

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE PARA SU ADECUADA DISPOSICIÓN EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE LA PROVINCIA DE TRUJILLO, 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Alvin Yomar Llaro Castro

Carlos Daniel Mendoza Lara

Asesor:

Ing. Llaque Fernandez Grant Ilich

Mg. Luján Rojas Jessica Marleny

Trujillo - Perú

2022

## DEDICATORIA

Doy gracias a mis padres por guiarme a lo largo de la vida y transmitirme siempre su confianza, valores, enseñanzas y motivarme siempre a ser una mejor persona, además de ayudarme en los momentos difíciles y siempre sacar a relucir lo mejor de mí.

Por otra parte, agradezco a mis hermanos que son una pieza importante en mi día a día, los cuales constantemente me llenan de alegría, orgullo, y me es grato siempre pasar el tiempo con ellos, tanto en las buenas y malas ocasiones.

También, dar gracias a mi familia, mis primos, mis abuelos y tíos, por siempre estar allí cuando se los necesitaron, por ofrecer su apoyo y brindar sus consejos, asimismo incluir a mis amistades con los que pase buenos anécdotas y contribuyeron en mi formación académica y personal.

*ALVIN YOMAR LLARO CASTRO*

Dedico estas líneas a mi madre, por ser la persona que ha formado parte lo que ahora soy, por impulsarme desde la rectitud y sabiduría para alcanzar mis metas y sueños, por enseñarme, desde su amor incondicional, el sentido de la responsabilidad y de la perseverancia, así como por brindarme su apoyo y consejos en este camino para convertirme en profesional. A mi padre por enseñarme el valor del trabajo arduo, lo valioso de la puntualidad, por apoyarme y estar pendiente de mis actividades. Ambos son mis ejemplos de lo que significa ser un ingeniero.

A mi mamá Minita, a mis tíos, tías y familiares, por enseñarme desde la práctica el mundo real. Por aconsejarme, por hacerme responsable en el trabajo, por darme un espacio en dónde ir formándome como profesional, y enseñarme que cada uno es un proyecto que va construyéndose, y para empezar solo se necesita un martillo y un cincel.

A mis compañeros de la universidad, por haber compartido experiencias únicas y aprendizajes en conjunto que quedarán en el grato recuerdo con el paso del tiempo.

*CARLOS DANIEL MENDOZA LARA*

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, por habernos puesto en el rumbo correcto, por haber impulsado en cada uno, un espíritu de cambiar al mundo, y guiarnos en el rumbo de nuestras vidas.

Agradecemos a la Universidad Privada del Norte (UPN), nuestra Alma Mater, por ser el punto de inicio de nuestra transformación profesional, por brindarnos una enseñanza de calidad y con sentido humanístico.

A nuestros profesores, que a lo largo de carrera hemos visto y disfrutado con sus clases, sufrido algunas veces con sus exámenes, y aprendido los conocimientos que hoy tenemos para enfrentarnos a un mundo laboral y profesional.

A las empresas Curtiembre Chimú SAC, Curtiembre León de Judá EIRL y Curtiembre Cuenca SAC, por habernos brindado su apoyo e información valiosa que nos ha servido para conocer más a detalle el mundo del sector curtiembre.

## **Tabla de contenidos**

<b>DEDICATORIA</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>8</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	<b>85</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>112</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Escala de eficiencia de Categorización de Aguas Residuales por Proceso de Tratamiento	<b>50</b>
Tabla 2.	Análisis de los tratamientos físico-químicos en aguas residuales de curtiembre de los estudios	<b>53</b>
Tabla 3.	Relación entre las PTAR, curtiembres y sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo	<b>58</b>
Tabla 4.	Efluentes de las etapas y procesos de curtiembre en donde los estudios han aplicado tratamientos físico- químicos para aguas residuales de curtiembre	<b>60</b>
Tabla 5.	Análisis estadístico de las frecuencias de los efluentes por procesos identificados en los estudios que han realizado tratamientos en las aguas residuales de curtiembre.	<b>61</b>
Tabla 6.	Principales efluentes por procesos en donde los estudios cumplen con los criterios de caracterización considerados en la presente investigación para aguas residuales de curtiembre	<b>62</b>
Tabla 7.	Caracterización del efluente pre y post tratado de los trabajos de investigación escogidos para aguas residuales de curtiembre	<b>63</b>
Tabla 8.	Análisis estadístico de las frecuencias de la cantidad de parámetros de los trabajos seleccionados para aguas residuales de curtiembre	<b>64</b>
Tabla 9.	Análisis estadístico de cajas y bigotes, teniendo en cuenta los parámetros y efluentes de aguas residuales de curtiembre	<b>66</b>
Tabla 10.	Tratamientos más empleados en cada etapa y proceso para aguas residuales de curtiembre	<b>68</b>
Tabla 11.	Registro de las eficiencias y cumplimiento de la normativa para aguas residuales de curtiembre en los trabajos de investigación revisados	<b>71</b>
Tabla 12.	Valoración de las tesis analizadas en base a la eficiencia, cantidad de parámetros, VMA y LMP para aguas residuales de curtiembre	<b>72</b>
Tabla 13.	Matriz de Operalización de las Variables	<b>131</b>
Tabla 14.	Valores Máximos Admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario- Anexo 1	<b>132</b>
Tabla 15.	Valores Máximos Admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario- Anexo 2	<b>133</b>

Tabla 16.	Matriz de Registro de Datos	<b>133</b>
Tabla 17.	Registro de datos del efluente de los trabajos de investigación	<b>134</b>
Tabla 18.	Registro de las eficiencias de los trabajos de investigación revisados	<b>134</b>
Tabla 19.	Registro de datos del cumplimiento del efluente de los trabajos de investigación respecto a los VMA y LMP	<b>135</b>
Tabla 20.	Valoración de los trabajos de investigación por análisis del efluente	<b>135</b>
Tabla 21.	Tratamientos más empleados en cada proceso de curtiembre	<b>141</b>
Tabla 22.	Volúmenes de Ingreso y Salida de una empresa de curtiembre	<b>149</b>
Tabla 23.	Escala de Evaluación del Potencial Emprendedor	<b>162</b>
Tabla 24.	Escala de Evaluación del Nivel de Costo para la empresa del sistema de tratamiento	<b>162</b>
Tabla 25.	Habilitamiento y Construcción del Sistema de Tratamiento	<b>167</b>
Tabla 26.	Análisis de la viabilidad económica y oportunidad del sistema de tratamiento propuesto	<b>171</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de etapas y procesos de una curtiembre.	<b>26</b>
Figura 2.	Ubicación de las curtiembres de los principales distritos de la provincia de Trujillo.	<b>56</b>
Figura 3.	Mapa de ubicación de las PTAR de la provincia de Trujillo.	<b>57</b>
Figura 4.	Parámetros enfocados por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.	<b>65</b>
Figura 5.	Tratamientos físico- químicos aplicados en cada estudio por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.	<b>67</b>
Figura 6.	Tratamientos físico- químicos aplicados por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.	<b>69</b>
Figura 7.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Aceites y Grasas (AyG) del estudio analizado para aguas residuales de curtiembre.	<b>73</b>
Figura 8.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>74</b>
Figura 9.	Concentración y eficiencia de tratamiento para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>75</b>
Figura 10.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Sólidos Suspendidos Totales (SST) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>76</b>
Figura 11.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Sulfatos del estudio analizado para aguas residuales de curtiembre.	<b>77</b>
Figura 12.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Sulfuros de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>78</b>
Figura 13.	Concentración y eficiencia de tratamiento para Cromo Total de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>79</b>
Figura 14.	Nivel de pH iniciales y finales de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.	<b>80</b>
Figura 15.	Matriz consolidada de los 5 estudios seleccionados con mayor valoración para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre.	<b>82</b>
Figura 16.	Diagrama de la Propuesta del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Curtiembre.	<b>84</b>

Figura 17.	Ubicación de los distritos con la mayor cantidad de curtiembres de la provincia de Trujillo	<b>144</b>
Figura 18.	Cuencas de Alcantarillado y PTAR de la provincia de Trujillo	<b>145</b>
Figura 19.	Ubicación de curtiembres y PTAR por cuenca de alcantarillado de la provincia de Trujillo	<b>146</b>
Figura 20.	Diseño de la poza de filtración y trampa de grasas	<b>151</b>
Figura 21.	Semejanza geométrica para un sistema de agitación tipo turbina	<b>152</b>
Figura 22.	Diseño del tanque de homogenización	<b>155</b>
Figura 23.	Modelo del Tanque de Precipitación	<b>157</b>
Figura 24.	Ficha Técnica del Filtro Malla Metálico Lama FMY2	<b>158</b>
Figura 25.	Diseño del filtro Lama FMY2	<b>158</b>
Figura 26.	Ficha Técnica del Filtro Malla Automesh Lama AM4	<b>159</b>
Figura 27.	Diseño del filtro Lama AM4	<b>160</b>
Figura 28.	Diseño de las rejas	<b>161</b>
Figura 29.	Propuesta del Sistema de Tratamiento	<b>165</b>
Figura 30.	Diagrama de entradas y salidas por efluente con la propuesta de tratamiento	<b>166</b>

## RESUMEN

La producción de cuero realizada por las empresas de curtiembre es de gran relevancia para el crecimiento de la economía de la provincia de Trujillo y el Perú. Sin embargo, su elaboración requiere un alto consumo de agua e insumos químicos, que generan elevadas concentraciones de contaminantes en los efluentes que ingresan a la red de alcantarillado. Por ello, la presente tesis tuvo como finalidad analizar los diversos tratamientos físico-químicos aplicados en 23 trabajos de investigación, para proponer, en base a criterios y una valoración cuantitativa, un sistema de tratamiento. Como resultado se identificó que los efluentes de mayor análisis fueron remojo, pelambre, curtido y total. Asimismo, las investigaciones seleccionadas fueron de Cerón, Castillo y López, Martínez, Montoya y Silencio, y Ortiz, quienes redujeron parámetros como DQO, SST, cromo y sulfuros con tratamientos de precipitación, coagulación- floculación, filtración, homogenización y trampa de grasas, obteniendo eficiencias buenas y excelentes, además del cumplimiento con los LMP y VMA. La presente propuesta resultó ser viable porque es oportuna de construir, se enfoca en el tratamiento de 4 efluentes y cumple con la normativa, además promueve el cuidado del ambiente, la infraestructura sanitaria y brinda solución a las curtiembres en su vertimiento de efluentes.

**Palabras clave:** Curtiembre, Tratamiento físico- químico, sistema de alcantarillado, agua residual

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los centros de producción manufacturera del rubro de curtido y adobo de cueros son una pieza clave en el desarrollo, crecimiento y reactivación económica de muchos países en el mundo que dependen en gran medida del consumo animal. Este panorama denota la importancia del sector en más de un país, sin embargo, también lo convierte en uno de los más peligrosos por sus altos niveles de agentes contaminantes como biocidas, surfactantes, materia orgánica, sólidos, grasas, sulfuros, cloruros o cromo generados en los procesos y en el efluente (Comisión Europea, 2013, p. 10).

El continente europeo, por ejemplo, destaca por ser el mayor exportador de cuero gracias a países como Italia, Francia o Alemania, siendo una muestra las ganancias obtenidas por 584 millones de euros en el año 2005, a base de una producción de 71 700 toneladas de cuero pesado. No obstante, la alta tasa de producción genera grandes impactos tanto al ambiente como al sistema de saneamiento, ya que más del 80% de las empresas de curtiembre descargan sus efluentes al alcantarillado público (Comisión Europea, 2013, p. 10-11).

Asimismo, otros continentes con gran producción se encuentran en las regiones de América del Sur y Asia (Comisión Europea, 2013, p. 2- 4). Dentro de este último se puede mencionar a Turquía, donde se han generado alrededor de 800 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales de curtiembre en sus 2 últimas décadas que pasan por sistemas simples de sedimentación y son vertidos sobre la superficie, siendo una gran amenaza por sus altos niveles de contaminación (Tarcan, Akinci y Danişman, 2010, p. 199-200).

A nivel de Sudamérica, el impacto de contaminación sigue siendo alto y relevante al igual que en el resto del mundo. Ecuador, por ejemplo, en los años 2012 al 2014 registró un creciente aumento en la exportación de cueros elaborados después de etapas de secado y curtido llegando hasta 13 toneladas, pero a su vez incrementó el uso de aditivos químicos y consumo de agua, lo que generó alta carga de residuos líquidos, sólidos y gaseosos afectando al ambiente y a la población (Merchán, 2015, p. 1). Algo similar sucedió en Argentina en 2011, un país con una producción de cerca de 400 mil toneladas por año de cuero que provenían de establecimientos con alto grado de contaminación, lo que obligó a generar leyes regulatorias para sus impactos, sin embargo, su marco no contempló una adecuada gestión de sustancias peligrosas de las industrias (Greenpeace, 2012, p. 4).

En Perú, los problemas de contaminación por las sustancias peligrosas tienen incidencia directa en el ambiente y en la población debido a la falta de tecnología industrial que permite realizar y optimizar los procesos productivos. A esto se suma el factor de la informalidad, que origina una competencia fuerte en el mercado, ya que al existir más ofertantes que demandantes la producción por empresa disminuye (Campos, 2013, p. IV), por lo que estas buscan las maneras más factibles de generar mayores ganancias con poca inversión en maquinaria, lo que les impide un correcto control de la afluencia de líquidos contaminantes en el entorno, reduciendo la seguridad del trabajador y aumentando los riesgos en el saneamiento (Artuz, Martínez y Morales, 2011, p. 46).

Pese a que las empresas de Curtido y adobo de cuero del departamento de La Libertad se encuentran mayoritariamente en la provincia de Trujillo (Gerencia Regional de la Producción La Libertad, 2012, p. 35) y la colocan entre los primeros

puestos en el Perú por su gran producción; los riesgos de saneamiento son muy frecuentes debido en gran parte a la informalidad que es alta e imprecisa (Silva, 2011, p. 2) así como también por la creciente crisis del sector que obliga el cierre de las empresas formales (Pinedo, 2012, p. 9-10, en referencia a Mera et al, 2010). Este problema se traduce en tratamientos deficientes de los efluentes que se vierten al sistema de alcantarillado, las mismas que ingresan a las lagunas de oxidación de El Cortijo y Covicorti (Sánchez, 2018, p. 3- 4) afectando el tratamiento que se realiza en estas instalaciones y alterando la red de alcantarillado.

Por ello es necesario profundizar en sistemas de tratamiento que sean viables económicamente y técnicamente, buscando la eficacia en sus procesos y el cumplimiento de los requerimientos legales que se tienen, a fin de promover un correcto vertimiento de los efluentes en el sistema de alcantarillado, ya que de esa manera se mejora el ciclo de saneamiento y contribuye a un mejor mantenimiento de la infraestructura de alcantarillado, además permite que las PTAR realicen un trabajo más óptimo, facilitando que estas aguas sean tratadas y reinsertadas nuevamente al ambiente. Por lo referido anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación de la presente tesis: *¿Qué tratamientos de aguas residuales de curtiembre son adecuados para su disposición en el sistema de alcantarillado en la provincia de Trujillo, 2020?*

Alrededor del mundo se han realizado importantes estudios para solucionar este problema, por lo que resulta importante mencionar estos antecedentes. Comenzando con el continente europeo, se puede mencionar el trabajo de Galiana (2010, párr. 1) realizado en España, donde a través del método de reutilización directa del vertido de agua residual, logró que la empresa Industrias del Curtido S.A. (INCUSA), disminuya

las concentraciones en 32.5% de DQO, 55.9% de  $\text{SO}_4^{2-}$ , 61.5% de SST y 99.3% de  $\text{Cr}^{+3}$ . Después de reutilizar las aguas, lo sometió a tratamiento físico-químico donde redujo 44.2% de DQO, 28.5% de SST y  $\text{Cr}^{+3}$  en 99%. Esta agua clarificada se trató por SBR (Reactor Biológico Secuencial) que redujo hasta un valor de 500 mg/L de DQO. El sobrenadante resultante pasó por el tratamiento de membranas con nano filtración y ósmosis inversa.

