | Vidrio recomendable | Refrigeración 2-5°C, guardar en la oscuridad | 24h |
| DQO | Vidrio recomendable | Acidificar a un pH < 2, refrigeración 2-5°C, guardar en la oscuridad | 5 días |
| Olor | Vidrio recomendable | Refrigeración 2-5°C | 6h |
| Potencial de Hidrogeno | Plástico o vidrio | - | - |
| Sólidos Sedimentables | Plástico o vidrio | - | 24h |

| | | | |
|-----------------------------|-------------------|--|----------|
| Sólidos suspendidos totales | Plástico o vidrio | - | 24h |
| Sólidos disueltos totales | Plástico o vidrio | - | 24h |
| Sulfatos | Plástico o vidrio | Refrigeración 2-5°C | 1 semana |
| Sulfuros | Plástico o vidrio | Alcalinizar la muestra con hidróxido de sodio a pH > 9 | - |
| Temperatura | Plástico o vidrio | - | - |
| Turbidez | Plástico o vidrio | - | 24h |

Fuente: (INEN, 2013).

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4. Procedimiento a nivel laboratorio

3.4.1. *Materiales, equipos y reactivos*

3.4.1.1. *Materiales*

- Matraz Erlenmeyer
- Varilla de Vidrio
- Vidrio reloj
- Caja Petri
- Bureta
- Pizeta
- Pipetas
- Peras de Succión
- Vaso de Precipitación
- Pipetas Volumétricas
- Mangueras
- Embudo de separación
- Probetas

3.4.1.2. *Equipos*

- Balanza Analítica
- Baño María
- Espectrofotómetro HACH DR 2800
- Bombas de aireación
- Conductímetro

- pH-metro
- Colorímetro HACH DR 2800
- Turbidímetro
- Estufa
- Mufla
- Conos Imhoff
- Tes de jarras

3.4.1.3. *Reactivos*

- Ácido fórmico
- Ácido clorhídrico 6.34 N
- Yodo 0.1 N
- Dicromato de Potasio
- Naranja de Metilo
- Tiosulfato de sodio
- Almidón
- Cal
- Nitrato de Plata 0,01 N
- Solución Buffer pH 10
- Solución EDTA 0,02M
- Ácido Sulfúrico 0,05 N
- Hidróxido de sodio 1 N
- Policloruro de aluminio
- Sulfato férrico
- Cloruro férrico
- Sulfato de aluminio
- Cloro
- Hexano

3.4.2. Métodos Estandarizados de caracterización

3.4.2.1. Alcalinidad

Tabla 6-3: Método para alcalinidad.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | La alcalinidad en una muestra de agua es la capacidad que esta presenta para neutralizar ácidos, constituyendo la suma de todas las bases titulables, este valor obtenido puede variar según el pH. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Agitador magnético - Probeta de 50mL - Pipeta de 1mL - Vaso de precipitados de 250mL |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Ácido sulfúrico 0,05 N - Fenolftaleína - Naranja de metilo |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Tomar 25mL de muestra - Agregar 2 gotas de fenolftaleína - Titular con ácido sulfúrico - Agregar 4 gotas de naranja de metilo - Titular con ácido sulfúrico - Viraje de naranja a rosa. |
| Cálculo | <p>Para determinar la alcalinidad del agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $At = \frac{A * N * 50000}{v}$ <p>Donde: <i>A</i> = ácido sulfúricogastado (mL) <i>N</i> = normalidad del ácido sulfúrico (Eq – g/L) <i>v</i> = volumen de la muestra (mL)</p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.2. Aceites y Grasa

Tabla 7-3: Método para aceite y grasas.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | La determinación de aceites y grasas se da por separación de capas al usar hexano se crea una película que separa la grasa del agua dejando en la parte superior la grasa seguido del hexano esto gracias a la diferencia de densidades que existe entre las sustancias. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Embudo de separación |

| | |
|-----------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Soporte universal - Pinzas para embudo de separación - Probeta de 50mL - Vaso de precipitados de 100mL - Caja Petri - Baño maría - Secador |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Hexano - Agua destilada |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Usar un embudo de separación - Tomar 200mL de muestra - Agregar 30mL de hexano - Agitar y dejar reposar por 30 min - Separar la grasa que estará en la parte superior - Recoger en una caja Petri previamente tarada - Llevar a baño maría hasta evaporar el exceso de hexano. - Llevar al secador para terminar de secar. - Pesar y comparar la diferencia |
| Cálculo | <p>Para determinar la cantidad de grasa del agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $grasa = \frac{(P2 - P1)}{v} * 10^6 \equiv mg/L$ <p>Donde:</p> <p>$P1 = peso\ caja\ petri\ vacia\ (g)$</p> <p>$P2 = peso\ caja\ petri\ con\ la\ muestra\ (g)$</p> <p>$v = volumen\ de\ la\ muestra\ (mL)$</p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.3. Conductividad

Tabla 8-3: Método para conductividad.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | Es la capacidad de un cuerpo, mediante el cual los electrones pueden atravesarlo, es decir el paso de corriente eléctrica. Esta puede varias gracias a la temperatura. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Conductímetro - Vaso de precipitación |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Soluciones neutralizantes - Agua destilada |

| | |
|----------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - En un vaso se toma una muestra de 100mL. - Lavar los electrodos con abundante agua destilada y con el neutralizante. - Introducir el electrodo en la muestra de agua. - Esperar hasta que los valores se estabilicen. - También se puede medir la temperatura. - La unidad de medida va desde uS/cm hasta mS/cm |
| Cálculo | <ul style="list-style-type: none"> - Lectura directa, panel digital. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.4. Cloruros

Tabla 9-3: Método para cloruros.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | El ion cloruro Cl^- es un ion inorgánico que se encuentra disuelta en gran parte de las aguas ya sean estas residuales, naturales o tratadas. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Matraz de 200mL - Bureta - Pinzas para bureta - Probeta de 50mL - Soporte universal |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Nitrato de plata - Dicromato de potasio - Agua residual |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Usar un embudo de separación - Tomar 200mL de muestra - Agregar 30mL de hexano - Agitar y dejar reposar por 30 min - Separar la grasa que estará en la parte superior - Recoger en una caja Petri previamente tarada - Llevar a baño maría hasta evaporar el exceso de hexano. - Llevar al secador para terminar de secar. - Pesar y comparar la diferencia |
| Cálculo | <p>Para determinar la alcalinidad del agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $Cl^- = \frac{T * N * Pm(Cl) * 1000}{v} \equiv mg/L$ <p>Donde:</p> <p>T = volumen utilizado de titulante (mL) N = normalidad del nitrato de plata (eq – g/L) $Pm(Cl)$ = peso molecular del Cl (g/mol) v = volumen de la muestra (mL)</p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.5. Cromo hexavalente

Tabla 10-3: Método para cromo hexavalente.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | El cromo hexavalente Cr^{6+} es un compuesto inorgánico que puede encontrarse en agua proveniente de residuos de industrias. Es cancerígeno. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Recipiente para análisis 10mL - Pipeta - Pipeta Pasteur |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Reactivo acido en polvo - Reactivo Chromaver3 en polvo - Reactivo Cromo 1 en polvo. - Reactivo Cromo 2 en polvo. - Agua residual. - Agua destilada. |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Llenar el recipiente de análisis con 10mL de muestra - Añadir el Chromaver3 en polvo - Agitar el recipiente para mezclar - Esperar 5 min mientras se da la reacción. - Para el blanco llenar otro recipiente con 10mL de agua residual - Seleccionar en el panel de programas cromo hexavalente |
| Cálculo | Se lee directo gracias al espectrofotómetro (mg/L) |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Tabla 11-3: Método para DBO_5 .

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | Se deja una muestra de agua en incubación por el lapso de 5 días. Se mide el oxígeno que esta disuelto antes y después del análisis. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Equipo para DBO - Botella de incubación del equipo para DBO - Tampones de copa - Capsula magnética (electrolito) - Grasa. |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual. - Buffer nutritivo - Hidróxido de litio |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Poner 160mL de muestra en una botella ámbar. - Introducir el electrolito en la botella. - Añadir el Buffer nutritivo - Aplicar grasa en el borde de la botella. |

| | |
|----------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Sellar con el tapón de copa. - Añadir Hidróxido de litio. - Colocar la botella en el equipo - Ajustar la temperatura a 20 °C - Ajustar el tiempo (5 días) |
| Cálculo | Lectura directa en el equipo. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.7. Demanda química de oxígeno (DQO)

Tabla 12-3: Método para DQO.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | Se denomina DQO a la cantidad de oxígeno que requiere un compuesto o sustancia para su oxidación. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Pipeta volumétrica. - Pipeta Pasteur. - Equipo de DQO. - Gradilla para tubos de digestión. - Tubos de digestión. |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Agua residual - Ftalato Ácido de Potasio |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Tomar una muestra de 100mL y homogenizarla - Introducir 2mL de muestra en un tubo digestor - Agregar el Ftalato Ácido de Potasio - Ajustar el tiempo 2 horas |
| Cálculo | Lectura directa en el equipo HACH |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021

3.4.2.8. Turbiedad

Tabla 13-3: Método para turbiedad.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | Mide la cantidad de coloración que tiene un cuerpo de agua. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Turbidímetro - Sonda |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Agua residual |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Tomar una muestra de 10mL de agua residual y diluir en 100mL - Llenar la sonda con la dilución - Introducir la sonda en el turbidímetro - Esperar a que se marque el valor |

| | |
|----------------|--|
| Cálculo | Lectura directa en el equipo turbidímetro. |
|----------------|--|

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.9. Potencial de hidrogeno pH

Tabla 14-3: Método para pH

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | Determina si una sustancia es acida o básica. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - pH-metro - Vaso de precipitación - Piseta |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Calibrar el electrodo con una solución neutralizante. - Colocar dentro de la muestra el electrodo - Esperar a que se marque el valor. - Lavar electrodo con agua destilada - Secar |
| Cálculo | Lectura directa en la pantalla del equipo |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.10. Sólidos sedimentables (SD)

Tabla 15-3: Método para sólidos sedimentables.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | La cantidad de solidos que están en suspensión y que con el transcurso del tiempo pueden sedimentar. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Cono Imhoff |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada. |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Agitar la muestra - Tomar 1000 mL de muestra - Llenar el cono con la muestra de agua - Dejar reposar por 24 horas para mejores resultados - Anotar los datos. |
| Cálculo | La cantidad resultante será el valor en mL/L |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.11. *Sólidos suspendidos totales (SST)*

Tabla 16-3: Método para sólidos suspendidos totales.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | Se denomina sólidos en suspensión a la cantidad de materia ya sea esta orgánica o inorgánica en un determinado volumen de agua. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Caja Petri - Vaso de precipitación - Baño maría - Secador - Balanza analítica - Electrodo HACH |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Tarar la caja Petri y adicionar 50mL de agua residual - Llevar a baño María hasta que se evapore el agua - Llevar al secador para que termine de eliminar toda la humedad. - Pesar y sacar la diferencia. - Tomar una muestra de agua - Introducir el electrodo HACH - Esperar a que se estabilice los valores - Anotar los datos. |
| Cálculo | <p>Se puede determinar con lectura directa al usar el electrodo.</p> <p>Para determinar la cantidad de SST en el agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $SST = \frac{(P2 - P1)}{v} * 10^6 \equiv mg/L$ <p>Donde:</p> <p><i>P1 = peso caja petri vacia (g)</i></p> <p><i>P2 = peso caja petri con la muestra (g)</i></p> <p><i>v = volumen de la muestra (mL)</i></p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.12. *Sólidos totales (ST)*

Tabla 17-3: Método para sólidos totales.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | Para determinar la cantidad de sólidos totales se usa una caja Petri la cual indicará una diferencia al aumentar de peso, esa diferencia será el valor de los sólidos totales. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Caja Petri - Vaso de precipitación - Baño maría - Secador - Balanza analítica |

| | |
|-----------------|---|
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Agua residual |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Tarar la caja Petri - Adicionar 50mL de agua residual - Llevar a baño María hasta que se evapore el agua - Llevar al secador para que termine de eliminar toda la humedad. - Pesar - Determinar la diferencia. |
| Cálculo | <p>Para determinar la cantidad de ST en el agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $ST = \frac{(P2 - P1)}{v} * 10^6 \equiv mg/L$ <p>Donde:</p> <p><i>P1 = peso caja petri vacia (g)</i></p> <p><i>P2 = peso caja petri con la muestra (g)</i></p> <p><i>v = volumen de la muestra (mL)</i></p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.13. Sulfatos (SO_4^{2-})

Tabla 18-3: Método para sulfatos.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | Los sulfatos son sustancias que se encuentran diluidas en la mayoría de aguas, la peligrosidad de esta sustancia está en la cantidad presente en ese cuerpo de agua. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Cubeta para análisis - Pipeta de 10mL - Piseta - Equipo HACH |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - SulfaVer en polvo - Agua residual - Agua destilada |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Diluir la muestra original por 20 - Limpiar la cubeta con agua destilada - Agregar 10mL de muestra en la cubeta. - Agregar el sobre de SulfaVer en polvo - Esperar 5 min hasta que reaccione - Introducir la cubeta en el equipo HACH - Anotar los datos |
| Cálculo | El valor se lee directamente en el equipo. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.14. Sulfuros (S^{2-})

Tabla 19-3: Método para sulfuros.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|---|
| Fundamento | El ion cloruro Cl^- es un ion inorgánico que se encuentra disuelta en gran parte de las aguas ya sean estas residuales, naturales o tratadas. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Matraz de 125mL - Bureta - Pinzas para bureta - Probeta de 50mL - Soporte universal |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Nitrato de plata - Dicromato de potasio - Agua residual |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Diluir la muestra por 10 - Tomar 25mL de la dilución en un matraz - Agregar 0,5mL de HCl (6,34N) - Agregar 10mL de yodo (0,1N) - Titular con tiosulfato de sodio hasta que cambie de color - Agregar 0,5mL de almidón - Titular con tiosulfato de sodio hasta que cambie de color |
| Cálculo | <p>Para determinar la concentración de sulfuros del agua se utiliza la siguiente ecuación:</p> $S^- = \frac{BM * N * Pm(S) * 1000}{v} \equiv mg/L$ <p>Donde: <i>BM = blanco (mL)</i> <i>N = normalidad del yodo (eq – g/L)</i> <i>Pm(Cl) = peso molecular del asufre (g/mol)</i> <i>v = volumen de la muestra (mL)</i></p> |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.4.2.15. Temperatura

Tabla 20-3: Método para temperatura.

| DETALLES | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|--|
| Fundamento | La temperatura es un parámetro que se mide al instante de la toma de las muestras ya que esta puede variar fácilmente. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> - Termómetro - Electrodo |
| Reactivo | <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual - Agua destilada |
| Técnica | <ul style="list-style-type: none"> - Introducir el termómetro en el agua |

| | |
|----------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - Esperar a que el valor se estabilice - Anotar los datos - Con el electrodo - Introducir la sonda en el agua residual - Esperar que se estabilice - Anotar los datos |
| Cálculo | La lectura en ambos métodos es directa. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.5. Selección de las muestras de aguas

3.5.1. Caudal

Para medir el caudal se tomó como inicio la entrada y salida de los efluentes de pelambre curtido y lavado.

Las muestras se tomaron cada 8 días en las horas de descarga del bombo, esto para las muestras antes de que ingresen al sistema de tratamiento de la curtiduría. del mismo modo cada 8 días se tomó las muestras de agua a la salida del sistema de tratamiento implementado por la curtiduría, esto con el fin de realizar una comparación y determinar la eficiencia del sistema de tratamiento actual.

El método que se utilizó para la determinación del caudal fue el volumétrico, el cual consiste en:

- Se graduó un tanque de 25L y con un cronometro se determinó el tiempo de llenado de este.
- Este método solo se lo podía realizar una vez cada descarga ya que la curtiduría tenía una baja producción.
- Posteriormente las muestras que se tomaron fueron trasladadas a los laboratorios de calidad de agua de la ESPOCH.

3.5.2. Determinación de caudales

Se tomo como base un recipiente de 25L y un cronometro.

3.5.2.1. Caudal, agua de pelambre a la entrada del sistema de tratamiento.

Tabla 21-3: Caudal del agua de pelambre sin tratamiento.

| Día | Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) | Caudal (m^3/d) |
|-----|-------------|------------|--------------|--------------------|
| 1 | 25 | 10 | 2,50 | 216,00 |
| 2 | 25 | 12 | 2,08 | 180,00 |

| | | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-------------|---------------|
| 3 | 25 | 11 | 2,27 | 196,36 |
| Promedio | 25 | 11 | 2,29 | 197,45 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.5.2.2. Caudal del agua de pelambre a la salida del sistema de tratamiento

Tabla 22-3: Caudal del agua de pelambre con tratamiento.

| Día | Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) | Caudal (m^3/d) |
|-----------------|-------------|-------------|--------------|--------------------|
| 1 | 25 | 8 | 3,13 | 270 |
| 2 | 25 | 10 | 2,50 | 216 |
| 3 | 25 | 8 | 3,13 | 270,00 |
| Promedio | 25 | 8,67 | 2,92 | 252,00 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.5.2.3. Caudal del agua de curtido

Tabla 23-3: Caudal del agua de curtido sin tratamiento.

| Día | Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) | Caudal (m^3/d) |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
| 1 | 25 | 15 | 1,67 | 144 |
| 2 | 25 | 13 | 1,92 | 166,15 |
| 3 | 25 | 15 | 1,67 | 144 |
| Promedio | 25 | 14,33 | 1,75 | 151,38 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.5.2.4. Caudal del agua de lavado

Tabla 24-3: Caudal del agua de lavado sin tratamiento.

| Día | Volumen (L) | Tiempo (s) | Caudal (L/s) | Caudal (m^3/d) |
|-----------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
| 1 | 25 | 15 | 1,67 | 144 |
| 2 | 25 | 17 | 1,47 | 127,06 |
| 3 | 25 | 17 | 1,47 | 127,06 |
| Promedio | 25 | 16,33 | 1,54 | 132,71 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021

3.5.2.5. Promedio de caudales

Tabla 25-3: Parámetro de caudales.

| Tipo de agua | Caudal (m^3/d) | Caudal (L/s) |
|------------------|--------------------|--------------|
| Pelambre entrada | 197,45 | 2,29 |
| Pelambre salida | 252,00 | 2,92 |
| Curtido entrada | 151,38 | 1,75 |
| Lavado entrada | 132,71 | 1,54 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.6. Caracterización inicial de las aguas residuales

Los métodos establecidos y adoptados por el laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, será la base para la caracterización de los parámetros, ya que estos están basados en el manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales) y el Manual de Análisis de Agua, método HACH.

3.6.1. Caracterización fisicoquímica inicial del agua residual

3.6.1.1. Caracterización del agua de pelambre 1

Tabla 26-3: Agua de pelambre sin tratamiento de la curtiduría.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 755 |
| Color | Pt-Co | 24 100 |
| Conductividad | mS/cm | 18,93 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 20 800 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5 550 |
| pH | Und | 12,77 |
| Turbiedad | NTU | 2 783 |
| Temperatura | °C | 20,03 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 500 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 14 481 |
| Sólidos totales | g/L | 18,93 |
| Sulfuros | mg/L | 1 152 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

La caracterización realizada al agua de pelambre antes de que esta ingrese al sistema de tratamiento de agua que posee la Curtiduría Los Andes dio como resultados que gran parte de

los parámetros de control de descargas está por encima de los límites permisibles por el Acuerdo Ministerial N.º 97/A, esto indica que necesariamente este tipo de efluente necesita un tratamiento previo a su descarga al sistema de alcantarillado.

En la Tabla 26-3. Se observan los datos obtenidos durante los análisis de laboratorio y los valores permitidos por la normativa vigente. En ella se aprecia que: grasas, DBO, DQO, pH, SS, SD, SST, sulfatos y sulfuros no cumplen con los valores establecidos. Parámetros como el color y turbidez también son demasiado elevados, esto indica que existe un alto grado de contaminación.

3.6.1.2. Caracterización del agua de pelambre 2

Tabla 27-3: Agua de pelambre con tratamiento de la curtiduría.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 125 |
| Color | Pt-Co | 3 710 |
| Conductividad | mS/cm | 8,75 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 3 319 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 1 639 |
| pH | Und | 11,72 |
| Turbiedad | NTU | 740 |
| Temperatura | °C | 18 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 350 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 1 480 |
| Sólidos totales | g/L | 6,23 |
| Sulfuros | mg/L | 510 |
| Sulfatos | mg/L | 2 990 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 27-3. Se detalla la caracterización fisicoquímica que se realizó al agua de pelambre después de que esta haya pasado por el sistema de tratamiento de aguas residuales que posee la curtiduría Los Andes determinó que el tratamiento actual con el que cuenta la empresa no es óptimo para cumplir con las exigencias de la normativa.

Parámetros indispensables como pH, grasas, DQO, DBO, SS, SST, SD y sulfuros, tienen datos que sobrepasan los valores tabulados de permiso para descargas. Esto muestra que el sistema de tratamiento actual no tiene un buen funcionamiento o carece de etapas para poder tratar debidamente el agua residual.

3.6.1.3. Caracterización del agua de curtido antes de su ingreso al sistema de tratamiento

Tabla 28-3: Agua de curtido sin tratamiento de la curtiduría.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Color | Pt-Co | 2 485 |
| Cloruros | mg/L | 22 480 |
| Conductividad | mS/cm | 75,89 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 1,14 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 4 960 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 1 260 |
| pH | Und | 3,86 |
| Turbiedad | NTU | 462 |
| Temperatura | °C | 20,50 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 158,68 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 117 |
| Sólidos totales | g/L | 45,05 |
| Sulfatos | mg/L | 23 233 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

El agua residual de la etapa de curtido se tomó antes de que esta ingrese al sistema de tratamiento de la curtiduría ya que la empresa no trata este tipo de residuo líquido, estas aguas atraviesan el sistema de tratamiento, pero no reciben ningún procedimiento de tratabilidad.

En la Tabla 28-3. Se detalla los valores de la caracterización realizada al agua de curtido de la empresa presenta en primera instancia una alta concentración de cloruros por lo cual influye en los valores de DQO. De igual forma existe una alta concentración de sulfatos.

3.6.1.4. Caracterización del agua de lavado antes de su ingreso al sistema de tratamiento.

Tabla 29-3: Agua de lavado sin tratamiento de la curtiduría.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 165 |
| Color | Pt-Co | 3 520 |
| Cloruros | mg/L | 850,35 |
| Conductividad | mS/cm | 9,94 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 2 834 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 650 |
| pH | Und | 10,07 |
| Turbiedad | NTU | 435 |
| Temperatura | °C | 17,50 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 280 |

| | | |
|-----------------------------|------|-------|
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 315 |
| Sólidos totales | g/L | 6,16 |
| Sulfuros | mg/L | 91,75 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 29-3. se muestra los valores de la caracterización del agua residual del lavado, este tipo de residuo al igual que el curtido no recibe ningún tipo de tratamiento, por tal razón los valores de pH, DQO, DBO, sulfuros, sulfatos, están por encima de lo permitido por la norma vigente.

La razón por la que estos valores exceden con lo permitido se debe a que la curtiduría funciona de forma artesanal y la dosificación en este proceso varía dependiendo del tipo de piel que entre a la curtiembre, razón por la cual en muchas de las ocasiones exceden en cuanto a componentes químicos. Un ejemplo es la piel salada, la cual para evitar su degradación es curada con sal en grano, al lavar este tipo de piel el agua residual contiene elevadas cantidades de cloruros lo cual influye en los valores de DQO.

3.7. Parámetros fuera del límite permisible

3.7.1. Aceites y grasas

Tabla 30-3: Parámetro, aceites y grasas.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mg/L | 755 | 70 |
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 125 | |
| Lavado | mg/L | 165 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.2. Cromo hexavalente

Tabla 31-3: Parámetro, cromo hexavalente.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------|----------|------------|-----------|
| Curtido. | mg/L | 1,14 | 0,50 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.3. Demanda bioquímica de oxígeno (5 días) (DBO₅)

Tabla 32-3: Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mg/L | 5 550 | |

| | | | |
|--------------------------|------|-------|-----|
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 1 639 | 500 |
| Curtido | mg/L | 1 260 | |
| Lavado | mg/L | 650 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Tabla 33-3: Parámetro, demanda química de oxígeno.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mg/L | 20 800 | 250 |
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 3 319 | |
| Curtido | mg/L | 4 960 | |
| Lavado | mg/L | 2 834 | |

Elaborador por: PASMAY, Omar, 2021.

3.7.5. Potencial de hidrogeno (pH)

Tabla 34-3: Parámetro, pH.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | Unid | 12,77 | 6 – 9 |
| Pelambre con tratamiento | Unid | 11,72 | |
| Curtido | Unid | 3,86 | |
| Lavado | Unid | 10,07 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.6. Sólidos sedimentables (SD)

Tabla 35-3: Parámetro, sólidos sedimentables.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mL/L | 500 | 20 |
| Pelambre con tratamiento | mL/L | 350 | |
| Curtido | mL/L | 158,68 | |
| Lavado | mL/L | 280 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.7. Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 36-3: Parámetro, sólidos suspendidos totales.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mg/L | 14 481 | 220 |
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 1 480 | |

| | | | |
|--------|------|-----|--|
| Lavado | mg/L | 315 | |
|--------|------|-----|--|

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.8. Sólidos totales (ST)

Tabla 37-3: Parámetro, sólidos totales.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | g/L | 18,93 | 1,60 |
| Pelambre con tratamiento | g/L | 6,23 | |
| Curtido | g/L | 45,05 | |
| Lavado | g/L | 6,16 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.9. Sulfatos (SO_4^{2-})

Tabla 38-3: Parámetro, sulfatos.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 2 990 | 400 |
| Curtido | mg/L | 23 233 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.7.10. Sulfuros (S^{2-})

Tabla 39-3: Parámetro, sulfuros.

| TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|--------------------------|----------|------------|-----------|
| Pelambre sin tratamiento | mg/L | 1 152 | 1 |
| Pelambre con tratamiento | mg/L | 510 | |
| Lavado | mg/L | 91,75 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.8. Índice de biodegradabilidad

Se determina el índice de biodegradabilidad del agua residual (medición del grado de contaminación) con la relación entre los DBO y DQO, donde la demanda química de oxígeno siempre deberá ser mayor a la demanda bioquímica de oxígeno.

Tabla 40-3: Parámetros de monitoreo y métodos.

| | Descripción | Descripción | Descripción |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| DBO₅/DQO | < 0,2 | 0,2 – 0,8 | > 0,8 |

| | | | |
|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Característica | Poco biodegradable | Biodegradable | Muy biodegradable |
| Tratabilidad recomendable | Fisicoquímico | Biológica, Fisicoquímico o combinado. | Biológica |

Fuente: (Martínez, 2016).

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Las pruebas realizadas a cada una de las aguas residuales ayudo a determina la cantidad de DBO y DQO presentes en las muestras de pelambre antes del ingreso al sistema de tratamiento, pelambre a la salida del sistema de tratamiento, curtido a la entrada del sistema de tratamiento y de lavado a la entrada del sistema de tratamiento.

Tabla 41-3: Parámetros DBO5 y DQO.

| PARÁMETRO | TIPO DE AGUA | UNIDADES | RESULTADOS | NORMATIVA |
|------------------------|--------------------------|----------|------------|-----------|
| DBO₅ | Pelambre sin tratamiento | mg / L | 5 550 | 500 |
| | Pelambre con tratamiento | mg / L | 1 639 | |
| | Curtido | mg / L | 1 260 | |
| | Lavado | mg / L | 650 | |
| DQO | Pelambre sin tratamiento | mg / L | 20 800 | 250 |
| | Pelambre con tratamiento | mg / L | 3 319 | |
| | Curtido | mg / L | 4 960 | |
| | Lavado | mg / L | 2 834 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.8.1. Cálculo del índice de biodegradabilidad (IB)

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Ecuación 1

Donde:

IB = índice de biodegradabilidad.

DBO₅ = demanda bioquímica de oxígeno (5 días).

DQO = demanda química de oxígeno.

- **Agua residual de pelambre sin tratamiento.**

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$IB = \frac{5550}{20800}$$

$$IB = 0,27$$

- **Agua residual de pelambre con tratamiento.**

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$IB = \frac{1639}{3319}$$

$$IB = 0,49$$

- **Agua residual de curtido.**

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$IB = \frac{1260}{4960}$$

$$IB = 0,25$$

- **Agua residual de lavado.**

$$IB = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$IB = \frac{650}{2834}$$

$$IB = 0,23$$

Al calcular el índice de biodegradabilidad podemos detallar que tipo de tratamiento es el más eficiente para cada muestra de agua.

Tabla 42-3: Resultados del índice de biodegradabilidad.

| TIPO DE AGUA | IB | BIODEGRADABILIDAD | TRATAMIENTO SUGERIDO |
|--------------------------|------|-------------------|---------------------------------------|
| Pelambre sin tratamiento | 0.27 | Biodegradable | Biológica, Físicoquímico o combinado. |
| Pelambre con tratamiento | 0.49 | Biodegradable | Biológica, Físicoquímico o combinado. |
| Curtido | 0,25 | Biodegradable | Biológica, Físicoquímico o combinado. |
| Lavado | 0.23 | Biodegradable | Biológica, Físicoquímico o combinado. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.9. Descripción del procedimiento experimental

3.9.1. Pruebas de tratabilidad

Después de realizar los respectivos análisis para la caracterización de cada muestra de agua se determinó que los parámetros con los que debemos trabajar son: DBO, DQO, pH, SST, SD, ST, grasas y aceites, sulfatos (SO_4^{2-}), sulfuros (S^{2-}), cromo hexavalente (Cr^{+6}), color, cloruros, conductividad y turbidez.

Después de haber realizado las pruebas de DBO_5 y DQO y obtener así el índice de biodegradabilidad se optó por un tratamiento fisicoquímico para los residuos líquidos de pelambre sin tratamiento, pelambre con tratamiento, curtido y lavado.

En primera instancia se realiza pruebas de jarras a cada una de las muestras para determinar el tipo de componente químico que necesita y la dosis óptima para realizar un adecuado tratamiento de agua y cumplir con las exigencias de la normativa vigente.

3.10. Selección del coagulante óptimo

Antes de someter las muestras a los coagulantes y floculantes se debió regular el pH para que estos puedan reaccionar de forma más eficiente. En el siguiente cuadro se muestra los pH óptimos para cada tipo de coagulante.

Tabla 43-3: Tipos de coagulantes y sus pH óptimos.

| COAGULANTE | pH ÓPTIMO |
|-------------------------------|-----------|
| Sulfato férrico | 6 |
| Cloruro férrico | 6 – 6,5 |
| Sulfato de aluminio | 7 – 7,5 |
| Policloruro de aluminio (PAC) | 8 – 8,5 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.11. Selección del pH óptimo

Las muestras de pelambre y lavado presentaron pH elevados por lo cual se optó usar ácidos para bajar el pH del agua residual.

Tabla 44-3: Tipos de agua residual y sus pH.

| TIPO DE AGUA | pH |
|--------------------------|-------|
| Pelambre sin tratamiento | 12,77 |
| Pelambre con tratamiento | 11,72 |

| | |
|---------|-------|
| Lavado | 10,07 |
| Curtido | 3,86 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

El ácido que normalmente se usa a nivel laboratorio para bajar el pH es el ácido clorhídrico (HCl), sin embargo, este ácido no es de venta libre ya que está regido a fiscalización por sus aplicaciones en áreas ilegales.

La alternativa que se propuso fue hacer uso de ácido fórmico (CH_2O_2), ácido que es comprado por las curtidurías para el proceso de curtido, dicho ácido podría servir como sustituto del ácido clorhídrico a nivel de laboratorio y a nivel industrial. Para ello se realizó pruebas de dosificación añadiendo ácido fórmico al 85%.

Tabla 45-3: Características del ácido fórmico.

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICACIONES |
|------------------|---|
| Nombre comercial | Acido fórmico 85% |
| Nombre químico | Acido metanoico |
| Estado | Líquido |
| Fórmula química | $HCOOH$ ó CH_2O_2 |
| pH | 2,2 |
| Solubilidad | En agua, acetona, alcohol, benceno, éter, tolueno y glicerol. |
| Olor | Picante |
| Color | Incoloro hasta amarillento |

Fuente: (AGRIPAC, 2020).

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Para tratar el agua de curtido se optó por usar hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$ o también conocido como cal en lugar del hidróxido de sodio $Na(OH)$, ya que este al igual que el HCl están bajo fiscalización y vigilancia. La cal al ser alcalina posee un pH básico y aumenta el pH ácido característico del agua residual de curtido.

Tabla 46-3: Características del hidróxido de calcio.

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICACIONES |
|------------------|---------------------|
| Nombre comercial | Cal |
| Nombre químico | Hidróxido de calcio |
| Estado | Sólido |
| Fórmula química | $Ca(OH)_2$ |
| pH | 12,4 |
| Solubilidad | En agua |
| Olor | Inodoro |
| Color | Blanquizco |

Fuente: (Fisher, 2020).

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **MUESTRA 1.** – pH del agua de pelambre sin tratamiento, se adiciona 0,1mL de ácido fórmico en cada prueba, en una muestra de 1000mL la cual inicialmente tiene un pH de 12,77 y una conductividad de 18,93mS/cm.

Tabla 47-3: Ajuste del pH del agua de pelambre sin tratamiento.

| PRUEBA | VOLUMEN DE MUESTRA (mL) | ÁCIDO FÓRMICO 85% (mL) | pH | CONDUCTIVIDAD (mS/cm) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|
| 1 | 1000 | 0,1 | 12,76 | 18,83 |
| 2 | 1000 | 0,2 | 12,84 | 18,93 |
| 3 | 1000 | 0,3 | 12,87 | 18,97 |
| 4 | 1000 | 0,4 | 12,86 | 18,96 |
| 5 | 1000 | 0,5 | 12,83 | 18,92 |
| 6 | 1000 | 0,6 | 12,76 | 18,83 |
| 7 | 1000 | 0,7 | 12,68 | 18,72 |
| 8 | 1000 | 0,8 | 12,59 | 18,57 |
| 9 | 1000 | 0,9 | 12,48 | 18,40 |
| 10 | 1000 | 1 | 12,37 | 18,21 |
| 11 | 1000 | 1,1 | 12,25 | 18,01 |
| 12 | 1000 | 1,2 | 12,14 | 17,79 |
| 13 | 1000 | 1,3 | 12,03 | 17,56 |
| 14 | 1000 | 1,4 | 11,92 | 17,32 |
| 15 | 1000 | 1,5 | 11,83 | 17,08 |
| 16 | 1000 | 1,6 | 11,74 | 16,84 |
| 17 | 1000 | 1,7 | 11,67 | 16,60 |
| 18 | 1000 | 1,8 | 11,60 | 16,37 |
| 19 | 1000 | 1,9 | 11,54 | 16,15 |
| 20 | 1000 | 2 | 11,50 | 15,94 |
| 21 | 1000 | 2,1 | 11,46 | 15,75 |
| 22 | 1000 | 2,2 | 11,43 | 15,57 |
| 23 | 1000 | 2,3 | 11,40 | 15,41 |
| 24 | 1000 | 2,4 | 11,37 | 15,28 |
| 25 | 1000 | 2,5 | 11,34 | 15,17 |
| 26 | 1000 | 2,6 | 11,31 | 15,08 |
| 27 | 1000 | 2,7 | 11,27 | 15,03 |
| 28 | 1000 | 2,8 | 11,21 | 15,00 |
| 29 | 1000 | 2,9 | 11,13 | 15,01 |
| 30 | 1000 | 3 | 11,03 | 15,05 |
| 31 | 1000 | 3,1 | 10,90 | 15,12 |
| 32 | 1000 | 3,2 | 10,73 | 15,24 |
| 33 | 1000 | 3,3 | 10,51 | 15,39 |
| 34 | 1000 | 3,4 | 10,25 | 15,58 |

| | | | | |
|----|------|-----|------|-------|
| 35 | 1000 | 3,5 | 9,92 | 15,81 |
| 36 | 1000 | 3,6 | 9,52 | 16,08 |
| 37 | 1000 | 3,7 | 9,04 | 16,40 |
| 38 | 1000 | 3,8 | 8,48 | 16,76 |
| 39 | 1000 | 3,9 | 7,82 | 17,16 |
| 40 | 1000 | 4 | 7,05 | 17,61 |
| 41 | 1000 | 4,1 | 6,16 | 18,11 |
| 42 | 1000 | 4,2 | 5,14 | 18,65 |
| 43 | 1000 | 4,3 | 3,98 | 19,24 |
| 44 | 1000 | 4,4 | 2,66 | 19,87 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En Tabla 47-3. Se puede observar la variación de pH con cada 0,1mL de ácido fórmico que se le fue agregando a la muestra. En la prueba 37 al añadir 3,7mL de ácido, el pH empieza a acercarse a nuestros requerimientos.

La conductividad también es un parámetro que varía según la cantidad de ácido, se puede notar que va abajando mientras más ácido se le agrega, sin embargo, después de agregar 3mL de ácido la conductividad empieza nuevamente a subir.

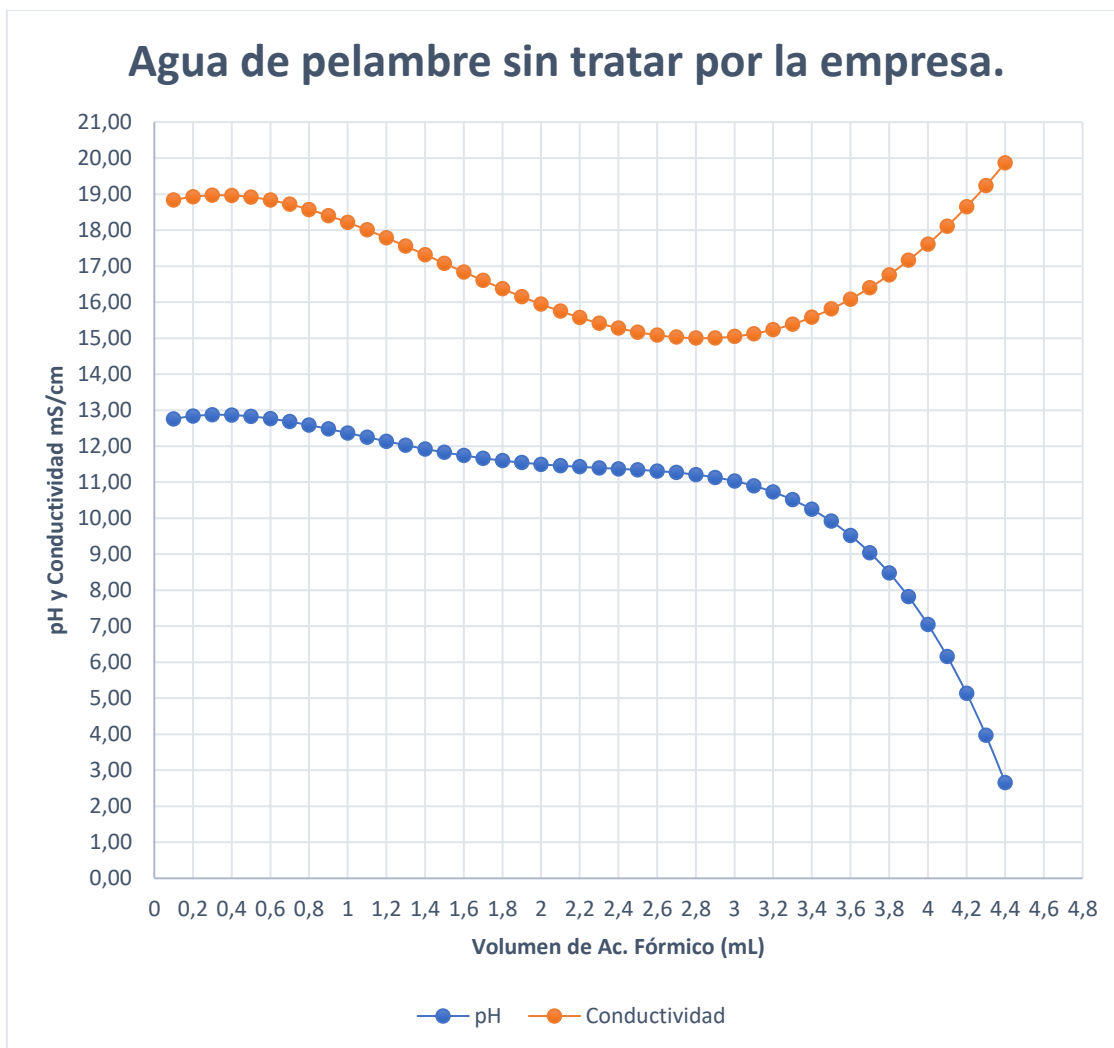


Gráfico 1-3: Variación de pH y conductividad, agua de pelambre sin tratar.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **MUESTRA 2.** – pH del agua de pelambre con tratamiento, se adiciona 0.1mL de ácido fórmico en cada prueba, en una muestra de 1000mL la cual inicialmente tiene un pH de 11.72 y una conductividad de 9,504mS/cm.

Tabla 48-3: Ajuste del pH del agua de pelambre con tratamiento, 1000mL.

| PRUEBA | VOLUMEN DE MUESTRA (mL) | ÁCIDO FÓRMICO 85% (mL) | pH | CONDUCTIVIDAD (mS/cm) |
|--------|-------------------------|------------------------|-------|-----------------------|
| 1 | 1000 | 0,1 | 11,70 | 9,214 |
| 2 | 1000 | 0,2 | 11,68 | 8,987 |
| 3 | 1000 | 0,3 | 11,67 | 8,761 |
| 4 | 1000 | 0,4 | 11,65 | 8,533 |
| 5 | 1000 | 0,5 | 11,64 | 8,302 |
| 6 | 1000 | 0,6 | 11,55 | 8,066 |
| 7 | 1000 | 0,7 | 11,46 | 7,824 |

| | | | | |
|----|------|-----|-------|-------|
| 8 | 1000 | 0,8 | 11,37 | 7,577 |
| 9 | 1000 | 0,9 | 11,29 | 7,328 |
| 10 | 1000 | 1 | 11,21 | 7,078 |
| 11 | 1000 | 1,1 | 11,13 | 6,830 |
| 12 | 1000 | 1,2 | 11,05 | 6,590 |
| 13 | 1000 | 1,3 | 10,95 | 6,362 |
| 14 | 1000 | 1,4 | 10,82 | 6,152 |
| 15 | 1000 | 1,5 | 10,64 | 5,968 |
| 16 | 1000 | 1,6 | 10,40 | 5,818 |
| 17 | 1000 | 1,7 | 10,08 | 5,710 |
| 18 | 1000 | 1,8 | 9,63 | 5,655 |
| 19 | 1000 | 1,9 | 9,05 | 5,663 |
| 20 | 1000 | 2 | 8,29 | 5,746 |
| 21 | 1000 | 2,1 | 7,31 | 5,917 |
| 22 | 1000 | 2,2 | 6,09 | 6,189 |
| 23 | 1000 | 2,3 | 4,57 | 6,578 |
| 24 | 1000 | 2,4 | 2,71 | 7,097 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 48-3. Se observa que en una muestra de 1000mL añadiendo de 1,9 a 2,2mL de ácido al 85% se puede llegar a obtener el pH necesario para empezar las pruebas de tratabilidad con cada coagulante.

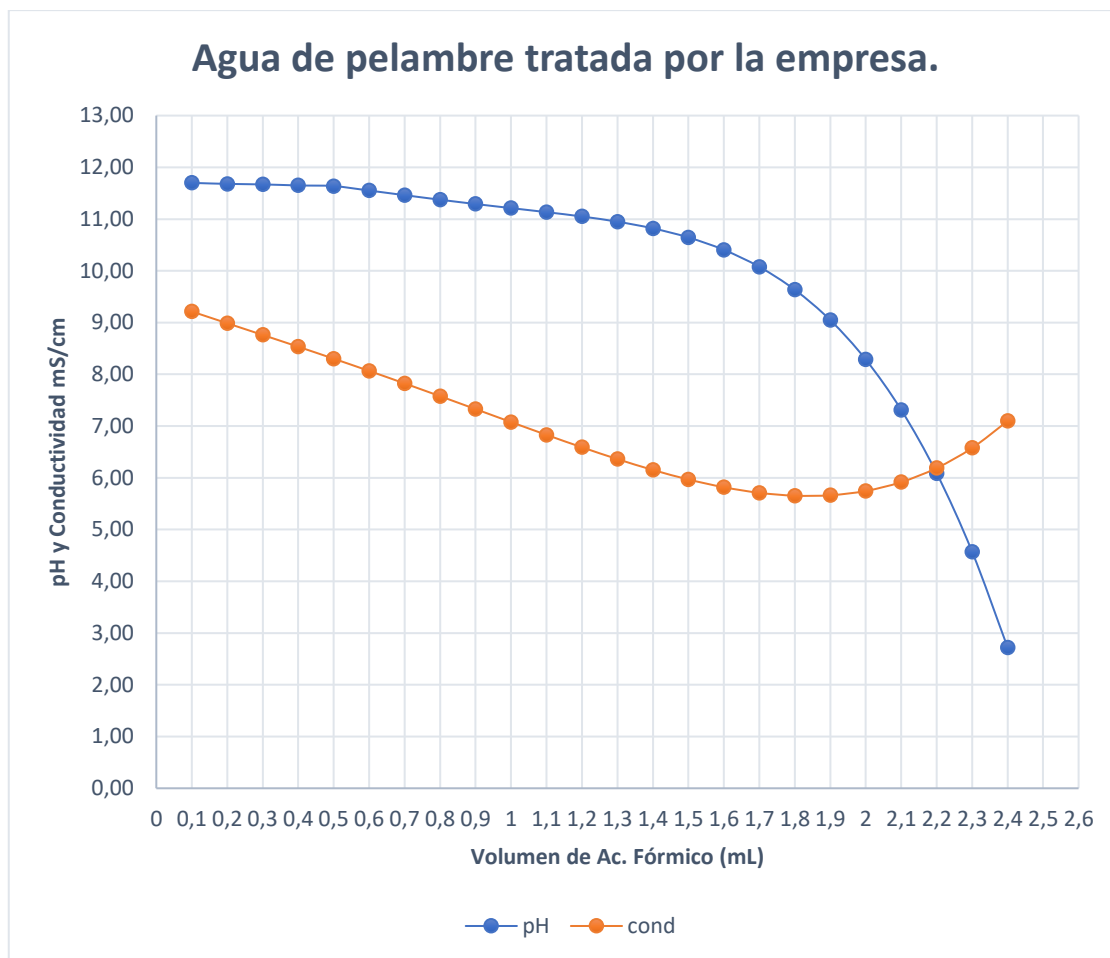


Gráfico 2-3: Variación de pH y conductividad, agua de pelambre tratada.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **MUESTRA 3.** – pH del agua de lavado sin tratamiento, se adiciona 0,1mL de ácido fórmico en cada prueba, en una muestra de 1000mL la cual inicialmente tiene un pH de 10,07y una conductividad de 9,94mS/cm.

Tabla 49-3: Ajuste del pH del agua de lavado sin tratamiento.

| PRUEBA | VOLUMEN DE MUESTRA (mL) | ÁCIDO FÓRMICO 85% (mL) | pH | CONDUCTIVIDAD (mS/cm) |
|--------|-------------------------|------------------------|-------|-----------------------|
| 1 | 1000 | 0,1 | 9,95 | 8,92 |
| 2 | 1000 | 0,2 | 10,15 | 8,56 |
| 3 | 1000 | 0,3 | 9,73 | 7,69 |
| 4 | 1000 | 0,4 | 8,96 | 6,74 |
| 5 | 1000 | 0,5 | 8,02 | 6,03 |
| 6 | 1000 | 0,6 | 7,05 | 5,75 |
| 7 | 1000 | 0,7 | 6,09 | 5,96 |
| 8 | 1000 | 0,8 | 5,11 | 6,57 |
| 9 | 1000 | 0,9 | 4,03 | 7,38 |

| | | | | |
|----|------|---|------|------|
| 10 | 1000 | 1 | 2,65 | 8,05 |
|----|------|---|------|------|

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 49-3. Se puede observar la variación del pH con cada 0,1mL de ácido, para este caso el agua de lavo requiere una dosis mínima de ácido para poder trabajar con los pH óptimos para tratabilidad.

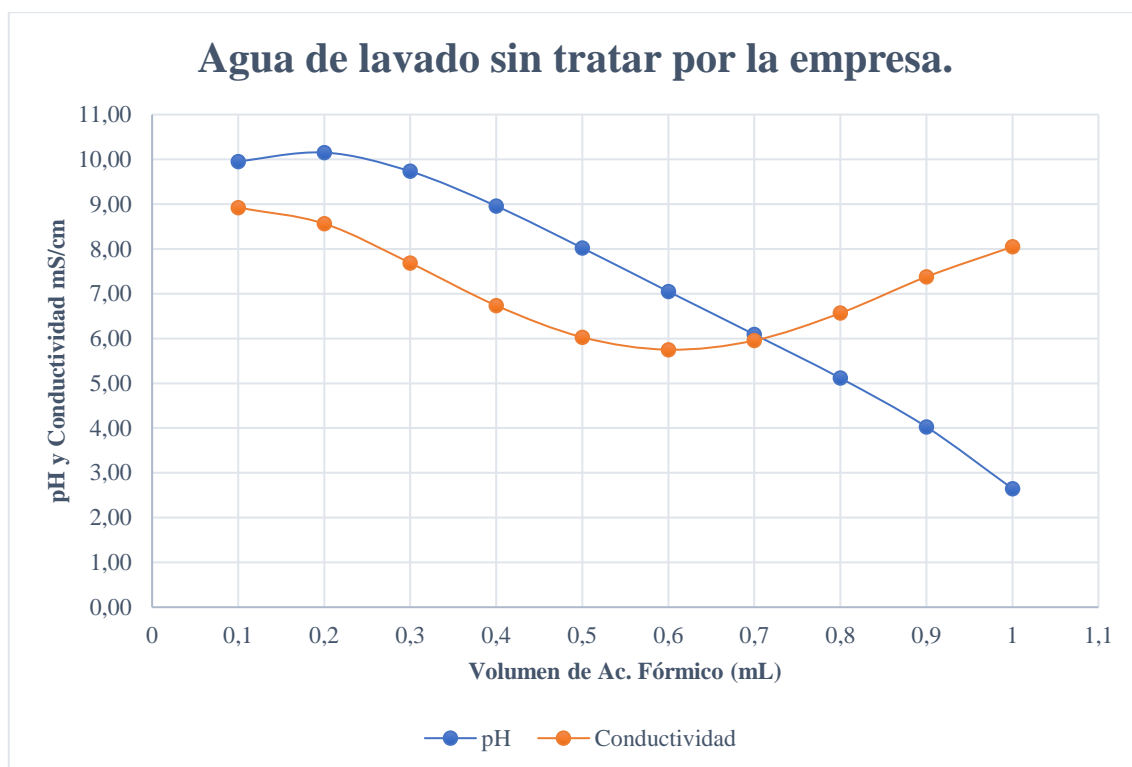


Gráfico 3-3: Variación de pH y conductividad, agua de lavado sin tratar.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **MUESTRA 4.** – pH del agua de curtido sin tratamiento, se adiciona 0.2g de hidróxido de calcio en cada prueba, en una muestra de 1000mL la cual inicialmente tiene un pH de 3,86 y una conductividad de 75,89mS/cm.

Tabla 50-3: Ajuste del pH del agua de curtido sin tratamiento.

| PRUEBA | VOLUMEN DE MUESTRA (mL) | HIDRÓXIDO DE CALCIO (g) | pH | CONDUCTIVIDAD (mS/cm) |
|--------|-------------------------|-------------------------|------|-----------------------|
| 1 | 1000 | 0,2 | 3,95 | 75,63 |
| 2 | 1000 | 0,4 | 4,25 | 75,53 |
| 3 | 1000 | 0,6 | 4,61 | 74,95 |
| 4 | 1000 | 0,8 | 5,01 | 74,01 |
| 5 | 1000 | 1 | 5,41 | 72,81 |
| 6 | 1000 | 1,2 | 5,79 | 71,46 |

| | | | | |
|----|------|-----|------|-------|
| 7 | 1000 | 1,4 | 6,15 | 70,05 |
| 8 | 1000 | 1,6 | 6,48 | 68,65 |
| 9 | 1000 | 1,8 | 6,75 | 67,36 |
| 10 | 1000 | 2 | 6,97 | 66,21 |
| 11 | 1000 | 2,2 | 7,14 | 65,27 |
| 12 | 1000 | 2,4 | 7,26 | 64,58 |
| 13 | 1000 | 2,6 | 7,33 | 64,17 |
| 14 | 1000 | 2,8 | 7,37 | 64,06 |
| 15 | 1000 | 3 | 7,40 | 64,27 |
| 16 | 1000 | 3,2 | 7,41 | 64,80 |
| 17 | 1000 | 3,4 | 7,45 | 65,65 |
| 18 | 1000 | 3,6 | 7,53 | 66,80 |
| 19 | 1000 | 3,8 | 7,69 | 68,22 |
| 20 | 1000 | 4 | 7,95 | 69,88 |
| 21 | 1000 | 4,2 | 8,35 | 71,74 |
| 22 | 1000 | 4,4 | 8,94 | 73,73 |
| 23 | 1000 | 4,6 | 9,75 | 75,80 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 50-3. se puede observar la variación del pH con cada 0.2 gramos de hidróxido de calcio que se le agrego a la muestra, desde 1,4 gramos hasta 4,4 gramos son las óptimas a mezclar por litro dependiendo del tipo de coagulante a usar.

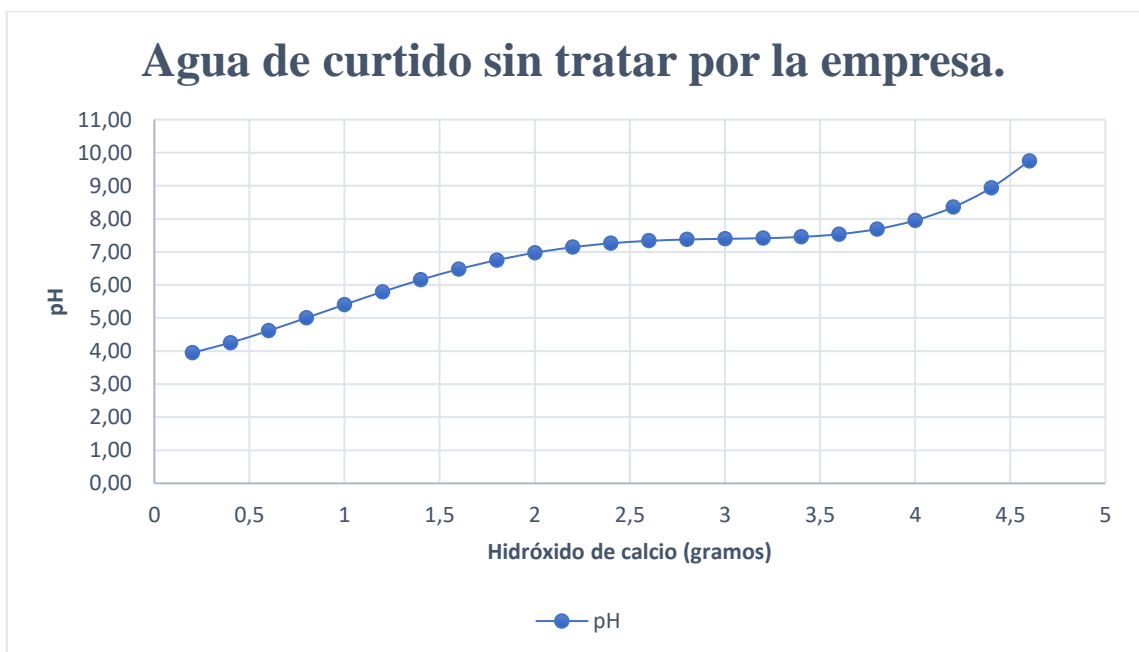


Gráfico 4-3: Variación de pH, agua de curtido sin tratar.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar que la conductividad de la muestra la cual es demasiado elevada debido a que en este tipo de residuo liquido se encuentra altas concentraciones de sales disueltas.

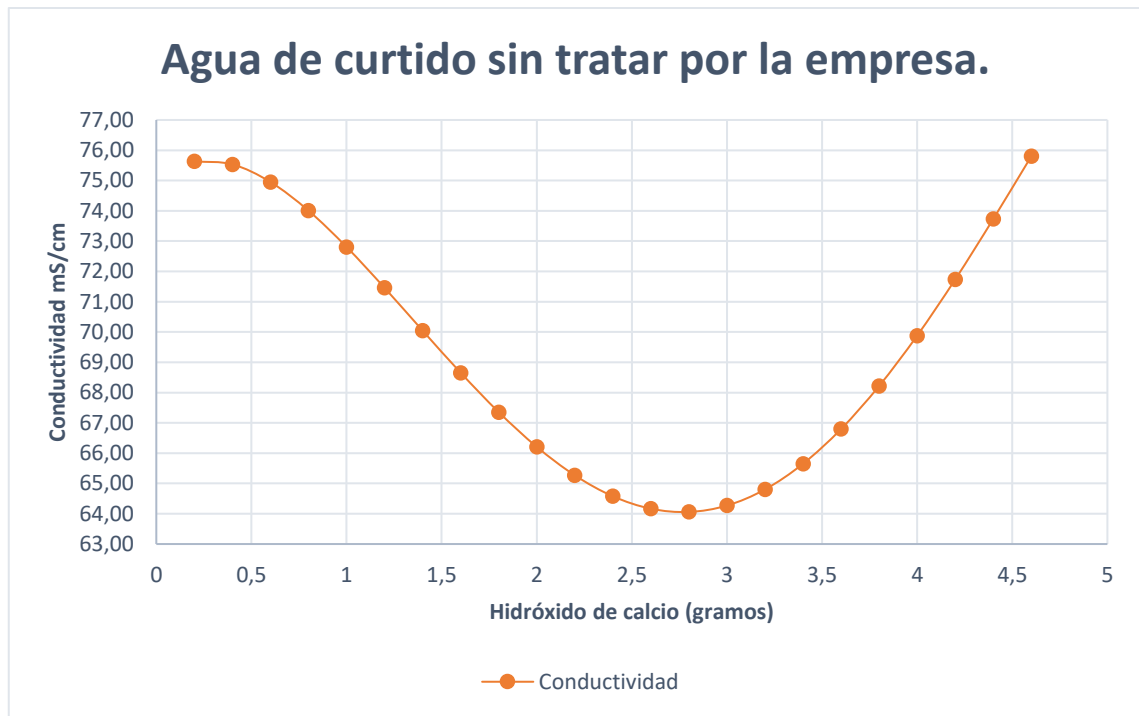


Gráfico 5-3: Variación de la conductividad, agua de curtido sin tratar.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.11.1. Remoción de sulfuros

La tratabilidad de aguas residuales requiere de procesos fisicoquímicos para ser purificada, sin embargo, el uso desmedido de sustancias químicas como ácidos, bases, coagulantes, floculantes y oxidantes pueden alterar la composición química del agua, por tal razón una dosificación adecuada es necesaria y trascendental al momento de tratar agua residual.

El oxidante que se utilizó para tratar el agua de pelambre y lavado es el sulfato de manganeso ($Mn(SO_4)$), a distintas concentraciones, 1% y 5% con el fin de bajar la concentración de sulfuros y así bajar el fuerte olor de estas aguas.

Las muestras de agua fueron sometidas a una aireación de 5 horas.

Tabla 51-3: Remoción de sulfuros con $Mn(SO_4)$ y aireación de 5 horas.

| MUESTRA | VOLUMEN UTILIZADO DE $Mn(SO_4)$ AL 1% (mL) | VOLUMEN UTILIZADO DE $Mn(SO_4)$ AL 5% (mL) | CONCENTACIÓN DE SULFUROS CON $Mn(SO_4)$ AL 1% (mg/L) | CONCENTACIÓN DE SULFUROS CON $Mn(SO_4)$ AL 5% (mg/L) | % DE REMOCIÓN DE SULFUROS AL 1% | % DE REMOCIÓN DE SULFUROS AL 5% |
|---|---|---|---|---|--|--|
| AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE SIN TRATAMIENTO. | | | | | | |
| 1 | 10 | 3 | 984,11 | 822,75 | 14,57 | 28,58 |
| 2 | 20 | 6 | 780,6 | 442,48 | 32,24 | 61,59 |
| 3 | 30 | 9 | 651,24 | 124,22 | 43,47 | 89,22 |
| 4 | 40 | 12 | 450,23 | 35,45 | 60,92 | 96,92 |
| 5 | 50 | 15 | 312,2 | 11,22 | 72,90 | 99,03 |
| 6 | 60 | 20 | 163,25 | 0,45 | 85,83 | 99,96 |
| AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE CON TRATAMIENTO. | | | | | | |
| 1 | 10 | 3 | 358,12 | 290,12 | 29,78 | 43,11 |
| 2 | 20 | 6 | 212,22 | 17,5 | 58,39 | 96,57 |
| 3 | 30 | 9 | 105,7 | 9,78 | 79,27 | 98,08 |
| 4 | 40 | 12 | 87,56 | 1,46 | 82,83 | 99,71 |
| 5 | 50 | 15 | 63,21 | 0,21 | 87,61 | 99,96 |
| AGUA RESIDUAL DE LAVADO SIN TRATAMIENTO. | | | | | | |
| 1 | 10 | 3 | 76,45 | 70,4 | 16,68 | 23,27 |
| 2 | 20 | 6 | 45,9 | 8,22 | 49,97 | 91,04 |
| 3 | 30 | 9 | 23,15 | 1,24 | 74,77 | 98,65 |
| 4 | 40 | 12 | 8,45 | 0,26 | 90,79 | 99,72 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 51-3. podemos observar que el $Mn(SO_4)$ al 5% da buenos resultados con poco volumen en cuanto a remoción de sulfuros (S^{2-}). Mediante la aplicación de este sulfato podemos eliminar el fuerte olor proveniente de los sulfuros presentes en el agua residual.

La dosificación adecuada para tratar este tipo de residuos líquidos es: 20 ppm para el agua de pelambre sin tratamiento, 15 ppm para el agua de pelambre con tratamiento y 12 ppm para el agua de lavado, de esta forma se obtendrá un aproximado de 99,50% de sulfuros removidos.

Para poder hacer uso del sulfato de manganeso se debe someter a los efluentes residuales a una aireación esto con el fin de eliminar sulfuros sin producir emisiones al ambiente.

3.12. Selección de la dosis óptima de coagulante

Para empezar la etapa de tratabilidad de las aguas residuales se preparó muestras de agua residual de pelambre y lavado a diferentes pH y con diferentes cantidades de ácido fórmico, sulfato de manganeso, policloruro de aluminio (PAC), cloruro férrico y polielectrolito (PE).

La dosificación debe hacerse de forma correcta y tomando en cuenta parámetros importantes como el pH el cual variará según el volumen que añadimos de ácido fórmico al 85% o de sulfato de manganeso y más cuando estén juntos estos dos reactivos.

- **ENSAYO 1.** – agua de pelambre sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 7,85 - 8,5 para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 3-3: Agua de pelambre 1 con PAC, ensayo 1.