Otro estudio realizado en España es el de Pardo (2016, p. 6), donde diseñó una instalación para el tratamiento del efluente de remojo que favorezca la reutilización en el mismo proceso. En base a la caracterización del agua residual, se realizó tratamientos físico químicos con adición de coagulante y floculante, así como precipitación para modificar el pH. Además, el agua se trató por procesos de membranas de nanofiltración y ultrafiltración, logrando que gracias a la reutilización del agua residual tratada se pueda reducir el 50% del consumo de agua del proceso de remojo.

En el continente asiático también se han encontrado estudios relevantes, como el realizado por Imran, et al. (2012, p. 79) en Pakistán, donde aplicó el método de coagulación- floculación química (C-F), usando alginato de sodio para inmovilizar los coagulantes químicos de sulfato de aluminio  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ , sulfato de aluminio y amonio, carbonato de calcio y citrato de sodio aplicados en los efluentes de curtiembre. Estudió el efecto de la dosis de coagulante químico y el pH del agua residual en CE (conductividad eléctrica), TDS (sólidos disueltos totales), sulfatos, cloruros, alcalinidad de fenolftaleína, alcalinidad total y DQO (demanda química de oxígeno). La dosis óptima resultó 5 g/L a un pH de 7 para la reducción máxima de todos los parámetros estudiados. Asimismo, las concentraciones de cromo en las aguas después

del tratamiento se redujeron, lo que denota que inmovilizando coagulantes químicos se hará un tratamiento más efectivo de estas aguas residuales.

Por otro lado, existen estudios en el continente africano, como el de Abdulla, Ahmed, Mohamed y El-Bassuony (2010, p. 171), realizado en Egipto, donde buscaron recuperar Cromo (III) a través del proceso de precipitación con cal y polvo de cemento, para ello estudiaron sus concentraciones, la velocidad de sedimentación y el volumen del sobrenadante. Los resultados iniciales de la etapa de curtido de cromo mostraron elevadas concentraciones de DQO, cromo trivalente y hexavalente. La recuperación máxima de  $\text{Cr}^{+3}$  fue 98%, con una dosis de 2 g/100 ml de cal a 2 horas de velocidad de sedimentación. El sobrenadante de  $\text{Cr}^{+6}$  se removió usando actinomicetos aislados S65, eliminando el 97% del  $\text{Cr}^{+6}$  en 4 horas y la combinación entre precipitación química y eliminación biológica de cromo en las aguas residuales de curtiembre hace que cumpla con el ambiente de manera segura.

También en la región africana de Oromia, en Etiopía, los autores Aregu, Asfaw y Khan (2018, p. 1) identificaron y evaluaron la capacidad de los adsorbentes de piedra pómez y escoria, para comparar su efectividad en la remoción de contaminantes de los efluentes de la curtiduría Dire en Addis Abeba. Emplearon los métodos de trituración y tamizado de las rocas y realizaron dos modelos de adsorción cinética e isoterma para predecir la eliminación y reducción de  $\text{NO}_3 - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4 - \text{P}$  y  $[\text{Cr}]_T$  de las aguas residuales de la empresa. Los resultados demostraron que la concentración media de  $\text{DBO}_5$ , DQO, SST, ortofosfato, amonio, nitrito, nitrato, sulfuro, sulfato y cromo estaban sobrepasando los límites establecidos, por lo que a través del tratamiento con piedra pómez y escoria, en las primeras 24 horas alcanzó 76% de reducción de cromo.

A nivel de Latinoamérica también se han realizado estudios para minimizar los problemas generados en las diferentes empresas, en especial con el propósito de cumplir con los valores estipulados por las normativas de los países y evitar las sanciones respectivas. Para ello, los estudios realizan diversos tratamientos donde se hace importante mención en los procesos físico- químicos para tratar los efluentes de distintos procesos, y de ese modo, en la medida de lo posible reutilizar los insumos utilizados.

Entre los estudios analizados destaca el país de Ecuador, donde existen diversas propuestas de tratamiento, como el trabajo de Tayupanda (2010, p. 81), que diseñó una planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Puma” en la ciudad de Riobamba, con la finalidad de reutilizar las aguas del proceso de pelambre por tener altas concentraciones de sulfuros e hidróxido de calcio. Realizó un sistema secuencial de filtración, decantación y reutilización del efluente, logrando recircular el 71% del agua usada, donde el recuperado cumple con las condiciones para usarse hasta tres ciclos como máximo en el proceso de pelambre. En su estudio también redujo parámetros como DQO en 91% y SST en 94%.

En el trabajo hecho por Cerón (2011, p. 5), se realizó un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales de curtiembre ubicada en Quito, basándose en una aplicación de tratamientos físico-químicos y enfocándose en los procesos de remojo, pelambre y curtido, buscando cumplir con la normativa. Determinó la relación de mezcla pelambre/curtido para su neutralización y absorción de  $H_2S$ , a través la incorporación a un sistema de lechada de cal, asimismo sometió a los lodos generados a un tratamiento de solidificación con cemento; y para el efluente de remojo aplicó un tratamiento de C-F. En su trabajo alcanzó a reducir el sulfuro en 99%, el cromo en

98%, materia orgánica en 70% y SST en 66%, para este último tardó 6 días, pero aceleró el proceso al incorporar un filtro lento.

En el estudio realizado por Guevara, Quishpe y De la Torre (2012, p. 117), se redujo la concentración de 5000 mg/L de cromo con pH 3.6, hasta niveles inferiores a 0.5 mg/L establecidos por la normativa ecuatoriana. Utilizaron los tratamientos primarios de precipitación química y adsorción con uso de carbón activado, así como el tratamiento secundario de rizofiltración. En la precipitación emplearon diferentes álcalis como agentes precipitantes de cromo, entre ellos hidróxido de cromo de pH 8, reduciendo la concentración de cromo inicial hasta 90% y el cromo remanente (40%) se redujo con carbón activado, estabilizando el pH entre 6 y 7. Para la rizofiltración se empleó 20 ejemplares de sambo por 20 días, las mismas que redujeron hasta concentraciones menores de 0.5 mg/L.

El trabajo de Gordillo y Toledo (2013, parr. 1-2 de Resumen Documental) realizado en la curtiduría Hidalgo del cantón Ambato, buscó aplicar técnicas de Producción Más Limpia (PML) y analizar los insumos y variables del proceso de curtido para la recuperación de sulfuro en 3 formas: Como sulfato por oxidación por burbujeo de aire; en forma de sulfuro a través de adición de cal apagada y oxidación por burbujeo de aire; y en forma de Sulfuro de Hierro III por precipitación, así como la recuperación de cromo mediante precipitación y reacidulación. Este estudio logró reutilizar Cr como sulfato básico en el proceso de curtido, obteniendo agua clara que puede ser recirculada y de ese modo minimizar la carga contaminante de los efluentes.

La investigación realizada por Ramos (2015, p. xvi) consistió en aplicar la técnica física de filtración para reducir las concentraciones de sólidos sedimentables y DQO del proceso de pelambre, por lo que aplicó el uso de lechugín para remover  $\text{DBO}_5$ , Cr

Total y hexavalente del proceso de curtido, donde todos los parámetros presentaron altas concentraciones provenientes de los procesos de pelambre y curtido de la empresa de curtiembre Aldas, del cantón Ambato. Con el tratamiento de filtración se logró reducir 97.8% de SS y 37.16% de DQO, sin embargo, el tratamiento propuesto no logró cumplir con la normativa TULAS que rige para Ecuador.

El estudio analizado por Martínez (2016, p. 18), diseñó un sistema de tratamiento físico-químico en los efluentes de curtiembre en la ciudad de Ambato identificando los parámetros que no cumplen con los límites establecidos. Realizó un tratamiento con los métodos de oxidación por aireación, precipitación, coagulación con cal, filtración, floculación y sedimentación para el sulfuro, cromo y sólidos. Logró reducir DQO en 92%, DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos en 95%, sulfuros en 99% y cromo en 95%; asimismo se analizó económicamente los costos de construcción, ejecución y mantenimiento de la planta de tratamiento.

El último caso de estudio ecuatoriano analizado es el de Morocho (2017, p. 2) quien realizó tres tratamientos en los efluentes líquidos de la Curtiembre Solcuero, Cuenca. En su estudio evaluó un tratamiento físico químico de coagulación-floculación con Terra flock GM – Back Flock RR y 2 tratamientos con uso de microorganismos eficientes: EM® y EM1. Como resultado obtuvo que el tratamiento físico químico con el floculante genera el mejor resultado, logrando reducir de modo considerable DBO<sub>5</sub>, DQO y Cr. Asimismo, logró realizar un contraste en los tratamientos con los microorganismos eficientes comerciales (EMAs) con el EM1, observando que, entre los microorganismos capturados y comerciales no existe una diferencia significativa.

En el país de Colombia, se puede hacer mención en el trabajo de Ortiz (2013, p. 8-9), que estudió la factibilidad sostenible y técnica para recuperar el cromo de los efluentes de la empresa “San Benito” en Bogotá, tomando la etapa de curtido donde hay presencia del cromo. Primero precipitó el cromo químicamente con los aditivos de NaOH 4 M, sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y ácido fórmico industrial. Para su recuperación usó Hidróxido de Sodio 4 M, logrando reducir cromo del agua residual del proceso de curtido en 99% cumpliendo además con el límite permisible. Su estudio permitió el reúso y ahorro del 25% de agua en el proceso de lavado; además con un análisis económico concluyó que su propuesta es viable con una rentabilidad de 2 años.

Otro país con grandes avances en sistema de tratamiento de aguas residuales es Brasil, al ser el quinto país de mayor producción mundial de calzado (cueros) y el primero en Latinoamérica con alrededor del 4% del mercado, sin embargo, ello genera también un lado negativo por su gran contenido de efluentes con carga y lodos contaminantes (BCRP, 2019, p. 4 en mención a World Footwear, 2018).

Se puede mencionar el trabajo de Geromel (2012, parr. 1- Resumen) que realizó un sistema de tratamiento físico- químico de los efluentes en la curtiembre Fuga Couros Jales Ltda., ubicado en el municipio de Jales, estado de Sao Paulo, con la finalidad de reducir la carga de los compuestos azufrados por el método de oxidación química, mientras que los sólidos y la carga contaminante mediante los métodos de coagulación-floculación y sedimentación, probando con distintos aditivos, siendo el sulfato manganeso y cloruro férrico, los que presentaron mejores resultados. Posteriormente se realizó una separación y reducción de los sólidos remanentes con membrana microfiltrante y ultrafiltración. El estudio logró remover sulfuro hasta 62% y sólidos en 96%, aunque sólo logró remover alrededor del 50% de material orgánico.

También está la investigación Mella (2013, p. V y 56) donde realizan un sistema de tratamiento para efluentes de curtiembre del estado de Rio Grande del Sur, con el objetivo de eliminar cromo del proceso de curtido mediante los métodos de precipitación química y electrocoagulación, separando el metal en forma de precipitado insoluble con adición de agentes alcalinos u oxidación y reducción anódica. El proceso de precipitación química obtuvo remociones de hasta 99.74% de cromo con 5.3 mg/L de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , y superó a los resultados por electrocoagulación con electrodos de cobre y fierro. Luego de ambos procesos se volvió a usar el cromo como agente curtiente donde los cueros mostraron cumplir las condiciones mínimas requeridas y fueron superiores a las condiciones normales con sal de cromo.

A nivel de Perú también se han realizado investigaciones para brindar solución a los problemas que se generan en las empresas productoras y que involucran a los sistemas de saneamiento, pues es el quinto país en Latinoamérica con mayor producción de pares de calzado, siendo uno de los productos con mayor acogida en el mercado, con 57 millones de pares producidos y 2.4 millones de pares exportados al año 2018, tal como lo describe el BCRP (2019, p. 5 en mención a SERMA, 2018).

Se puede mencionar el trabajo realizado por Córdova (2014, párr. 5-6), quien buscó minimizar el cromo del proceso de curtido en los efluentes de una curtiembre ubicada en Lima, con el uso de un tratamiento por complejantes y acidificantes de cromo para aprovechar de modo óptimo el cromo y reducir los efluentes que les permitan cumplir con los parámetros establecidos. Gracias al uso de estos aditivos se aumentó hasta 98.1% el potencial de absorber cromo en el cuero, reduciendo su materia orgánica de 8% a 5%, al igual que se redujo el cromo total en el efluente de

200 mg/L a 100 mg/L. Para el tratamiento se optó por precipitación química con NaOH logrando eficiencias de remoción de hasta el 100% a pH entre 7.36 y 10.

También está el trabajo de Portada (2016, p. 11), que trató de modo físico-químico aguas residuales de curtiembre en la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, enfocándose en los procesos de remojo, pelambre y curtido buscando reducir los parámetros de SST, sulfuros y cromo, así como cumplir con la normativa vigente. Para las aguas residuales de remojo aplicó el tratamiento de coagulación- floculación con sulfato de aluminio, para pelambre aplicó oxidación de sulfuros a través de aireación añadiendo  $MnSO_4$  como catalizador, y para las aguas del proceso de curtido se trataron añadiendo NaOH. Con estos tratamientos removi6 SST en 97%, cromo (III) en 96.22% y oxidar los sulfuros en 91.45%, a su vez determin6 que la velocidad de sedimentaci6n de los lodos fue 0.276 cm/min para una concentraci6n de 6.62 g/L.

A nivel regional tambi6n es necesario revisar estudios aplicados en el departamento de La Libertad, debido a su importancia a nivel del Per6 en el sector de cuero y calzado, cuya PEA ocupada es de alrededor el 86% para dicho sector, adem6s de tener el 37.2% de empresas de curtiembre del pa6s, todas ubicadas en distritos de la provincia de Trujillo, tal como se6ala el BCRP (2019, p. 9- 11 en menci6n a INEI, 2017 y Ministerio de la Producci6n, s.f.).

Debido a la importancia descrita, se hace menci6n en el trabajo realizado por Ganoza y Panduro (2010, p. 4), quienes al elaborar una propuesta de tratamiento buscan reducir los agentes contaminantes de las aguas residuales de una curtiembre en el distrito de El Porvenir en la ciudad de Trujillo, aplicando procesos f6sico-qu6micos utilizando Cloruro F6rrico ( $FeCl_3$ ) como floculante e Hidr6xido de calcio ( $Ca[OH]_2$ ) como coagulante y estabilizador del pH. Los efluentes analizados y tratados

provinieron del curtido, pelambre y de efluentes finales, los mismos tenían altos valores de sólidos en suspensión, sulfuros y cromo (III), y con la aplicación de dicho sistema de tratamiento redujeron todos los parámetros mencionados, por lo que sus resultados llegaron a cumplir con los límites establecidos.

Se puede mencionar la tesis de Contreras y Salvador (2015, p. XI y p. 46), que realizó el estudio en la Curtiembre Ecológica del Norte, ubicada en el distrito de La Esperanza, con el propósito de remover los sulfuros provenientes del proceso de pelambre añadiendo ácido acético, fórmico y cítrico a distintos pH y tiempos de aireación. En su estudio lograron concluir que el ácido fórmico resultó de menor costo y de igual porcentaje de remoción que los otros ácidos, por lo que aplicando el tratamiento de precipitación con este ácido a 6.5 de pH y 10 minutos de tiempo de aireación, es el método más adecuado para remover sulfuros con más del 95% de eficiencia.

El trabajo de Castro y Jave (2017, p. 16), buscó minimizar la cantidad de cromo en aguas residuales de curtiembre procedentes del parque industrial en Trujillo, específicamente en el proceso de curtido a través del insumo de Hidróxido de Calcio que ayuda a precipitar el cromo. Para determinar la eficiencia se evaluó la velocidad y tiempo de precipitación, lo que demostró que después de un filtrado de las muestras y con un pH entre 9.1 y 9.4, se acelera el proceso de precipitación. Finalmente obtuvieron resultados a escalas laboratorio y piloto, logrando reducir a 0.4 ppm y 2.5 ppm respectivamente para el parámetro de Cromo.