Tabla 52-3: Dosificación del agua de pelambre sin tratar, usando PAC, ensayo 1.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--|----------------------------|
| 1 | 1000 | 12,77 | 3,7 | 2,00 | 0,5 | 7,07 | 17,48 | 653 |
| 2 | 1000 | 12,68 | 3,8 | 2,00 | 0,5 | 8,50 | 17,84 | 615 |
| 3 | 1000 | 12,74 | 3,9 | 2,00 | 0,5 | 7,93 | 18,29 | 554 |
| 4 | 1000 | 12,75 | 3,7 | 4,00 | 0,5 | 8,02 | 16,79 | 394 |
| 5 | 1000 | 12,68 | 3,8 | 4,00 | 0,5 | 8,51 | 17,61 | 416 |
| 6 | 1000 | 12,64 | 3,9 | 4,00 | 0,5 | 8,80 | 17,85 | 396 |
| 7 | 1000 | 12,64 | 3,7 | 6,00 | 0,5 | 7,12 | 16,78 | 336 |
| 8 | 1000 | 12,70 | 3,8 | 6,00 | 0,5 | 8,48 | 17,35 | 340 |
| 9 | 1000 | 12,70 | 3,9 | 6,00 | 0,5 | 7,80 | 17,92 | 396 |
| 10 | 1000 | 12,68 | 3,7 | 8,00 | 0,5 | 7,07 | 16,98 | 484 |
| 11 | 1000 | 12,74 | 3,8 | 8,00 | 0,5 | 8,49 | 17,84 | 408 |
| 12 | 1000 | 12,75 | 3,9 | 8,00 | 0,5 | 8,91 | 18,29 | 432 |
| 13 | 1000 | 12,64 | 3,7 | 10,00 | 0,5 | 7,01 | 17,48 | 488 |
| 14 | 1000 | 12,68 | 3,8 | 10,00 | 0,5 | 8,46 | 17,15 | 406 |
| 15 | 1000 | 12,70 | 3,9 | 10,00 | 0,5 | 7,82 | 18,17 | 452 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **ENSAYO 2.** – agua de pelambre sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 5 horas, después se ajustó el pH entre 7,85 - 8,5 ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

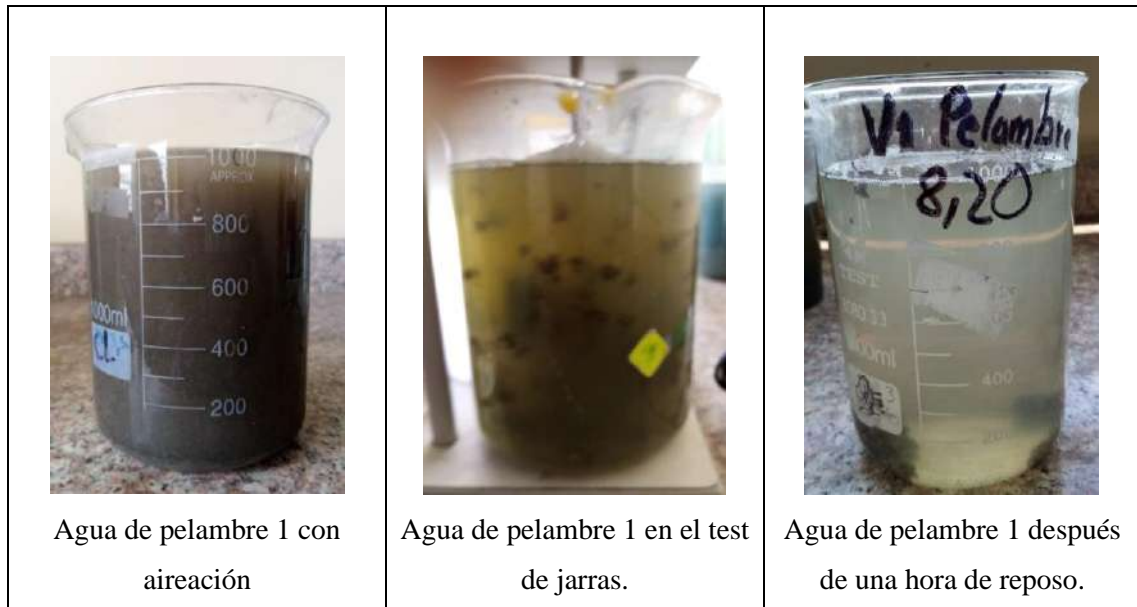


Figura 4-3: Agua de pelambre 1 con aireación y PAC, ensayo 2.

Tabla 53-3: Dosificación del agua de pelambre sin tratar, PAC y Mn(SO₄) ensayo 2.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|-------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 12,48 | 3,6 | 2,00 | 20 | 0,5 | 8,51 | 18,14 | 784 |
| 2 | 1000 | 12,52 | 3,7 | 2,00 | 15 | 0,5 | 7,08 | 14,47 | 687 |
| 3 | 1000 | 12,54 | 3,8 | 2,00 | 10 | 0,5 | 7,56 | 16,17 | 748 |
| 4 | 1000 | 12,70 | 3,6 | 4,00 | 20 | 0,5 | 8,22 | 17,78 | 694 |
| 5 | 1000 | 12,66 | 3,7 | 4,00 | 15 | 0,5 | 9,12 | 15,78 | 614 |
| 6 | 1000 | 12,71 | 3,8 | 4,00 | 10 | 0,5 | 7,28 | 15,19 | 794 |
| 7 | 1000 | 12,71 | 3,6 | 6,00 | 20 | 0,5 | 8,89 | 17,84 | 414 |
| 8 | 1000 | 12,74 | 3,7 | 6,00 | 15 | 0,5 | 6,48 | 15,47 | 403 |
| 9 | 1000 | 12,74 | 3,8 | 6,00 | 10 | 0,5 | 9,10 | 14,69 | 415 |
| 10 | 1000 | 12,63 | 3,6 | 8,00 | 20 | 0,5 | 9,01 | 17,99 | 389 |
| 11 | 1000 | 12,65 | 3,7 | 8,00 | 15 | 0,5 | 8,57 | 14,92 | 348 |
| 12 | 1000 | 12,72 | 3,8 | 8,00 | 10 | 0,5 | 7,36 | 1,78 | 458 |
| 13 | 1000 | 12,74 | 3,6 | 10,00 | 20 | 0,5 | 6,91 | 18,27 | 410 |
| 14 | 1000 | 12,74 | 3,7 | 10,00 | 15 | 0,5 | 7,57 | 14,13 | 329 |
| 15 | 1000 | 12,69 | 3,8 | 10,00 | 10 | 0,5 | 8,18 | 15,91 | 337 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 3.** – agua de pelambre con tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 7,9 - 8,5 para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

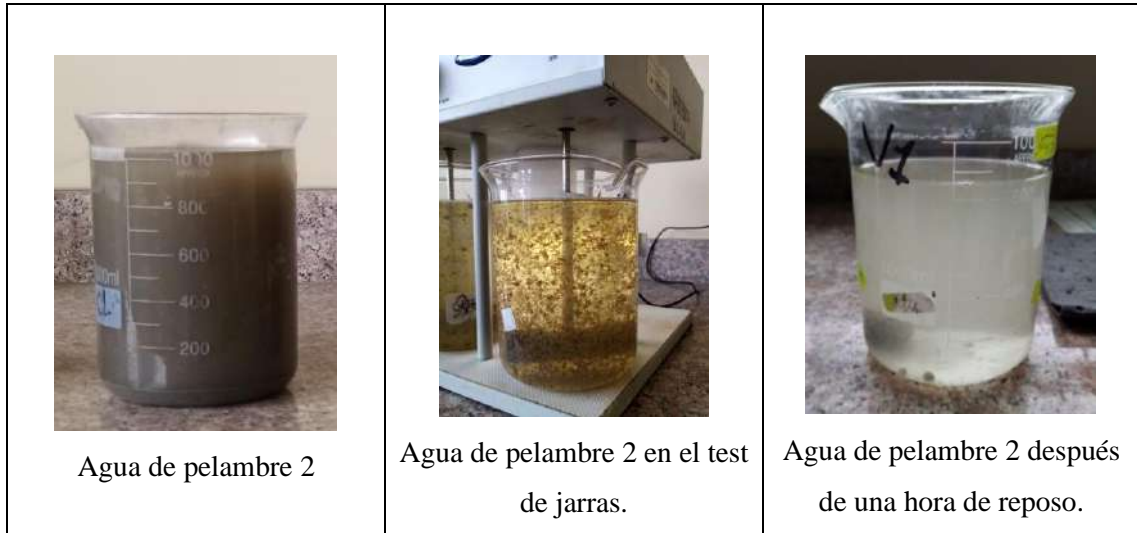


Figura 5-3: Agua de pelambre 2 con PAC, ensayo 3.

Tabla 54-3: Dosificación del agua de pelambre con tratamiento, usando PAC, ensayo 3.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|--------------|------------|------------------|----------|---------|----------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 1000 | 11,89 | 2,1 | 2,00 | 0,5 | 6,89 | 17,48 | 147 |
| 2 | 1000 | 11,64 | 2 | 2,00 | 0,5 | 7,05 | 17,84 | 210 |
| 3 | 1000 | 11,97 | 2.1 | 2,00 | 0,5 | 6,91 | 18,29 | 154 |
| 4 | 1000 | 12,04 | 2.1 | 4,00 | 0,5 | 7,45 | 16,79 | 178 |
| 5 | 1000 | 12,00 | 2.1 | 4,00 | 0,5 | 7,18 | 17,61 | 248 |
| 6 | 1000 | 11,96 | 2.1 | 4,00 | 0,5 | 7,25 | 17,85 | 218 |
| 7 | 1000 | 12,07 | 2,1 | 6,00 | 0,5 | 6,98 | 16,78 | 297 |
| 8 | 1000 | 12,09 | 2.1 | 6,00 | 0,5 | 7,45 | 17,35 | 303 |
| 9 | 1000 | 12,05 | 2.1 | 6,00 | 0,5 | 7,40 | 17,92 | 194 |
| 10 | 1000 | 12,05 | 2.1 | 8,00 | 0,5 | 7,19 | 16,98 | 254 |
| 11 | 1000 | 12,07 | 2.1 | 8,00 | 0,5 | 7,31 | 17,84 | 284 |
| 12 | 1000 | 12,09 | 2.1 | 8,00 | 0,5 | 7,11 | 18,29 | 178 |
| 13 | 1000 | 12,05 | 2,1 | 10,00 | 0,5 | 7,27 | 17,48 | 149 |
| 14 | 1000 | 12,01 | 2,1 | 10,00 | 0,5 | 7,04 | 17,15 | 291 |
| 15 | 1000 | 12,03 | 2.1 | 10,00 | 0,5 | 7,21 | 18,17 | 152 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 4.** – agua de pelambre con tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 4 horas, después se ajustó el pH entre 7,9 - 8,5 con ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

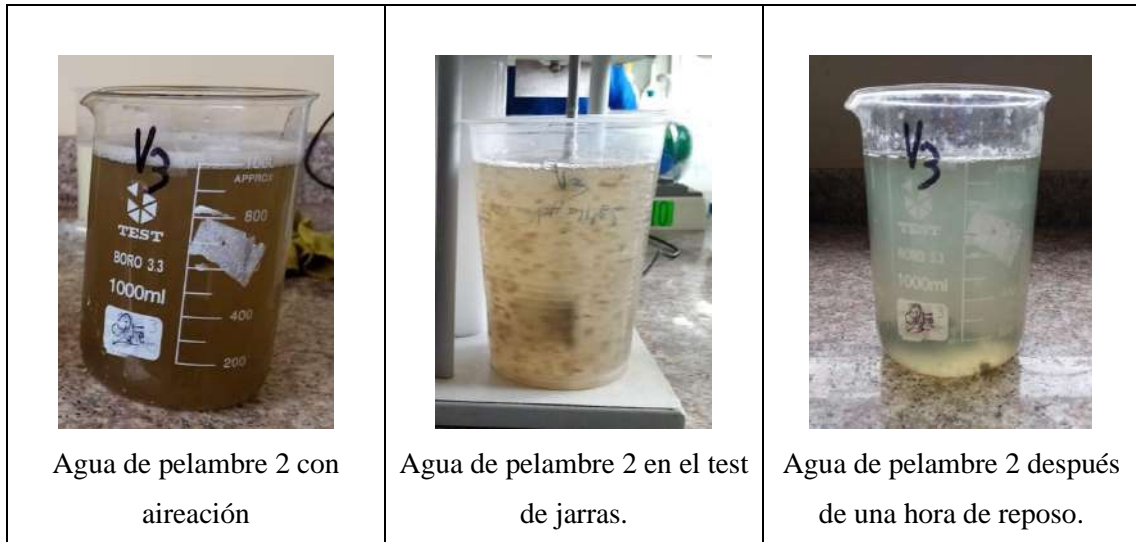


Figura 6-3: Agua de pelambre 2 con aireación y PAC, ensayo 4.

Tabla 55-3: Dosificación del agua de pelambre con tratamiento, PAC y Mn(SO₄), ensayo 4.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|--------------|------------|------------------|----------|---------------------------------|---------|----------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 1000 | 11,89 | 2,1 | 2,00 | 12 | 0,5 | 8,51 | 9,72 | 218 |
| 2 | 1000 | 11,64 | 2 | 2,00 | 9 | 0,5 | 7,08 | 8,54 | 314 |
| 3 | 1000 | 11,97 | 2,1 | 2,00 | 6 | 0,5 | 7,56 | 9,73 | 114 |
| 4 | 1000 | 12,04 | 2,1 | 4,00 | 12 | 0,5 | 8,22 | 9,77 | 291 |
| 5 | 1000 | 12,00 | 2,1 | 4,00 | 9 | 0,5 | 9,12 | 9,44 | 295 |
| 6 | 1000 | 11,96 | 2,1 | 4,00 | 6 | 0,5 | 7,28 | 9,61 | 178 |
| 7 | 1000 | 12,07 | 2,1 | 6,00 | 12 | 0,5 | 8,89 | 9,91 | 219 |
| 8 | 1000 | 12,09 | 2,1 | 6,00 | 9 | 0,5 | 6,48 | 9,74 | 241 |
| 9 | 1000 | 12,05 | 2,1 | 6,00 | 6 | 0,5 | 9,10 | 9,69 | 115 |
| 10 | 1000 | 12,05 | 2,1 | 8,00 | 12 | 0,5 | 9,01 | 9,88 | 301 |
| 11 | 1000 | 12,07 | 2,1 | 8,00 | 9 | 0,5 | 8,57 | 9,89 | 247 |
| 12 | 1000 | 12,09 | 2,1 | 8,00 | 6 | 0,5 | 7,36 | 9,67 | 103 |
| 13 | 1000 | 12,05 | 2,1 | 10,00 | 12 | 0,5 | 6,91 | 10,82 | 248 |
| 14 | 1000 | 12,01 | 2,1 | 10,00 | 9 | 0,5 | 7,57 | 10,13 | 199 |
| 15 | 1000 | 12,03 | 2,1 | 10,00 | 6 | 0,5 | 8,18 | 10,18 | 145 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 5.** – agua de lavado sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 7,85 - 8,5 para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 7-3: Agua de lavado con PAC, ensayo 5.

Tabla 56-3: Dosificación del agua de lavado sin tratar, usando PAC, ensayo 5.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--|----------------------------|
| 1 | 1000 | 10,77 | 0,5 | 2,00 | 0,5 | 7,89 | 6,74 | 286 |
| 2 | 1000 | 10,79 | 0,5 | 2,00 | 0,5 | 7,54 | 6,13 | 280 |
| 3 | 1000 | 10,79 | 0,5 | 2,00 | 0,5 | 7,47 | 6,04 | 281 |
| 4 | 1000 | 10,78 | 0,5 | 4,00 | 0,5 | 7,45 | 6,07 | 254 |
| 5 | 1000 | 10,74 | 0,5 | 4,00 | 0,5 | 7,65 | 6,37 | 253 |
| 6 | 1000 | 10,76 | 0,5 | 4,00 | 0,5 | 7,61 | 6,29 | 237 |
| 7 | 1000 | 10,76 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 7,57 | 6,18 | 264 |
| 8 | 1000 | 10,74 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 7,62 | 6,38 | 222 |
| 9 | 1000 | 10,75 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 7,81 | 6,74 | 238 |
| 10 | 1000 | 10,78 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 7,24 | 6,19 | 212 |
| 11 | 1000 | 10,79 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 7,74 | 6,66 | 224 |
| 12 | 1000 | 10,78 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 7,48 | 6,57 | 245 |
| 13 | 1000 | 10,75 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 7,69 | 6,58 | 210 |
| 14 | 1000 | 10,75 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 7,77 | 6,64 | 207 |
| 15 | 1000 | 10,78 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 7,74 | 6,66 | 125 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **ENSAYO 6.** – agua de lavado sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 5 horas, después se ajustó el pH entre 8 - 8,6 con ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 8-3: Agua de lavado con aireación y PAC, ensayo 6.

Tabla 57-3: Dosificación del agua de lavado sin tratar, PAC y Mn(SO₄), ensayo 6.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | PAC (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|-------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 10,66 | 0,4 | 2,00 | 9 | 0,5 | 8,51 | 18,14 | 457 |
| 2 | 1000 | 10,66 | 0,4 | 2,00 | 6 | 0,5 | 7,08 | 14,47 | 456 |
| 3 | 1000 | 10,64 | 0,4 | 2,00 | 3 | 0,5 | 7,56 | 16,17 | 417 |
| 4 | 1000 | 10,65 | 0,4 | 4,00 | 9 | 0,5 | 8,22 | 17,78 | 484 |
| 5 | 1000 | 10,66 | 0,4 | 4,00 | 6 | 0,5 | 9,12 | 15,78 | 478 |
| 6 | 1000 | 10,62 | 0,4 | 4,00 | 3 | 0,5 | 7,28 | 15,19 | 399 |
| 7 | 1000 | 10,62 | 0,4 | 6,00 | 9 | 0,5 | 8,89 | 17,84 | 415 |
| 8 | 1000 | 10,63 | 0,4 | 6,00 | 6 | 0,5 | 6,48 | 15,47 | 401 |
| 9 | 1000 | 10,64 | 0,4 | 6,00 | 3 | 0,5 | 9,10 | 14,69 | 378 |
| 10 | 1000 | 10,65 | 0,4 | 8,00 | 9 | 0,5 | 9,01 | 17,99 | 415 |
| 11 | 1000 | 10,66 | 0,4 | 8,00 | 6 | 0,5 | 8,57 | 14,92 | 458 |
| 12 | 1000 | 10,66 | 0,4 | 8,00 | 3 | 0,5 | 7,36 | 1,78 | 416 |
| 13 | 1000 | 10,70 | 0,4 | 10,00 | 9 | 0,5 | 6,91 | 18,27 | 479 |
| 14 | 1000 | 10,71 | 0,4 | 10,00 | 6 | 0,5 | 7,57 | 14,13 | 415 |
| 15 | 1000 | 10,70 | 0,4 | 10,00 | 3 | 0,5 | 8,18 | 15,91 | 348 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 7.** – agua de pelambre sin tratamiento por la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 5,9 - 6,6 para poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 9-3: Agua de pelambre 1 con $FeCl_3$, ensayo 7.

Tabla 58-3. Dosificación del agua de pelambre sin tratar, usando (FeCl₃), ensayo 7.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|------------|---------------------|---------------------------|---------|----------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 12,76 | 4,1 | 2,00 | 0,5 | 7,07 | 4,54 | 113 |
| 2 | 1000 | 12,78 | 4,1 | 2,00 | 0,5 | 6,50 | 4,65 | 9,8 |
| 3 | 1000 | 12,77 | 4,1 | 2,00 | 0,5 | 6,93 | 4,14 | 10,2 |
| 4 | 1000 | 12,76 | 4,1 | 4,00 | 0,5 | 7,02 | 2,48 | 10,5 |
| 5 | 1000 | 12,76 | 4,1 | 4,00 | 0,5 | 6,51 | 2,78 | 14,3 |
| 6 | 1000 | 12,74 | 4 | 4,00 | 0,5 | 6,80 | 2,84 | 15,0 |
| 7 | 1000 | 12,74 | 4 | 6,00 | 0,5 | 7,12 | 2,97 | 16,7 |
| 8 | 1000 | 12,75 | 4,1 | 6,00 | 0,5 | 7,48 | 3,21 | 15,7 |
| 9 | 1000 | 12,75 | 4,1 | 6,00 | 0,5 | 6,80 | 3,47 | 16,6 |
| 10 | 1000 | 12,75 | 4,1 | 8,00 | 0,5 | 6,07 | 3,94 | 14,7 |
| 11 | 1000 | 12,76 | 4,1 | 8,00 | 0,5 | 7,49 | 3,74 | 14,0 |
| 12 | 1000 | 12,74 | 4 | 8,00 | 0,5 | 6,91 | 3,25 | 15,3 |
| 13 | 1000 | 12,74 | 4 | 10,00 | 0,5 | 7,01 | 3,39 | 14,6 |
| 14 | 1000 | 12,74 | 4 | 10,00 | 0,5 | 6,46 | 3,51 | 14,5 |
| 15 | 1000 | 12,74 | 4 | 10,00 | 0,5 | 6,82 | 3,46 | 13,3 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **ENSAYO 8.** – agua de pelambre sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 5 horas, después se ajustó el pH entre 5,9 - 6,7 ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

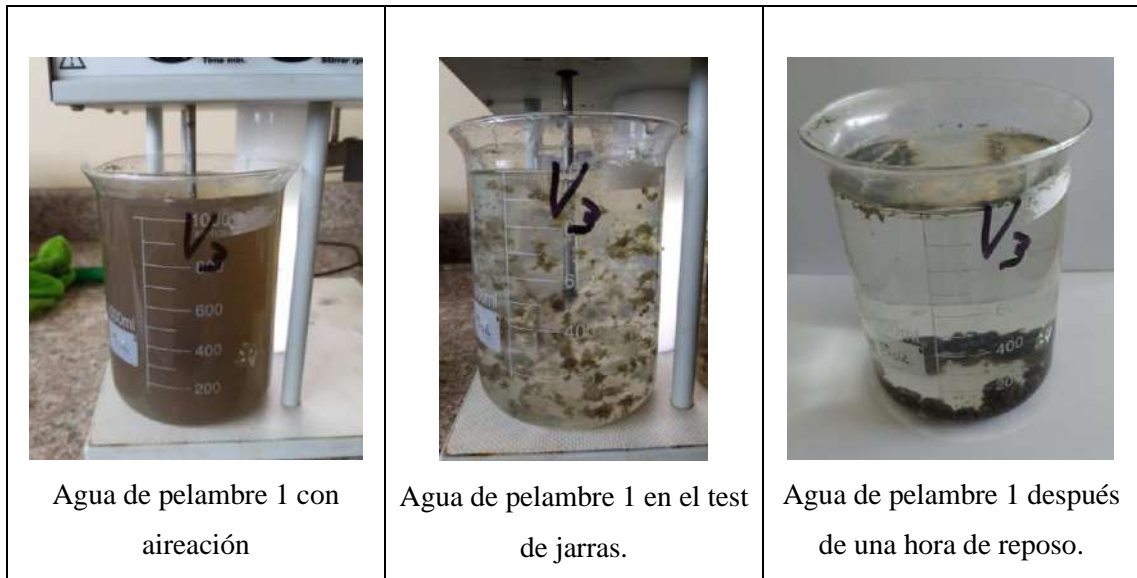


Figura 10-3. Agua de pelambre 1 con aireación y $FeCl_3$, ensayo 8.

Tabla 59-3: Dosificación del agua de pelambre sin tratar, (FeCl₃) y Mn(SO₄), ensayo 8.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 12,59 | 3,7 | 2,00 | 20 | 0,5 | 6,06 | 8,77 | 51 |
| 2 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 2,00 | 15 | 0,5 | 5,57 | 8,71 | 55 |
| 3 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 2,00 | 10 | 0,5 | 5,94 | 7,34 | 52 |
| 4 | 1000 | 12,58 | 3,6 | 4,00 | 20 | 0,5 | 6,02 | 7,69 | 48 |
| 5 | 1000 | 12,58 | 3,6 | 4,00 | 15 | 0,5 | 5,58 | 7,26 | 48 |
| 6 | 1000 | 12,60 | 3,7 | 4,00 | 10 | 0,5 | 5,83 | 7,77 | 48 |
| 7 | 1000 | 12,59 | 3,7 | 6,00 | 20 | 0,5 | 6,10 | 7,89 | 37 |
| 8 | 1000 | 12,60 | 3,7 | 6,00 | 15 | 0,5 | 6,41 | 7,94 | 38 |
| 9 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 6,00 | 10 | 0,5 | 5,83 | 7,60 | 24 |
| 10 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 8,00 | 20 | 0,5 | 5,20 | 7,63 | 27 |
| 11 | 1000 | 12,58 | 3,6 | 8,00 | 15 | 0,5 | 6,42 | 7,91 | 26 |
| 12 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 8,00 | 10 | 0,5 | 5,92 | 7,71 | 28 |
| 13 | 1000 | 12,58 | 3,6 | 10,00 | 20 | 0,5 | 6,01 | 7,91 | 19 |
| 14 | 1000 | 12,57 | 3,6 | 10,00 | 15 | 0,5 | 5,54 | 7,94 | 16 |
| 15 | 1000 | 12,56 | 3,6 | 10,00 | 10 | 0,5 | 5,85 | 7,51 | 17 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 9.** – agua de pelambre con tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 5,9 - 6,6 y poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

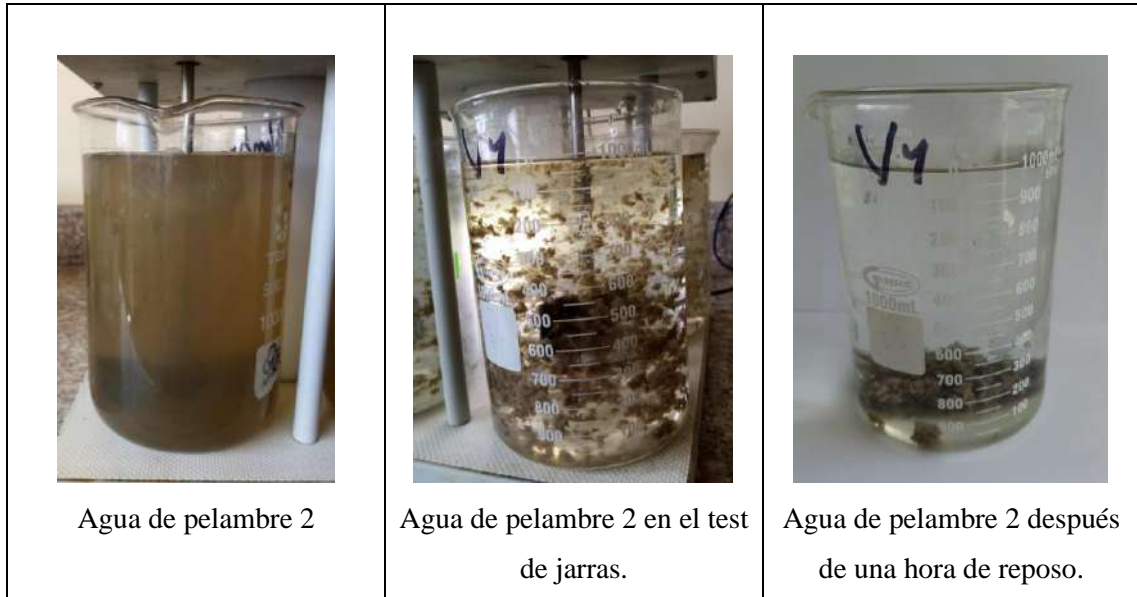


Figura 11-3: Agua de pelambre 2 con $FeCl_3$, ensayo 9.

Tabla 60-3. Dosificación del agua de pelambre con tratamiento, usando (FeCl₃), ensayo 9.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|--------------|------------|------------------|---------------------------|---------|----------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 1000 | 11,71 | 2,0 | 2,00 | 0,5 | 6,06 | 3,722 | 4,8 |
| 2 | 1000 | 11,71 | 2,0 | 2,00 | 0,5 | 6,09 | 3,823 | 3,8 |
| 3 | 1000 | 11,73 | 2,0 | 2,00 | 0,5 | 6,08 | 3,357 | 3,5 |
| 4 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 4,00 | 0,5 | 6,87 | 2,753 | 1,4 |
| 5 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 4,00 | 0,5 | 7,29 | 3,027 | 2,4 |
| 6 | 1000 | 11,73 | 2,0 | 4,00 | 0,5 | 7,54 | 3,082 | 4,4 |
| 7 | 1000 | 11,74 | 2,0 | 6,00 | 0,5 | 6,10 | 3,201 | 4,0 |
| 8 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 6,00 | 0,5 | 7,27 | 3,421 | 3,6 |
| 9 | 1000 | 11,74 | 2,0 | 6,00 | 0,5 | 6,69 | 2,744 | 3,3 |
| 10 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 8,00 | 0,5 | 6,06 | 3,174 | 4,1 |
| 11 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 8,00 | 0,5 | 7,28 | 2,991 | 4,9 |
| 12 | 1000 | 11,72 | 2,0 | 8,00 | 0,5 | 7,64 | 2,543 | 4,8 |
| 13 | 1000 | 11,74 | 2,0 | 10,00 | 0,5 | 6,01 | 2,671 | 2,2 |
| 14 | 1000 | 11,73 | 2,0 | 10,00 | 0,5 | 7,25 | 2,781 | 2,0 |
| 15 | 1000 | 11,74 | 2,0 | 10,00 | 0,5 | 6,70 | 2,735 | 2,4 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 10.** – agua de pelambre con tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 4 horas, después se ajustó el pH entre 5,9 - 6,6 con ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

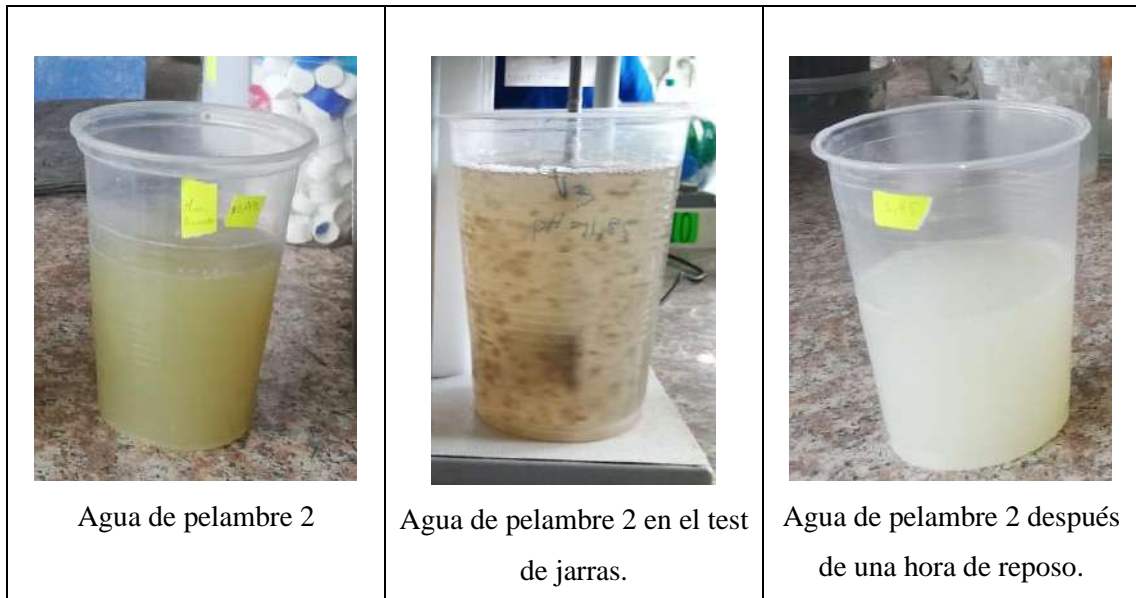


Figura 12-3: Agua de pelambre 2 con aireación y $FeCl_3$, ensayo 10.

Tabla 61-3: Dosificación del agua de pelambre con tratamiento, (FeCl₃) y Mn(SO₄), ensayo 10.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 11,70 | 1,9 | 2,00 | 20 | 0,5 | 6,72 | 18,14 | 69 |
| 2 | 1000 | 11,70 | 1,9 | 2,00 | 15 | 0,5 | 5,59 | 14,47 | 54 |
| 3 | 1000 | 11,72 | 1,9 | 2,00 | 10 | 0,5 | 5,97 | 16,17 | 52 |
| 4 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 4,00 | 20 | 0,5 | 5,75 | 17,78 | 51 |
| 5 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 4,00 | 15 | 0,5 | 6,20 | 15,78 | 56 |
| 6 | 1000 | 11,72 | 1,9 | 4,00 | 10 | 0,5 | 7,05 | 15,19 | 39 |
| 7 | 1000 | 11,73 | 1,9 | 6,00 | 20 | 0,5 | 7,02 | 17,84 | 33 |
| 8 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 6,00 | 15 | 0,5 | 5,12 | 15,47 | 30 |
| 9 | 1000 | 11,73 | 1,9 | 6,00 | 10 | 0,5 | 7,18 | 14,69 | 36 |
| 10 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 8,00 | 20 | 0,5 | 7,11 | 17,99 | 34 |
| 11 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 8,00 | 15 | 0,5 | 6,77 | 14,92 | 32 |
| 12 | 1000 | 11,71 | 1,9 | 8,00 | 10 | 0,5 | 5,81 | 1,78 | 38 |
| 13 | 1000 | 11,73 | 1,9 | 10,00 | 20 | 0,5 | 5,46 | 18,27 | 31 |
| 14 | 1000 | 11,72 | 1,9 | 10,00 | 15 | 0,5 | 5,98 | 14,13 | 29 |
| 15 | 1000 | 11,73 | 1,9 | 10,00 | 10 | 0,5 | 6,46 | 15,91 | 12 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 11.** – agua de lavado sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con ácido fórmico al 85%, para regular el pH entre 5,9 - 6,6 para poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 13-3: Agua de lavado con $FeCl_3$, ensayo 11.

Tabla 62-3: Dosificación del agua de lavado sin tratar, usando (FeCl₃), ensayo 11.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|--------------|------------|------------------|---------------------------|---------|----------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 1000 | 10,04 | 0,4 | 2,00 | 0,5 | 5,72 | 2,46 | 3,3 |
| 2 | 1000 | 10,06 | 0,4 | 2,00 | 0,5 | 5,59 | 2,61 | 3,7 |
| 3 | 1000 | 10,06 | 0,4 | 2,00 | 0,5 | 5,97 | 2,92 | 4,8 |
| 4 | 1000 | 10,05 | 0,4 | 4,00 | 0,5 | 5,49 | 2,56 | 4,4 |
| 5 | 1000 | 10,11 | 0,5 | 4,00 | 0,5 | 6,60 | 2,19 | 3,5 |
| 6 | 1000 | 10,13 | 0,5 | 4,00 | 0,5 | 5,75 | 2,36 | 3,4 |
| 7 | 1000 | 10,13 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 6,62 | 2,60 | 3,8 |
| 8 | 1000 | 10,12 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 5,12 | 2,16 | 2,7 |
| 9 | 1000 | 10,13 | 0,5 | 6,00 | 0,5 | 6,38 | 2,11 | 2,1 |
| 10 | 1000 | 10,11 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 6,11 | 2,59 | 2,5 |
| 11 | 1000 | 10,12 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 6,77 | 2,33 | 2,7 |
| 12 | 1000 | 10,13 | 0,5 | 8,00 | 0,5 | 6,81 | 2,44 | 2,9 |
| 13 | 1000 | 10,13 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 6,46 | 2,11 | 1,5 |
| 14 | 1000 | 10,12 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 5,98 | 2,67 | 1,2 |
| 15 | 1000 | 10,11 | 0,5 | 10,00 | 0,5 | 6,46 | 2,11 | 0,9 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **ENSAYO 12.** – agua de lavado sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua primero se le añadió sulfato de manganeso y se la dejó en aireación por 5 horas, después se ajustó el pH entre 5,9 - 6,6 con ácido fórmico al 85%, para poder trabajar con el cloruro férrico ($FeCl_3$) en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 14-3: Agua de lavado con aireación y $FeCl_3$, ensayo 12.

Tabla 63-3: Dosificación del agua de lavado sin tratar, (FeCl₃) y Mn(SO₄), ensayo 12.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | (FeCl ₃) (mL) | Mn(SO ₄) al 5% (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|--------|-----------------|---------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|--------------------|
| 1 | 1000 | 10,07 | 3,6 | 2,00 | 20 | 0,5 | 6,05 | 9,56 | 23 |
| 2 | 1000 | 10,11 | 3,7 | 2,00 | 15 | 0,5 | 5,98 | 7,67 | 17 |
| 3 | 1000 | 10,15 | 3,8 | 2,00 | 10 | 0,5 | 6,03 | 8,40 | 22 |
| 4 | 1000 | 10,06 | 3,6 | 4,00 | 20 | 0,5 | 5,92 | 10,33 | 19 |
| 5 | 1000 | 10,07 | 3,7 | 4,00 | 15 | 0,5 | 6,53 | 9,33 | 30 |
| 6 | 1000 | 10,08 | 3,8 | 4,00 | 10 | 0,5 | 6,04 | 8,89 | 30 |
| 7 | 1000 | 10,08 | 3,6 | 6,00 | 20 | 0,5 | 6,14 | 9,78 | 18 |
| 8 | 1000 | 10,07 | 3,7 | 6,00 | 15 | 0,5 | 6,53 | 7,00 | 33 |
| 9 | 1000 | 10,08 | 3,8 | 6,00 | 10 | 0,5 | 6,64 | 10,11 | 30 |
| 10 | 1000 | 10,10 | 3,6 | 8,00 | 20 | 0,5 | 6,73 | 10,11 | 16 |
| 11 | 1000 | 10,11 | 3,7 | 8,00 | 15 | 0,5 | 5,98 | 9,22 | 17 |
| 12 | 1000 | 10,06 | 3,8 | 8,00 | 10 | 0,5 | 5,92 | 8,78 | 12 |
| 13 | 1000 | 10,08 | 3,6 | 10,00 | 20 | 0,5 | 6,14 | 9,98 | 25 |
| 14 | 1000 | 10,08 | 3,7 | 10,00 | 15 | 0,5 | 6,17 | 8,11 | 14 |
| 15 | 1000 | 10,10 | 3,8 | 10,00 | 10 | 0,5 | 6,37 | 9,89 | 10 |

Elaborador

por:

Pasmay,

O,

2021.

- **ENSAYO 13.** – agua de curtido sin tratamiento de la empresa. A esta muestra de agua se la trató con hidróxido de calcio (cal), para regular el pH entre 8,3 – 9,10 para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) al 1% en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.



Figura 15-3: Agua de curtido con PAC, ensayo 13.

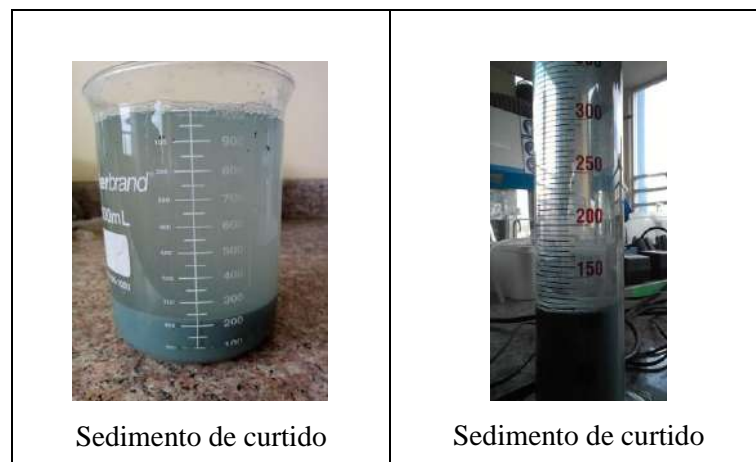


Figura 16-3: Lodo recuperado del ensayo 13.

Tabla 64-3: Dosificación del agua de curtido sin tratar, usando PAC, ensayo 13.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | CAL (gramos) | PAC (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|---------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--|----------------------------|
| 1 | 1000 | 3,77 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 8,99 | 7,515 | 13,87 |
| 2 | 1000 | 3,64 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 8,37 | 8,694 | 14,59 |
| 3 | 1000 | 3,79 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 9,22 | 7,368 | 15,26 |
| 4 | 1000 | 3,75 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 8,91 | 8,488 | 14,62 |
| 5 | 1000 | 3,78 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 8,51 | 8,516 | 11,91 |
| 6 | 1000 | 3,75 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 8,07 | 8,540 | 8,4 |
| 7 | 1000 | 3,74 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 8,28 | 6,028 | 8,0 |
| 8 | 1000 | 3,81 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 8,23 | 8,516 | 8,8 |
| 9 | 1000 | 3,75 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 8,77 | 9,504 | 9,52 |
| 10 | 1000 | 3,75 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 8,18 | 10,625 | 8,89 |
| 11 | 1000 | 3,71 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 8,79 | 10,588 | 7,12 |
| 12 | 1000 | 3,77 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 8,80 | 11,492 | 7,74 |
| 13 | 1000 | 3,76 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,77 | 12,540 | 7,58 |
| 14 | 1000 | 3,74 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,92 | 12,640 | 6,24 |
| 15 | 1000 | 3,76 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,77 | 11,080 | 5,68 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

- **ENSAYO 14.** – agua de curtido sin tratamiento de la empresa. A esta muestra se la dejo en aireación por 5 horas, después se ajustó el pH entre 8,6 – 9,10 con hidróxido de calcio, para poder trabajar con el policloruro de aluminio (PAC) en distintas dosis, también se usó un polielectrolito (PE) en una dosis de 0,5mL por litro.

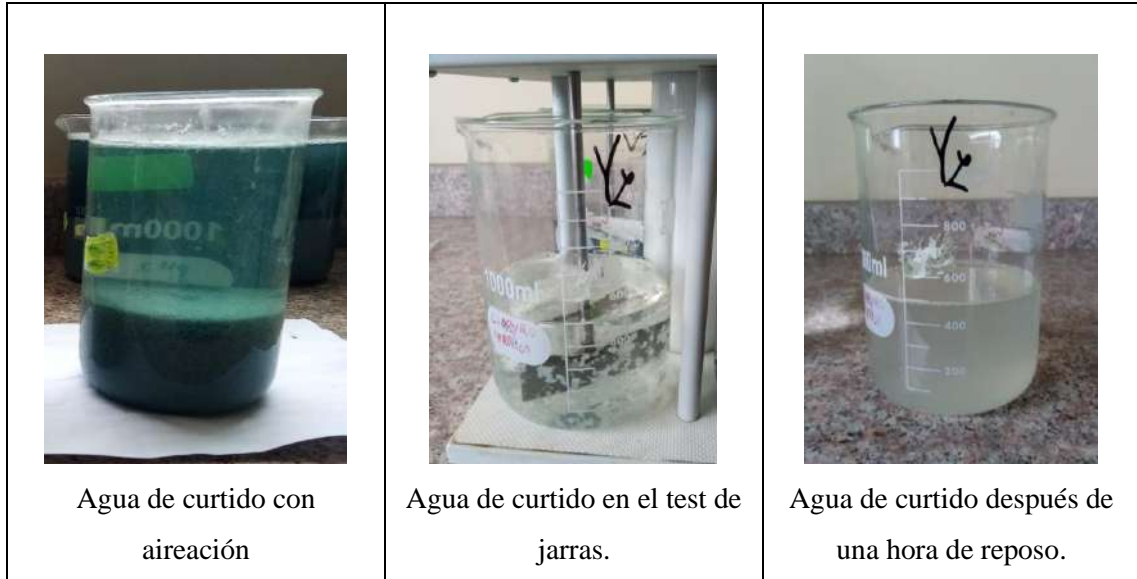


Figura 17-3: Agua de curtido con aireación y PAC, ensayo 14.

Tabla 65-3: Dosificación del agua de curtido sin tratar, usando PAC y aireación, ensayo 14.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | CAL (gramos) | PAC (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|---------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--|----------------------------|
| 1 | 1000 | 4,30 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 8,99 | 5,577 | 295 |
| 2 | 1000 | 4,18 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 9,37 | 6,742 | 132 |
| 3 | 1000 | 4,34 | 4,5 | 2,00 | 0,5 | 9,22 | 7,442 | 207 |
| 4 | 1000 | 4,88 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 8,91 | 6,552 | 141 |
| 5 | 1000 | 4,15 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 9,51 | 6,658 | 90 |
| 6 | 1000 | 4,28 | 4,5 | 4,00 | 0,5 | 9,07 | 5,795 | 51 |
| 7 | 1000 | 4,79 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 8,28 | 8,646 | 7,1 |
| 8 | 1000 | 4,32 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 8,23 | 7,969 | 7,3 |
| 9 | 1000 | 4,88 | 4,5 | 6,00 | 0,5 | 7,77 | 8,153 | 8,5 |
| 10 | 1000 | 4,88 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 9,18 | 8,908 | 9 |
| 11 | 1000 | 4,52 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 8,79 | 7,230 | 3 |
| 12 | 1000 | 4,36 | 4,5 | 8,00 | 0,5 | 8,80 | 7,142 | 2 |
| 13 | 1000 | 4,97 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,77 | 7,382 | 1 |
| 14 | 1000 | 4,79 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,92 | 7,474 | 1 |
| 15 | 1000 | 4,97 | 4,5 | 10,00 | 0,5 | 8,77 | 6,120 | 0,545 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

3.13. Rediseño de la planta de tratamiento

3.13.1. Situación actual de la planta de tratamiento

En la actualidad la planta de tratamiento de aguas residuales que posee la Curtiduría Los Andes no realiza un tratamiento adecuado de los residuos líquidos debido a no es una planta óptima para realizar este tipo de procesos.

Tabla 66-3: Descripción de las etapas del proceso.

| ETAPAS | CAPACIDAD (m^3) | OBSERVACIÓN |
|--|------------------------|---|
| Tanque de almacenamiento | 0,33 | En funcionamiento, la capacidad del tanque no es la adecuada. |
| Bombo de pelambre | 7,44 | En funcionamiento, realiza operaciones unitarias de mezclado. |
| Bombo de curtido | 2,78 | En funcionamiento, realiza operaciones unitarias de mezclado. |
| Floculación para pelambre | 12,40 | En funcionamiento, se adiciona de 14 kg de PAC por cada $2m^3$ de agua residual. |
| Floculación para curtido | 7,26 | No está en funcionamiento, no se realiza proceso de floculación a los residuos líquidos de curtido. |
| Coagulación para pelambre, sedimentador. | 3,21 | En funcionamiento, se agrega 0,6 Kg de FLOC-23 por cada $2m^3$ de agua residual. La mezcla se la realiza mediante la inyección de aire a presión. Sedimentación de lodos. |
| Coagulación para curtido, sedimentador. | 3,21 | No está en funcionamiento, no se realiza proceso de coagulación a los residuos líquidos de curtido. |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021

3.13.2. Carga contaminante

La valoración de un caudal fija la cantidad de carga contaminante presente en el residuo líquido. Los valores se ven reflejados en las concentraciones de DQO en función del tiempo, las cuales están siendo evacuadas a al sistema de alcantarillado.

Carga contaminante encada uno de los procesos:

$$C_C = C_{DQO} * Q$$

Ecuación 2

Dónde:

C_c = carga contaminante (kg/d)

C_{DQO} = concentración DQO (mg/L)

Q = caudal (L/s)

Para la determinación de esta condición se toma como datos los valores tabulados para DQO en la tabla 41-3. Y para los caudales los valores de la Tabla 25-3.

3.13.2.1. *Cálculo de la carga contaminante del agua de pelambre 1*

$$\begin{aligned}C_c &= 20800,00 * 2,29 \\C_c &= 47632,00 \text{ (mg/s)} \\C_c &= 4115,41 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right) DQO\end{aligned}$$

3.13.2.2. *Cálculo de la carga contaminante del agua de pelambre 2*

$$\begin{aligned}C_c &= 3318,67 * 2,92 \\C_c &= 9690,52 \text{ (mg/s)} \\C_c &= 837,26 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right) DQO\end{aligned}$$

3.13.2.3. *Cálculo de la carga contaminante del agua de curtido*

$$\begin{aligned}C_c &= 4960,00 * 1,75 \\C_c &= 8680,00 \text{ (mg/s)} \\C_c &= 749,95 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right) DQO\end{aligned}$$

3.13.2.4. *Cálculo de la carga contaminante del agua de lavado*

$$\begin{aligned}C_c &= 2834,00 * 1,54 \\C_c &= 4364,36 \text{ (mg/s)} \\C_c &= 377,08 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}\right) DQO\end{aligned}$$

3.13.3. Determinación del caudal de diseño

El caudal de diseño se puede calcular tomando con base al volumen de agua que se obtuvo de cada uno de los procesos de la curtiduría.

$$Q_C = Q * F$$

Ecuación 3

$$Q_{RD} = Q_C + Q$$

Ecuación 4

Dónde:

Q_C = caudal de corrección mayorado (L/s)

Q_{RD} = caudal de rediseño (L/s)

Q = caudal (L/s)

F = factor de mayorización (30%)

3.13.3.1. Cálculo del caudal de rediseño para el agua de pelambre 1

$$Q_C = 2,29 * 0,30$$

$$Q_C = 0,69 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 0,69 + 2,29$$

$$Q_{RD} = 2,98 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 257,47 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

3.13.3.2. Cálculo del caudal de rediseño para el agua de pelambre 2

$$Q_C = 2,92 * 0,30$$

$$Q_C = 0,88 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 0,88 + 2,92$$

$$Q_{RD} = 3,80 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 328,32 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

3.13.3.3. Cálculo del caudal de rediseño para el agua de curtido

$$Q_C = 1,75 * 0,30$$

$$Q_C = 0,53 \text{ (L/s)}$$

$$Q_D = 0,53 + 1,75$$

$$Q_D = 2,28 \text{ (L/s)}$$

$$Q_D = 196,99 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

3.13.3.4. *Cálculo del caudal de rediseño para el agua de lavado*

$$Q_C = 1,54 * 0,30$$

$$Q_C = 0,46 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 0,46 + 1,54$$

$$Q_{RD} = 2,00 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 172,97 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

3.13.3.5. *Cálculo del caudal de rediseño a la entrada del sedimentador*

$$Q_C = 1,05 * 0,30$$

$$Q_C = 0,315 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 0,315 + 1,05$$

$$Q_{RD} = 1,37 \text{ (L/s)}$$

$$Q_{RD} = 118,37 \text{ (m}^3\text{/d)}$$

3.13.4. Determinación del canal de entrada

La curtiduría Los Andes cuenta con un único canal por donde atraviesa tanto agua de pelambre como de curtido, para las determinaciones se tomó los valores del agua de pelambre debido a que su volumen es superior en comparación con la de curtido.

Para la estimación de la velocidad hay un dato importante el cual debemos tener en cuenta las variables en la ecuación de Manning, donde es importante conocer el valor de la rugosidad relativa del material del cual está construido el canal.

En este caso el material es hormigón, acabado con paleta y liso, cuyo coeficiente Manning para este material es de 0,013.

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

Ecuación 5

$$v_f = \frac{1}{n} * R_H^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Ecuación 6

Dónde:

R_H = radio hidráulico (m)

B = ancho (m)

H = altura de agua que pasa por el canal (m)

v_f = velocidad de flujo (m/s)

n = coeficiente de Manning (adimensional)

S = pendiente del canal (m/m)

3.13.4.1. *Cálculo del radio hidráulico del canal*

$$R_H = \frac{0,1 * 0,1}{0,1 + 2(0,1)}$$

$$R_H = 0,033 \text{ m}$$

3.13.4.2. *Cálculo de la velocidad de flujo*

$$v_f = \frac{1}{0,013} * 0,033^{\frac{2}{3}} * 0,0003^{1/2}$$

$$v_f = 0,14 \text{ m/s}$$

3.13.5. *Diseño de un sistema de rejillas*

El sistema de tratamiento de aguas residuales que posee actualmente la curtiduría los andes no posee un sistema de rejillas, razón por la cual se ha decidido diseñar uno acorde a las exigencias de la curtiduría.

Con este método se podrá atrapar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual, reduciendo de esta forma la carga de materia orgánica (pelos, trozos de cuero, cebo) lo que a su vez reduciría los sólidos en suspensión que entran al sistema de tratabilidad, los cuales podrían provocar un déficit al momento de empezar a tratar el residuo líquido.

3.13.5.1. *Determinación del área de las rejillas*

Las rejillas deben tener una longitud que sea suficiente para evitar desbordes y el paso de sólidos grandes. La velocidad del caudal también es importante, ya que, si se tiene una velocidad alta se deberá aumentar el diámetro de las rejillas para así evitar que el agua pudiera arrastrar los sólidos al interior del sistema de tratamiento.

Las rejillas también deben estar diseñadas de tal forma que estas puedan soportar ataques físicos, químicos y microbiológicos para así evitar su deterioro.

Para determinar el área de una rejilla se usa la siguiente ecuación:

$$A_R = \frac{Q}{v_f}$$

Ecuación 7

Dónde:

A_R = área de la rejilla (m²)

Q = caudal de diseño (m³/s)

v_f = velocidad de flujo (m/s)

$$A_R = \frac{2,98 \times 10^{-3}}{0,14}$$

$$A_R = 0,021 \text{ m}^2$$

3.13.5.2. *Cálculo de la altura tirante*

$$h_a = \frac{A_R}{B}$$

Ecuación 8

Dónde:

h_a = altura tirante (m)

A_R = área de la rejilla (m²)

B = ancho del canal (m)

$$h_a = \frac{0,021}{0,1}$$

$$h_a = 0,21 \text{ m}$$

3.13.5.3. *Cálculo de la altura del canal*

$$H_c = h_a + F_s$$

Ecuación 9

Dónde:

H_C = altura total del canal (m)

h_a = altura tirante (m)

F_s = factor de seguridad (m). Se considera un 30%

$$H_C = 0,21 + 0,3$$

$$H_C = 0,24 \text{ m}$$

3.13.5.4. *Cálculo de la longitud de las barras*

$$L = \frac{H_C}{\text{sen } \alpha 60^\circ}$$

Ecuación 10

Dónde:

L = longitud de las barras (m)

H_C = altura total del canal (m)

$$L = \frac{0,24}{\text{sen } \alpha 60^\circ}$$

$$L = 0,28 \text{ m}$$

3.13.5.5. *Cálculo del número de barras.*

$$N_B = \frac{B_R - L_b}{b + L_b}$$

Ecuación 11

Dónde:

N_B = número de barrotes

L_b = espacio entre barrotes (m)

B_R = ancho en la zona de barrotes (m)

b = ancho de los barrotes (m)

$$N_B = \frac{0,1 - 0,015}{0,005 + 0,015}$$

$$N_B = 4,3$$

3.13.6. Diseño de una trampa de grasas

Dentro de la etapa de pelambre se genera una gran cantidad de aceites y grasas que si no son tratadas adecuadamente estas pueden adherirse a las paredes del sistema de tratabilidad obstaculizando contactos y reduciendo la eficiencia del sistema de tratamiento.

3.13.6.1. Determinación del área del tanque

$$A_{TQ} = \frac{Q_{min} * A}{Q_{max}}$$

Ecuación 12

Dónde:

A_{TQ} = area del tanque (m²)

Q_{min} = caudal minimo (m³/s)

Q_{max} = caudal maximo (m³/s)

A = area recomendada segun la Norma RAS., 2000., Título E. 4.3., Pp28 (m²)

$$A_{TQ} = \frac{2 \times 10^{-3} * 0,25}{3,8 \times 10^{-3}}$$

$$A_{TQ} = 0,13 \text{ m}^2$$

3.13.6.2. Determinación del ancho del tanque

$$A_b = \sqrt{\frac{A_{TQ}}{4}}$$

Ecuación 13

Dónde:

A_b = ancho del tanque (m)

A_{TQ} = area del tanque (m²)

$$A_b = \sqrt{\frac{0,13}{4}}$$

$$A_b = 0,18 \text{ m}$$

3.13.6.3. *Determinación del largo del tanque*

$$L_{TQ} = A_b * 4$$

Ecuación 14

Dónde:

A_b = ancho del tanque (m)

L_{TQ} = largo del tanque (m)

$$L_{TQ} = 0,18 * 4$$

$$L_{TQ} = 0,72 \text{ m}$$

3.13.6.4. *Determinación del volumen del tanque*

$$V_{TQ} = Q_{RD} * t_R$$

Ecuación 15

Dónde:

V_{TQ} = volumen del tanque (m³)

Q_{RD} = caudal de rediseño (m³/s)

t_R = tiempo de retención (s). Según la Norma RAS., 2000., Título E. 4.3., Pp28

$$V_{TQ} = 2,98 \times 10^{-3} * 180$$

$$V_{TQ} = 0,54 \text{ m}^3$$

3.13.7. *Diseño de un vertedero rectangular*

Mediante la construcción de este tipo de vertedero podremos mantener un caudal uniforme, además es de fácil construcción e instalación.

3.13.7.1. *Cálculo del ancho del vertedero*

$$A_C = 1,2 * A_{CV}$$

Ecuación 16

Dónde:

A_C = ancho del canal (m)

A_{CV} = ancho de la cresta vertedora (m)

$$A_C = 1,2 * 0,15$$

$$A_C = 0,18 \text{ m}$$

3.13.7.2. *Cálculo de la longitud del vertedero*

$$L_C = 5 * A_C$$

Ecuación 17

Dónde:

L_C = largo de la caja del vertedero (m)

A_C = ancho del canal (m)

$$L_C = 5 * 0,18$$

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

3.13.7.3. *Cálculo del caudal real del vertedero*

$$Q_R = C_e * A_o * v_R$$

Ecuación 18

Dónde:

Q_R = caudal real del vertedero (m³/s)

C_e = coeficiente de descarga

A_o = area del orificio del vertedero (m²)

v_R = velocidad real (m/s)

$$C_e = 0,616 * \left(1 - \frac{A_{CV}}{10 * A_C}\right)$$

Ecuación 19

Dónde:

C_e = coeficiente de descarga

A_{CV} = ancho de la cresta vertedora (m)

A_C = ancho del canal (m)

$$v_R = \frac{x}{\sqrt{\frac{2y}{g}}}$$

Ecuación 20

Dónde:

v_R = velocidad real (m/s)

x = distancia horizontal antes de la caída (m)

y = distancia vertical de la caída (m)

g = gravedad (m/s²)

$$C_e = 0,616 * \left(1 - \frac{0,15}{10 * 0,18}\right)$$

$$C_e = 0,57$$

$$v_R = \frac{0,13}{\sqrt{\frac{2 * 0,6}{9,81}}}$$

$$v_R = 0,37 \text{ m/s}$$

$$Q_R = 0,57 * A_o * v_R$$

$$Q_R = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.13.7.4. Cálculo de la velocidad teórica del vertedero

$$v_{teo} = \sqrt{2 * g * h_a}$$

Ecuación 21

Dónde:

v_{teo} = velocidad real del vertedero (m/s)

h_a = altura del agua(m)

g = gravedad (m/s²)

$$v_{teo} = \sqrt{2 * 9,81 * 0,5}$$

$$v_{teo} = 3,13 \text{ m/s}$$

3.13.7.5. *Cálculo del coeficiente de la velocidad del vertedero*

$$C_{vv} = \frac{v_R}{v_{teo}}$$

Ecuación 22

Dónde:

C_{vv} = coeficiente de la velocidad

v_{teo} = velocidad real del vertedero (m/s)

v_R = velocidad real (m/s)

$$C_{vv} = \frac{0,37}{3,13}$$

$$C_{vv} = 0,12$$

3.13.7.6. *Cálculo del caudal teórico del vertedero*

$$Q_{teo} = \frac{2}{3} * C_e * A_C * \sqrt{2 * g * H^{\frac{3}{2}}}$$

Ecuación 23

Dónde:

Q_{teo} = caudal teorico m³/s

C_e = coeficiente de descarga

A_C = ancho del canal (m)

g = gravedad (m/s²)

H = carga de agua (m)

$$Q_{teo} = \frac{2}{3} * 0,57 * 0,18 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,5^{\frac{3}{2}}}$$

$$Q_{teo} = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.13.8. Rediseño de la piscina de pelambre

La piscina de pelambre que posee la curtiduría los antes normalmente cuando está a su máxima capacidad no puede ser usada para otro propósito hasta que las pieles que se encuentra dentro de

estas sean retiradas y la capacidad de la piscina será la necesaria para llevar otro tipo de operación, en este caso la primera etapa de tratabilidad.

Tabla 67-3: Dimensionamiento, piscina de pelambre.

| DATOS | PISCINA DE PELAMBRE |
|-----------------------|---------------------|
| Altura (m) | 0,5 |
| Pared grosor (m) | 0,13 |
| Ancho (m) | 3,7 |
| Largo (m) | 6,7 |
| Capacidad (m3) | 12,40 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

La piscina de pelambre tiene una capacidad de 12,40 metros cúbicos. Al pelambrar 100 pieles en la curtiduría Los Andes, se generan 4,09 metros cúbicos de aguas residuales.

Tabla 68-3: Características, piscina de pelambre, datos de la Curtiduría Los Andes.

| Características | volumen (m3) | % |
|----------------------|--------------|--------------|
| Piel cruda | 2,88 | 33,63 |
| Sulfuro de sodio | 0,10 | 2,00 |
| Hidróxido de calcio | 0,27 | 8,00 |
| Agua utilizada | 4,19 | 56,36 |
| Bombo | 7,44 | 100,00 |
| Agua residual | 4,09 | 55,02 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Al cotizar los datos podemos ver que el agua residual en la piscina de pelambre ocupa el 33.77% de capacidad. Este espacio libre puede ser utilizado para adicionar coagulantes y ajustar el pH.

3.13.8.1. *Dosificación en la piscina de pelambre*

Para el agua de pelambre se usará, cloruro férrico, polímero aniónico y ácido fórmico, de la siguiente forma:

- **Ácido fórmico.** – la curtiduría posee ácido fórmico el cual utiliza en el proceso de curtido, el mismo puede ser utilizado para disminuir el pH del agua residual como se muestra en la Tabla 48-3, y poder trabajar en un rango de 6 a 6,5.

$$\frac{4,1\text{mL Ac. Fórmico}}{1\text{L A. residual}} * \frac{4090\text{L A. residual}}{1\text{ Día}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} = 16,77\text{ L/Día}$$

$$16,77 \frac{L}{Día} = 20,09 \frac{Kg}{Día}$$

En este caso se optó por usar el ácido concentrado al 85%, no se realizó dilución ni preparación.

- **Cloruro férrico.** – a comparación de otros coagulantes el **Cloruro férrico** dio mejores resultados a bajas concentraciones. La dosificación del agua con este coagulante se expresa en la Tabla 58-3, ensayo 7.

$$\frac{5mL FeCl_3}{1L A.residual} * \frac{4090L A.residual}{1 Día} * \frac{1L}{1000mL} = 20,45 L/Día$$

El cloruro férrico que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$FeCl_3 = \frac{(20,45 \frac{L}{Día} * 1gramo)}{0,1L}$$

$$FeCl_3 = 204.5 \text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 204,5 gramos de cloruro férrico en 20,94 litros de agua. O a su vez diluir 500 gramos de este coagulante en 50 litros de agua, el sobrante se podrá almacenar para ser utilizado en un próximo tratamiento.

- **Polímero aniónico.** – este polímero ayuda a reducir la turbidez del agua ya que ayuda a que los coágulos se juntes y formen un floculo grande y más sedimentable.

$$\frac{0,5mL FeCl_3}{1L A.residual} * \frac{4090L A.residual}{1 Día} * \frac{1L}{1000mL} = 2,045 L/Día$$

El polímero aniónico que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$\text{Polímero aniónico} = \frac{(2,045 \frac{L}{Día} * 1gramo)}{0,1L}$$

$$\text{Polímero aniónico} = 20,45 \text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 20,45 gramos de polímero en 2,045 litros de agua caliente. O a su vez diluir 50 gramos de este polímero en 5 litros de agua, el sobrante se podrá almacenar para ser utilizado en un próximo tratamiento.

Para la fase de mezcla se utiliza un agitador mecánico e inyección de aire, disminuyendo de esta forma la concentración de sulfuros debido a su oxidación.

3.13.9. Rediseño de la piscina de curtido

La piscina de curtido que posee la curtiduría los antes normalmente cuando está a su máxima capacidad no puede ser usada para otro propósito hasta que las pieles que se encuentra dentro de estas sean retiradas y la capacidad de la piscina será la necesaria para llevar otro tipo de operación, en este caso la primera etapa de tratabilidad.

Tabla 69-3: Dimensionamiento, piscina de curtido.

| DATOS | PISCINA DE CURTIDO |
|-----------------------|--------------------|
| Altura (m) | 0,33 |
| Pared grosor (m) | 0,13 |
| Ancho (m) | 2,5 |
| Largo (m) | 4,15 |
| Capacidad (m3) | 3,42 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

La piscina de curtido tiene una capacidad de 3,42 metros cúbicos. Al curtir 200 bandas en la curtiduría Los Andes, se generan 0,17 metros cúbicos de aguas residuales.