En el trabajo de Montoya y Silencio (2017, p. XVI-XVII), se evaluó la remoción de sólidos en suspensión y  $S^{-2}$  en el efluente de pelambre de la empresa de curtiembre Ecológica del Norte S.A localizada en el distrito de La Esperanza, a través de ensayos

a distintos pH, dosis de coagulantes como  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{FeCl}_3$ , diversos tipos de floculantes y concentraciones. Para ello se determinó mediante el test de jarras el pH, concentración de coagulante y floculante, además del tipo de floculante óptimo para el tratamiento de coagulación- floculación, con ello finalmente se concluye que el pH óptimo es de 9, el mejor coagulante es el cloruro férrico con dosis de 7000mg/L y floculante con 50mg/L, logrando remover el 82.22% de turbidez, 95.46% de SST, 98.41% de DQO y el 99.89% de sulfuros. El tratamiento aplicado tiene un costo de S/ 27.84 por  $\text{m}^3$  de efluente que se trate.

Así también en el trabajo realizado por Castillo y López (2018, p. 3), se implementó un sistema de tratamiento para los efluentes de una curtiembre en Trujillo, basándose en los parámetros de los VMA estipulados en el D.S. N° 021-2009-VIVIENDA; para lo cual se aplicó la siguiente metodología: Primero se dispuso de una trampa de grasas para luego pasar a una poza de aireación seguido de una poza de sedimentación. Este sistema permitió reducir los SST en 99.57%,  $\text{DBO}_5$  en 99.22%, DQO en 97.08%, Cr Total en 96.65%, SST en 95.22%, Aceites y Grasas en 95.17%, Sulfuros en 94.99% y Nitratos en 86.18%, obteniendo un mayor y menor porcentaje de remoción en SST y Nitratos respectivamente. El rango de pH no varió significativamente encontrándose entre 7.2- 7.8.

Por último, está la investigación de Agreda y Dominguez (2018, p. X) realizada en la empresa Junior SAC., del distrito de La Esperanza, con el objetivo de remover la turbidez con los insumos de PAC a 200 ppm y floculante aniónico a 40 ppm aplicando el tratamiento de coagulación- floculación, y los parámetros de DQO y  $\text{DBO}_5$  con oxidación química a través de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso. Los resultados demostraron que se pudo remover la turbidez en 92% y  $\text{DBO}_5$  en 96%. Respecto a la

oxidación avanzada determinaron que a una dosis de 7 ml/L de peróxido de hidrógeno a 1.25 mM de  $\text{Fe}^{+2}$  se removió  $\text{DBO}_5$  en 99% para los efluentes totales.

Los trabajos revisados se han realizado en torno a la problemática de reducir el impacto de la alta carga contaminante que presenta este tipo de aguas, lo que hace necesario realizar acciones para que los efluentes que salen de los distintos procesos sean vertidos de modo adecuado a la red de alcantarillado. Es por ello que varios autores han definido los términos y conceptos que se emplean en esta industria a fin de poder entender y analizar mejor las ideas para dar solución a dichos problemas, por lo que a continuación se presentan las siguientes bases teóricas.

El sector curtiembre se enfoca principalmente en la fabricación de productos a base de cueros, curtidos y adobados; así como de producir cueros gamuzados, regenerados y pergaminados, charol y cueros metalizados. Las empresas del sector en su gran mayoría procesan pieles de vacunos, pero también lo hacen en menor grado con las pieles de animales como ovinos y caprinos para ser vendidos al mercado interno (Fondo Nacional del Ambiente, 2013, p. 6). Su función se define como el proceso de transición de la piel seca a otra materia durable, así como resistente, a causa de la incorporación de sales de cromo y aditivos en la estructura de la piel para su resistencia. En algunos países esta industria se conforma por pequeñas empresas con menos de 20 trabajadores que en su mayoría se dedican a la producción de zapatos (Font y Marsal, 2006, p. 21).

Dentro de las etapas que conforman la transformación de la piel en cuero se tiene un número incierto, y varían acorde al tipo de piel del animal a procesar que necesite la empresa, así como la clasificación por el criterio del autor. Algunas instituciones como el Ministerio de Medio Ambiente de España (1997, p. 20-24) consideran 6

etapas: Ribera, Piquelado, Desengrase, Curtido, Tintura y Engrase, y Secado y Acabado. Por su parte, la Comisión Nacional del Ambiente de Chile (1999, p. 6-10) considera las etapas de Ribera, Piquelado, Curtido, Post Curtido procesos mecánicos, Post Curtido procesos húmedos y Secado y Terminado. Pese a la variedad de etapas, es notorio encontrar similitud entre distintas entidades, pudiendo agruparse en 4 etapas aceptadas por ser más frecuentes: Ribera, Curtido, Post Curtido y Acabado como hace mención Gallego (2011, p. 7-10).

Dentro de las etapas se encuentran los procesos, también considerados operaciones según el Ministerio de Medio Ambiente de España (1997, p. 25), ya que, debido a la variedad de etapas, los procesos también pueden variar entre una y otra. Se realizan alrededor de 20 procesos en todas las etapas de curtiembre: En la primera etapa de Ribera se encuentran procesos como remojo, pelambre, calero, descarnado y dividido. Para la segunda etapa, que es Curtido, están los procesos de desencalado, rendido, piquelado, desengrase y curtido. En la tercera etapa de Post Curtido se realizan los procesos de rebajado, neutralizado, recurtido, tintura, engrase, escurrido y secado; por último, la cuarta etapa de Acabado, comprende las Operaciones Mecánicas, Acabado y Prensado. El presente estudio considerará las etapas y procesos mencionados por Gallego (2011, p. 7-10), representado en la siguiente figura.

**Figura 1**

*Esquema de etapas y procesos de una curtiembre.*



*Fuente:* Gallego (2011, p. 7-10).

Elaboración propia.

Etapa de Ribera, es la primera etapa de todo el ciclo de curtiembre (Gallego, 2011, p. 7) donde se preparará la piel para ser curtida, por lo que se hace un lavado y adaptado para su adecuado grado de humedad (Comisión Nacional de Medio Ambiente, 1999, p. 6). En esta etapa se recepciona la materia prima y se elimina todo lo que no resulta productivo para el cuero a través de operaciones de limpieza y preparación por medio acuoso, produciéndose gran cantidad de carga contaminante de residuos sólidos. Al producto final y útil de esta etapa se le conoce como **corio** (Ministerio de Medio Ambiente de España, 1997, p. 25).

El proceso de Remojo es el primero de los procesos de la etapa de ribera y tiene lugar en los botales, donde suele durar entre 8 a 20 horas, debido a que su función es, mediante una serie de lavados, reducir la sal de 12.5% a 8% (Ministerio de Medio

Ambiente de España, 1997, p. 25), rehidratar la piel y eliminar otros elementos (Comisión Nacional de Medio Ambiente, 1999, p. 6). Este proceso emplea grandes volúmenes de agua, por lo que es común encontrar alta materia orgánica como la piel, albúmina o pelos; y del exterior como tierra, sangre o excremento. Para la eliminación y limpieza de estos sólidos emplean compuestos químicos como NaOH, NaClO, diversas preparaciones enzimáticas y agentes tensoactivos (Pinedo, 2012, p. 12).

El proceso de Pelambre es el segundo proceso de la etapa de ribera según el esquema de Gallego (2011, p. 7) y tiene lugar en los botales, siendo el encargado de eliminar la epidermis, globulinas y algunas de las sustancias que cementan, separan y filtran el pelo (Secretaría de Industria, Comercio y PyME de Argentina, 2009, p. 8). Es un proceso necesario, debido a que determina algunas características de suavidad y resistencia que tendrá el cuero terminado, siendo el proceso preparatorio para su posterior curtición (Comisión Nacional de Medio Ambiente, 1999, p. 6). El proceso puede efectuarse mediante procedimientos químicos y enzimáticos. Dentro de los insumos químicos emplean productos en solución acuosa con adición de iones OH<sup>-</sup> o SH<sup>-</sup> para aflojar el pelo mediante la técnica del baño de apelambrado con productos químicos disueltos, y por la técnica de pastas de sulfuro de sodio - cal, que se aplican al lado carne de la piel (Melgar, 2000, p. 15-16).

La Etapa de Curtido, es la segunda etapa del ciclo de curtiembre según el esquema de Gallego, y es la encargada de convertir la piel mediante el uso de productos curtientes como las sales de cromo y otras sustancias buscando lograr introducir y adherir posteriormente los productos químicos, además de realizar un ajuste del pH al valor requerido y establecer la estructura del colágeno (Gallego, 2011, p. 8). A todas las sustancias que producen estabilización, se les conoce como curtientes destacando

las sales de cromo, de aluminio y otras sales como hierro, mercurio o fósforo, sin embargo el más utilizado en el mundo es la sal de cromo, con un porcentaje entre 80-90% (Melgar, 2000, p. 45). En esta etapa se brinda a la piel cualidades que determinan cuán impermeable y elástico será el cuero (Huamaní, 2014, p. 12), por lo que hay varios sub procesos de los que van a depender la calidad y dureza, entre ellos está el curtido al cromo, tradicional, enmascarado y en seco (Melgar, 2000, p. 45- 50), y en base a ellos sale un producto final llamada “wet blue”.

El proceso de curtido es el último realizado en la etapa de curtido, la cual se realiza después del desengrase según el esquema de Gallego (2011, p. 8), es considerado uno de los procesos más importantes porque brinda las características de suavidad, blancura, calidad y homogeneidad del cuero exigidas para su aplicación industrial en base al cromo fijado. En este proceso ingresa un producto curtiente en la piel que bloquea los grupos amino, lo que genera un aumento del cruce de las fibras e incrementa la posibilidad que la piel sea insoluble al agua, esto hace que la piel sea más duradera, lo que evita la degradación física o biológica. El proceso se puede realizar para intervalos lentos de 1 a 2 semanas mediante curtientes vegetales como el tanino, aldehídos, quinonas, parafinas sulfocloradas, sintanes, o para intervalos rápidos de 24 a 48 horas con minerales, siendo el sulfato básico de cromo el más usado (Ministerio de Medio Ambiente de España, 1997, p. 27-28). Sus efluentes suelen ser muy contaminantes y de pH ácido (Pinedo, 2012, p. 15).

La Etapa de Post Curtido, es la tercera etapa, basado en el esquema de Gallego (2011, p. 9), y tiene por objetivo nivelar el grosor requerido para la piel a fin de obtener plenitud, color, y transferir a la piel una adecuada humedad, en donde se le vuelve a agregar sales minerales distintas al cromo, así como sintanos que son curtientes

sintéticos, buscando convertir estable y homogéneo al cuero. Además, al cuero se le realizan otros procesos como separaciones mecánicas y procesos antecesores al acabado, teniendo como un punto de partida al wet blue y como producto final de esta etapa al "crust".

El proceso de Recurtido es uno de los procesos intermedios del post curtido, siendo el proceso inmediato al rebajado y neutralizado, según el esquema de Gallego (2011, p. 9). Un cuero clásico solamente con cromo ya es un cuero blando, elástico, agradable al tacto, repelente al agua y falto de llenura. Es en este proceso donde se clasifica los cueros según su estructura de flor, parte y grosor para luego ser destinados al tipo de cuero que más se ajusta a sus características (Melgar, 2000, p. 63). Su objetivo es dar las características finales al cuero que no se lograron obtener con el proceso de curtido y se perfeccionan los defectos que no se pudieron hacer en los procesos anteriores e influir en los procesos de acabado, engrase y teñido, lo que definirá las propiedades de término del cuero (Lazo, 2017, p. 16). Presenta efluentes con sales, cromo, elevado DBO<sub>5</sub> y DQO, excediendo los límites para su vertimiento.

El proceso de Engrasado es uno de los últimos procesos del post curtido y es el último proceso que utiliza agua para su elaboración. Según Lazo (2017, p. 18) unido a los procesos de ribera y curtido, este les sigue en mayor relevancia, pues incide directamente en las características físicas y mecánicas del cuero, ya que luego del curtido, el cuero se hace consistente o compacto debido a sus fibras deshidratadas, y debido al engrase se añaden sustancias, como grasas en las fibras o hebras donde se fijan con el objetivo de conseguir un cuero más suave y flexible. Como es de esperarse los efluentes de este proceso son aceites y grasas, así como algunos sólidos y sales que queden disueltos.

La Etapa de Acabado, es el cuarto y último proceso en el ciclo de curtiembre en base al esquema de Gallego (2011, p. 10), el cual lo clasifica en 3 procesos incluidos: Operaciones Mecánicas, Acabado y Prensado, siendo tareas mecánicas y secas de añadir múltiples aditivos encima de la superficie para brindarle tanto la apariencia y textura final que se necesita. El producto final que se obtiene es la piel acabada y sus efluentes en su mayoría son residuos sólidos. Las tareas más comunes que se realizan en este proceso son: Cortado de los trozos en mal estado, suavizado mecánico, dilatación final de la piel, suprimir la humedad residual, eliminar las partes del espesor irregular de pulido, afelpamiento del costado de la flor, teñido especial, medir el tamaño y clasificarlo (Ministerio de Medio Ambiente de España, 1997, p. 29).

Asimismo, es necesario conocer otras definiciones que ayuden a complementar más la información. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son un conjunto de procesos contenidos dentro de un sistema que crea, administra, analiza y representa a través de la cartografía información relevante a la investigación (Esri, s.f.). Sirve para conectar datos a un mapa integrando con información descriptiva que es representada gráficamente de modo entendible y en base a ello realizar análisis, algo que resulta ventajoso al momento de comunicar resultados y a la hora de tomar decisiones. El resultado se refleja en los mapas que resultan ser interactivos y ofrecen al usuario datos descriptivos y modelos de análisis espacial (ArcGIS, s.f.).

Respecto a los efluentes, también conocidos como aguas residuales, según el Decreto Supremo N° 001-2010-AG del Ministerio de Agricultura y Riego, que establece el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, en el artículo 131 título V, menciona que son un tipo de agua cuyas condiciones iniciales han sido cambiadas debido a las acciones realizadas por el ser humano, y que al finalizar su actividad para

la que se usó, son vertidas a un cuerpo natural de agua, o en el mejor de los casos es reusada. También indica que, en base a las caracterizaciones de calidad que tiene, este tipo de agua necesita que previamente se realice un tratamiento. Para el caso de las curtiembres, estas aguas son el resultado final de la elaboración y transformación de la piel animal en un producto como el cuero, y en cuyos procesos se han eliminado distintos agentes contaminantes en el agua y que posteriormente son vertidas a un cuerpo receptor. Las aguas residuales (AR) o efluentes de curtiembre están enmarcadas en el tipo de aguas industriales.

Al ser un tipo de agua residual, cada proceso tiene marcados contaminantes para sus cuatro etapas, por ejemplo, el agua en la etapa de ribera tiene gran carga de residuos del tipo orgánico como tierra, estiércol, sangre o grasa, siendo los sólidos totales demasiado altos alrededor del 70%, así como presentan alta DBO<sub>5</sub> y DQO, y un pH alcalino. En la etapa de curtido las aguas sufren una transformación drástica respecto a la primera etapa debido a que el pH se reduce a concentraciones ácidas, presenta menor demanda de DBO<sub>5</sub> y DQO, y relativos valores menores de sólidos totales, siendo la etapa más contaminante debido a la adición de químicos como cloruros, sulfuros o cromo en forma de sales. Etapas como post curtido o acabado presentan valores de sólidos totales aún altos y presencia de curtientes químicos y naturales, así como grasas y gran cantidad de residuos sólidos (Cerón, 2011, p. 15).