Tabla 70-3: Características, piscina de curtido, datos de la Curtiduría Los Andes.

| Características | volumen (m3) | % |
|----------------------|--------------|-------------|
| Bandas | 2,57 | 92,22 |
| Sal de cromo | 0,007 | 0,24 |
| Ac. Fórmico | 0,010 | 0,35 |
| Sulfato de amonio | 0,006 | 0,20 |
| Sal en grano | 0,019 | 0,70 |
| Formiato de sodio | 0,003 | 0,11 |
| Agua | 0,21 | 7,61 |
| Bombo | 2,78 | 67,97 |
| Agua residual | 0,17 | 6,18 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Al relacionar los volúmenes obtenemos que el agua residual en la piscina de curtido ocupa el 6.2% de la capacidad. Este espacio libre puede ser utilizado para adicionar coagulantes y ajustar el pH.

3.13.9.1. Dosificación en la piscina de curtido

Para el agua de curtido se usará, policloruro de aluminio (PAC), polímero aniónico e hidróxido de calcio (cal), de la siguiente forma:

- **Hidróxido de calcio.** – la curtiduría posee cal la cual se utiliza en el proceso de pelambre, la mismo puede ser utilizado para subir el pH del agua residual como se muestra en la Tabla 51-3, y poder trabajar en un rango de 8,5 a 9.

$$\frac{4,4g \text{ cal}}{1L \text{ A.residual}} * \frac{170L \text{ A.residual}}{1 \text{ Día}} * \frac{1Kg}{1000g} = 0,75 \text{ Kg/Día}$$

- **Policloruro de aluminio.** – a comparación de otros coagulantes el PAC dio buenos resultados para la tratabilidad del agua de curtido. La dosificación del agua con este coagulante se expresa en las Tablas 65-3 y 66-3, ensayos 13 y 14.

$$\frac{5mL \text{ FeCl}_3}{1L \text{ A.residual}} * \frac{170L \text{ A.residual}}{1 \text{ Día}} * \frac{1L}{1000mL} = 0,85 \text{ L/Día}$$

El PAC que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$PAC = \frac{(0,85 \frac{L}{Día} * 1gramo)}{0,1L}$$

$$PAC = 8,50 \text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 8,50 gramos de PAC en 0,85 litros de agua. O a su vez diluir 10 gramos de este coagulante en 1 litro de agua, el sobrante se podrá almacenar para ser utilizado en un próximo tratamiento.

- **Polímero aniónico.** – este polímero ayuda a reducir la turbidez funciona de una forma similar a la del tratamiento de pelambre.

$$\frac{0,5\text{mL FeCl}_3}{1\text{L A.residual}} * \frac{170\text{L A.residual}}{1\text{ Día}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} = 0,085\text{ L/Día}$$

El polímero aniónico que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$\text{Polímero aniónico} = \frac{(0,085 \frac{\text{L}}{\text{Día}} * 1\text{gramo})}{0,1\text{L}}$$

$$\text{Polímero aniónico} = 0,85\text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 0,85 gramos de polímero en 0,085 litros de agua caliente. O a su vez diluir 10 gramos de este polímero en 1 litro de agua, el sobrante se podrá almacenar para ser utilizado en un próximo tratamiento.

3.13.10.Rediseño del tanque de depósito

El depósito que presenta la curtiduría Los Andes es el mayor problema el cual debe ser nuevamente dimensionado para aumentar su capacidad y de esa forma ensanchar el tiempo de retención para que precipiten la mayor cantidad de flóculos, lo que solicitara una tubería de salida en la parte inferior para desalojar los lodos que se han formado.

Tabla 71-3: Dimensionamiento del depósito.

| DATOS | DEPÓSITO |
|-----------------------|-------------|
| Altura (m) | 0,55 |
| Ancho (m) | 0,77 |
| Largo (m) | 0,77 |
| Capacidad (m3) | 0,33 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Tabla 72-3: Capacidad del depósito.

| TIPO DE FUENTE | VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL (m3) | CAPASIDAD DEL DEPÓSITO (m3) | REDIMIENTO (%) |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------|
| Piscina de pelambre | 4,09 | 0,33 | 8,07 |
| Piscina de curtido | 0,17 | 0,33 | 100,00 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

En la Tabla 72-3. Se puede observar que el 8,07% del agua residual de pelambre permanece en el depósito. Principal problema que presenta la empresa al no realizar un tratamiento uniforme de esta agua, razón por la cual aun después de ser tratada sigue presentando una alta carga contaminante.

Tras el análisis del actual depósito de la curtiduría se considera dimensionar y construir un depósito con las siguientes especificaciones

El rediseño se realizará en base a un modelo de tanque subterráneo de forma rectangular.

3.13.10.1. *Determinación del volumen nominal del depósito*

$$V_{ND} = H * L * A$$

Ecuación 24

Dónde:

V_{ND} = volumen nominal del tanque de depósito (m^3).

H = altura nominal del tanque (m).

L = longitud del tanque. (m)

A = ancho del tanque (m).

$$V_{ND} = 1,30 * 1,30 * 2,50$$

$$V_{ND} = 4.23 m^3$$

3.13.10.2. *Determinación de la altura del depósito*

$$H_T = H * \left(1 + \frac{f}{100}\right)$$

Ecuación 25

Dónde:

H_T = altura del tanque del depósito (m).

H = altura nominal del tanque (m).

f = factor de seguridad 15%

$$H_T = 1,30 * \left(1 + \frac{15}{100}\right)$$

$$H_T = 1,50$$

3.13.10.3. *Determinación del volumen de rediseño del depósito*

$$V_{RD} = H_T * L * A$$

Ecuación 26

Dónde:

V_{RD} = volumen de rediseño del depósito (m^3).

H_T = altura del tanque del depósito (m).

L = longitud del tanque. (m)

A = ancho del tanque (m).

$$V_{RD} = 1,50 * 1,30 * 2,50$$

$$V_{RD} = 4,88 m^3$$

3.13.10.4. *Determinación de la longitud del depósito*

$$L_{RD} = \sqrt{\frac{V_{RD} * K}{H}}$$

Ecuación 27

Dónde:

L_{RD} = longitud del depósito (m)

V_{RD} = volumen de rediseño del depósito (m^3).

H = altura nominal del tanque del depósito (m).

K = constante de diseño L/A.

$$L_{RD} = \sqrt{\frac{V_{RD} * \frac{L}{A}}{H}}$$

Ecuación 28

$$L_{RD} = \sqrt{\frac{4,88 * \frac{1,30}{2,50}}{1,30}}$$

$$L_{RD} = 1,40 m$$

3.13.10.5. *Determinación del ancho del depósito*

$$A = \frac{L}{K}$$

Ecuación 29

Dónde:

A = ancho del depósito (m)

L = longitud del depósito (m).

K = constante de diseño .

$$A = \frac{1,30}{0,52}$$

$$A = 2,5 \text{ m}$$

De esta forma se retendrá toda el agua de pelambre y se podrá obtener lodos más compactos ya que el agua permanecerá en reposo.

3.13.10.6. Dosificación en el agua de lavado

Para el agua de lavado se usará, cloruro férrico, polímero aniónico y ácido fórmico, de la siguiente forma:

- **Ácido fórmico.** – la curtiduría posee ácido fórmico el cual utiliza en el proceso de curtido, el mismo puede ser utilizado para disminuir el pH del agua residual como se muestra en la Tabla 57-3, y poder trabajar en un rango de 6 a 6,5.

$$\frac{0,5\text{mL Ac. Fórmico}}{1\text{L A.residual}} * \frac{1500\text{L A.residual}}{1 \text{ Día}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} = 0,75 \text{ L/Día}$$
$$0,75 \frac{\text{L}}{\text{Día}} = 0,90 \frac{\text{kg}}{\text{Día}}$$

En este caso se optó por usar el ácido concentrado al 85%, no se realizó dilución ni preparación.

- **Cloruro férrico.** – a comparación de otros coagulantes el este dio mejores resultados a bajas concentraciones. La dosificación del agua con este coagulante se expresa en la Tabla 59-3, ensayo 7.

$$\frac{4\text{mL FeCl}_3}{1\text{L A.residual}} * \frac{1500\text{L A.residual}}{1 \text{ Día}} * \frac{1\text{L}}{1000\text{mL}} = 6 \text{ L/Día}$$

El cloruro férrico que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$\text{FeCl}_3 = \frac{(6 \frac{\text{L}}{\text{Día}} * 1\text{gramo})}{0,1\text{L}}$$

$$FeCl_3 = 60 \text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 60 gramos de cloruro férrico en 6 litros de agua.

- **Polímero aniónico.** – este polímero ayuda a reducir la turbidez del agua ya que ayuda a que los coágulos se junten y formen un floculo grande y más sedimentable.

$$\frac{0,5mL FeCl_3}{1L A.residual} * \frac{1500L A.residual}{1 Día} * \frac{1L}{1000mL} = 0,75 L/Día$$

El polímero aniónico que se utilizó tenía una concentración del 1% es decir que antes de utilizarlo en el tratamiento este debe ser diluido.

$$Polímero aniónico = \frac{(0,75 \frac{L}{Día} * 1gramo)}{0,1L}$$

$$Polímero aniónico = 7,5 \text{ gramos/Día}$$

La forma de diluirlo será 7,5 gramos de polímero en 0,75 litros de agua caliente. O a su vez diluir 10 gramos de este polímero en 1 litro de agua, el sobrante se podrá almacenar para ser utilizado en un próximo tratamiento.

3.13.11. *Rediseño del sedimentador*

Realizamos el rediseño del sedimentador de alta taza para lograr separar una mayor cantidad de flóculos, posteriormente se colocará dos canales que servirá, una para descarga del agua tratada al alcantarillado la cual estará en la parte superior y la otra en la parte inferior destinada a la descarga de lodos a las bandejas de secado.

3.13.11.1. *Determinación de la carga superficial en el sedimentador*

$$C_s = \frac{Q_{RD}}{A_s}$$

Ecuación 30

Dónde:

$$C_s = \text{carga superficial} \left(\frac{m^3}{m^2 \text{ día}} \right)$$

Q_{RD} = caudal de rediseño (m³/día)

A_s = area de semientacion (m²)

$$C_s = \frac{257,47}{4,09}$$

$$C_s = 62,95 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{día}} \right)$$

3.13.11.2. *Determinación de la velocidad medias*

$$v_m = \frac{Q_{RD}}{A_s * \text{sen } \theta}$$

Ecuación 31

Dónde:

v_m = velocidad media promedio (m/s)

Q_{RD} = caudal de rediseño (m³/s)

A_s = area de semientacion (m²)

θ = angulo de inclinación 7,87, ángulo que posee la curtiduria.

$$v_m = \frac{2,98 \times 10^{-3}}{4,09 * \text{sen } 7,87^\circ}$$

$$v_m = 0,005 \text{ m/s}$$

3.13.11.3. *Determinación de la longitud relativa*

$$L_R = \frac{l_R}{dp}$$

Ecuación 32

Dónde:

L_R = longitud recorrida (m)

dp = ancho del conducto (m)

$$v_m = \frac{1}{0,18}$$

$$L_R = 5,56 \text{ m}$$

3.13.11.4. *Determinación del tiempo de retención*

$$T_R = \frac{A_s * H_T}{Q_D}$$

Ecuación 33

Dónde:

T_R = tiempo de retención (s)

A_s = area de semientacion (m²)

H_T = altura total (m)

Q_D = caudal de rediseño (m³/s)

$$T_R = \frac{4,09 * 1,30}{2,98 \times 10^{-3}}$$

$$T_R = 1784,23 \text{ s}$$

$$T_R = 29,74 \text{ min}$$

3.13.11.5. *Determinación del volumen del sedimentador*

- **Base triangular.**

$$V_B = \frac{b * a}{2} * H_T$$

Ecuación 34

Dónde:

V_T = volumen, base triangular (m³)

b = base del triangular(m)

a = ancho del tringulo (m)

H_T = altura total del triangulo(m)

$$V_B = \frac{0,40 * 2,87}{2} * 1,60$$

$$V_B = 0,92 \text{ m}^3$$

- **Parte rectangular 1.**

$$V_{R1} = B * A * H_S$$

Ecuación 35

Dónde:

V_{R1} = volumen rectangular (m³)

B = base del sedimentador (m)

A = ancho del sedimentador (m)

H_S = altura total del sedimentador (m)

$$V_{R1} = 0,15 * 1,60 * 1,30$$

$$V_{R1} = 0,31 \text{ m}^3$$

- **Parte rectangular 2.**

$$V_{R2} = B1 * A1 * H_S$$

Ecuación 35

Dónde:

V_{R2} = volumen rectangular (m³)

$B1$ = base del sedimentador (m)

$A1$ = ancho del sedimentador (m)

H_S = altura total del sedimentador (m)

$$V_{R2} = 2,87 * 1,60 * 1,30$$

$$V_{R2} = 5,97 \text{ m}^3$$

- **Capacidad total del sedimentador.**

$$V_{TS} = V_{R1} + V_{R2} - V_B$$

Ecuación 36

Dónde:

V_T = volumen total del sedimentador (m³)

V_{R1} = volumen rectangular 1 (m³)

V_{R2} = volumen rectangular 2 (m³)

V_T = volumen, base triangular (m³)

$$V_{TS} = 0,31 + 5,97 - 0,92$$

$$V_{TS} = 5,36 \text{ m}^3$$

3.13.12. *Diseño de una bandeja de recolección de lodos*

En la bandeja que se diseñara para la curtiduría Los Andes se pretende recolectar los lodos tanto del del tanque de depósito como los del sedimentador para que se puedan secar y posiblemente dar una disposición final.

3.13.12.1. *Determinación del volumen del lodo a secar*

Tras la sedimentación existe un volumen de lodos a considerar el cual deberá estar acorde a las bandejas que se diseñaran.

$$V_{LS} = V_T * Hum * Sol$$

Ecuación 35

Dónde:

V_{LS} = volumen de lodos asecar (m³)

V_T = volumen del sedimentador (m³)

Hum = 76,3% de humedad

Sol = 23,7% de sólidos

$$V_{LS} = 4,13 * 0,763 * ,0237$$

$$V_{LS} = 0,75 \text{ m}^3$$

3.13.12.2. *Determinación del área superficial de la bandeja*

$$A_{LS} = \frac{V_{LS}}{h_b}$$

Ecuación 36

Dónde:

A_{LS} = área de la bandeja (m^2)

V_{LS} = volumen de lodos asecar (m^3)

h_b = altura típica (0,15m)

$$A_{LS} = \frac{0,75}{0,15}$$

$$A_{LS} = 5 \text{ m}^2$$

3.13.12.3. *Determinación de la longitud de la bandeja*

$$L_{LS} = \frac{A_{LS}}{B}$$

Ecuación 37

Dónde:

L_{LS} = longitud de la bandeja (m)

A_{LS} = área de la bandeja (m^2)

B = ancho recomendado 1 – 3,5 (m)

$$L_{LS} = \frac{5}{3,5}$$

$$L_{LS} = 1,43 \text{ m}$$

3.13.12.4. *Determinación de la inclinación de la bandeja en longitud*

$$I_L = \tan \theta * L_{LS}$$

Ecuación 38

Dónde:

I_L = inclinación de la bandeja (m)

L_{LS} = longitud de la bandeja (m)

θ = ángulo recomendado (1 – 5) $^\circ$, ángulo típico 2 $^\circ$

$$I_L = \tan 3^\circ * 1,43$$

$$I_L = 0,08 \text{ m}$$

3.13.12.5. *Determinación de la inclinación de la bandeja en altura*

$$I_H = \tan \theta * B$$

Ecuación 39

Dónde:

I_H = inclinación altura de la bandeja (m)

B = ancho recomendado 1 – 3,5 (m)

θ = ángulo recomendado (5 – 10)°, ángulo típico 8°

$$I_H = \tan 5^\circ * 3,5$$

$$I_H = 0,31 \text{ m}$$

3.13.12.6. *Determinación de la altura de la bandeja*

$$H_B = h_b + h_S$$

Ecuación 40

Dónde:

H_B = altura de la bandeja (m)

h_b = altura típica (0,15m)

h_S = altura de seguridad EDS (0,5 – 1)m, valor típico (0,5)m

$$H_B = 0,15 + 0,5$$

$$H_B = 0,65 \text{ m}$$

Numero de bandejas: 2

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Resultados finales de la caracterización del agua residual

4.1.1. Caracterización del agua de pelambre 1

Tabla 1-4: Resultados del tratamiento del agua de pelambre 1.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 2 |
| Color | Pt-Co | 37 |
| Conductividad | mS/cm | 2,54 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 250 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 110 |
| pH | Und | 7,15 |
| Turbiedad | NTU | 10,32 |
| Temperatura | °C | 19,80 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 1 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 18 |
| Sólidos totales | g/L | 1,58 |
| Sulfuros | mg/L | 0,82 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Después de realizar el tratamiento al agua residual de pelambre, sin tratamiento de la empresa, la caracterización final arrojó resultados favorables los cuales se detallan en la Tabla 1-4. En este caso la tratabilidad realizada al residuo líquido si cumple con las exigencias de la normativa.

4.1.2. Caracterización del agua de pelambre 2

Tabla 2-4: Resultados del tratamiento del agua de pelambre 2.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 1,11 |
| Color | Pt-Co | 34 |
| Conductividad | mS/cm | 2,15 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 288 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 97 |
| pH | Und | 6,65 |

| | | |
|-----------------------------|------|------|
| Turbiedad | NTU | 1,38 |
| Temperatura | °C | 19,7 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 0,90 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2 |
| Sólidos disueltos totales | g/L | 1,33 |
| Sulfuros | mg/L | 0,71 |
| Sulfatos | mg/L | 942 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Después del nuevo tratamiento al agua residual de pelambre, con tratamiento de la empresa, la caracterización final arrojó resultados propicios los cuales se detallan en la Tabla 2-4.

En este caso la tratabilidad realizada al agua residual si cumple con las exigencias de la normativa.

4.1.3. Caracterización del agua de lavado

Tabla 3-4: Resultados del tratamiento del agua de lavado.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 1,75 |
| Color | Pt-Co | 39 |
| Conductividad | mS/cm | 2,58 |
| Cloruros | mg/L | 56,25 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 150 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 88 |
| pH | Und | 6,42 |
| Turbiedad | NTU | 4,03 |
| Temperatura | °C | 20,1 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 0,99 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 3 |
| Sólidos totales | mg/L | 1,6 |
| Sulfuros | mg/L | 0,78 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Después de realizar el tratamiento al agua residual de lavado, la cual inicialmente no presenta ningún tipo de tratamiento por de la empresa, la caracterización final arrojó resultados favorables los cuales se detallan en la Tabla 3-4.

En este caso la tratabilidad realizada al agua residual si cumple con las exigencias de la normativa.

4.1.4. Caracterización del agua de curtido

Tabla 4-4: Resultados del tratamiento del agua de curtido.

| PARÁMETROS | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|
| Color | Pt-Co | 87 |
| Conductividad | mS/cm | 8,17 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 0,05 |
| Cloruros | mg/L | 850,12 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 424 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 94 |
| pH | Und | 7,46 |
| Turbiedad | NTU | 7,91 |
| Temperatura | °C | 20,2 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 1,49 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 8 |
| Sólidos totales | g/L | 5,07 |
| Sulfatos | mg/L | 1 294 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Después de realizar el tratamiento al agua residual de curtido, sin tratamiento de la empresa, la caracterización final arrojó resultados favorables casi en su totalidad los cuales se detallan en la Tabla 4-4.

El parámetro cuyo valor excede lo permitido en la normativa vigente es el sulfato, el cual posee una concentración de 1294 mg/L, indicando que para tratar este tipo de contaminante se debe hacer uso de otro tipo de procesos como por ejemplo osmosis inversa, sin embargo, en comparación con los valores iniciales se puede decir que la tratabilidad realizada a este tipo de agua fue muy favorable.

También se observa una alta concentración de cloruros, los cuales después del tratamiento también bajaron en su concentración.

4.1.5. Dosificaciones adecuadas para la tratabilidad de aguas

Las dosis recomendadas para cada una de las muestras de agua se reflejan a detalle en la sección anterior, 3.12, donde se observa cada uno de los ensayos y las cantidades de químicos utilizadas en cada prueba.

Para que se dé una tratabilidad adecuada se hizo uso de un equipo para test de jarras, con el cual se trabajó de la siguiente manera, en las dosis recomendadas:

Tabla 5-4: Uso del equipo Test de jarras.

| Tipo de químico | Tiempo (min) | rpm |
|-----------------|--------------|-------|
| Coagulante | 1 | 300 |
| Floculante | 10 | 30-40 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.



Figura 1-4: Equipo Test de jarras.

Se mezcló el coagulante a 300 rpm durante 1 min, después se redujo las revoluciones por min entre 30-40 para poder adicionar en polímero iónico (floculante), durante 10 min. Después de ese período de tiempo se dejó reposar la muestra por 30 min para su posterior caracterización.

4.1.5.1. Resultados de tratabilidad

Tabla 6-4: Resultados de dosificación.

| PRUEBA | VOLUMEN (mL) | pH INICIAL | AC. FÓRMICO (mL) | CAL (gramos) | PAC (mL) | (FeCl ₃) (mL) | PE (mL) | pH FINAL | CONDUCTIVIDAD FINAL (mS/cm) | TURBIEDAD (NTU) |
|---|--------------|------------|------------------|--------------|----------|---------------------------|---------|----------|-----------------------------|-----------------|
| PARA AGUA DE PELAMBRE 1 | | | | | | | | | | |
| 4 | 1000 | 12,76 | 4,1 | - | - | 4 | 0,5 | 7,02 | 2,48 | 10,5 |
| 6 | 1000 | 12,74 | 4 | - | - | 4 | 0,5 | 6,8 | 2,84 | 15,0 |
| 7 | 1000 | 12,74 | 4 | - | - | 6 | 0,5 | 7,12 | 2,97 | 16,7 |
| PARA AGUA DE PELAMBRE 2 | | | | | | | | | | |
| 4 | 1000 | 11,72 | 2 | - | - | 4 | 0,5 | 6,87 | 2,753 | 1,4 |
| 5 | 1000 | 11,72 | 2 | - | - | 4 | 0,5 | 7,29 | 3,027 | 2,4 |
| 6 | 1000 | 11,73 | 2 | - | - | 4 | 0,5 | 7,54 | 3,082 | 4,4 |
| PARA AGUA DE LAVADO | | | | | | | | | | |
| 5 | 1000 | 10,11 | 0,5 | - | - | 4 | 0,5 | 6,6 | 2,19 | 3,5 |
| 7 | 1000 | 10,13 | 0,5 | - | - | 6 | 0,5 | 6,62 | 2,60 | 3,8 |
| 9 | 1000 | 10,13 | 0,5 | - | - | 6 | 0,5 | 6,38 | 2,11 | 2,1 |
| PARA AGUA DE CURTIDO | | | | | | | | | | |
| 6 | 1000 | 3,75 | - | 4,5 | 4 | - | 0,5 | 8,07 | 8,540 | 8,4 |
| 7 | 1000 | 3,74 | - | 4,5 | 6 | - | 0,5 | 8,28 | 6,028 | 8,0 |
| 8 | 1000 | 3,81 | - | 4,5 | 6 | - | 0,5 | 8,23 | 8,516 | 8,8 |
| PARA AGUA DE CURTIDO CON AIREACIÓN | | | | | | | | | | |
| 7 | 1000 | 4,79 | - | 4,5 | 6 | - | 0,5 | 8,28 | 8,646 | 7,1 |
| 8 | 1000 | 4,32 | - | 4,5 | 6 | - | 0,5 | 8,23 | 7,969 | 7,3 |
| 9 | 1000 | 4,88 | - | 4,5 | 6 | - | 0,5 | 7,77 | 8,153 | 8,5 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Pelambre 1: agua de pelambre sin tratamiento de la Empresa.

Pelambre 2: agua de pelambre con tratamiento de la Empresa.

4.1.6. Comparación de resultados de los parámetros iniciales y finales

4.1.6.1. Aceites y grasas

Tabla 7-4: Parámetro, aceites y grasas.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 755 | 2 | 70,00 | 99,74 |
| Pelambre con tratamiento | 125 | 1,11 | | 99,11 |
| Lavado | 165 | 1,75 | | 98,94 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

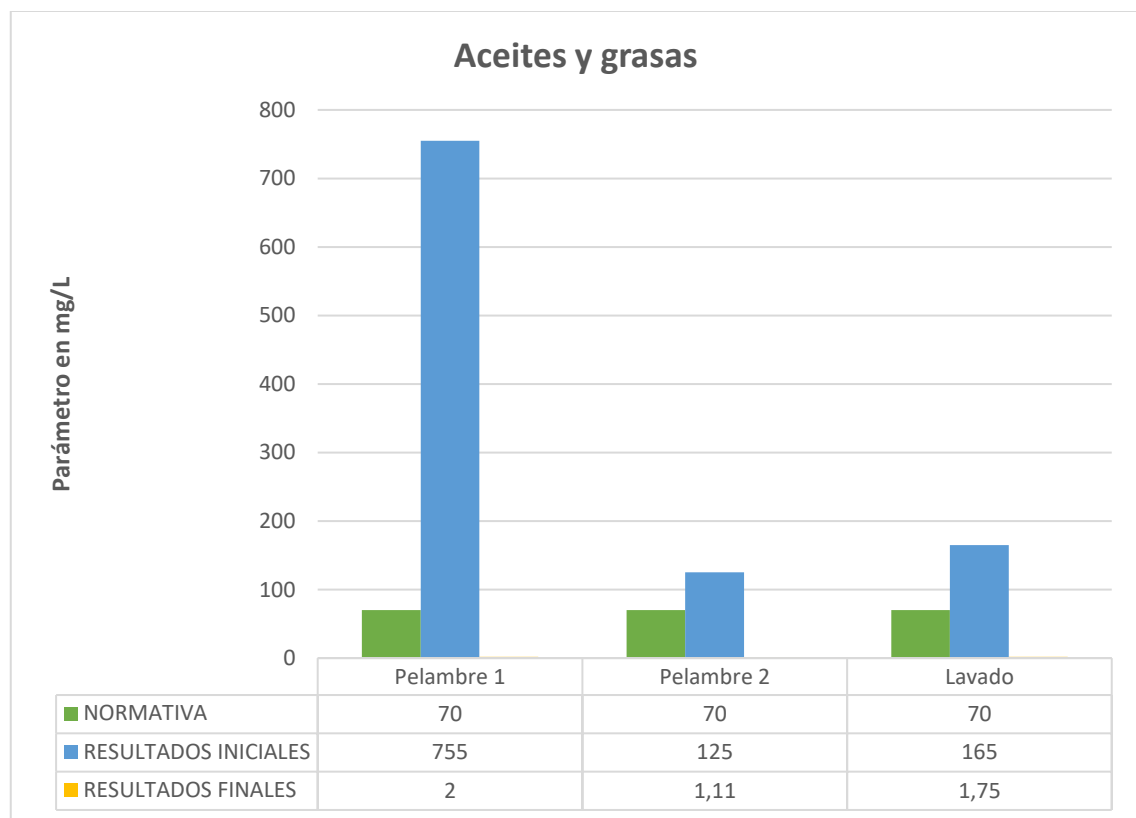


Gráfico 1-4: Parámetro, aceites y grasas.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 7-4. El tratamiento realizado a las tres muestras logra que el parámetro de aceites y grasas cumplan con la normativa teniendo valores sumamente bajos.

4.1.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 8-4: Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 5 550 | 110 | 250 | 98,02 |
| Pelambre con tratamiento | 1 639 | 97 | | 94,08 |
| Curtido | 1 260 | 94 | | 92,54 |
| Lavado | 650 | 88 | | 86,46 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

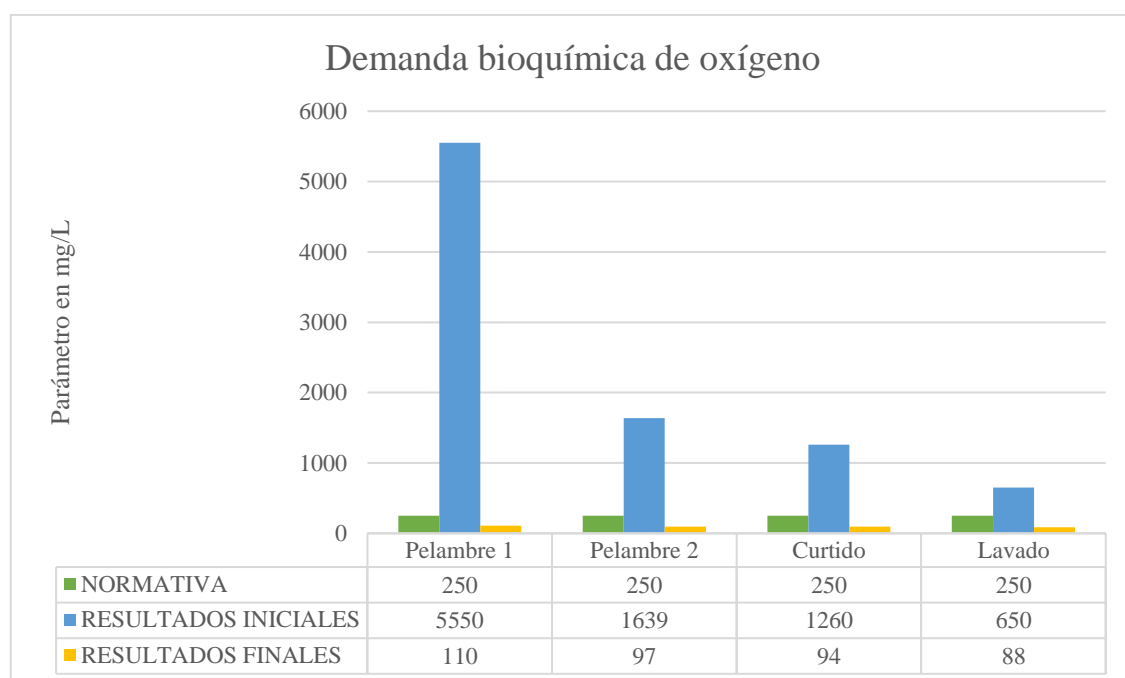


Gráfico 2-4: Parámetro, demanda bioquímica de oxígeno.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 8-4. El tratamiento realizado a las cuatro muestras logra que el parámetro demanda bioquímica de oxígeno DBO disminuya considerablemente en la muestra de pelambre 1 y así pueda cumplir con la normativa.

4.1.6.3. Demanda química de oxígeno

Tabla 9-4: Parámetro, demanda química de oxígeno.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 20 800 | 250 | | 98,80 |

| | | | | |
|--------------------------|-------|-----|-----|-------|
| Pelambre con tratamiento | 3 319 | 288 | 500 | 91,32 |
| Curtido | 4 960 | 424 | | 91,45 |
| Lavado | 2 834 | 150 | | 94,71 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

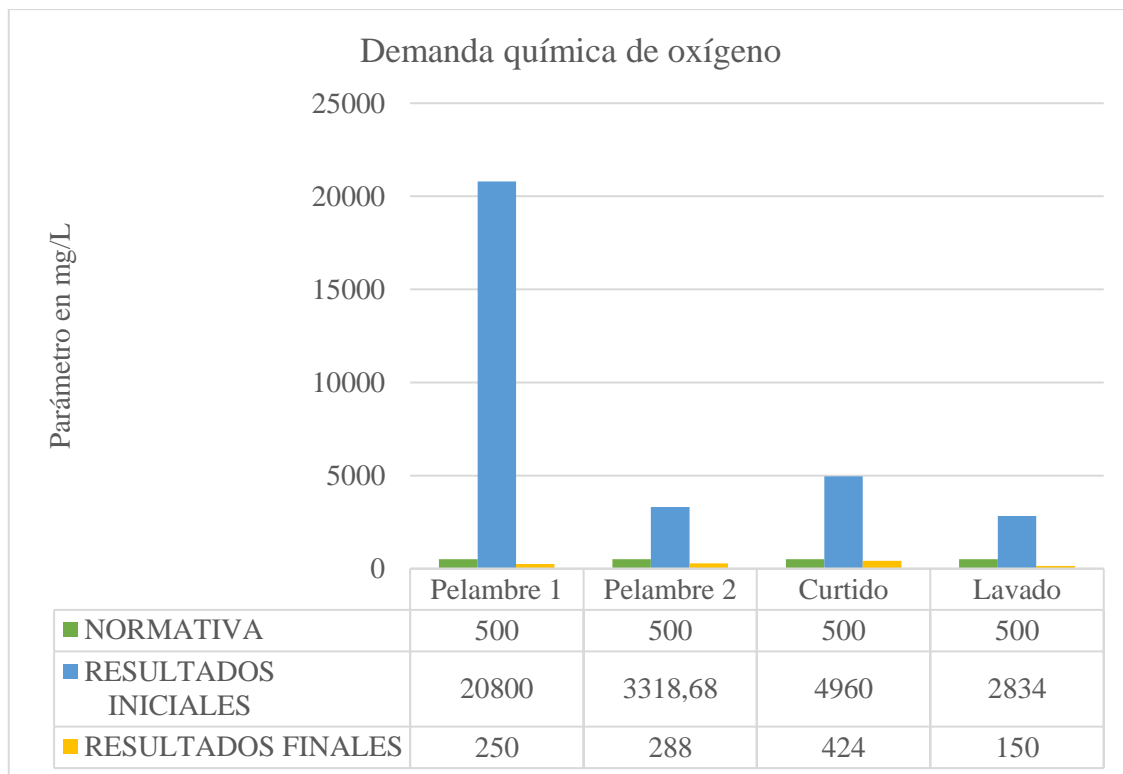


Gráfico 3-4: Parámetro, demanda química de oxígeno.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 9-4. El tratamiento realizado a las cuatro muestras logra que los parámetros de demanda química de oxígeno DQO disminuya, cuyos valores iniciales eran sumamente altos, después de este tratamiento se pudo cumplir con la normativa.