El Sistema de Alcantarillado, se conoce también como red de alcantarillado o alcantarillado sanitario, al sistema compuesto por tuberías y estructuras adicionales importantes con la finalidad de recibir y verter las aguas residuales de una población (Alfaro, Carranza y Gonzalez, 2012, p. 26), es decir es una proporción de servicios e instalaciones que facilitan expeler sin riesgo o peligro, las heces y orina, contribuyendo

a mejorar la salud, tanto en la parte de los hogares y las comunidades, ello refuerza términos como higiene, ya que genera buenas condiciones sanitarias al hacer una adecuada expulsión de las AR (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Por otra parte, García (2010, p. 51 en mención a COHRE, WaterAid, COSUDE y UNHABITAD, 2008) mencionan que el saneamiento abarca la entrada y el uso de las instalaciones y servicios para el descarte de excretas y aguas residuales que prioricen la dignidad y privacidad, a su vez que promuevan un ambiente aseado y bienestar sanitario para todos. En base a ello se considera que garantizar un lugar limpio y sano, es un fragmento de lo que implica por derecho el saneamiento, por el motivo que, sin un ambiente correctamente cuidado, no se puede hablar de salud, agua potable o vida, y por lo tanto, se estarían infringiendo los DD.HH. fundamentales para una vida segura y con cobertura al agua, saneamiento y salud.

Los Límites Máximos Permisibles (LMP), son un instrumento legal con decreto del Ministerio de Producción que es aplicable para las industrias como curtiembre, papel, cemento y cerveza. De acuerdo a esta norma, los LMP representan la concentración de parámetros físico, químico o biológicos que determinan a un emisor o también llamado efluente, y que al excederse pueden causar daños a la salud, ambiente y población. Por ende, son legalmente exigibles y de obligatorio cumplimiento (Ministerio de Producción [PRODUCE], 2002, p. 2), siendo aplicable para efluentes que sean vertidos tanto en aguas superficiales o redes de alcantarillado (Ver Anexo C).

Los Valores Máximos Admisibles (VMA), según la legislación peruana, las aguas residuales deben cumplir ciertos estándares de calidad para poder ser adecuadamente depositadas en la red de alcantarillado. Esto se da gracias a las regulaciones de los

vertimientos de aguas residuales de uso no doméstico en la red de alcantarillado, y de esta manera se evita deteriorar la infraestructura propia de la red de tuberías, así como disminuir el riesgo sobre el personal prestador de servicios, al tener algún contacto con dichos efluentes (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019, p. 4).

Una adecuada disposición de las aguas residuales permite preservar adecuadamente la seguridad en instalaciones, estructura sanitaria, maquinarias, equipos brindados para los servicios de alcantarillado e incentiva al tratamiento de los efluentes, lo que garantiza que los sistemas de alcantarillado sean sostenibles (MVCS, 2019, p. 4). Por ello se deben cumplir con los parámetros y las concentraciones que están descritas en el reglamento emitido mediante el D.S.010-2019-VIVIENDA, en el cual se detallan los límites que se debe cumplir al descargar efluentes de tipo no domésticos, a la red de alcantarillado (Ver Anexo D).

Por ello, es necesario conocer sobre los Tratamientos de aguas residuales, pues son procesos de tratamiento para aguas residuales que puede darse de modo unitario o por un conjunto de operaciones y procesos de tipo físico, químico y biológico, que son utilizados con el propósito de verter las aguas residuales hasta alcanzar un nivel aceptable en calidad para su disposición final, o aprovechar estas aguas con el fin de reusarlas (Ministerio del Ambiente, 2009, p. 20). Al ser el agua un recurso que puede ser reutilizable se debería promover una implementación adecuada de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), las cuales deben ser tecnológicamente aptas para que promuevan mayores beneficios productivos y económicos (Estado Plurinacional de Bolivia, 2013, p. 7).

En la actualidad se busca reducir las brechas sociales por la disminución de fuentes de agua, así como permitir la ejecución para diversas actividades (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2013, p. 39), por ello, uno de los tratamientos más aplicados son los tratamientos físico-químicos, cuyo propósito es eliminar los contaminantes en fase acuosa mediante la adición de aditivos, buscando conseguir un efluente con la calidad requerida para su vertido y concentrar los contaminantes en una fase de lodos (Kaifer, 2006, p.2), pudiendo incluso recuperar materiales contenidos en los efluentes y reutilizar estas aguas en múltiples aplicaciones y/o actividades, por lo que lo convierten en una alternativa que es factible, rentable y eficiente (Llano, Cardona, Ocampo y Ríos, 2014, p. 74, en mención a Aragonés-Beltrán et al., 2009; Li et al., 2013) para el tratamiento de aguas residuales industriales.

También se encuentra la Recuperación química, que consiste en extraer un elemento químico bajo una forma en específica, la cual se encuentra en una solución mezclada con otros aditivos en los efluentes industriales. Esta técnica más que disminuir la concentración final del efluente, logra que el proceso disminuya los costos asociados al compuesto que se quiere recuperar y genera en la empresa una imagen eco-eficiente. Para los procesos de pelambre y curtido de las empresas de curtiembres se generan mayores concentraciones de sulfuros y cromo (Cerón, 2011, p.9-10), por lo que es aquí donde se realizan múltiples trabajos de investigación que buscan implementar tecnología que recuperen cromo o sulfuros, tratando siempre que su aplicación conlleve a recuperar la inversión inicial y promueva la sostenibilidad ambiental (Ortiz, 2013, p. 58).

Uno de los tratamientos es la Precipitación química, un proceso al que se añaden diversos químicos que alteran el estado físico de sólidos en características disueltas o

suspendidas, provocando su eliminación a través de la sedimentación, consiguiendo remover SST, DBO<sub>5</sub>, DQO y bacterias. Los insumos más usados son los compuestos hidratados de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.18H<sub>2</sub>O (sulfato de aluminio), FeSO<sub>4</sub> (sulfato ferroso), así como sales de fierro como cloruros y sulfatos (Fonfría, 1989, p. 101). Este proceso se define, tal como lo cita Mendoza (2016, p. 18-19 en mención a Kaifer, 2006) como la separación de sustancias que se asientan por gravedad, a través de la adición de insumos químicos que modifican el estado físico como su solubilidad y consta en 3 fases: Coagulación, floculación y sedimentación.

La Coagulación y Floculación (CF) es uno de los procesos que más se utilizan para los tratamientos de curtiembres. La coagulación consiste en aplicar una mezcla rápida de un coagulante con el fin de neutralizar cargas y generar un colapso en las partículas coloidales logrando que estas se aglomeren y sedimenten (Martínez, 2016, p. 26-27). En otras palabras, busca desestabilizar las partículas añadiendo por lo general, diversas sales a una dosis y velocidad de agitación determinada. A continuación, sucede la floculación, que tal como cita Martínez (2016, p. 27 en mención a Espíndola y Fernández, 1995), consiste en aglomerar las partículas coloidales previamente sometidas a coagulación, esa unión de partículas hace que por gravedad descendan y finalmente sedimenten, facilitando su extracción del agua y por consecuencia disminuyan parámetros asociados a la carga contaminante en el agua.

Un tratamiento físico o mecánico muy aplicado es la Sedimentación, pues es sencillo y fácil de realizar, ya que puede aplicarse sin problemas a todos los efluentes de todo tipo de procesos de una determinada industria, debido a que elimina sólidos suspendidos, parte de colorantes y sustancias químicas que no se han disuelto. El tratamiento genera una reducción en DQO, disminuye el nivel de los contaminantes y

genera menor cantidad de residuos, todo ello sin necesidad de invertir en equipos sofisticados, y de la necesidad de personal especializado para su ejecución, por lo que resulta económico (Gil, et al., 2013, p. 591-592).

La sedimentación busca la remoción de las partículas que por efecto gravitacional descienden hasta el fondo del sedimentador, sin embargo, para que ello suceda existen diversos motivos que causan que la sedimentación suceda de forma ideal, por ejemplo a mayor peso molecular y temperatura de la sustancia en disolución acuosa, el coeficiente de sedimentación aumentará, al igual que para tamaños comprendidos entre 0.2 y 200  $\mu\text{m}$  la sedimentación ocurre de manera natural, es decir simplemente por acción de la gravedad (Marín y Rodríguez, 1999, p. 40). Asimismo, es importante mencionar que para calcular la velocidad en la que sedimentan las partículas acuáticas se sigue generalmente la Ley de Stockes, donde el factor más relevante en la velocidad de sedimentación es el tamaño de la partícula (Marín y Rodríguez, 1999, p. 368).

La homogenización, consiste en la mezcla del residuo líquido con el objetivo de conseguir una mezcla uniforme, debido a que en una curtiembre los caudales son irregulares en el día, pudiendo afectar el desarrollo operacional de los tratamientos. Debido a ello la homogeneización permite mejorar las condiciones de funcionamiento, ya que el caudal es constante y la composición química regular (Moreno et al., 2006, como se citó en Ramos, 2015, p. 29). Además, mencionar que para curtiembres la homogeneización debe ser diseñada a fin de evitar gases tóxicos y malos olores, ya que puede llegar a ser un peligro para el personal (Martínez, 2016, p. 143).

Otro tratamiento a mencionar es la filtración, un proceso superficial que suele ser muy eficiente para disminuir turbidez o SST, por ello este proceso sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina (MVCS - Norma OS.20, 2006, p. 3).

Sin embargo, este tratamiento depende mucho de la calidad que tenga el material filtrante, y de las características particulares del agua que será tratada (Cerón, 2011, p. 89). Estos filtros pueden estar elaborados de distintas formas como de grava, arena, antracita o la mezcla en proporción con estas, así como del uso con mallas de acero inoxidable (Ortiz, 2013, p. 49 y 53). En curtiembres se puede aplicar al proceso de pelambre debido a su contenido de pelos y sólidos, es donde hay un mayor énfasis en dicho proceso ya que permite reducir parámetros como SST y DQO (Ramos, 2015, p. 62 y 70).

Un modelo de filtro es el filtro de mallas o también definido como tamiz, está construido con mallas que están dispuestas con una inclinación específica que permite que el agua atraviese sobre ellas y obliga que la materia sólida retenida se deslice hasta caer fuera de estas de modo autónomo. Este tratamiento suele ser ventajoso debido al bajo costo, no tiene partes móviles y no requiere mucha operación de mantenimiento, por ello es necesario un desnivel considerable entre el punto de entrada y de salida del agua (Ortiz, 2013, p. 45). Por otro lado, LAMA (s.f.) menciona que los filtros de malla, realizan filtración de tipo físico debido a que retienen sólidos suspendidos en el agua a través de los espacios que tiene, es decir, la malla actúa como un coladero que permite el paso de suciedad menor al tamaño de su diámetro y retiene las partículas de mayor tamaño.

Otro modelo de filtro, es el filtro de rejillas, que se usa como separador de objetos que tienen diversos tamaños con el fin de separarlos frente a otros más simples que están contenidos en el agua. Por ello, generalmente son utilizados en desbastes previos con el propósito de dar protección a los equipos mecánicos, así como a las siguientes instalaciones que podrían tener riesgo de saturación, perjudicando de este modo los

procesos aplicados. Es por eso que se suelen construir con barras metálicas tomando un espesor desde 6 mm, que son colocadas de forma paralela y tienen un espaciado oscilante entre 10 mm y 100 mm. Para su mantenimiento se realiza una limpieza manual con rastrillos o con máquinas automatizadas (Ortiz, 2013, p. 45).

Este tipo de rejas, que son manejadas manualmente, actúan como barreras de protección para equipos de mayor cuidado o sofisticación, por lo que evitan infiltraciones de partículas o materiales que puedan perjudicarlos. Por ello se caracterizan por ser filtros sencillos que en muchos casos son colocados en canales para la retención de sólidos gruesos. Además, son simples en construcción, de gran eficiencia, y la formación de este filtro de rejas se compone por una serie de barras perpendiculares al suelo que tienen una separación entre sí, conocido como paso de luz, que determina el caudal que tiene que pasar a través de estas y el tamaño de las partículas que filtrará (Interempresas, s.f.).

Para ciertos efluentes con contenidos altos en aceites o grasas, es necesario un tratamiento por trampa de grasas, debido a los problemas de obstrucción de la red de alcantarillado por material sólido o semisólido, debido a que es usual la presencia de aceites y grasas vegetales o animales producidos principalmente por la actividad industrial. Debido a este problema se implantaron este tipo de sistemas que captan y almacenan los residuos grasos (Reyes, Martínez, Garzón, Pérez y Echevarría, 2018, p. 2-3), pues la trampa de grasas ayuda a separar la grasa y aceite del peso del agua, y así lograr que sea vertido sin tantos contaminantes (Díaz, Jiménez y Herrera, 2015, p. 48 en mención a Carrión, 2010).

En la gran mayoría de efluentes, se ha mencionado que los tratamientos a realizar son para reducir sólidos y materia orgánica, por lo que es importante mencionar el

tratamiento de los lodos. El lodo es resultado de una mezcla entre el agua y los sólidos separados del efluente que resultan después de pasar por procesos naturales o artificiales. Estos lodos tienen como característica el de ser un residuo en su mayor cantidad líquido pues más del 95% es agua. Sin embargo, la composición es diversa y depende de las características contaminantes del agua residual inicial y de las condiciones en las que se apliquen los tratamientos, ya que pueden contener diversas partículas en suspensión o disueltas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2013). Algunos lodos pueden generar un serio impacto al ambiente por su composición tóxica, pues contienen abundante material orgánico, microorganismos, macronutrientes, micronutrientes o metales pesados (Cupe y Juscamaita, 2018, p. 2 en mención a Cuevas et al., 2006).

El tratamiento del agua siempre traerá como resultado la formación de subproductos conocidos como lodos residuales. Los lodos pueden ser primarios si son originados como parte de concentraciones de sólidos contenidos en el efluente, o pueden ser lodos activados, cuando se forman como nuevos sólidos suspendidos producto de sólidos disueltos en vertimientos industriales o municipales (Cupe y Juscamaita, 2018, p. 2 en mención a Morales, 2005). Los tratamientos tecnológicos de lodos más usados en métodos físicos son el secado, centrifugación, y filtración; mediante métodos químicos están la estabilización con cal, preparación y desinfección química; o de métodos biológicos destacando la digestión aerobia y anaerobia. Después de estos le siguen métodos más avanzados con uso de tecnologías como la ozonización, que tiene eficiencias en la reducción de parámetros físico químicos y microbiológicos entre 31% y 99.9% (Amador, Bataller y Veliz, 2014, p. 1).

En curtiembres, los residuos generalmente contienen sal, restos de piel curtida y despojos que no son valorizables y tienen que ser dispuestos adecuadamente, ya que pueden ocasionar un impacto ambiental. Además, los productos químicos que se emplean representan aproximadamente 440 Kg por cada tonelada de piel, por lo que, al disolverse en agua, forman un efluente altamente cargado de materia orgánica y de compuestos inorgánicos como cromo, sulfuros o sulfatos, cloruro y amonio. Por ello existen dos alternativas para su tratamiento: La primera es un tratamiento individual del efluente líquido que proviene de cada una de las etapas y en especial atención a las etapas de ribera, curtido o post curtido; y la segunda que consiste en una homogeneización de los efluentes de los distintos procesos y etapas, aplicando un tratamiento en conjunto para el agua residual total, siendo esta última la más empleada debido a que se necesita instalar una sola planta de tratamiento en lugar de una planta por vertido (SIGMADAF Clarifiers, 2021).

Por ello, es imprescindible realizar un tratamiento para las aguas residuales de curtiembre y sus lodos, no solo por la contaminación que podría generar, sino por los impactos socio-económicos y ambientales que estos generan. Esto conlleva a pensar en el Desarrollo Sostenible, un término que tiene sus orígenes en la Comisión de Brundtland en 1987, y que indica que las generaciones actuales pueden satisfacer sus necesidades sin que esto comprometa las que tendrían las generaciones futuras. Ello implica la protección del ambiente y asegurar el desarrollo en países menos desarrollados, por lo que fue considerado como base para plantear los 17 ODS de la Agenda 2030 (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], s.f.). Dentro de los ODS, el objetivo 6 “Agua limpia y saneamiento” en la meta 6.3 menciona que es necesario eliminar el vertimiento, emitir menos productos químicos

y reducir la cantidad de aguas residuales sin tratamiento (Organización Naciones Unidas [ONU], s.f.).

Debido a lo mencionado, esta investigación tuvo como objetivo principal analizar diversos tratamientos físico-químicos aplicados en 23 trabajos de investigación, para proponer, en base a criterios y una valoración cuantitativa, un sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado. Para ello se analizó mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) la relación que existe entre las empresas de curtiembre, las PTAR y el sistema alcantarillado en la provincia de Trujillo; asimismo se identificó las etapas y procesos de curtiembre con mayor incidencia en la caracterización de los efluentes en los parámetros (AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo VI, Cromo Total y pH), y los tratamientos físico- químicos aplicados en las investigaciones analizadas.

Además, se evaluó el cumplimiento de los LMP, VMA y las eficiencias de los sistemas de tratamiento de cada estudio en base a las concentraciones iniciales y finales de los parámetros analizados, y así poder seleccionar por tipo de efluente los mejores estudios a través de una valoración de la eficiencia, cantidad de parámetros evaluados y cumplimiento de los LMP y VMA, a fin de proponer un sistema de tratamiento basado en el análisis de los estudios que obtuvieron mayor valoración por tipo de efluente tratado.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que en este estudio se realizaron cálculos para conocer en las investigaciones revisadas la eficiencia y cumplimiento de las concentraciones de cada parámetro con los límites establecidos y tal como menciona Rojas (s.f., p. 126, en referencia a Sierra, 1989) este tipo de enfoques permite establecer diversas interpretaciones de resultados basados en cantidades y concentraciones que engloban múltiples parámetros de medición. Asimismo, el trabajo de investigación es de forma aplicada o tecnológica ya que engloba y analiza un conjunto de trabajos de investigación como indica Esteban (2018, p. 3) que hace referencia a que está dirigida a dar solución a las dificultades que tienen distintos procesos y porque se basa en análisis básico, puro o fundamental de las ciencias fácticas, que intentan resolver conflictos en la vida productiva de la sociedad.

La tesis tiene un diseño no experimental- transversal. Según describe Sampieri (2014, p.153- 154) en su libro Metodología de la Investigación, el trabajo posee un carácter no experimental debido a que el estudio es sistemático y empírico por lo que las variables independientes no se manipulan deliberadamente porque ya han sucedido, y donde en algunos casos se ha tenido que identificar los puntos de inicio del trabajo analizado que guarden relación con los objetivos de la tesis. Además, es transversal debido a que ha sido necesario recolectar datos para lograr analizar la situación inicial de los estudios y cómo terminó después del tratamiento, todo ello aplicado en un punto del tiempo determinado. Por ello los estudios recopilaron información dentro de un intervalo de tiempo de 10 años, con el propósito de contrastar los indicadores de las variables y analizar su incidencia al momento del post tratamiento.

Esta investigación resultó del tipo descriptivo propositivo ya que realizó un análisis de los datos de diversas investigaciones extrayendo información relevante y relacionada a las variables de estudio, aspecto que Sampieri (2014, p. 92) menciona ya que sin realizar la recolección de la información independiente o conjunta de las variables del trabajo, no se puede llegar a abarcar detalles como descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza (Rodríguez, 2005, p. 25). Además, se considera propositiva porque se ha diseñado un sistema de tratamiento para dar solución a la problemática actual, así como se hizo uso de herramientas para el abordaje y gestión de los procesos (Vargas y Sabogal, 2017, p. 10).

Referente a la población y muestra del estudio, según lo mencionado por López (2004, p. 69), la población es un conjunto de objetos o personas en los que se enfoca para conocer algo de ellos, es decir el conjunto como unidad de estudio. Para la presente investigación, la población estuvo dirigida a todos los trabajos científicos que aborden temas de tratamiento de aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado. En relación a la muestra, Lalangui (2018, s.p.) indica que es la porción de población elegida para obtener los datos que se requieren para realizar diversas medidas y que en ella se observen las variables del trabajo. Para esta investigación, tal como menciona Sampieri (2014, p. 189), se usará una muestra no probabilística ya que está orientada por las características de la investigación mas no por un criterio estadístico, por lo que la muestra es según criterio del investigador como indica Tamayo (2001, p. 14); que resultó en 23 estudios y para ello se establecieron los siguientes criterios o juicios de inclusión y exclusión.

Los criterios de inclusión aplicados para considerar a los trabajos de investigación fueron su origen, es decir, que provengan de diversas fuentes informáticas confiables

y de trascendencia científica ya sea universidades internacionales como nacionales o de artículos científicos; procesos de curtiembre que contengan sus respectivos efluentes para tratar de modo físico- químico; y parámetros que sean considerados en los VMA y LMP de la normativa peruana. Asimismo, la información se extrajo de repositorios universitarios, y en el caso de ser artículos, se consideró metabuscadores como Scielo, Dialnet, Google Académico, WorldCat, Revistas de Ingeniería, plataformas virtuales como EBSCOhost, redes de investigación como ResearchGate, entre otras, asegurando así la calidad de la información analizada. Respecto al idioma se consideró español como primera opción, seguido del inglés y portugués, además de que estén incluidas palabras clave que indiquen la información relacionada al objeto de investigación.

En relación a los criterios de exclusión, para la búsqueda de trabajos de investigación se tuvo en cuenta el tiempo de publicación del estudio no inferior a 10 años de antigüedad; que los estudios tengan tratamientos físico- químicos con resultados en los parámetros de AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo VI, Cromo Total y pH en los efluentes pre y post tratamiento. Por otro lado, debe existir una relación con las palabras clave consideradas, además es necesario que su origen y fuente de publicación procedan de metabuscadores confiables.

A todo ello, para la presente tesis se utilizó el método inductivo- deductivo, pues este método sirvió para que, a partir de ideas y pensamientos generales de los distintos autores en los trabajos revisados, se pueda consolidar y analizar en datos claros, establecidos, coherentes, específicos y veraces, que permitan sustentar diversas relaciones con los objetivos planteados.

Por eso, es necesario que el estudio aplique técnicas de investigación, ya que según Pulido (2015, p. 1143) las técnicas en la esfera de la investigación científica se relacionan con procedimientos y capacidades que buscan hacer operativos la metodología. Debido a ello, las técnicas son requerimientos que tienen como fin poder llevar a cabo los métodos planteados y sirven en cierta medida como parte de la estrategia para poder realizar un buen análisis de la base de datos.

En base a lo mencionado, el trabajo de la presente investigación usó la técnica de investigación bibliográfica para buscar información relevante a nuestro estudio, además se usó el registro de base de datos que tiene la finalidad recopilar y organizar toda la información de diferentes estudios de investigación para facilitar su comprensión y posterior análisis utilizando un instrumento de recopilación de datos acorde a criterios mencionados. También se utilizaron instrumentos informáticos, con el propósito de organizar y sintetizar la información procedente de los diversos estudios previamente escogidos.

Tal como se aprecia en el párrafo anterior, la técnica y el instrumento van relacionadas, pues los instrumentos como análisis de contenido son mencionados por Pulido (2015, p. 1147 en mención a Bardin, 1986), como herramientas metodológicas y muy amplias, que se usa en el contenido de discursos, enfocado al análisis de comunicaciones. De ello se interpreta que son recursos que buscan inferir a partir de ciertos datos, con la finalidad de abordar un problema específico al cual se le fundamente con pruebas veraces y certeras.

Por ello, el desarrollo de este trabajo tuvo en consideración 4 instrumentos para el análisis tanto de las variables, de los indicadores y de los estudios revisados. El primer y segundo instrumento son de tipo legal, correspondiente a los Valores Máximos

Admisibles del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA (Anexo D) y los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE (Anexo C), el tercero se relaciona a la estadística para lo cual se consideró al programa IBM SPSS, y el cuarto instrumento usado para el análisis de los datos fue geográfico, en donde se puede precisar a programas como QGis 3.12 y Google Earth Pro, todo ello con la finalidad de realizar un buen análisis de la fuente de información.

Mientras que para recolectar datos se tuvo en cuenta 4 instrumentos, donde el primer instrumento, permitió caracterizar a las concentraciones de los distintos trabajos en relación a los parámetros que se ha tenido como prioridad en la presente tesis, el tipo efluente al cual está enfocado, además de caracterizar los estudios pre y post tratamiento (Ver Anexo F), ello con el objetivo de utilizar los resultados del primer instrumento en el segundo y tercer instrumento, que tienen como finalidad analizar los datos que se ha extraído de los estudios y poder determinar tanto su eficiencia como cumplimiento de los VMA y LMP (Ver Anexos G e H).

Finalmente, el cuarto instrumento (Ver Anexo N° I), buscó valorar por medio de una puntuación cada estudio analizado en base a 4 criterios relacionados con los VMA, LMP, las eficiencias y la cantidad de parámetros escogidos en cada trabajo analizado para a partir de ello, darle una puntuación a cada trabajo y de esta manera seleccionar a las de mayor puntaje, teniendo en cuenta el tipo de efluente al cual están enfocados, y así finalmente generar un planteamiento de tratamiento de las aguas residuales de curtiembre.

Por lo mencionado, es necesario aplicar un procedimiento. El procedimiento realizado para la elaboración de mapas fue con el uso de softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como QGis o Google Earth, consistió en utilizar la

información recolectada de las diversas entidades contenida en la base de datos y utilizarla en formato shape ya sea vectorial o ráster, lo que permitió la elaboración de diferentes mapas y el análisis a partir del mismo. Por otro lado, para la consolidación de la información recopilada mediante la búsqueda de diversos estudios, se ha utilizado como la matriz de registro de datos, en donde se ha colocado datos importantes de las tesis o investigaciones, como los autores, año de publicación, país de origen, un breve resumen, el objetivo de la investigación, métodos de tratamiento aplicados, los parámetros de medición y las conclusiones que obtuvieron los estudios, organizando la información seleccionada para tener una idea más clara de cada trabajo (Ver Anexo E).

Luego de registrar los datos en la matriz de registro de datos por el tipo de efluente donde se enfocaba cada trabajo analizado, se procedió aplicar el instrumento 1 (Ver Anexo F), donde se elaboraron tablas para clasificar a los trabajos de acuerdo al tipo de efluente analizado en los estudios (Ver Tabla 4) y en base a lo obtenido, se realizó un análisis de frecuencias relativas y absolutas a fin de conocer los efluentes con mayor incidencia de investigación en los estudios analizados (Ver Tabla 5). En base a la información de la Tabla 4 se procedió a elaborar la Tabla 6, que permitió identificar los efluentes más analizados en las investigaciones resaltando 4 tipos de efluentes: Remojo, Pelambre, Curtido y Efluente Total, este último haciendo referencia a más de un proceso o etapa de una curtiembre que implica realizar o proponer una serie de tratamientos que en conjunto buscan reducir las elevadas concentraciones de ciertos parámetros que contenga dicho efluente.

Posterior a ello, se identificó en base a la aplicación del Instrumento 1 los datos de cada parámetro con los que contaba dicho estudio (Ver Tabla 7). Se tuvo en cuenta

para su consideración que el parámetro sea objeto del presente trabajo y que dicho parámetro se encuentre cuantitativamente tanto pre-aplicado como post-aplicado el tratamiento propuesto en cada investigación. Asimismo, destacar que ciertos trabajos se enfocaron en más de un tratamiento debido a que consideraron necesario analizar distintos efluentes de una curtiembre de manera separada, por lo que algunos se consideraron en más de una ocasión, ya que cada parámetro va a depender del efluente donde se analice.

Posteriormente, se realizó un análisis de frecuencias relativas y absolutas de los parámetros analizados en cada trabajo (Ver Tabla 8) y se expresó por tipo efluente en un gráfico de barras (Ver Figura 4) a fin de visualizar de modo más preciso cuáles eran los parámetros más analizados en los trabajos escogidos y en qué tipo de efluente se consideran mayormente. Además de lo mencionado, se aplicaron los diagramas de cajas y bigotes (Ver Anexo J), a fin de saber y corroborar mediante análisis estadístico, el rango de las concentraciones iniciales en cada parámetro analizado, considerando para ello el tipo de efluente (Ver Tabla 9).

Después, en base a los datos proporcionados por el análisis de los trabajos seleccionados, se extrajo en una matriz los tratamientos físico químicos aplicados en cada estudio (Ver Figura 5), clasificándolos por el tipo de efluente donde eran propuestos, para contrastar los tipos de tratamientos con los que se trabajaba en cada estudio y poder analizar los tratamientos más comunes en cada tipo de efluente. Posteriormente se analiza las frecuencias de los tratamientos propuestos por todos los estudios con el objetivo de conocer los tratamientos más utilizados y en qué tipo de efluente se aplican (Ver Tabla 10 y Figura 6).

Luego de ello, se aplicaron los instrumentos 2 y 3 (Ver Anexos G y H), para lo cual se elaboraron tablas tomando como referente los parámetros cuantitativos encontrados al aplicar el instrumento 1. Primero, a partir de la Tabla 7, se compararon los valores numéricos con los VMA y LMP, a fin de clasificarlos como “SI”, en caso cumplan o “NO”, si no se cumplieran con el límite establecido en la normativa, y en base a los datos numéricos se realizaron cálculos de la eficiencia de cada estudio considerando los parámetros obtenidos (Ver Tabla 11), para lo cual se aplicó la siguiente fórmula:

### **Fórmula 1**

*Eficiencia de Tratamiento en porcentaje*

$$Efic. (\%) = \left[ \frac{(\text{Parámetro pretratamiento} - \text{Parámetro postratamiento})}{\text{Parámetro pretratamiento}} \right] \times 100$$

Realizada la comparación, tanto por eficiencia como por cumplimiento de los VMA y LMP, se procedió aplicar el instrumento 4 (Ver Anexo I), a fin de efectuar una valoración a cada trabajo analizado en base al tipo de efluente, lo que permitió escoger aquellos estudios con los mejores resultados y con mayores eficiencias. La valoración se realizó tomando en consideración una calificación en base a cuatro criterios: Cantidad de parámetros evaluados en el estudio (por cada parámetro evaluado se le otorgó 1 punto), Escala de eficiencias que se describe en la Tabla 1 (cada parámetro con una eficiencia mayor a 95% se le brindó 1 punto), y Cantidad de “SI” restada con la cantidad de “NO” para los parámetros que cumplían y no cumplían con los VMA y LMP respectivamente, donde el resultado podría salir negativo o positivo (Ver Tabla 12).

**Tabla 1**
*Escala de eficiencia de Categorización de Aguas Residuales por Proceso de Tratamiento*

<b>Escala</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
Excelente (E)	> 95
Bueno (B)	75- 94
Moderado (M)	50- 74
Pésimo (P)	< 50

*Nota:* Los rangos se encuentran en porcentaje (%) de eficiencia de remoción.

*Fuente:* Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg- CCME (2006).

Además, de acuerdo a la valoración realizada en base a los criterios mencionados, se escogieron las tesis con las mayores calificaciones, procurando que al menos exista una por cada tipo de efluente; para luego realizar un análisis de sus parámetros tanto antes como después de aplicado el tratamiento propuesto, y así se seleccionó 5 estudios. Para los estudios escogidos se elaboró gráficos de barras se compararon por efluente y por parámetro, las concentraciones que tenían pre y post tratamiento, así como comparar las concentraciones de los parámetros post tratamiento con los VMA y LMP, para corroborar si cumplía con las normas peruanas, al igual que la eficiencia en cada parámetro de los estudios (Ver desde Figura 7 a 14).

Finalmente, se realizó una matriz (Ver Figura 15) con el propósito de detallar los tratamientos aplicados en las tesis con mejores puntuaciones, así como los parámetros analizados en cada tratamiento, con el propósito de elaborar una propuesta que englobe a los tratamientos de las tesis seleccionadas en un solo sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre (Ver Figura 16). Esta propuesta de tratamiento buscó ser lo más acorde a la realidad por lo que se tomó la información de una empresa de curtiembre de Trujillo y el dimensionamiento del sistema, así como los costos operativos se mencionan en el Anexo L y los planos en el Anexo M.

En relación a la validez y confiabilidad de los instrumentos aplicados, los instrumentos 1 al 4 (Anexo F al I) al ser matrices de registro simple no necesitaron ser validados por expertos. Asimismo, los instrumentos legales de los LMP y VMA (Anexos C y D) están validados por los Decretos Supremos amparados en la normativa peruana.