4.1.6.4. Potencial de hidrógeno

Tabla 10-4: Parámetro, pH.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL Unid | VALOR FINAL Unid | NORMA Unid |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|------------|
| Pelambre sin tratamiento | 12,77 | 7,15 | 6 - 9 |
| Pelambre con tratamiento | 11,72 | 6,65 | |
| Curtido | 3,86 | 7,46 | |
| Lavado | 10,07 | 6,42 | |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

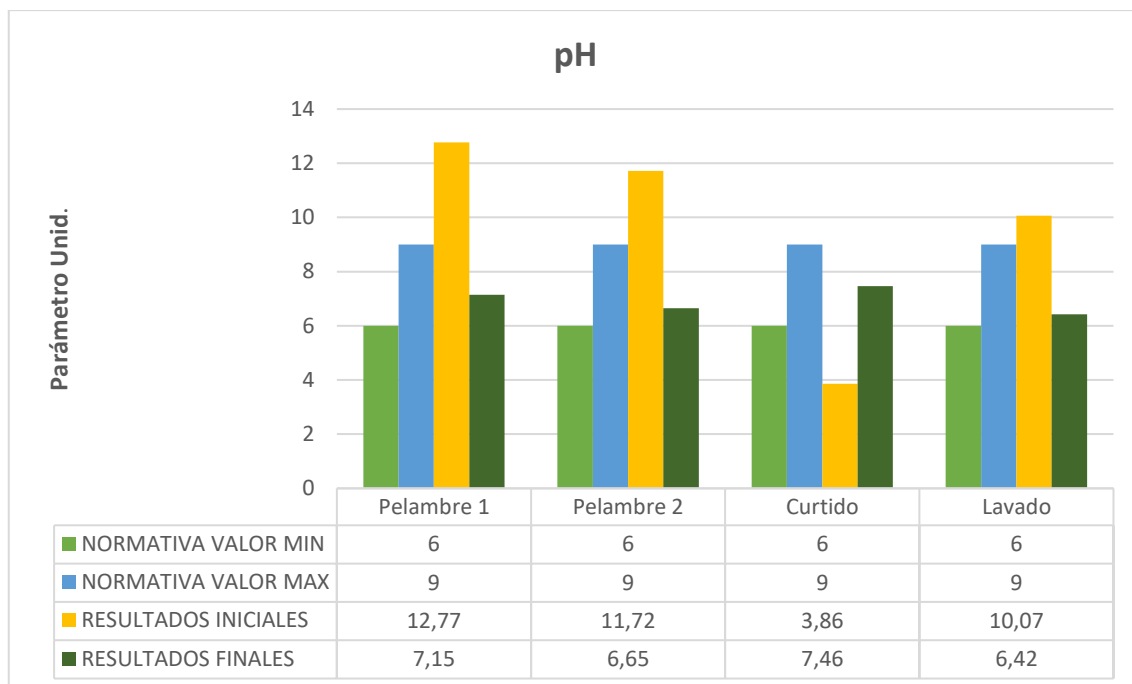


Gráfico 4-4: Parámetro, pH.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 10-4. El tratamiento realizado a las cuatro muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro pH, cumpliendo con la normativa.

4.1.6.5. Sólidos sedimentables (SD)

Tabla 11-4. Parámetro, sólidos sedimentables.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mL/L) | VALOR FINAL (mL/L) | NORMA (mL/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 500 | 1 | 20 | 99,80 |
| Pelambre con tratamiento | 350 | 0,90 | | 99,74 |
| Curtido | 158,68 | 1,49 | | 99,06 |
| Lavado | 280 | 0,99 | | 99,65 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

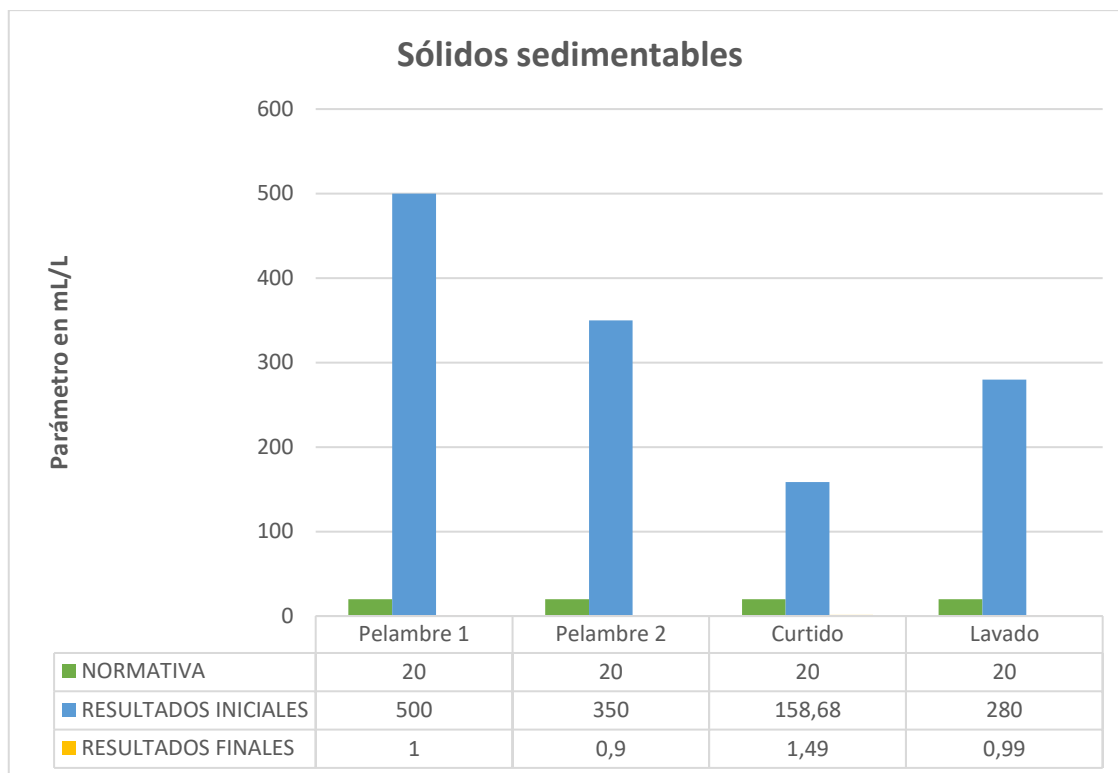


Gráfico 5-4: Parámetro, sólidos sedimentables.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 11-4. El tratamiento realizado a las cuatro muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro SD, dando resultados positivos y cumpliendo así con la normativa.

4.1.6.6. Sólidos suspendidos totales (SST)

Tabla 12-4: Parámetro, sólidos suspendidos totales.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 14 481 | 18 | 220 | 99,88 |
| Pelambre con tratamiento | 1 480 | 2 | | 99,87 |
| Lavado | 315 | 3 | | 99,05 |
| Curtido | 117 | 8 | | 93,16 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

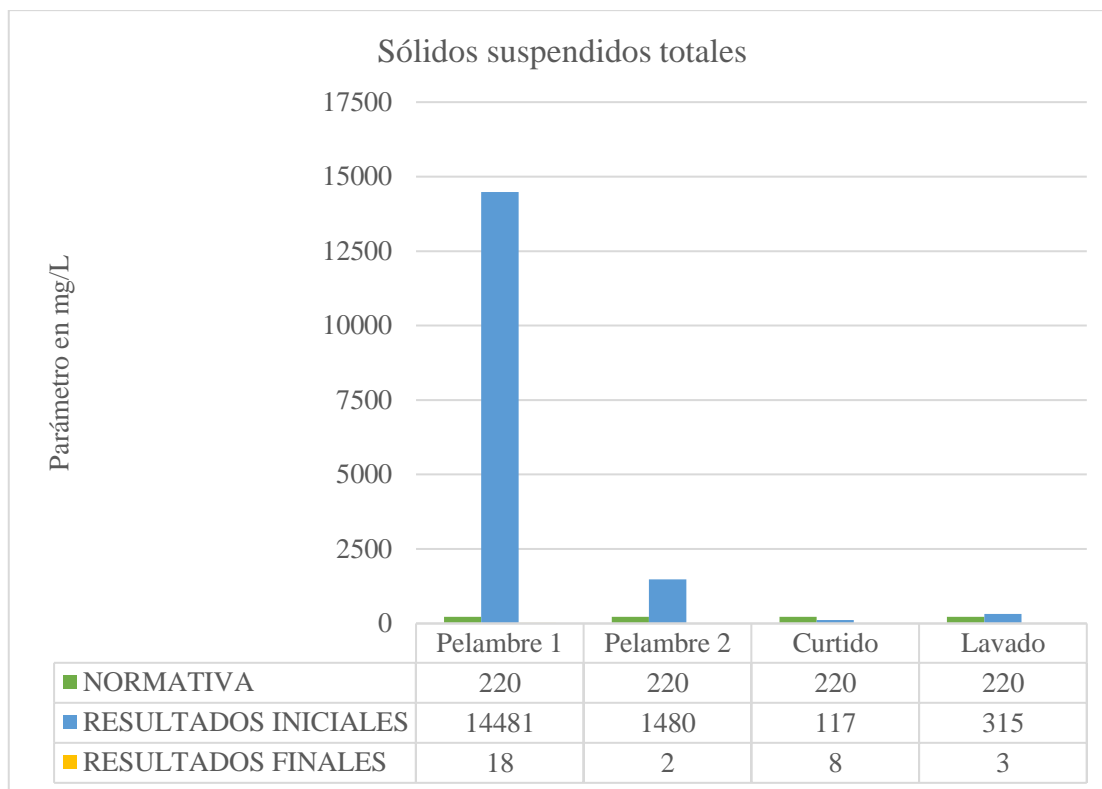


Gráfico 6-4: Parámetro, sólidos suspendidos totales.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 12-4. El tratamiento realizado a las tres muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro sólidos suspendidos totales, que sobre todo eran excesivos en el agua de pelambre 1, dando resultados positivos y cumpliendo así con la normativa.

4.1.6.7. Sólidos totales (ST)

Tabla 13-4: Parámetro, sólidos totales.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (g/L) | VALOR FINAL (g/L) | NORMA (g/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|------------------------|----------------------|----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 18,93 | 1,58 | 1,6 | 91,65 |
| Pelambre con tratamiento | 6,23 | 1,33 | | 78,65 |
| Curtido | 45,05 | 5,07 | | 88,75 |
| Lavado | 6,16 | 1,6 | | 74,03 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

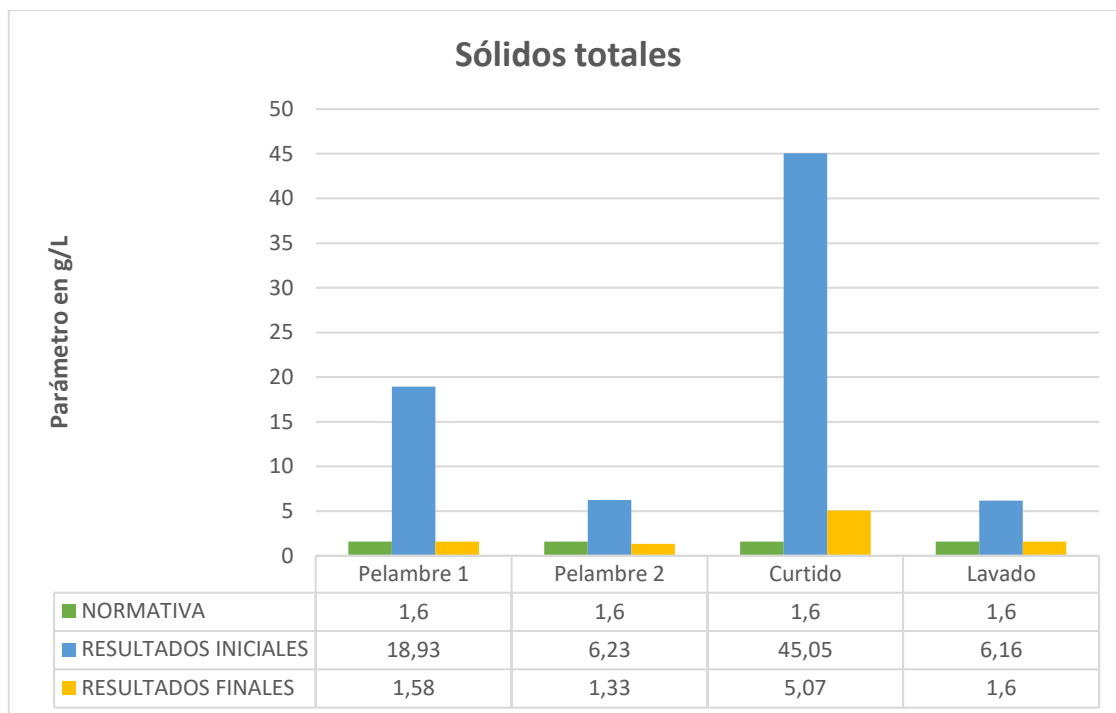


Gráfico 7-4: Parámetro, sólidos totales.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 13-4. El tratamiento realizado a las cuatro muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro, sólidos totales, dando buenos resultados y cumpliendo así con la normativa. Sobre todo, en pelambre 1 y curtido donde sus valores eran muy elevados.

4.1.6.8. Sulfuros (S^{2-})

Tabla 14-4: Parámetro, sulfuros.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre sin tratamiento | 1 152 | 0,82 | 1 | 99,93 |
| Pelambre con tratamiento | 510 | 0,71 | | 99,86 |
| Lavado | 91,75 | 0,78 | | 99,15 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

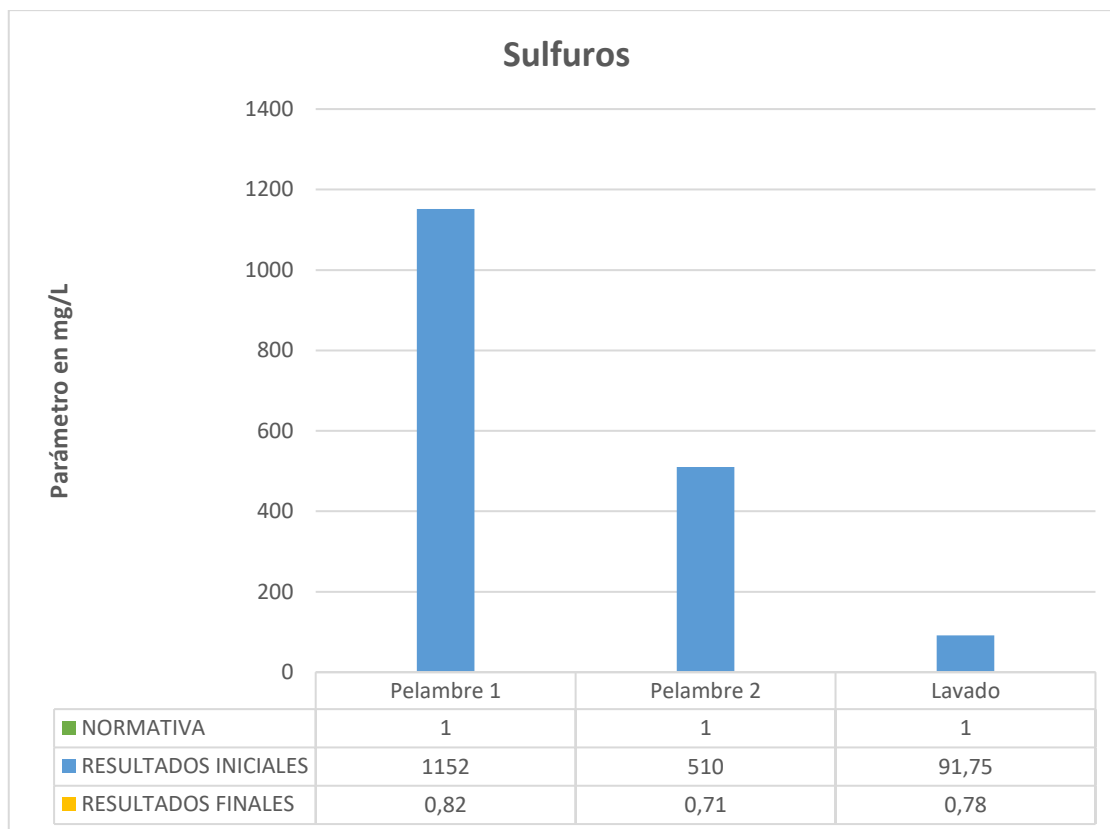


Gráfico 8-4: Parámetro, sulfuros.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 14-4. El tratamiento realizado a las tres muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro, sulfuros, dando buenos resultados y cumpliendo así con la normativa. Sobre todo, en pelambre 1 donde sus valores eran muy elevados y generaban malos olores.

4.1.6.9. Sulfatos (SO_4)²⁻

Tabla 15-4: Parámetro, sulfatos.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| Pelambre con tratamiento | 2 990 | 942 | 400 | 68,50 |
| Curtido | 23 233 | 1 294 | | 94,43 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

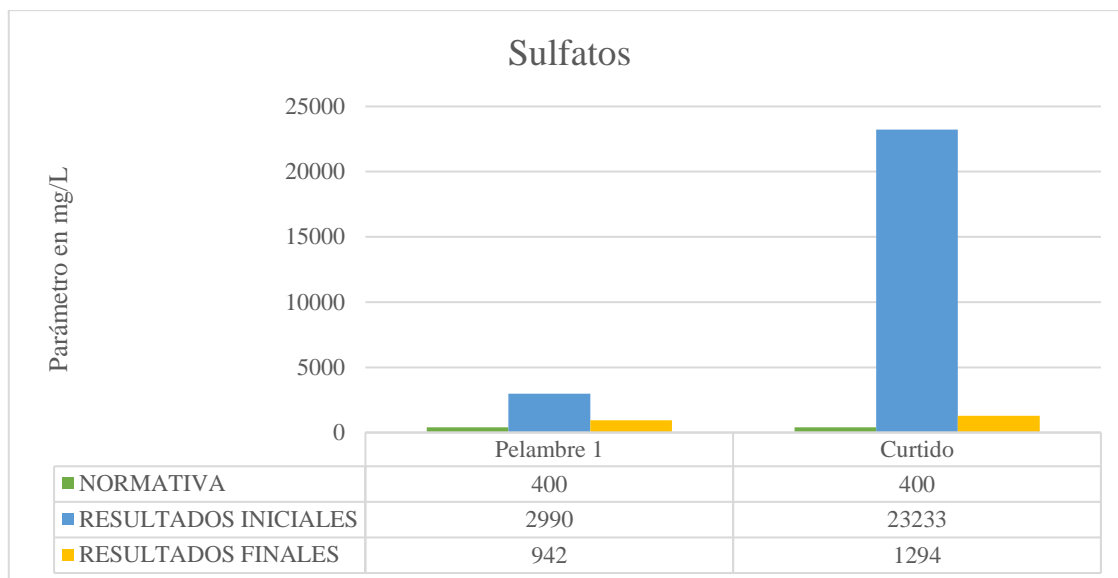


Gráfico 9-4: Parámetro, sulfatos.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 15-4. El tratamiento realizado a las dos muestras en las cuales se logra normalizar el parámetro, sulfatos, dando buenos resultados a pesar de que no se pudo cumplir con lo estipulado en la normativa vigente. Sin embargo, al haber removido más del 90% de su concentración inicial se puede afirmar que el tratamiento fue muy favorable.

4.1.6.10. Cromo hexavalente (Cr^{6+})

Tabla 16-4: Parámetro, cromo hexavalente.

| TIPO DE AGUA | VALOR INICIAL (mg/L) | VALOR FINAL (mg/L) | NORMA (mg/L) | % REMOCIÓN |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Curtido | 1,14 | 0,05 | 0,50 | 95,61 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

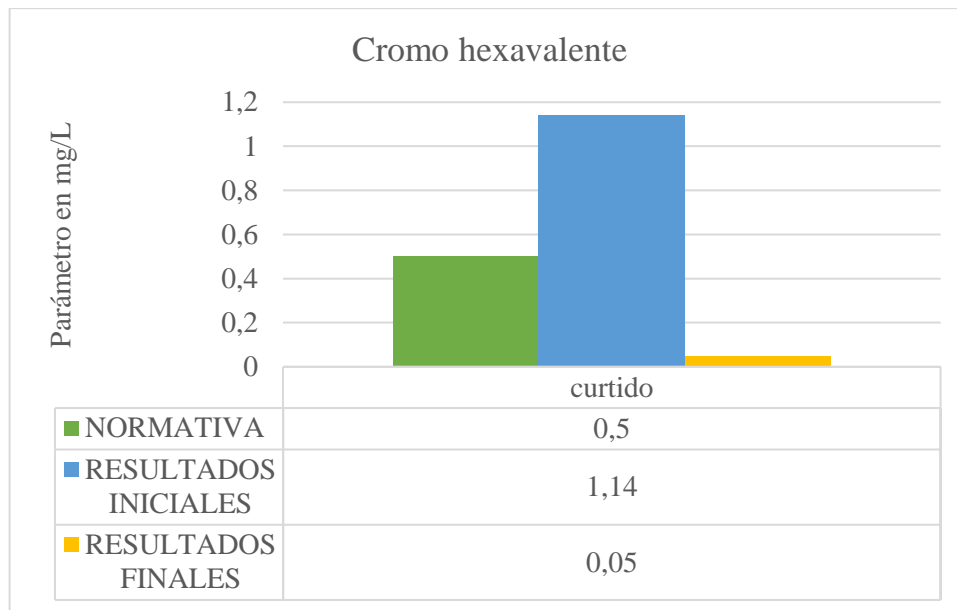


Gráfico 10-4: Parámetro, cromo hexavalente.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Se puede observar en la Tabla 16-4. El tratamiento realizado a la muestra de curtido donde la concentración inicial de cromo hexavalente fue de 1,14 mg/L, posteriormente con el tratamiento realizado se pudo reducir considerablemente esta concentración la cual ahora cumple con la normativa vigente. Sin embargo, para obtener un valor acertado se debe realizar el análisis del parámetro de cromo III para determinar la cantidad exacta de cromo que se está descargando al alcantarillado, debido a que el cromo trivalente puede convertirse en cromo hexavalente y aumentar la concentración final del contaminante.

4.2. Propuesta para el rediseño

Para que sea posible descargar los residuos líquidos producidos por la curtiduría Los Andes, y que estos residuos puedan cumplir con los parámetros y valores establecidos en la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, se debe realizar un tratamiento apropiado para evitar futuras sanciones por parte del GAD de Tungurahua y disminuir el impacto ambiental que se ha generado en la zona de desecho.

Se propone un rediseño de todo el sistema de tratamiento actual de la Curtiduría Los Andes, puesto que con el procedimiento actual muchos de los parámetros salen de lo permitido según la TABLA 8 del Acuerdo Ministerial 097-A. El rediseño a más de reducir los contaminantes también está diseñado de tal forma que los costos de inversión no perjudiquen la economía de la curaduría.

Cabe recalcar que la propuesta de rediseño solo se implementaría si la Curtiduría Los Andes cree pertinente hacerlo y ponerla en operación.

4.2.1. *Diseño y rediseño de las etapas*

4.2.1.1. *Diseño de un sistema de rejillas*

Tabla 17-4: Parámetro, diseño de rejillas.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| Área de la rejilla | 0,021 | m ² |
| Altura tirante | 0,21 | m |
| Altura del canal | 0,24 | m |
| Ancho del canal | 0,1 | m |
| Factor de seguridad | 30 | % |
| Longitud de las barras | 0,28 | m |
| Numero de barrillas | 4,30 | - |
| Caudal de diseño | $2,98 \times 10^{-3}$ | m ³ /s |
| Velocidad de flujo | 0,14 | m/s |
| Distancia entre barras | 0,02 | m |
| Diámetro de la barrilla | 0,005 | m |
| Angulo de inclinación | 60 | grados |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.2.1.2. *Diseño de una trampa de grasas*

Tabla 18-4: Parámetro, diseño de una trampa de grasas.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|---------------------|-----------------------|-------------------|
| Área del tanque | 0,13 | m ² |
| Ancho del tanque | 0,18 | m |
| Longitud del tanque | 0,72 | m |
| Volumen el tanque | 0,54 | m ³ |
| Tiempo de retención | 180 | s |
| Caudal de diseño | $2,98 \times 10^{-3}$ | m ³ /s |
| Caudal mínimo | 2×10^{-3} | m ³ /s |
| Caudal máximo | $3,80 \times 10^{-3}$ | m ³ /s |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.2.1.3. *Diseño de un vertedero rectangular*

Tabla 19-4: Parámetro, diseño de un vertedero rectangular.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Ancho del vertedero | 0,18 | m |
| Ancho de la cresta vertedera | 0,15 | m |
| Largo de la caja del vertedero | 0,18 | m |
| Longitud del vertedero | 0,90 | m |
| Caudal de diseño | $2,98 \times 10^{-3}$ | m^3/s |
| Caudal real | 0,034 | m^3/s |
| Caudal teórico | 0,18 | m^3/s |
| Coefficiente de descarga | 0,57 | - |
| Área del orificio del vertedero | 0,16 | m^2 |
| Velocidad de flujo real | 0,37 | m/s |
| Velocidad de flujo teórica | 1,88 | m/s |
| Distancia vertical hasta la caída | 0,60 | m |
| Distancia horizontal después de la caída | 0,13 | m |
| Gravedad | 9,81 | m/s^2 |
| Altura del agua | 0,18 | m |
| Caudal teórico | $3,80 \times 10^{-3}$ | m^3/s |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.2.1.4. Rediseño del tanque de depósito.

Tabla 20-4: Parámetro, rediseño del tanque de depósito.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Volumen de rediseño | 4,88 | m^3 |
| Altura del depósito | 1,50 | m |
| Factor de seguridad | 15 | % |
| Longitud | 1,40 | m |
| Ancho | 2,5 | m |
| Constante de diseño | 0,52 | adim |
| Caudal de diseño | $2,98 \times 10^{-3}$ | m^3/s |
| Velocidad de flujo | 0,14 | m/s |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.2.1.5. Rediseño del sedimentador

Tabla 21-4: Parámetro, rediseño del sedimentador.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|-----------------------|-------------|-----------------------------------|
| Carga superficial | 62,95 | $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ |
| Área de sedimentación | 4,09 | m^2 |
| Velocidad promedio | 0,005 | m/s |

| | | |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Longitud relativa | 5,56 | m |
| Angulo de inclinación | 7,87 | grados |
| Tiempo de retención | 29,74 | min |
| Altura del sedimentador | 1,30 | m |
| Longitud del sedimentador | 3,02 | m |
| Ancho del sedimentador | 1,60 | m |
| Volumen del tanque | 5,36 | m ³ |
| Caudal de rediseño | 2,98x10 ⁻³ | m ³ /s |
| Velocidad de flujo | 0,14 | m/s |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.2.1.6. Diseño de una bandeja recolectora de lodos

Tabla 22-4: Parámetro, diseño de una bandeja para lodos.

| PARÁMETROS | DIMENSIONES | UNIDADES |
|-------------------------|-------------|----------------|
| Volumen de lodos | 0,75 | m ³ |
| Área de la bandeja | 5 | m ² |
| Longitud de la bandeja | 1,43 | m |
| Inclinación en longitud | 0,08 | m |
| Inclinación en altura | 0,31 | m |
| Altura de la bandeja | 0,65 | m |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.3. Validación del proceso

Los análisis preliminares y el tratamiento efectuado a las diferentes etapas del proceso proporcionan la información necesaria para realizar una comparación entre el actual tratamiento que se realiza a los residuos líquidos dentro de la Curtidura Los Andes y el rediseño propuesto para el mismo fin.