Para analizar la información una vez aplicados los instrumentos previamente mencionados, se procedió a analizar la información obtenida con ayuda de una versión libre de hoja de cálculos que permite realizar la ejecución y desarrollo del proyecto con gráficos, tablas, entre otras aplicaciones que facilitan y contribuyen a la correcta organización y análisis del estudio presentado.

En relación al aspecto de la estadística, se utilizó el software IBM SPSS (versión libre), cuya finalidad en el presente trabajo ha sido aplicar las distintas herramientas y cálculos estadísticos que proporcionen mayor confiabilidad y seguridad de los datos analizados, específicamente se ha aplicado estadística descriptiva para el análisis de frecuencias relativas y absolutas, así como también estadística no paramétrica como el análisis de cajas y bigotes, que ha permitido un mejor análisis de los datos presentados. Además, para la elaboración de diagramas como en la Figura 29 se utilizó la aplicación de diseño Figma (versión libre), así como para los planos del Anexo M estos fueron elaborados con una versión libre de AutoCAD 2020.

Por último, en relación a los aspectos éticos de la investigación, la presente tesis respetó los resultados obtenidos por los diferentes autores que han sido seleccionados para el análisis de sus datos, así como los derechos de autoría y propiedad intelectual que corresponden a los mismos. Asimismo, los resultados obtenidos del análisis de los trabajos revisados fueron respetados entendiendo el rigor que amerita el estudio, y por

tanto no se realizaron alteraciones o modificaciones de los resultados que se obtengan. Además, se respetó la metodología de búsqueda de información, para así generar resultados que sean confiables y que tengan validez para futuros estudios. Para el dimensionamiento de la propuesta se usó la información de una empresa privada del sector curtido de la provincia de Trujillo, respetando los datos brindados y la ética de la información.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para el resultado del objetivo general, que consiste en el análisis de los diversos tratamientos de aguas residuales de curtiembre antes de ser vertidos en el sistema de alcantarillado tomando como base resultados de los diversos trabajos de investigación, se encontró que los autores tuvieron diversos objetivos de estudio, lo que conllevó a que aplicaran diversos tratamientos, con el fin por ejemplo de reutilizar agua como en los estudios de Galiana (2010), Pardo (2016) y Tayupanda (2010); o recuperación de insumos como para los estudios de Ortiz (2013) o Abdulla et al. (2010). Otros estudios se enfocaron en aplicar tratamientos que en conjunto generen un sistema de tratamiento para diversos efluentes como Castillo y López (2018), Cerón (2011), Martínez (2016), Ganoza y Panduro (2010) o Portada (2016). Además, en los tratamientos se trató reducir las concentraciones de los parámetros utilizando insumos en su mayoría químicos como Imran et al. (2011), Abdulla et al. (2010), Córdova (2014), Mella (2013) o Montoya y Silencio (2017).

**Tabla 2**

*Análisis de los tratamientos físico-químicos en aguas residuales de curtiembre de los estudios*

N°	Autor(es)	Objetivo	Tratamientos	Conclusión
1	Galiana, A.	Obtener agua que pueda reutilizarse como agua de alimento al proceso.	*Filtración (pelo) *Reutilización *Coagulación- Floculación *Sedimentación *Precipitación Química	El agua residual total una vez aplicada la reutilización es sometida a un tratamiento físico-químico donde obtiene reducción de 44.2% en DQO, 99% de Cr <sup>+3</sup> y 28.5% en SST.
2	Pardo, A.	Diseñar una instalación para tratar el efluente de remojo y reutilizarla en la misma etapa.	*Coagulación- Floculación *Precipitación *Sedimentación *Reutilización	Mediante la reutilización del agua residual tratada se disminuye la cantidad de agua consumida para remojo en un 50%.
3	Imran et al.	Tratar muestras de aguas residuales de curtiembre con coagulantes químicos para inmovilizar en forma de flóculos usando alginato de sodio.	*Coagulación- Floculación	La dosis óptima resultó 5 g/L a pH de 7 para reducción máxima de todos los parámetros. El sulfato de aluminio amonio fue el insumo con más eficiencia. Las concentraciones de cromo después del tratamiento se redujeron.
4	Aregu et al.	Identificar y evaluar la capacidad de los adsorbentes de piedra pómez y escoria para la remoción de contaminantes de los efluentes de curtiembre en Addis Abeba.	*Adsorción física	Tanto la escoria como la piedra pómez tienen una capacidad potencial para tratar las aguas residuales de curtiembre. La más eficiente resulta la escoria para reducir los contaminantes peligrosos.
5	Abdulla et al.	Recuperar Cr <sup>+3</sup> utilizando cal y polvo de cemento.	*Precipitación química	La combinación entre precipitación química y biológica reduce cromo de curtido.

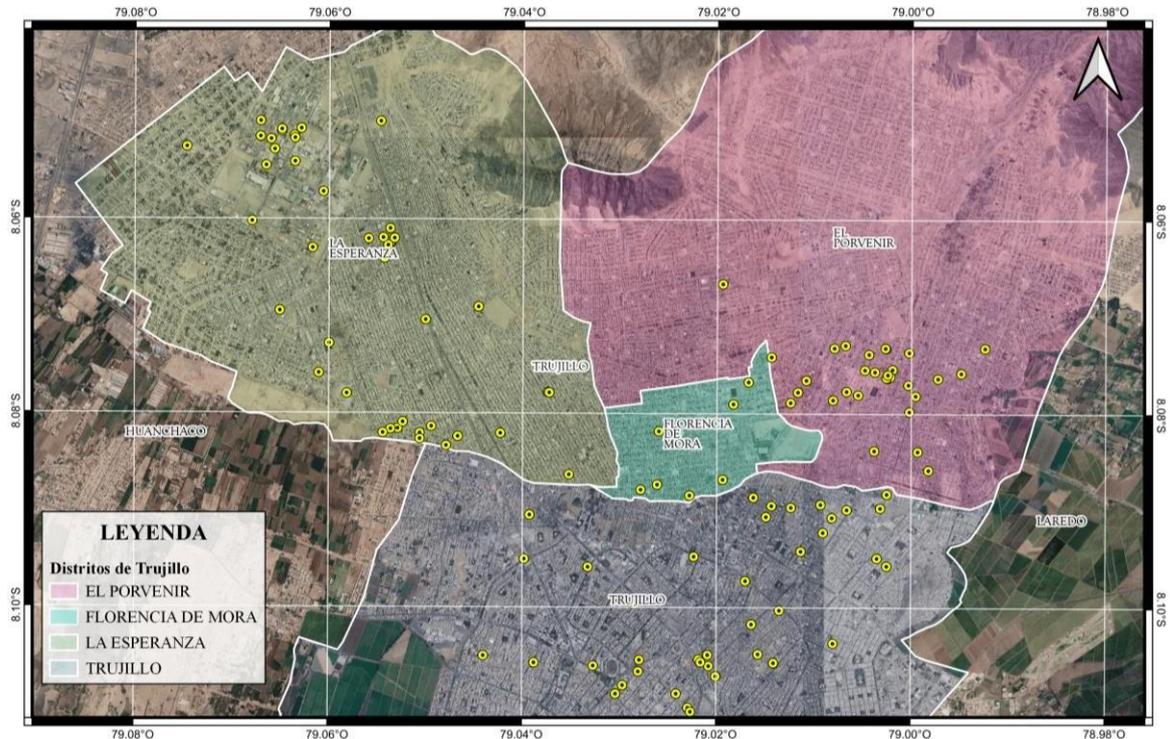
N°	Autor(es)	Objetivo	Tratamientos	Conclusión
6	Martínez, J.	Diseñar una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales en la Empresa Curtiembre Aldas.	*Trampa de grasas *Decantación *Filtración *Oxidación *Precipitación Química *Homogenización *Coagulación- Floculación *Sedimentación.	Se eliminaron los contaminantes más tóxicos como sulfuros y cromo, para luego aplicar el tratamiento propuesto que logró reducir DQO en 92%, DBO <sub>5</sub> en 92%, SST en 95.38%, sulfuros en 99.67% y cromo en 95.57%.
7	Tayupanda, S.	Diseñar un sistema de tratamiento de agua residual en el proceso de pelambre para su reutilización, en la curtiembre pieles "PUMA".	*Filtración *Decantación *Reutilización	Reducción del DQO en 91% y los SST en 94%. El agua reusada es posible reciclarla hasta en 3 ocasiones, ya que a partir del cuarto reciclo la calidad del cuero es afectada.
8	Cerón, P.	Desarrollar un sistema físico-químico para tratar aguas residuales cuya aplicación sea factible, consiguiendo disminuir los riesgos ambientales y a la salud humana.	*Coagulación- Floculación *Aireación *Neutralización *Precipitación Química *Sedimentación *Filtración	Se obtuvieron valores para la remoción de sulfuro en 99%, cromo en 98%, materia orgánica alrededor del 70% y SST de 66%, donde se buscó optimizar el tiempo de sedimentación por filtración.
9	Ortiz, N.	Evaluar el porcentaje de recuperación de cromo (Cr) de las aguas residuales del proceso de curtido de la curtiembre San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente.	* Filtración *Precipitación *Floculación *Recuperación	Redujo los parámetros evaluados dentro de los límites permisibles, y obtuvo que la proporción ideal de cromo industrial y sal de cromo era de 60% a 40% sin afectación a la calidad del cuero, además la inversión sería recuperable en 2 años.
10	Guevara et al.	Reducir la concentración de cromo presente en efluentes líquidos de curtiembre, hasta valores menores a los requeridos por la normativa ambiental vigente para descargas.	* Precipitación Química *Sedimentación *Recuperación *Adsorción	Se redujeron los parámetros de cromo en un 90% (10mg/L) y neutralizó el pH entre 6-7, con precipitantes de MgO, CaO, y uso de carbón activado permitió estabilizar el pH y eliminar el 40% de cromo remanente.
11	Portada, A.	Desarrollar un sistema de tratamiento mediante procesos físico-químicos para aguas residuales de curtido de una curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno.	*Coagulación- Floculación *Oxidación Química *Adsorción *Precipitación Química	El tratamiento de coagulación- floculación con sulfato de alúmina remueve 98% de los ST en aguas de remojo, además con oxidación de sulfuros en pelambre con MnSO <sub>4</sub> remueven 91% y la precipitación en las aguas de curtido con NaOH remueve ST y Cr <sup>+3</sup> en 96% y 73%.
12	Castillo, M. y López, J.	Implementar mejoras en el sistema de tratamiento en efluentes de la Curtiembre Rolemt para dar cumplimiento a los VMA de los parámetros del D.S. N°021-2015 VIVIENDA.	* Trampa de Grasas *Aireación *Sedimentación	La trampa de grasa se aplicó para el efluente de descarnado, y las pozas de aireación y sedimentación para el caudal total, cumpliendo los VMA exigidos con eficiencias superiores al 90% a excepción del N Amoniacal que tuvo una eficiencia de 86.18%
13	Córdova, H.	Reducir la emisión del cromo al ambiente proveniente del proceso de curtido, sin alteración de la calidad del producto final mediante el uso de complejantes y basificantes de cromo en el proceso de curtido.	*Absorción *Precipitación Química	El uso de acomplejantes y basificantes reduce las emisiones de cromo del proceso de curtido, asimismo mejora la eficacia en el proceso y la calidad final del cuero no se ve alterada, además el proceso de precipitación con NaOH tiene eficiencias de hasta el 100%.
14	Ganoza, J. y Panduro, E.	Propone reducir en una curtiembre localizada en el distrito El Porvenir, la carga contaminante de efluentes líquidos.	*Filtración (rejas) *Homogenización *Coagulación- Floculación *Decantación	Se usó como coagulante al FeCl <sub>3</sub> y Ca(OH) <sub>2</sub> , concluyendo que el pH debe ser monitoreado para que el cromo precipite a pH 8 y reducir la carga contaminante de la curtiembre.
15	Castro, E. y Jave, E.	Minimizar la concentración de Cr <sup>+3</sup> en efluentes de curtido de pieles con hidróxido de calcio.	*Precipitación Química	Los efluentes de curtido superan los 3699 ppm en Cr <sup>+3</sup> , y con la aplicación de NaOH como precipitador tiene eficiencias de hasta 99.85%.
16	Agreda, A. y Domínguez, T.	Determinar si con un análisis del proceso de Oxidación Química en base a sus condiciones iniciales, concentración de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> influyen en la remoción de DBO <sub>5</sub> de efluentes pretratados.	*Coagulación- Floculación *Oxidación Química	El pre tratamiento de coagulación- floculación removió una gran cantidad de sólidos del efluente.
17	Contreras, S. y Salvador, K.	Evaluar con el uso de ácido fórmico, acético y cítrico, cómo influyen el pH y tiempo de aireación en el % de remoción de sulfuros del efluente de pelambre.	*Aireación *Lavado de gas *Precipitación	Los ácidos varían por su costo y disponibilidad, eligiéndose al ácido fórmico en base al pH, pues a más ácido hay mayor remoción. Aunque no se cumple con los VMA, el efluente combinado con otros procesos sí cumple.

N°	Autor(es)	Objetivo	Tratamientos	Conclusión
18	Gordillo, G. y Toledo, C.	Aplicar el uso de Técnicas Ambientales de Producción Más Limpia (PML) para las industrias de Curtiembre.	* Sedimentación *Oxidación *Adición Química *Precipitación Química *Acidulación *Recuperación	*Precipitación y reacidulación de Cr <sup>+3</sup> en la descarga de curtido recupera 99.95% de Cr. Reduce 99.83% de DQO. Además, es factible reutilizar Cr como sulfato básico en el curtido, *La oxidación reduce en 64% sulfuros.
19	Ramos, M.	Aplicar el método de contacto con uso de lechuguin para reducir la concentración de curtición.	*Filtración	Con el proceso de filtración para pelambre se redujo DQO en 37.16% y sólidos sedimentables en 97.8%.
20	Morocho, M.	Evaluar métodos químicos, back flock, EM1, EMAs y terra flock para tratar efluentes industriales en una curtiembre de la ciudad de Cuenca.	*Coagulación- Floculación	El tratamiento físico- químico reduce Cr, DBO <sub>5</sub> y DQO. Cuando contrasta el tratamiento de EMAs con EM1 se observa que no existe una diferencia entre los microorganismos capturados y comerciales.
21	Mella, B.	Remoción de cromo de curtido por precipitación y electrocoagulación con la adición de alcalí para oxidación y reducción de ánodos del metal.	* Precipitación Química	En las pruebas de precipitación química se observó una eficiente remoción de cromo hasta 99.7%, donde tuvo post tratamiento una concentración de 5.3 mg/L de Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .
22	Geromel, C.	Reducir la carga de compuestos azufrados, carga orgánica y sólida y sólidos remanentes en el efluente en la etapa de ultrafiltración por membrana.	*Coagulación- Floculación *Sedimentación	El tratamiento propuesto mostró una buena remoción de sulfuros y sólidos en suspensión (62% y 96%), sin embargo, no fue muy efectivo en remoción de DBO <sub>5</sub> y DQO con 39% y 50% respectivamente.
23	Montoya, C. y Silencio, K.	Evaluar cómo influye el pH, la concentración de Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y FeCl <sub>3</sub> , y floculantes en la remoción de SS y sulfuros de pelambre para la curtiembre "Ecológica del Norte S.A."	*Coagulación- Floculación	El pH óptimo resultó 9, así como con una concentración de 7000 mg/L de FeCl <sub>3</sub> y floculante aniónico de 50 mg/L se removió turbidez de 82.2%, ST de 65.7%, SS de 95.46%, DQO en 98.4% y Sulfuros en 99.8%.

Para el primer objetivo, el análisis mediante los SIG muestra la relación que existe entre las empresas de curtiembre, las PTAR y el sistema alcantarillado en la provincia de Trujillo. Sobre las empresas de curtiembre, de los 11 distritos que comprenden la provincia, en base al Banco Central de Reserva del Perú (2019, p. 11) existe más cantidad de Población Económicamente Activa (PEA) del sector cuero y calzado en El Porvenir (23.1%), seguido de Trujillo (7.2%), Florencia de Mora (3.6%) y La Esperanza (2.3%). En la Figura 2 se aprecia que los principales distritos de la provincia de Trujillo con mayor cantidad de curtiembres se encuentran en La Esperanza, El Porvenir, Trujillo y Florencia de Mora, coincidiendo ser los mismos distritos con mayor PEA en la provincia.

**Figura 2**

*Ubicación de las curtiembres de los principales distritos de la provincia de Trujillo*

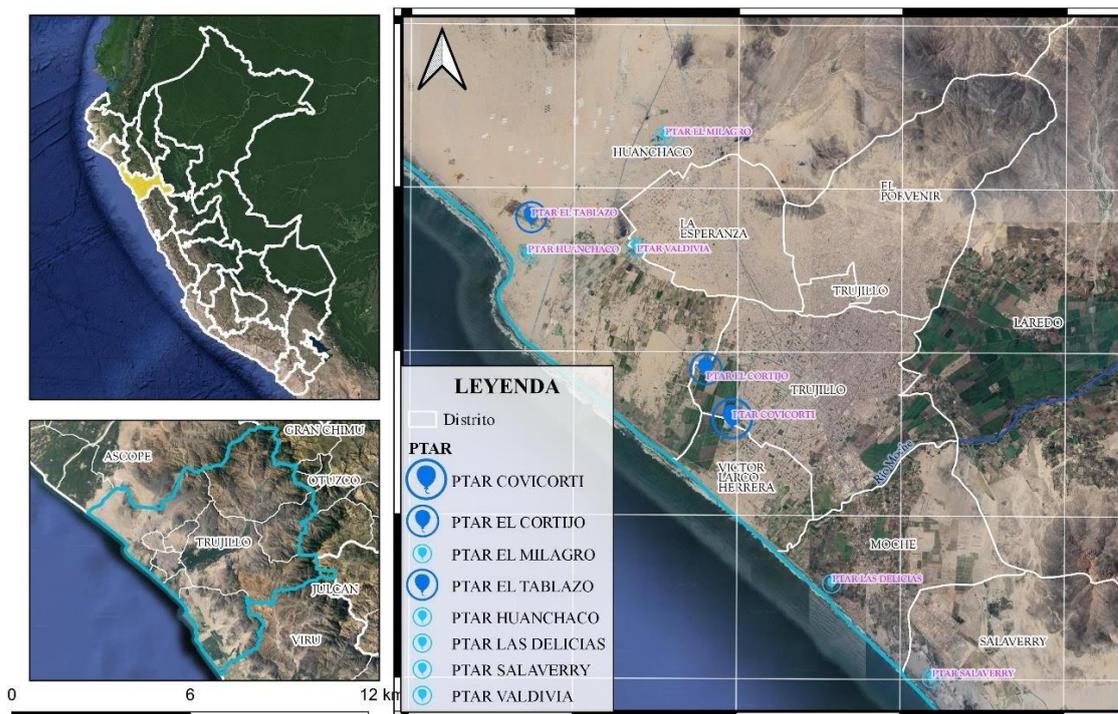


*Nota:* La figura muestra de modo general la ubicación de las curtiembres en los principales distritos de Trujillo. Fuente: Silva, J. (2011) y Sánchez, D. (2018).

Respecto al suministro de agua y alcantarillado este es operado por la EPS SEDALIB donde la provincia de Trujillo cuenta con 8 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), siendo el distrito de Huanchaco quien tiene mayor cantidad de plantas de la provincia con 4 PTAR. En la Figura 3, se indica la ubicación de las PTAR y su caudal de tratamiento, siendo las de mayor capacidad Covicorti (400.28 L/s) y El Cortijo (59.21 L/s) ubicadas en el distrito de Trujillo (SEDALIB S.A., 2017).

**Figura 3**

*Mapa de ubicación de las PTAR de la provincia de Trujillo.*



Fuente: SEDALIB S.A. (2017).

En la tabla siguiente se muestra la relación entre las PTAR, cuencas de alcantarillado y las curtiembres de los distritos pertenecientes a la provincia de Trujillo, donde el sistema de alcantarillado está dividido en 8 cuencas: Covicorti, El Cortijo, El Milagro, Huanchaco, Las Delicias, El Tablazo, Salaverry y Valdivia (SEDALIB S.A., 2018). Se observa que hay presencia de curtiembres en los distritos de Trujillo, Florencia de Mora, El Porvenir, Víctor Larco Herrera, La Esperanza, Huanchaco y Moche perteneciendo a una o más cuencas que tienen como referencia la PTAR de destino (Ver figuras del Capítulo II de la propuesta). Asimismo, Huanchaco y Víctor Larco Herrera son los distritos con mayor tratamiento (100%), que consiste en tratamientos secundarios que son aplicados en todas las PTAR. Además, se observa que el mayor número de curtiembres se concentra en el distrito de La Esperanza y en menor cantidad en el distrito de Moche.

**Tabla 3**
*Relación entre las PTAR, curtiembres y sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo*

Distrito	Cuenca de alcantarillado	PTAR destino por cuenca	% Tratamiento AR	Tratamientos	N° Curtiembres
Trujillo	Covicorti	Covicorti	43.2 *	* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas * Lagunas Facultativas	27
	El Cortijo	El Cortijo		* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas Lagunas Facultativas	
El Porvenir	Covicorti	Covicorti	* *	* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas Lagunas Facultativas	28
	El Tablazo	El Tablazo	45.23	* Cámara de rejas gruesas * Cámara de rejas finas * Desarenador * Lagunas Anaerobias * Lagunas Facultativas	
Víctor Larco Herrera	Covicorti	Covicorti	100	* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas * Lagunas Facultativas	4
Florencia de Mora	El Cortijo	El Cortijo	49.97	* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas * Lagunas Facultativas	10
	El Tablazo	El Tablazo		* Cámara de rejas gruesas * Cámara de rejas finas * Desarenador * Lagunas Anaerobias * Lagunas Facultativas	
La Esperanza	Valdivia	Valdivia	44.81	* Lagunas Facultativas	40
	El Cortijo	El Cortijo		* Cámara de rejas gruesas * Lagunas Aireadas * Lagunas Facultativas	
Huanchaco	El Milagro	Sector El Milagro	100	* Lagunas Facultativas	4
	Huanchaco	Huanchaco		* Lagunas Facultativas	
	Valdivia	Valdivia		* Lagunas Facultativas	
	El Tablazo	El Tablazo		* Cámara de rejas gruesas * Cámara de rejas finas * Desarenador * Lagunas Anaerobias * Lagunas Facultativas	
Moche	Moche	Las Delicias	88.15	Sin información	3
Salaverry	Salaverry	Salaverry	100	* Lagunas Facultativas	0

*Nota:* No se consideró los distritos de Poroto, Laredo y Simbal al no tener empresas de curtiembre.

Fuente: SEDALIB S.A. (2018) / SEDALIB S.A. (2015, p. 23) / SUNASS (2021, p. 83) / CITEccal Trujillo (2022).

Respecto al segundo objetivo, la Tabla 4 muestra la identificación de las etapas y procesos de curtiembre con mayor incidencia para analizar la caracterización de efluentes en los parámetros de Aceites y Grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo VI, Cromo Total y pH, así como los tratamientos físico- químicos propuestos en las investigaciones revisadas. En la tabla se muestra las etapas y procesos de curtiembre de cada estudio, donde de las 23 investigaciones, 11 están enfocadas en la etapa de Ribera, siendo Pelambre el proceso más analizado con 10 estudios. En la etapa de Curtido se enfocaron 12 estudios, de los cuales todos analizaron el proceso de curtido. Respecto a la etapa de Post Curtido, solo 2 estudios analizaron esta etapa. En la etapa de Acabado no se encontraron investigaciones y en la etapa de mezcla final o Total, se enfocaron 9 estudios. Los procesos con mayor enfoque de análisis resultaron ser los efluentes de Remojo con 6 estudios, Pelambre con 10 estudios, Curtido con 12 estudios y el Total con 9 estudios.

**Tabla 4**
*Efluentes de las etapas y procesos de curtiembre en donde los estudios han aplicado tratamientos físico- químicos para aguas residuales de curtiembre*

N°	AUTOR	E. Ribera		E. Curtido			E. Post curtido		E. Acabado	E. Total
		Remojo	Pelambre	Desencalado	Piquelado	Curtido	Recurtido	Engrasado	Acabado	
1	Galiana, A.	X	X	X	X	X	X	X	-	X
2	Pardo, A.	X	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Imran et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
4	Aregu et al.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
5	Abdulla et al.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
6	Martinez, J.	X	X	X	X	X	-	X	-	X
7	Tayupanda, S.	-	X	-	-	-	-	-	-	-
8	Cerón, P.	X	X	-	-	X	-	-	-	-
9	Ortiz, N.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
10	Guevara et al.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
11	Portada, A.	X	X	-	-	X	-	-	-	-
12	Castillo, M. y López, J.	X	X	X	X	X	-	-	-	X
13	Córdova, H.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
14	Ganoza, J. y Panduro, E.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
15	Castro, E. y Jave, E.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
16	Agreda, A. y Dominguez, T.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
17	Contreras, S. y Salvador, K.	-	X	-	-	-	-	-	-	-
18	Gordillo, G. y Toledo, C.	-	X	-	X	X	-	-	-	-
19	Ramos, M.	-	X	-	-	-	-	-	-	-
20	Morocho, M.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
21	Mella, B.	-	-	-	-	X	-	-	-	-
22	Geromel, C.	-	-	-	-	-	-	-	-	X
23	Montoya, C. y Silencio, K.	-	X	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>9</b>

*Nota:* Las etapas y procesos han sido clasificados de acuerdo a lo dispuesto por Gallego (2011) y ordenados teniendo como referencia los estudios escogidos en la presente investigación.

En la Tabla 5, se presenta un análisis estadístico de frecuencias relativas y absolutas de los efluentes identificados previamente, a fin de realizar un análisis del tipo de efluentes que comúnmente son escogidos como fuente de investigación. Se obtuvo que el efluente más estudiado fue el proveniente del proceso de curtido con 12 estudios, es decir el 25.5% del total de los estudios seleccionados, seguido a ello se encontró que el efluente total registro el 19.1%, de los estudios enfocados en ese tipo de efluente, asimismo los estudios enfocados en remojo y pelambre representaron 12.7 % y 21.2 % de los trabajos enfocados en algún tipo de efluente.

**Tabla 5**

*Análisis estadístico de las frecuencias de los efluentes por procesos identificados en los estudios que han realizado tratamientos en las aguas residuales de curtiembre.*

Proceso de Análisis	Frecuencia Relativa	Frecuencia Absoluta	Porcentaje (%)
Remojo	6	0.128	12.77
Pelambre	10	0.213	21.28
Desencalado	3	0.064	6.38
Piquelado	4	0.085	8.51
Curtido	12	0.255	25.53
Recurtido	1	0.021	2.13
Engrasado	2	0.043	4.26
Acabado	0	0.000	0.00
E. Total	9	0.191	19.15
<b>Suma Total</b>	<b>47</b>	<b>1.00</b>	<b>100.00</b>

*Nota:* Las etapas y procesos han sido clasificados de acuerdo a lo dispuesto por Gallego (2011) y de acuerdo a ello se han analizado e identificado cuales son más comunes en los estudios seleccionados.

En la Tabla 6, se muestra los 4 principales procesos de curtiembre en donde los 23 estudios realizaron tratamientos de tipo físico- químicos. El principal proceso analizado es el curtido (Etapa Curtido) con el 38.46% de los estudios. El segundo efluente más analizado corresponde al proceso de Pelambre (Etapa Ribera) con 23.08% estudios y el tercero corresponde al proceso de Remojo (Etapa Ribera) con 7.69% estudios. Cabe mencionar que para el efluente total se analizaron 30.77% de los estudios. Esta tabla será utilizada como base para los análisis de la presente tesis.

**Tabla 6**

*Principales efluentes por procesos de los estudios cumplen con los criterios de caracterización considerados en la presente investigación para aguas residuales de curtiembre*

Nº	AUTOR	REMOJO	PELAMBRE	CURTIDO	TOTAL
1	Galiana, A.	-	-	X	-
2	Pardo, A.	X	-	-	-
3	Imran et al.	-	-	-	X
4	Aregu et al.	-	-	-	X
5	Abdulla et al.	-	-	X	-
6	Martinez, J.	-	-	-	X
7	Tayupanda, S.	-	X	-	-
8	Cerón, P.	X	X	X	-
9	Ortiz, N.	-	-	X	-
10	Guevara et al.	-	-	X	-
11	Portada, A.	-	X	X	-
12	Castillo, M. y López, J.	-	-	-	X
13	Córdova, H.	-	-	X	-
14	Ganoza, J. y Panduro, E.	-	-	-	X
15	Castro, E. y Jave, E.	-	-	X	-
16	Agreda, A. y Dominguez, T.	-	-	-	X
17	Contreras, S. y Salvador, K.	-	X	-	-
18	Gordillo, G. y Toledo, C.	-	-	X	-
19	Ramos, M.	-	X	-	-
20	Morocho, M.	-	-	-	X
21	Mella, B.	-	-	X	-
22	Geromel, C.	-	-	-	X
23	Montoya, C. y Silencio, K.	-	X	-	-
	<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8</b>

*Nota:* Los criterios considerados son que la investigación debe tener caracterización inicial y final de los efluentes y de los parámetros contemplados en esta tesis, así como realizar tratamientos físico- químicos.

En la Tabla 7 se realizó las caracterizaciones de los efluentes por proceso de cada trabajo revisado antes y después de ser tratados, teniendo en consideración los parámetros evaluados en el presente estudio y que se encuentren analizados tanto antes de aplicado el tratamiento como después de realizado el tratamiento, teniendo en consideración lo mencionado en la Tabla 6. Se observa que el parámetro de DQO presenta la mayor concentración para el efluente del proceso de remojo con más de 10000 mg/L, los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub> y sulfuros son más frecuentes en el efluente de pelambre, Cromo Total es el de mayor presencia en el efluente de curtido, y para el efluente total los parámetros de Cromo Total y DQO son los de mayor presencia.