4.3.1. Remoción de contaminantes

4.3.1.1. Agua de pelambre 1

Tabla 23-4: Validación, rediseño para el agua de pelambre 1.

| PARÁMETROS | UNIDADES | ACTUAL | REDISEÑO | % DE REMOCIÓN |
|------------------|----------|--------|----------|---------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 755 | 2 | 99,74 |
| Color | Pt-Co | 24100 | 37 | 99,85 |
| Conductividad | mS/cm | 18,93 | 2,54 | 86,58 |

| | | | | |
|-------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 20800 | 250 | 98,80 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5550 | 110 | 98,02 |
| pH | Und | 12,77 | 7,15 | - |
| Turbiedad | NTU | 2783 | 10,32 | 99,63 |
| Temperatura | °C | 20,03 | 19,8 | - |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 500 | 1 | 99,80 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 14481 | 18 | 99,88 |
| Sólidos totales | g/L | 18,93 | 1,58 | 91,65 |
| Sulfuros | mg/L | 1152 | 0,82 | 99,93 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

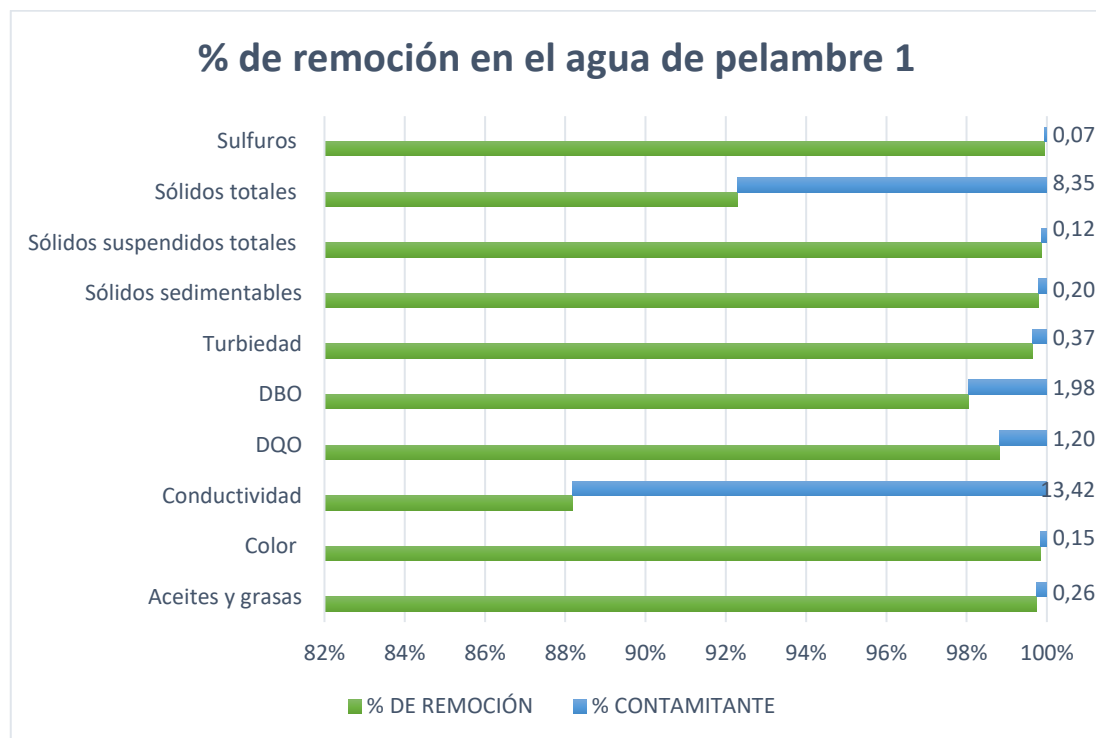


Gráfico 11-4: % de remoción en el agua de pelambre 1.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

Tabla 24-4: Validación, rediseño para el agua de pelambre 2.

| PARÁMETROS | UNIDADES | ACTUAL | REDISEÑO | % DE REMOCIÓN |
|-------------------------------|----------|--------|----------|---------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 125 | 1,11 | 99,11 |
| Color | Pt-Co | 3710 | 34 | 99,08 |
| Conductividad | mS/cm | 8,75 | 2,15 | 75,43 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 3319 | 288 | 91,32 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 1639 | 97 | 94,08 |
| pH | Und | 11,72 | 6,65 | - |
| Turbiedad | NTU | 740 | 1,38 | 99,81 |

| | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|-------|
| Temperatura | °C | 18 | 19,7 | - |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 350 | 0,9 | 99,74 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 1480 | 2 | 99,86 |
| Sólidos totales | g/L | 6,23 | 1,33 | 78,65 |
| Sulfuros | mg/L | 510 | 0,71 | 99,86 |
| Sulfatos | mg/L | 2990 | 942 | 68,49 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

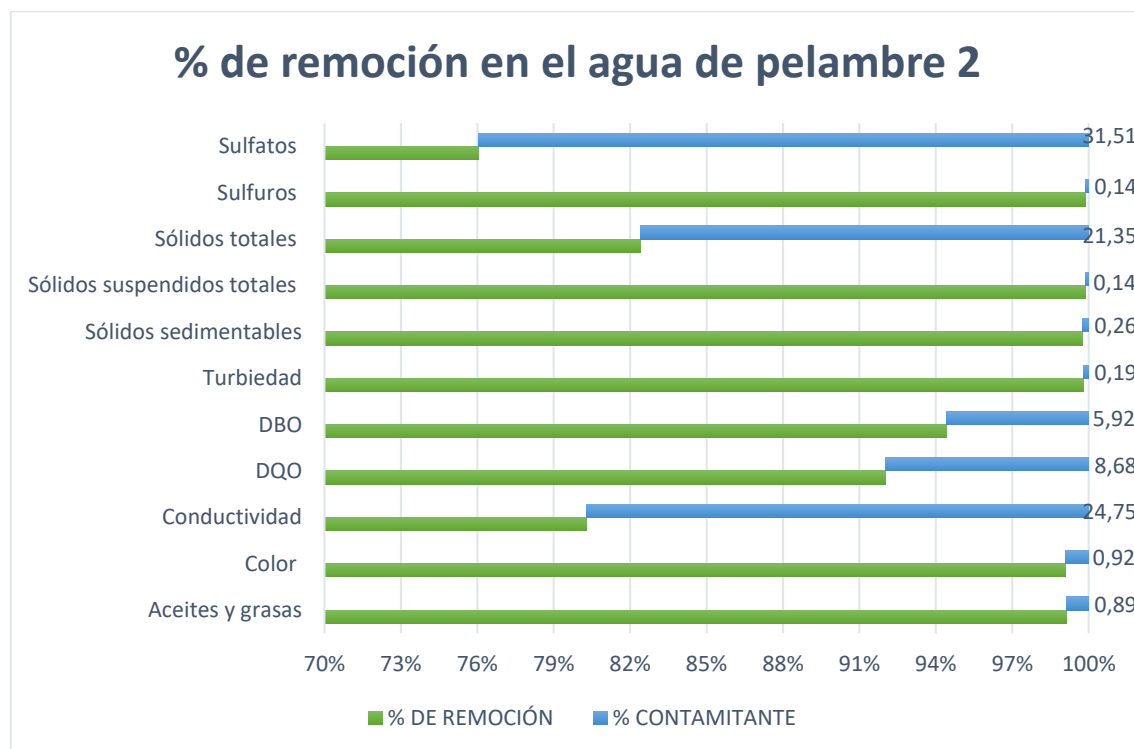


Gráfico 12-4: % de remoción en el agua de pelambre 2.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.3.1.2. Agua de lavado

Tabla 25-4: Validación, rediseño para el agua de lavado.

| PARÁMETROS | UNIDADES | ACTUAL | REDISEÑO | % DE REMOCIÓN |
|-------------------------------|----------|--------|----------|---------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 165 | 1,75 | 98,94 |
| Color | Pt-Co | 3520 | 39 | 98,89 |
| Cloruros | mg/L | 850,35 | 56,25 | 93,39 |
| Conductividad | mS/cm | 9,94 | 2,58 | 74,04 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 2834 | 150 | 94,71 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 650 | 88 | 86,46 |
| pH | Und | 10,07 | 6,42 | - |

| | | | | |
|-----------------------------|------|-------|------|-------|
| Turbiedad | NTU | 435 | 4,03 | 99,07 |
| Temperatura | °C | 17,5 | 20,1 | - |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 280 | 0,99 | 99,65 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 315 | 3 | 99,05 |
| Sólidos totales | g/L | 6,16 | 1,6 | 74,03 |
| Sulfuros | mg/L | 91,75 | 0,78 | 99,15 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

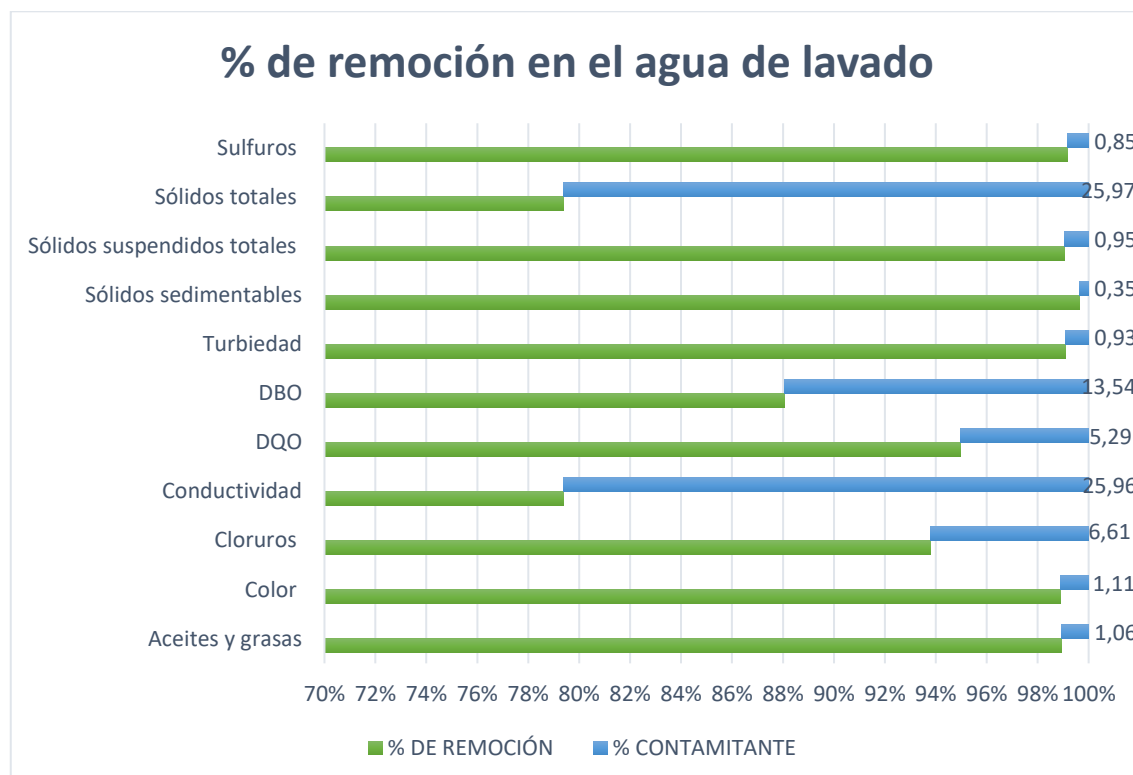


Gráfico 13-4: % de remoción en el agua de lavado.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.3.1.3. Agua de curtido

Tabla 26-4: Validación, rediseño para el agua de curtido.

| PARÁMETROS | UNIDADES | ACTUAL | REDISEÑO | % DE REMOCIÓN |
|-------------------------------|----------|--------|----------|---------------|
| Color | Pt-Co | 2485 | 87 | 96,50 |
| Cloruros | mg/L | 22480 | 850,12 | 96,22 |
| Conductividad | mS/cm | 75,89 | 8,17 | 89,23 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 1,14 | 0,05 | 95,61 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 4960 | 424 | 91,45 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 1260 | 94 | 92,54 |

| | | | | |
|-----------------------------|------|--------|------|-------|
| pH | Und | 3,86 | 7,46 | - |
| Turbiedad | NTU | 462 | 7,91 | 98,29 |
| Temperatura | °C | 20,5 | 20,2 | - |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 158,68 | 1,49 | 99,06 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 117 | 8 | 93,16 |
| Sólidos totales | g/L | 45,05 | 5,07 | 88,75 |
| Sulfatos | mg/L | 23233 | 1294 | 94,43 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

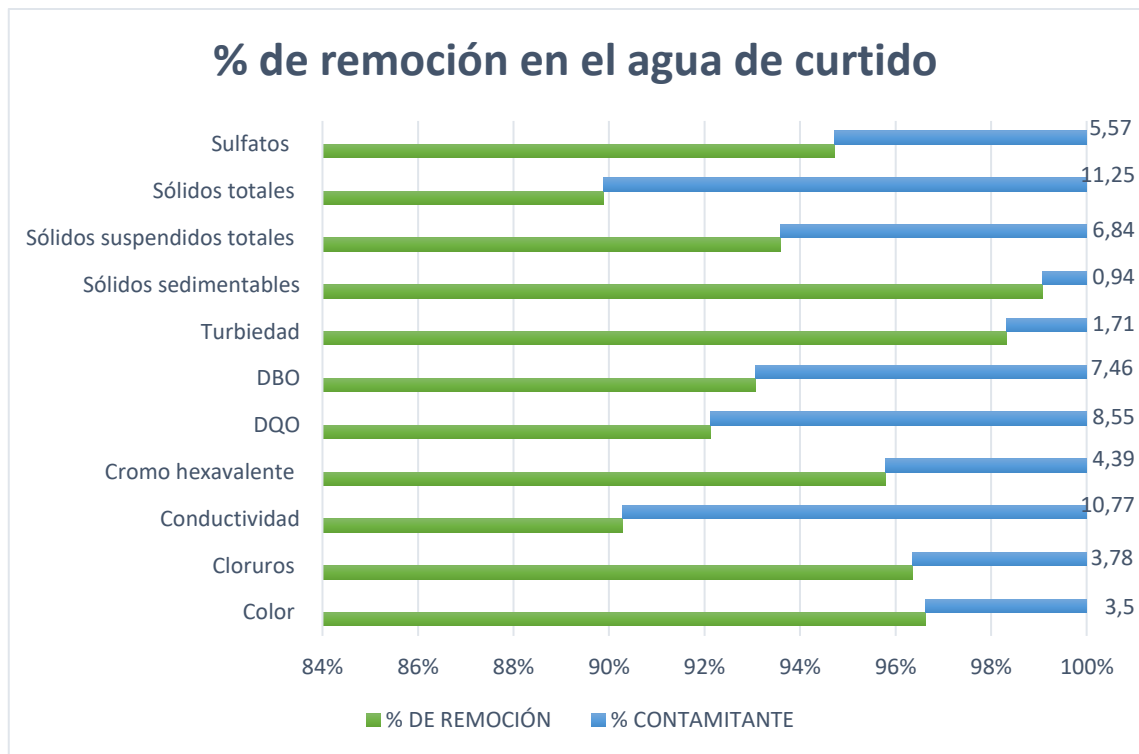


Gráfico 14-4: % de remoción en el agua de curtido.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.4. Operaciones unitarias en el proceso de tratamiento de aguas

4.4.1. *Trasferencia de sólidos*

4.4.1.1. *Cribado*

Separación de los sólidos gruesos a través de un tamiz o rejillas, los cuales a su vez también pueden reducir el tamaño de las partículas las cuales podrán sedimentar en una operación posterior.

4.4.1.2. Sedimentación

Con la adición de un coagulante y la acción de la gravedad los sólidos en suspensión más densos pueden precipitar hacia el fondo del equipo, para ser removidos con mayor facilidad, estos equipos usualmente son sedimentadores, depósitos o desarenadores.

4.4.1.3. Flotación

Existen sólidos con menor densidad que el agua por tal razón estos subirán a la superficie para poder ser retirados eficientemente tras estar en reposo. La mayor parte de estas sustancias que flotan son grasas, aceites y agentes tensoactivos.

4.4.2. Transferencia de iones

4.4.2.1. Coagulación

En la tratabilidad de aguas se realiza una coagulación transfiriendo iones a una sustancia la cual formara flóculos. Mediante la experimentación se puede constatar que el uso de sales trivalentes como el policloruro de aluminio y cloruro férrico al ser trivalentes aumentan la posibilidad de formar flóculos con mayor densidad y grandes, estos podrán ser removidos con mayor facilidad y eficiencia.

4.4.2.2. Precipitación

En la tratabilidad la precipitación ayuda a disminuir las concentraciones de cloruros y sulfatos en el agua, la cual aumenta su conductividad y DQO cuando existen altas concentraciones.

4.5. Diagrama del proceso

4.5.1. Diagrama de tratabilidad del agua de pelambre 1

En el siguiente diagrama se representa las etapas de tratabilidad que deberán recorrer los residuos líquidos de pelambre donde el mayor contaminante es el sulfuro.

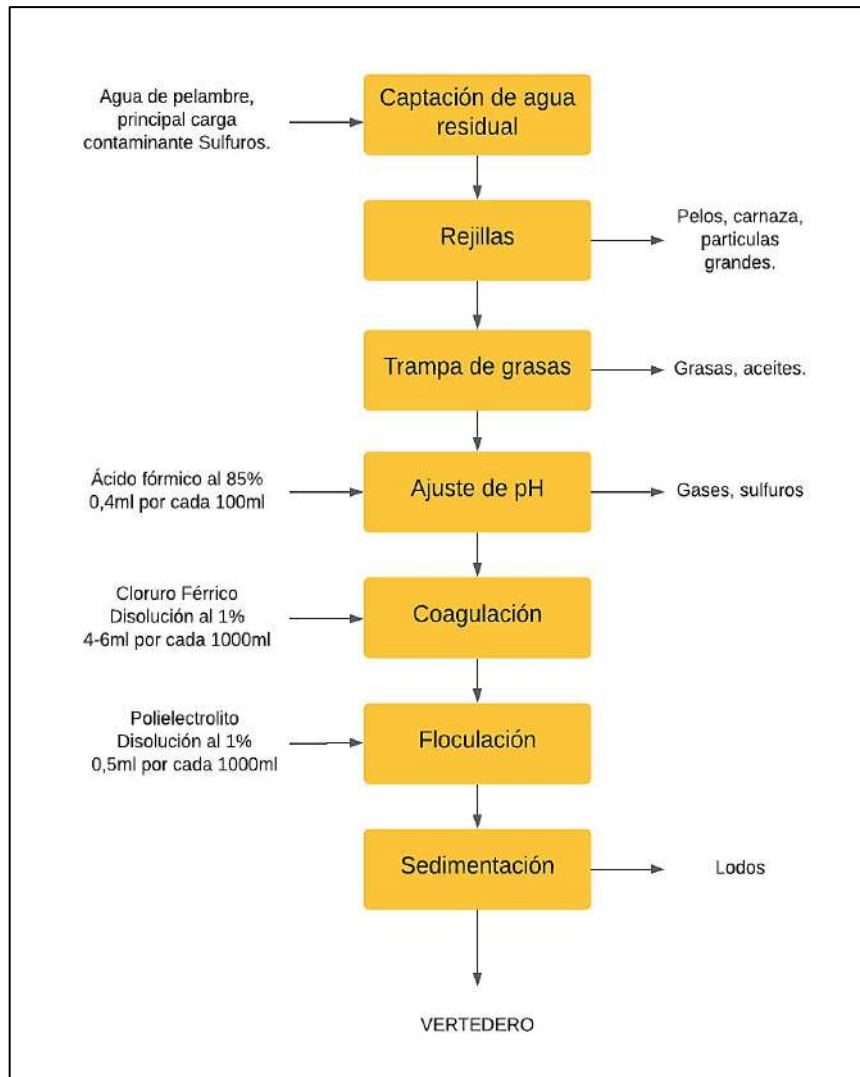


Gráfico 15-4: Tratamiento, agua residual de pelambre 1.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.5.2. Diagrama de tratabilidad del agua de lavado

En el siguiente diagrama se representa las etapas de tratabilidad que deberán recorrer los residuos líquidos provenientes de las piscinas de lavado donde el mayor contaminante es el sulfuro.

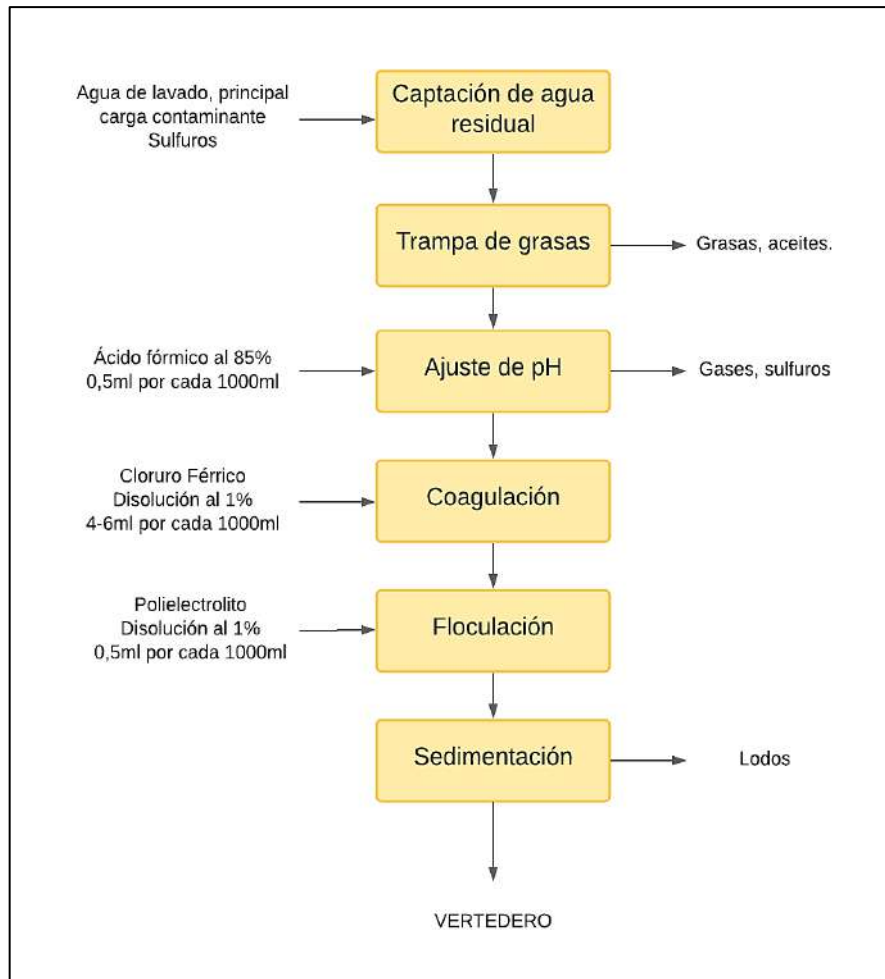


Gráfico 16-4: Tratamiento, agua residual de lavado.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.5.3. Diagrama de tratabilidad del agua de curtido

En el siguiente diagrama se representa las etapas de tratabilidad que deberán recorrer los residuos líquidos del proceso de curtido donde el mayor contaminante es el cromo hexavalente.

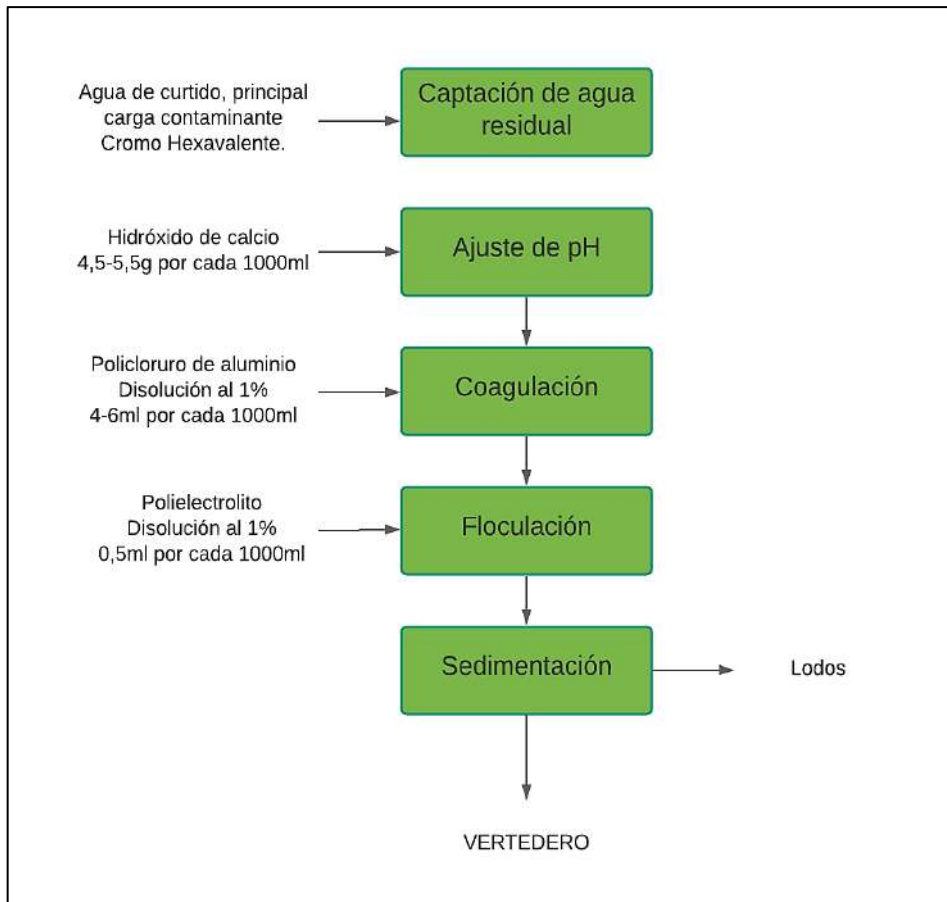


Gráfico 17-4: Tratamiento, agua residual de curtido.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.6. Distribución y rediseño de la planta de tratamiento

4.6.1. Descripción de las áreas

4.6.1.1. Diagrama de flujo del proceso actual

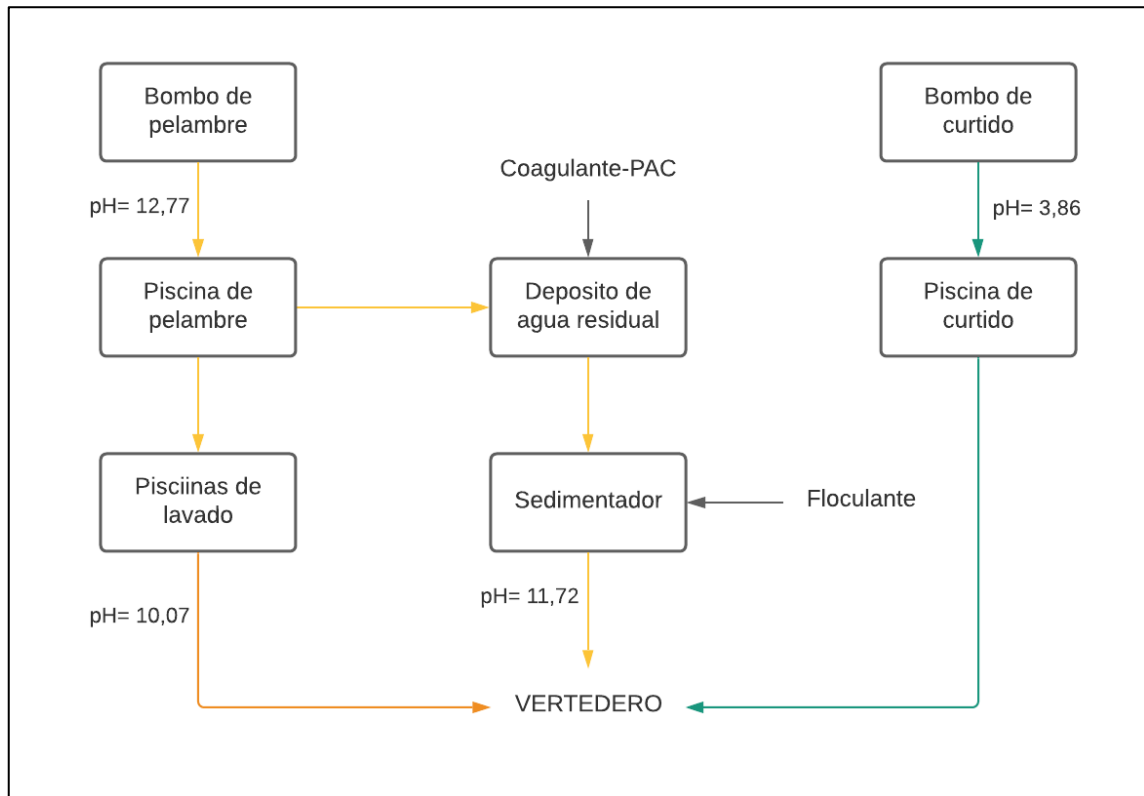


Gráfico 18-4: Situación actual del proceso.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.6.1.2. Diagrama de flujo del proceso rediseñado

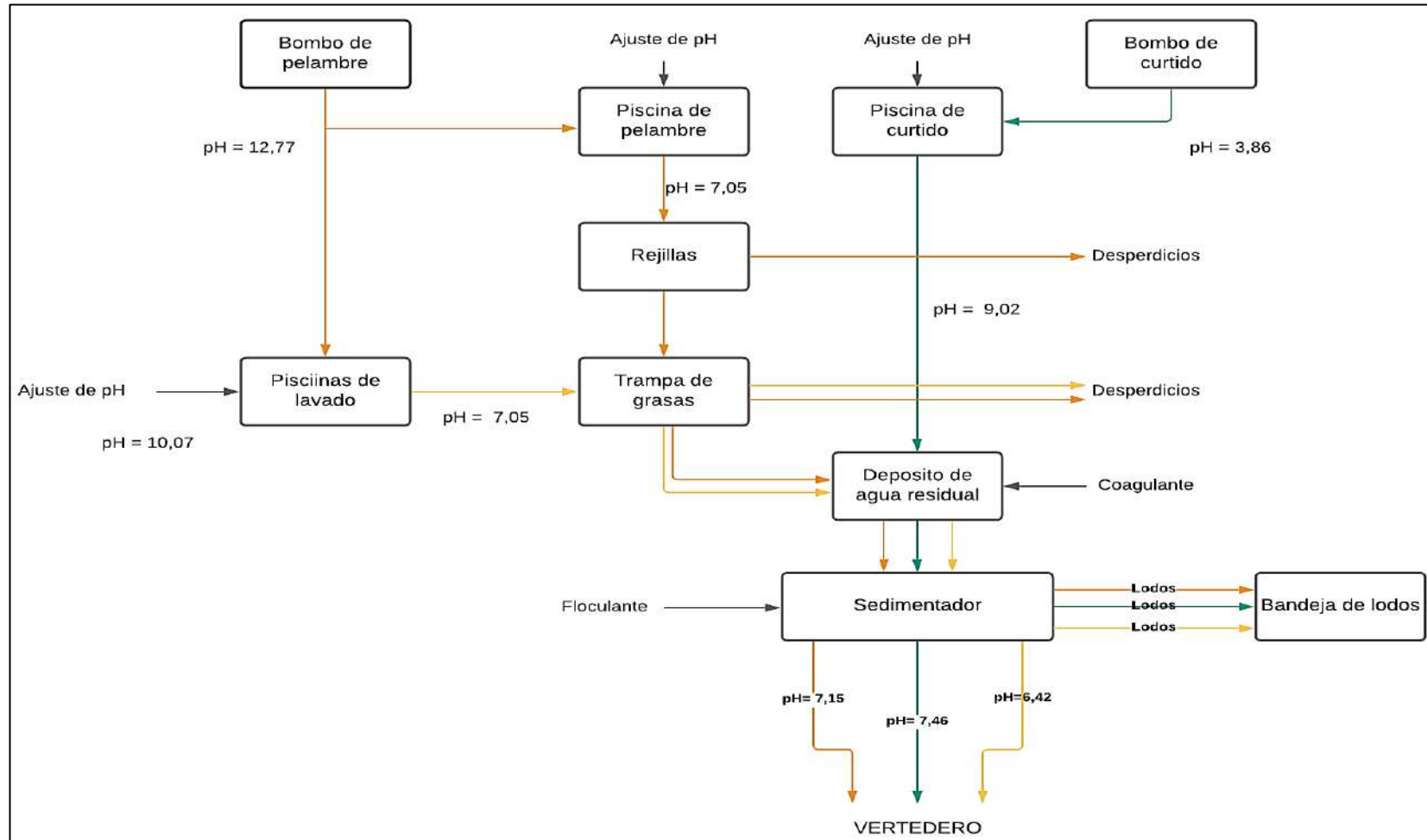


Gráfico 19-4: Rediseño del proceso.

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.6.1.3. Planta de tratamiento

Tabla 27-4: Equipos de la planta de tratamiento.

| EQUIPO | ACTUALIDAD | REDISEÑO |
|---------------------------------|------------------|--------------|
| Rejillas | No posee | Dimensionado |
| Tampa de grasas | No posee | Dimensionado |
| Depósito de concreto | Mal dimensionado | Dimensionado |
| Sedimentador de alta taza | Mal dimensionado | Dimensionado |
| Bandeja de recolección de lodos | No posee | Dimensionado |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.7. Análisis económico de la planta

4.7.1. Inversión para maquinaria y rediseño

Los valores estimados para el diseño y rediseño de equipos fueron consultados entre maestros plenamente dedicados a la construcción de este tipo de equipos, por lo que los valores pueden variar dependiendo del tipo de constructor y material a usar.

Tabla 28-4: Costos totales del rediseño.

| EQUIPO | CANTIDAD | VALOR UNID | TOTAL |
|---|-----------|----------------|----------------|
| Rejillas | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Canal para el vertedero | 2 | 15,00 | 30,00 |
| Tampa de grasas | 1 | 500,00 | 500,00 |
| Depósito de concreto | 1 | 300,00 | 300,00 |
| Vertedero rectangular de concreto | 2 | 20,00 | 40,00 |
| Sedimentador de alta taza, nivelación y cambio de ductos de entrada y salida. | 1 | 100,00 | 100,00 |
| Bandeja de recolección de lodos acero inoxidable | 1 | 150,00 | 150,00 |
| Mano de obra | 2 meses | 600,00 | 1200,00 |
| TOTAL | 10 | 1700,00 | 2335,00 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

4.7.2. Costos generados en el tratamiento de agua

Para el tratamiento del agua se usarán compuestos químicos que ayudarán a coagular y formar flóculos en las aguas residuales que se estén tratando. Al usar bajas concentraciones de estos productos químicos los costos de tratabilidad son favorables.

Tabla 29-4: Costos de insumos químicos.

| COMPUESTO QUÍMICO | CANTIDAD (Kg/día) | VALOR Kg-\$ | TOTAL Kg/día-\$ | TOTAL Kg/mes-\$ | TOTAL Kg/año-\$ |
|----------------------------------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|
| AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE | | | | | |
| Cloruro férrico | 0,21 | 1,20 | 0,25 | 7,50 | 91,25 |
| Polímero iónico | 0,02 | 5,50 | 0,11 | 3,30 | 40,15 |
| Acido fórmico | 20,09 | 3,41 | 68,51 | 2.055,21 | 24.662,48 |
| TOTAL | - | 10,11 | 68,87 | 2.066,10 | 24.793,20 |
| AGUA RESIDUAL DE CURTIDO | | | | | |
| Hidróxido de calcio | 0,93 | 0,42 | 0,39 | 11,70 | 142,35 |
| Polímero iónico | 0,0011 | 5,50 | 0,006 | 0,18 | 2,90 |
| Policloruro de aluminio | 0,011 | 1,20 | 0,01 | 0,30 | 3,65 |
| TOTAL | - | 7,12 | 0,41 | 12,18 | 148,90 |
| AGUA RESIDUAL DE LAVADO | | | | | |
| Cloruro férrico | 0,06 | 1,20 | 0,072 | 2,16 | 26,28 |
| Polímero iónico | 0,0075 | 5,50 | 0,041 | 1.23 | 14,97 |
| Acido fórmico | 0,90 | 3,41 | 3,07 | 92,07 | 1.104,84 |
| TOTAL | - | 10,11 | 3,18 | 95,49 | 1.145,88 |

Elaborador por: Pasmay, O, 2021.

CONCLUSIONES

- Después de realizarse las pruebas de caracterización fisicoquímicas en cada una de las muestras de agua residual de la Curtiduría Los Andes se determinó que el agua que es descargada al sistema de alcantarillado no cumple con gran parte de los parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, evidenciando que el sistema de tratamiento actual no está diseñado para ese tipo de operaciones.
- Se identificó las variables de proceso que determinarían un óptimo tratamiento de aguas residuales dentro de la Curtiduría Los Andes se usó como referencia el Código Internacional Industrial Uniforme (CIU) 1910m, el cual determina que parámetros deben ser monitoreados y llevados a un tratamiento antes de ser descargados. Inicialmente se obtuvieron valores que afirmaba que el agua de pelambre tenía una alta carga contaminante, entre ellos están: DQO 20800 mg/L; DBO5 5550 mg/L; pH 12,77; aceites y grasas 755 mg/L; sulfuros 1152 mg/L; sólidos totales 18,93 g/L. En el agua de lavado se obtuvieron valores de: DQO 2834 mg/L; DBO5 650 mg/L; pH 10,07; aceites y grasas 165 mg/L; sulfuros 91,75 mg/L; sólidos totales 6,16 g/L. En el agua de curtido se obtuvieron valores de: DQO 4960 mg/L; DBO5 1260 mg/L; pH 3,86; cromo hexavalente 1,14 mg/L; sólidos totales 45,05 g/L; sulfatos 23233 mg/L.
- Partiendo de los resultados obtenidos con el dimensionamiento de cada uno de los equipos propios de la Curtiduría se realizaron los cálculos de ingeniería para establecer un rediseño adecuado y de bajo costos. La Curtiduría tras el análisis deberá tener equipos como: depósito y sedimentador acorde al volumen de agua residual que se genera, puesto que actualmente estos dos equipos son inadecuados y el agua se desborda. De igual forma deberá implementar un sistema de rejillas, desengrasador y secado de lodos, para de esta forma obtener resultados favorables al momento de descargar el agua al alcantarillo.
- Se validó el rediseño propuesto en cuanto a equipos y maquinaria al igual que el cambio de dosificaciones para el tratamiento de agua realizados a nivel laboratorio y posteriormente diseñado a nivel industrial da resultados positivos en cuanto a cumplimiento de la norma ambiental vigente cuya eficiencia del 90% en la mayoría de los parámetros los cuales se evidencian en los análisis finales. Para el agua de pelambre: DQO 250 mg/L; DBO5 110 mg/L; pH 7,15; aceites y grasas 2 mg/L; sulfuros 0,82 mg/L; sólidos totales 1,58 g/L. En el agua de lavado se obtuvieron valores de: DQO 150 mg/L; DBO5 88 mg/L; pH 6,42; aceites y grasas 1,75 mg/L; sulfuros 0,78 mg/L; sólidos totales 1,6 g/L. En el agua de curtido se obtuvieron valores de: DQO 424 mg/L; DBO5 94 mg/L; pH 7,46; cromo hexavalente 0,05 mg/L; sólidos totales 5,07 g/L; sulfatos 1294 mg/L. Los costes producidos por el de insumos químicos: ácido fórmico, hidróxido de calcio, coagulante, floculante, para el tratamiento de los residuos líquidos es de 26.087,98 dólares americanos al año.

RECOMENDACIONES

- Actualmente la Curtiduría Los Andes está generando altas cargas contaminantes, debido a que el sistema actual no es el adecuado y carece de etapas esenciales para tratar residuos líquidos. Por tal razón, se recomienda implementar los cambios mencionados en este proyecto técnico.
- El tratamiento que se propone puede bajar la contaminación y remediar el impacto ambiental generado, sin embargo este tipo de tratamiento no satisface con totalidad la normativa debido que para lograr que debe realizar otro tipo de operación para disminuir los sólidos disueltos, en especial los sulfatos los cuales no se eliminan con un tratamiento de esta magnitud, se recomiendo implementar un sistema de tratamiento adicional como: osmosis inversa para solucionar este problema, o en tal caso buscar alternativas sostenibles como el curtido vegetal.
- La Curtiduría Los Andes debería equiparse con materiales y equipos indispensables como una pH-metro para el control de acidez y alcalinidad de las aguas residuales, también de una balanza digital para controlar las dosificaciones y no excederse.
- Determinar periodos para el mantenimiento y análisis del sistema de tratamiento, descuidarlo podía genera graves problemas entre los cuales está el deterioro rápido de los materiales y la contaminación que se podría volverse a dar.

BIBLIOGRAFÍA

AGRIPAC. 2020. AGRIPAC. [En línea] 10 de Noviembre de 2020. <https://www.agripac.com.ec/wp-content/uploads/2020/11/10.-Ficha-Técnica-ACIDO-FORMICO.pdf>.

BARIK., DEBABRATA y SIVARAM, N. 2019. Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation. [aut. libro] Debabrata Barik. *Toxic Waste From Leather Industries*. Duxford : Elsevier, 2019, págs. 56-58.

DePiel. 2020. DePiel.Space. [En línea] 12 de Febrero de 2020. <https://depiel.space/curtido-de-pieles/>.

FISHER. 2020. Thermo Fisher SCIENTIFIC. [En línea] 31 de Diciembre de 2020. https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10735901&lang=ES.

HIDROTEC. 2020. HIDROTEC. [En línea] 2020. <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>.

HORA, LA. 2020. *Agua residual de curtiembres y textiles preocupan*. 29 de Febrero de 2020, pág. 3.

Mendoza, Benito, SANTILLÁN, GUIDO Y TINGO., WILMER. 2016. La Quinta OLA del PROGRESO de la HUMANIDAD, págs. 101-112.

INEC. 2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Población por área, según provincia, cantón y parroquia de empadronamiento*. [En línea] 2010.

INEN. 2013. NTE INEN 2169. Agua. Calidad del agua. Muestreo, manejo y conservación de muestras. [en línea] 2013.

LOMBEIDA, LENIN. 2017. *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de curtiembre*. Quito : universidad central del ecuador, 2017. Págs. 16-19.

M.D.A. 2015. MINISTERIO DE AMBIENTE. [En línea] 04 de Noviembre de 2015. [Citado el: 03 de Diciembre de 2020.] https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf.

MARTÍNEZ, LUCERO. 2016. Estudio de la evolución de una ETAP para la adecuación legislativa. [En línea] 2016. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10383/Annex.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

MAYORGA, FERNADO, Y OTROS. 2020. Observatorio Económico y Social De Tungurahua OBEST. *INDUSTRIA MAUFACTURERA Calzado y afines*. [En línea] 29 de Mayo de 2020. <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Análisis-calzado-29-mayo-2020.pdf>.

MORALES, JOHANA. 2015. Programa de dinamización turística para promover el agroturismo en la asociación de productores agropecuarios "la península" ciudad de ambato, provincia de tungurahua. . Latacunga : universidad de las fuerzas armadas espe, 2015, pág. 37.

ROSALES, A, RODRÍGUEZ, C Y BALLEEN, M. 2018. 28, Bogota : Ingeniería y Ciencia, 23 de Noviembre de 2018, Ingeniería y Ciencia, Vol. 14, págs. 11-34. 1794-9165. *Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación*.

MAYTA, RODDY Y MAYTA., JHONY. 2017. Revista de la Sociedad Química del Perú

SÁNCHEZ, VERÓNICA. 2019. Rediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría san vicente de la ciudad de ambato. Riobamba : escuela superior politécnica de chimborazo, 2019, págs. 2-3.

SILVATEAM. 2021. Silvateam. *Productos para curtiembre*. [En línea] 2021. <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/productos-para-curtiembre/procesos-de-curtido-ecotan.html>.

TULSMA. 2015. Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (Anexo 1, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). [En línea] 04 de Noviembre de 2015. http://indostra.com/docs/ecuador_norma_calidad_ambiental_descarga_efluentes.pdf.

MDA. 2015. Anexo 1 del libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. [en línea] 2015. [Http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/propuesta%20anexo%201.pdf](http://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/propuesta%20anexo%201.pdf).

VILLEGAS, PILAR. 2016. Puce. *Shapes municipio de la ciudad de ambato*. [en línea] abril de 2016.

[Http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11378/diagn_propuesta_planificacion_territorial.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11378/diagn_propuesta_planificacion_territorial.pdf?sequence=1&isallowed=y).

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 1



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 18/02/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de pelambre sin tratamiento, "Curtiduría Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 1.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|-----------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 755 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 18,93 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 20 800 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 5 550 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 12,77 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 2 783 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 20,03 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 500 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 14481 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 18,93 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-5--E | 1 | 1152 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 2



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 19/02/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de pelambre con tratamiento de la Empresa, "Curtiduría Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 2.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 125 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 8,75 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 3 319 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 1 639 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 11,72 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 740 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 18 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 350 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 1 480 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 6,23 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-S-E | 1 | 510 |
| Sulfatos | mg/L | 4500-SO4-E | 400 | 2990 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE LAVADO



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 22/02/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de lavado sin tratamiento, Curtiduría "Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 3.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------------------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 165 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 9,94 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 2 834 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 650 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 10,07 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 435 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 17,50 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 280 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 315 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 6,16 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-S ⁻ -E | 1 | 91,75 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA.

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE CURTIDO



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 23/02/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de curtido sin tratamiento de la empresa, "Curtiduría Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 4.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|----------------------------|------------|
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 75,89 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 3500-Cr-B | 0,5 | 1,14 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 4 960 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 1 260 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 3,86 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 462 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 20,50 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 158,68 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 117 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 45,05 |
| Sulfatos | mg/L | 4500-SO4-E | 400 | 23 233 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO E: MUESTREO



ANEXO F: PRUEBAS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL



ANEXO G: PRUEBAS DE TRATABILIDAD



ANEXO H: RESULTADOS OBTENIDOS



ANEXO I: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 1 CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 18/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual de pelambre "Muestra 1" con el nuevo tratamiento (coagulante, floculante), Curtiduría "Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 5.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|----------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 2 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 2,54 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 250 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 110 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 7,15 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 10,32 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 19,80 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 1 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 18 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 1,58 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-S-E | 1 | 0,82 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO J: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE PELAMBRE 2 CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 19/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual de pelambre "Muestra 2" con tratamiento (coagulante, floculante), Curtiduría "Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 6.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------------------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 1,11 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 2,15 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 288 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 97 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 6,65 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 1,38 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 19,7 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 0,90 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 2 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 1,33 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-S ⁻ -E | 1 | 0,71 |
| Sulfatos | mg/L | 4500-SO4-E | 400 | 942 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO K: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE LAVADO CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 22/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual de lavado "Muestra 3" con tratamiento (coagulante, floculante), Curtiduría "Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 7.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------------------|----------------------------|------------|
| Aceites y grasas | mg/L | 5520-B | 70 | 1,75 |
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 2,58 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 150 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 88 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 6,42 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 4,03 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 20,1 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 0,99 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 3 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 1,6 |
| Sulfuros | mg/L | 4500-S ⁻ -E | 1 | 0,78 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½
www.espoch.edu.ec

Teléfono: 593 (03)
Código postal: EC06155

ANEXO L: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE CURTIDO CON TRATAMIENTO (COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN)



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703
Ecuador

Telefax 2998 200 ext. 332

Riobamba-

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Omar Alexander Pasmay Lema

Fecha de Análisis: 23/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual de curtido "Muestra 4" con tratamiento (coagulante, floculante), Curtiduría "Los Andes"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN – Muestra 8.

| PARÁMETROS | UNIDADES | MÉTODO* | LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE** | RESULTADOS |
|-------------------------------|----------|------------|----------------------------|------------|
| Conductividad | mS/cm | 2510-B | - | 8,17 |
| Cromo hexavalente | mg/L | 3500-Cr-B | 0,5 | 0,05 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 5220-C | 500 | 424 |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 5210-B | 250 | 94 |
| pH | Und | 4500-B | 6 - 9 | 7,46 |
| Turbiedad | NTU | 2130-B | - | 7,91 |
| Temperatura | °C | 2550-A | < 40 | 20,2 |
| Sólidos sedimentables | mL/L | 2540-B | 20 | 1,49 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | 2540-C | 220 | 8 |
| Sólidos totales | g/L | 2540-A | 1,6 | 5,07 |
| Sulfatos | mg/L | 4500-SO4-E | 400 | 1 294 |

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

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

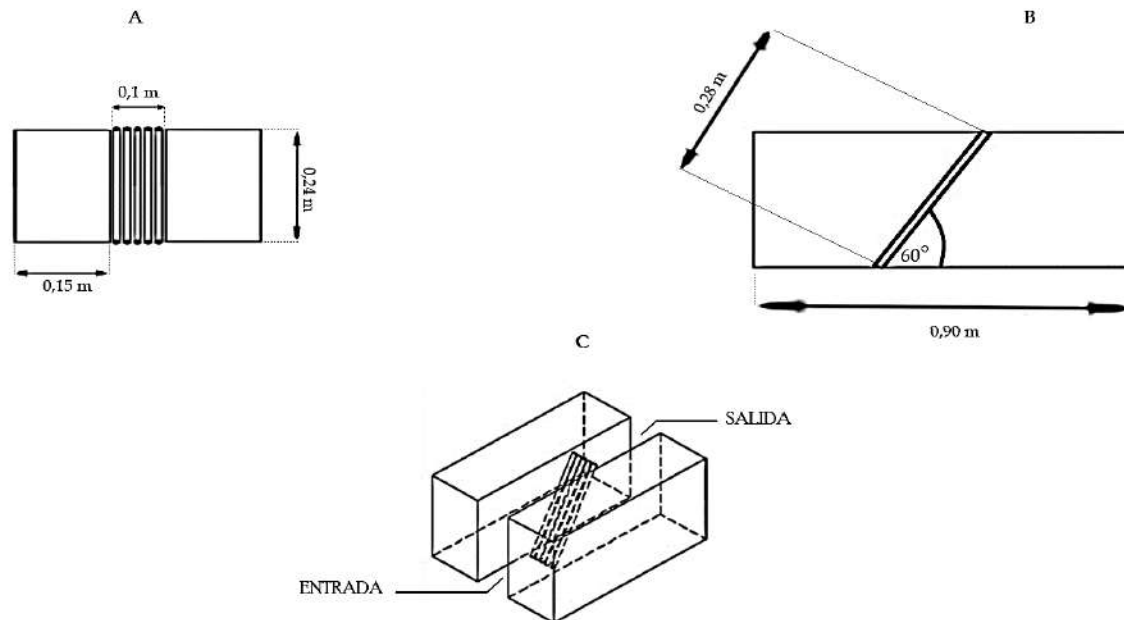
RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½
www.espoch.edu.ec

Teléfono: 593 (03)
Código postal: EC06155

ANEXO M: DIMENSIONAMIENTO DE LAS REJILLAS

REJILLAS



Notas:

- A. Vista frontal
- B. Vista lateral
- C. Vista isométrica

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

CERTIFICADO
 APROBADO
 POR APROBAR

POR ELIMINAR
 POR CALIFICAR
INFORMACIÓN

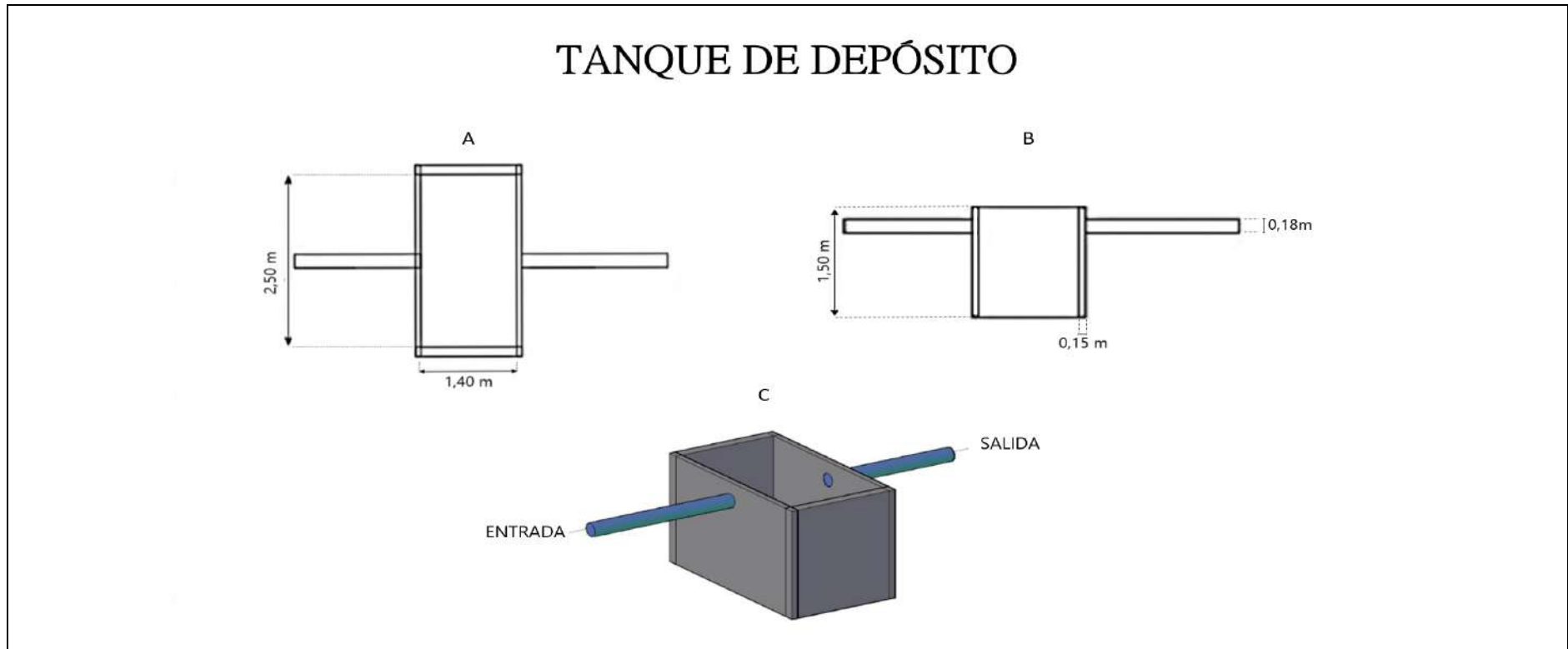
ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA
QUÍMICA

OMAR ALEXANDER PASMAY
 LEMA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE
 TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “LOS ANDES”

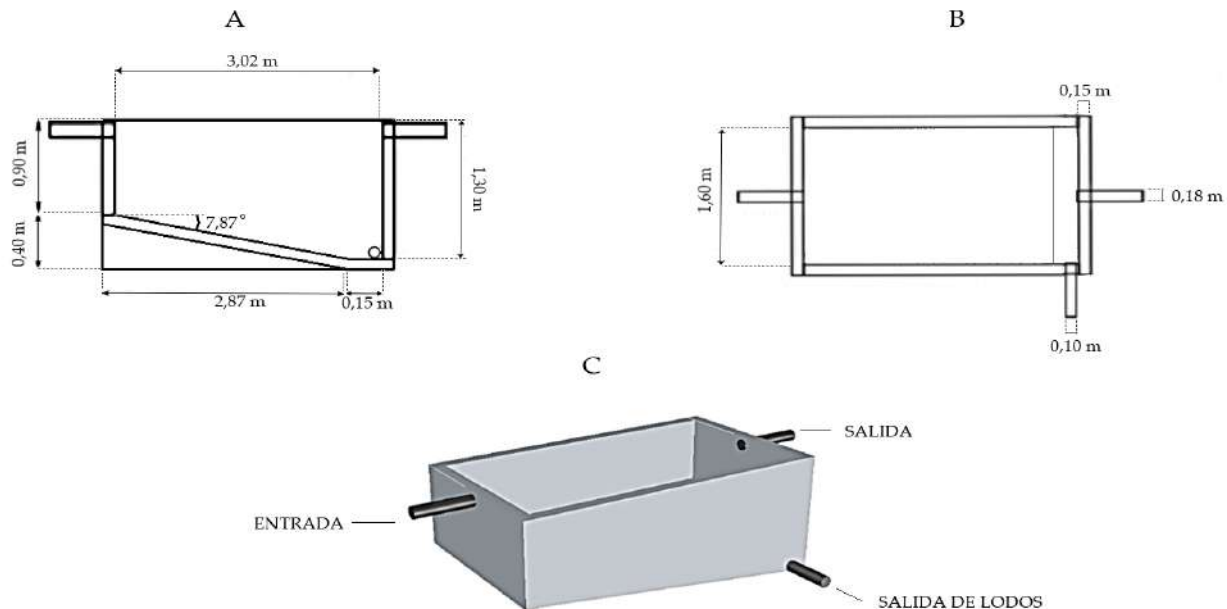
ANEXO N: DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE DEPÓSITO



| | | | |
|---|---|---|--|
| <p>Notas:</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Vista superior B. Vista lateral C. Vista isométrica | <p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR APROBADO POR CALIFICAR POR APROBAR INFORMACIÓN</p> | <p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">CARRERA INGENIERÍA</p> <p style="text-align: center;">QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">OMAR ALEXANDER PASMAY</p> <p style="text-align: center;">LEMA</p> | <p style="text-align: center;">REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “LOS ANDES”</p> |
|---|---|---|--|

ANEXO O: DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR

SEDIMENTADOR



Notas:

- A. Vista lateral
- B. Vista superior
- C. Vista isométrica

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

CERTIFICADO
 APROBADO
 POR APROBAR

POR ELIMINAR
 POR CALIFICAR
INFORMACIÓN

ESPOCH

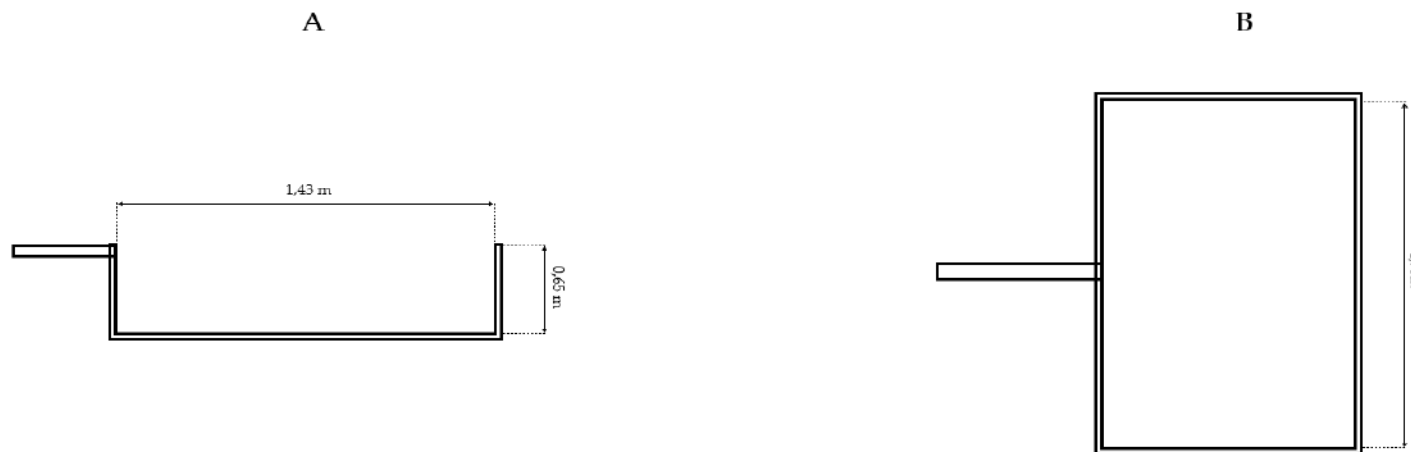
**FACULTAD DE CIENCIAS
 CARRERA INGENIERÍA
 QUÍMICA**

OMAR ALEXANDER PASMAY
 LEMA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE
 TRATAMIENTO DE AGUAS
 RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “LOS ANDES”

ANEXO P: DIMENSIONAMIENTO DE LA BANDEJA DE LODOS

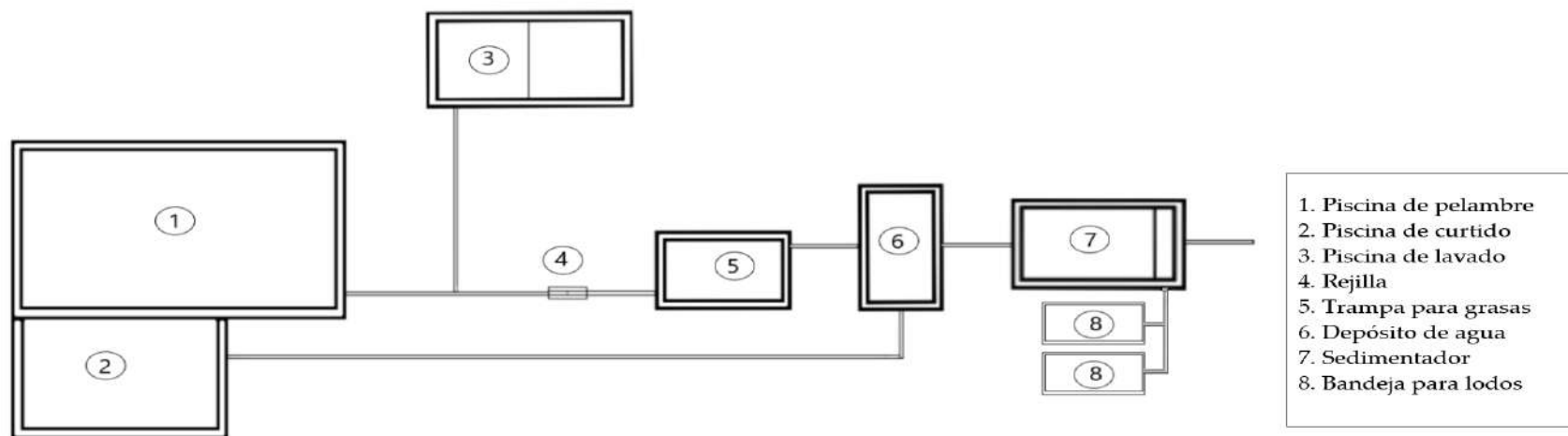
BANDEJA DE LODOS



| | | | |
|--|---|---|--|
| <p>Notas:</p> <p>A. Vista lateral</p> <p>B. Vista frontal</p> | <p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR INFORMACIÓN</p> | <p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>CARRERA INGENIERÍA</p> <p>QUÍMICA</p> <p>OMAR ALEXANDER PASMAY</p> <p>LEMA</p> | <p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE</p> <p>TRATAMIENTO DE AGUAS</p> <p>RESIDUALES PARA LA</p> <p>CURTIEMBRE “LOS ANDES”</p> |
|--|---|---|--|

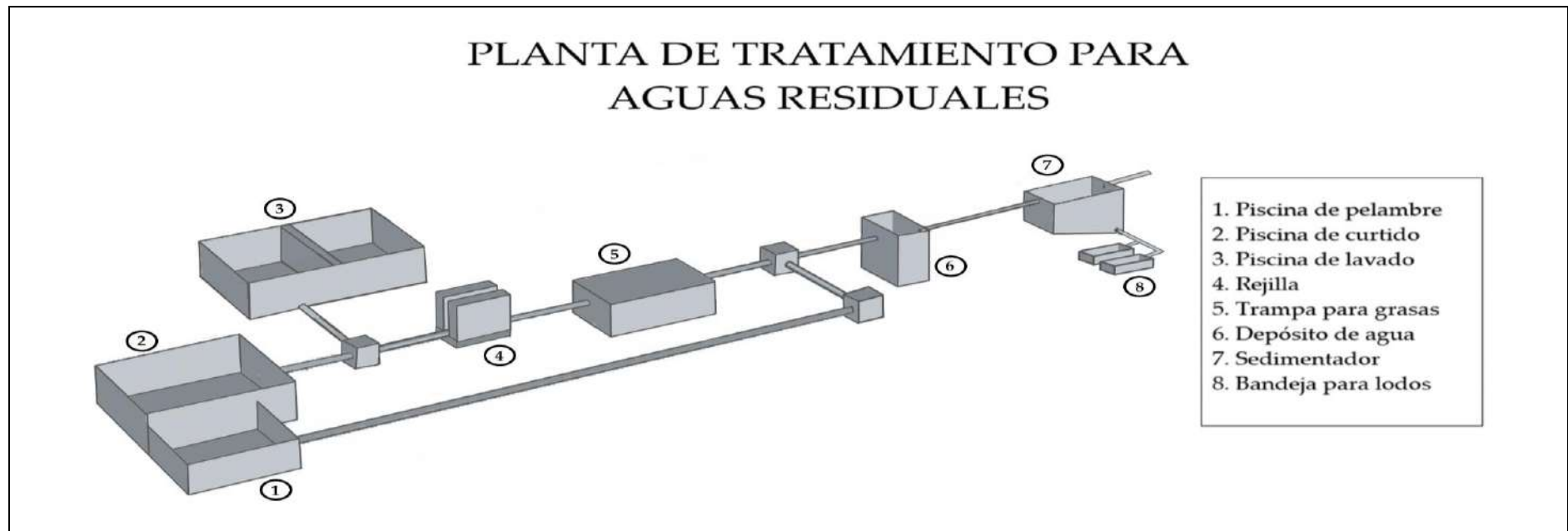
ANEXO Q: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA REDISEÑADA

PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES



| | | | |
|--|---|--|---|
| <p>Notas:</p> <p>A. Vista aérea</p> | <p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR APROBADO POR CALIFICAR POR APROBAR INFORMACIÓN</p> | <p style="text-align: center;">ESPOCH</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">CARRERA INGENIERÍA</p> <p style="text-align: center;">QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">OMAR ALEXANDER PASMAY LEMA</p> | <p>REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “LOS ANDES”</p> |
|--|---|--|---|

ANEXO R: DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA REDISEÑADA, VISTA ISOMÉTRICA



Notas:
A. Vista isométrica

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

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA
QUÍMICA

OMAR ALEXANDER PASMAY
LEMA

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “LOS ANDES”

Curtiduría Los Andes



Ambato

Curtiduría Los Andes

La Península – Ambato

03-2445349- 0984444600

Ambato, 14 de diciembre de 2021

Yo, José Antonio Guaño Silva, Gerente propietario de la Curtiduría Los Andes, Certifico que el Sr. Omar Alexander Pasmay Lema con I.D. 1723077697, ha realizado la entrega del trabajo de Titulación y su correspondiente capacitación para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la etapa de pelambre, de la etapa lavado y de la etapa de curtido, así como el manejo de implementación de los equipos de seguridad personal y disposición final de los residuos.

Atentamente,

 **CURTIDURIA LOS ANDES**

14 DIC 2021

MOVI - 0984444600

Sr. José Antonio Guaño Silva

I.D.0601668643

GERENTE PROPIETARIO DE LA CURTIDURÍA LOS ANDES



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE UNIDAD DE PROCESOS
TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 09 / 2021

| |
|--|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: <i>Omar Alexander Pasmay Lema</i> |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: <i>Ciencias</i> |
| Carrera: <i>Ingeniería Química</i> |
| Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i> |
| f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.06
12:43:38 -05'00'



1847-DBRA-UTP-2021