**Tabla 7**

*Caracterización del efluente pre y post tratado de los trabajos de investigación escogidos para aguas residuales de curtiembre*

N°	Autor	Efluente	AyG (mg/L)		DBO <sub>5</sub> (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)		Sulfatos (mg/L)		Sulfuros (mg/L)		Cr <sup>+6</sup> (mg/L)		Cr Total (mg/L)		pH	
			Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
1	Galiana, A.	Curtido	-	-	-	-	6500	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	30	2	8	9
2	Pardo, A.	Remojo	-	-	-	-	10200	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.38	10
3	Imran et al.	Total	-	-	-	-	2000	1825	-	-	1000	380	-	-	-	-	3.19	0.01	8.2	6
4	Aregu et al.	Total	-	-	1081	443.21	12913	5939.98	2426	388.16	1307	326.75	417	95.91	-	-	35.7	11.067	-	-
5	Abdulla et al.	Curtido	-	-	-	-	4190	1000	-	-	-	-	-	-	-	-	2131	21.31	3.6	8
6	Martínez, J.	Total	-	-	7933	635	11128	885	1168	54	1000	41	161.4	2.543	-	-	15.2	0.05	-	-
7	Tayupanda, S.	Pelambre	-	-	26658	3143	38326	3980	32850	1781	-	-	3305	1427	-	-	-	-	12.3	12
8	Cerón, P.	Remojo	-	-	-	-	11812	4898	4340	466.7	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	6.35
8	Cerón, P.	Pelambre y Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	577.82	0.205	-	-	4510	56.2	7.068	7.45
9	Ortiz, N.	Curtido	-	-	1740	91	2988	186	800	0	-	-	-	-	-	-	2470	0.0785	4	7
10	Guevara et al.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5375	5.95	-	-	3.6	6.9
11	Portada, A.	Pelambre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1127.59	96.41	-	-	-	-	-	-
11	Portada, A.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1110.83	41.968	4.48	9.83
12	Castillo, M. y López, J.	Total	10558	45.59	8399	405.58	20443	786.2	44153	345.22	-	-	84.11	4.22	-	-	136.6	6.53	12.33	7.52
13	Córdova, H.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	0	4.35	7.36
14	Ganoza, J. y Panduro, E.	Total	-	-	1362	433	5919	1168	-	-	-	-	153	18	-	-	136	13	9	8.25
15	Castro, E. y Jave, E.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3700	0.4	2.5	9.25
16	Agreda, A. y Domínguez, T.	Total	-	-	4845	195	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	6.5
17	Contreras, S. y Salvador, K.	Pelambre	-	-	-	-	62000	12100	3525	1390	2573	1143	898	28.74	-	-	-	-	12	6.5
18	Gordillo, G. y Toledo, C.	Curtido	-	-	-	-	6050	10	-	-	-	-	-	-	-	-	4442	0.002	3.11	7
19	Ramos, M.	Pelambre	88.37	53.06	4833.33	4422.33	26278.33	16513.67	7756.67	4682.67	815.67	436.67	70.51	53.81	-	-	-	-	12.4	12.34
20	Morocho, M.	Total	-	-	3525	1757	7929	3888	965.5	526	-	-	-	-	-	-	1308.98	70.55	11.29	9.59
21	Mella, B.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000	5.3	4.07	9.98
22	Geromel, C.	Total	-	-	-	-	7010	6355	1960	1240	2000	1540	29	67.9	-	-	-	-	8.81	8.508
23	Montoya, C. y Silencio, K.	Pelambre	-	-	-	-	62296	990.87	10800	490	-	-	881	0.97	-	-	-	-	12.4	9

*Nota: Los guiones significan que ciertos datos pueden no encontrarse en el estudio o no fueron considerados al no presentar concentración post tratamiento. Además, algunas tesis se repiten debido a que se enfocan en más de un efluente.*

Para la Tabla 8 se muestra un análisis estadístico de la frecuencia de los parámetros encontrados en los estudios escogidos, teniendo en cuenta el tipo de parámetro evaluado y basándose en las caracterizaciones realizadas en la Tabla 7. Se halló que el parámetro pH es el más estudiado del total de parámetros encontrados y analizados con 23.4% de los estudios, seguido de la DQO con 18.1%, Cr Total con 16%, sulfuros y sólidos suspendidos totales con 11.7% en ambos casos. Por otro lado, los parámetros menos analizados fueron Aceites y Grasas, Sulfatos y Cr<sup>+6</sup> con menos del 10% de los estudios.

**Tabla 8**

*Análisis estadístico de las frecuencias de la cantidad de parámetros de los trabajos seleccionados para aguas residuales de curtiembre*

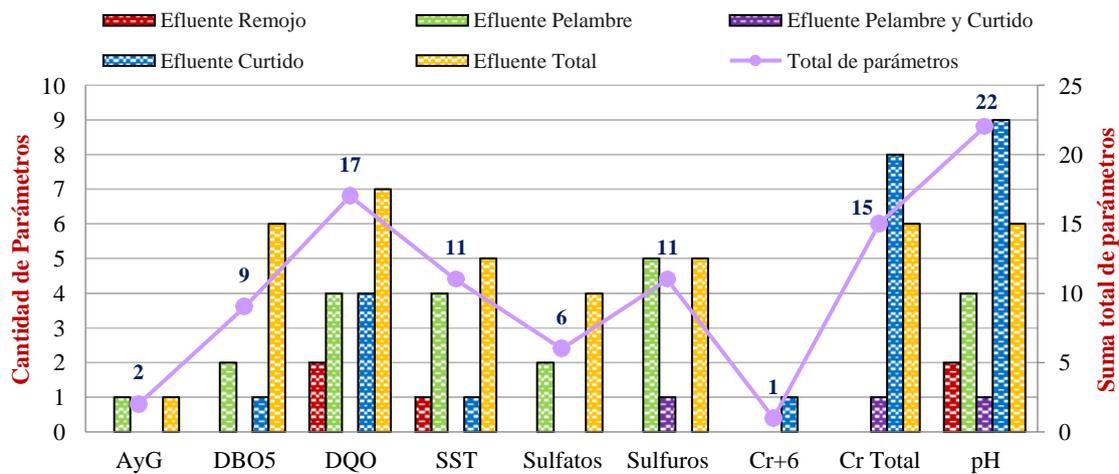
<b>Parámetros</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Absoluta</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
AyG	2	0.02	2.13
DBO <sub>5</sub>	9	0.10	9.57
DQO	17	0.18	18.09
SST	11	0.12	11.70
Sulfatos	6	0.06	6.38
Sulfuros	11	0.12	11.70
Cr <sup>+6</sup>	1	0.01	1.06
Cr Total	15	0.16	15.96
pH	22	0.23	23.40
<b>Total</b>	<b>94</b>	<b>1.00</b>	<b>100.00</b>

En la siguiente figura, se muestra los parámetros encontrados en cada tipo de efluente, donde según la Tabla 7 se puede observar que existen 3 efluentes puros (remojo, pelambre y curtido), así como 2 efluentes mezcla (pelambre y curtido, total), obteniendo un total de 5 efluentes distintos. Se observa que el pH es el parámetro más evaluado, ya que se estudia en los 5 tipos de efluentes, sobre todo en el efluente de curtido y total, además el Cr Total es analizado mayoritariamente en efluentes de curtido y total. Los parámetros de SST y DQO, ambos son analizados en 4 tipos de efluentes en especial en pelambre y total; por otra parte, los sulfuros y sulfatos abarcan

dos efluentes principalmente, los cuales son pelambre y total. Finalmente, el parámetro de DBO<sub>5</sub> se analiza en 3 efluentes siendo el Total donde presenta más estudios, y respecto a Cr<sup>+6</sup> y AyG, el primero está presente en efluentes de curtido mientras que el segundo es más analizado en efluentes de pelambre y total.

**Figura 4**

*Parámetros enfocados por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.*



*Nota:* Cantidad de parámetros encontrados por tipo de efluente identificado en los estudios analizados.

En base a la Figura 4 y el anexo J, se muestra la Tabla 9 con rangos promedios de las concentraciones en cada efluente sin tratamiento, con excepción de remojo y la mezcla de pelambre y curtido por no tener un mínimo 4 datos cuantitativos por efluente. En el análisis estadístico de Cajas y Bigotes se obtuvo la media y la mediana para conocer el rango de las concentraciones iniciales de cada parámetro, resultando la más elevada el parámetro DBO<sub>5</sub> del efluente de pelambre con 47225 mg/L, seguido de los SST del efluente total con 10134.5 mg/L. El parámetro con menor rango de concentraciones iniciales fue el Cr Total con 272.6 mg/L en el efluente total. Además, el pH más ácido se encuentra en el efluente de curtido con 4.1 y el más básico está en el efluente pelambre con un pH de 12.2.

**Tabla 9**

*Análisis estadístico de cajas y bigotes, teniendo en cuenta los parámetros y efluentes de aguas residuales de curtiembre*

Parámetros	Tipos de Efluentes (mg/L)		
	Total	Pelambre	Curtido
Cr Total	86 - 430	-	2066 - 3393
DBO <sub>5</sub>	1292 - 4185	50163 - 62222	5120 - 6388
DQO	5919 - 7929	-	-
pH	8.6 - 9.5	12.35 - 12.4	4 - 4.42
SST	1960 - 23290	4583 - 9278	-
Sulfatos	1000 - 1154	-	-
Sulfuros	153 - 289	476 - 898	-

*Nota:* Los espacios con guion indican que no se ha conseguido la mínima cantidad (4) de datos cuantitativos para aplicar la estadística mencionada.

Debido a los altos rangos de concentraciones iniciales de los parámetros vistos en la tabla anterior, es necesario aplicar un tratamiento para los diferentes efluentes de curtiembre a fin de reducir el nivel de concentraciones, por ello en la Figura 5 se muestra una matriz con los tratamientos físico- químicos que se han propuesto para todos los efluentes de los diversos procesos de los estudios revisados. Los resultados dan a conocer que el tratamiento más aplicado es el de precipitación química, siendo más aplicado en el proceso de curtido, además el segundo tratamiento más común es coagulación- floculación, por otro lado, los menos estudiados se enfocan en los tratamientos de lavado de gas, absorción y acidulación aplicados solo 1 vez y en casos muy particulares.

**Figura 5**

*Tratamientos físico- químicos aplicados en cada estudio por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.*

N°	Estudios analizados	Efluente				Tratamientos																	
		Remojo	Pelambre	Curtido	Total	Absorción	Acidulación	Adición Química	Adsorción	Aireación	Coagulación- Flocculación	Decantación	Filtración	Homogenización	Lavado de gas	Neutralización	Oxidación Química	Precipitación Química	Recuperación	Reutilización	Sedimentación	Trampa de Grasa	
1	Galiana, A.																						
2	Pardo, A.																						
3	Imran et al.																						
4	Aregu et al.																						
5	Abdulla et al.																						
6	Martinez, J.																						
7	Tayupanda, S.																						
8	Cerón, P.																						
9	Ortiz, N.																						
10	Guevara et al.																						
11	Portada, A.																						
12	Castillo, M. y López, J.																						
13	Córdova, H.																						
14	Ganoza, J. y Panduro, E.																						
15	Castro, E. y Jave, E.																						
16	Agreda, A. y Dominguez, T.																						
17	Contreras, S. y Salvador, K.																						
18	Gordillo, G. y Toledo, C.																						
19	Ramos, M.																						
20	Morocho, M.																						
21	Mella, B.																						
22	Geromel, C.																						
23	Montoya, C. y Silencio, K.																						

Nota: Se han considerado los tratamientos físico- químicos aplicados en los estudios.

En la Tabla 10 se mencionan los tratamientos identificados de los estudios revisados, los cuales se han relacionado con el tipo de efluente donde han sido aplicados, de esa manera se ha obtenido que los efluentes de pelambre y curtido, son donde se han fijado y aplicado la mayoría de tratamientos con 11 estudios cada uno, seguido del efluente total y de remojo; por otro lado, se observó que tratamientos como coagulación-floculación y sedimentación o precipitación química son aplicables en cualquiera de los 4 tipos de efluentes analizados a excepción del efluente total para la precipitación química, mientras que homogenización solo es aplicado en efluentes totales, asimismo tratamientos como aireación son aplicados en cualquiera de los 3 efluentes excepto remojo, por el contrario trampa de grasas que es aplicable solo en remojo.

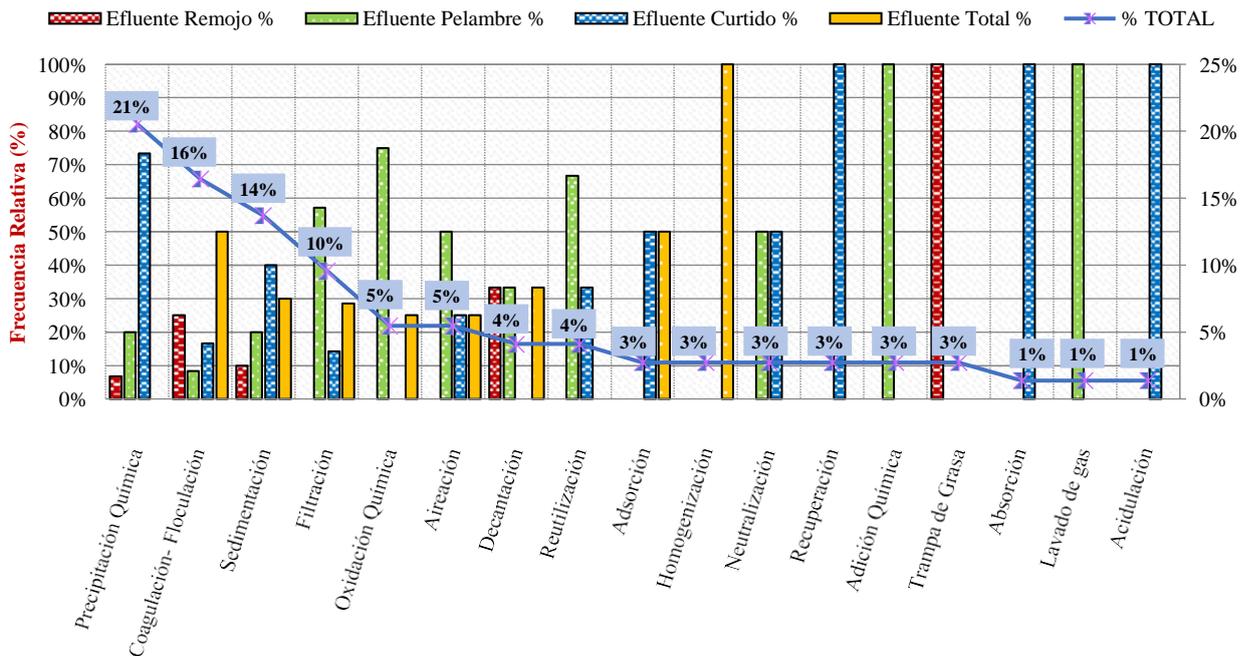
**Tabla 10**
*Tratamientos más empleados en cada etapa y proceso para aguas residuales de curtiembre*

Tratamiento	Ribera		Curtido	Efluente Total
	Remojo	Pelambre	Curtido	
Absorción	-	-	X	-
Acidulación	-	-	X	-
Adición Química	-	X	-	-
Adsorción	-	-	X	X
Aireación	-	X	X	X
Coagulación- Floculación	X	X	X	X
Decantación	X	X	-	X
Filtración	-	X	X	X
Homogenización	-	-	-	X
Lavado de gas	-	X	-	-
Neutralización	-	X	X	-
Oxidación Química	-	X	-	X
Precipitación Química	X	X	X	-
Recuperación	-	-	X	-
Reutilización	-	X	X	-
Sedimentación	X	X	X	X
Trampa de Grasa	X	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>8</b>

Para la Figura 6, se muestra el análisis de frecuencias de cada tratamiento aplicado en los estudios analizados, donde se observa en barras la frecuencia de que cierto tratamiento sea aplicado en ese efluente, mientras que en forma de línea se deduce el porcentaje del total de tesis analizadas que se han enfocado en dicho tratamiento. Obteniéndose que el tratamiento más aplicado resultó ser la precipitación química representando el 21% del total de tratamientos aplicados, además resaltar que se aplicó con mayor incidencia en el efluente de curtido siendo el 73.3% de las veces. Coagulación- Floculación fue el segundo más utilizado con el 16.4% del total de tratamientos, asimismo se aplicó mayormente en el efluente total. Por otro lado, los tratamientos menos empleados resultaron ser absorción, acidulación y lavado de gas, utilizados una sola vez y obteniendo una frecuencia de 1.3%, donde los dos primeros se aplicaron en el efluente de curtido y el último en el efluente de pelambre.

**Figura 6**

*Tratamientos físico- químicos aplicados por tipo de efluente de aguas residuales de curtiembre.*



Para el tercer objetivo, se realiza una evaluación del cumplimiento de los VMA, LMP y las eficiencias de los sistemas de tratamiento de cada estudio en base a las concentraciones iniciales y finales de los parámetros analizados. Para verificar si los tratamientos propuestos cumplen con los VMA y LMP de la normativa peruana para los parámetros que se mencionan (Anexos C y D), así como conocer la eficiencia de cada investigación se presenta la Tabla 11. Para el cumplimiento de estas normativas se tomó como base la Tabla 7 de la caracterización de parámetros de los estudios post tratamiento, donde los resultados muestran que los trabajos como el de Ortiz (2013), Castillo y López (2018) y Montoya y Silencio (2017) presentan todos sus parámetros post tratamiento con cumplimiento de los VMA y LMP.

Para evaluar la eficiencia de los tratamientos, se tomó como base los registros pre y post tratamiento de la Tabla 7, donde se observa que para el parámetro AyG el estudio de Castillo y López (2018) tiene la mayor eficiencia con 99.5%, para DBO<sub>5</sub> la mayor eficiencia es de 99.9% con el tratamiento de Agreda y Domínguez (2018). Respecto al parámetro SST el análisis de Ortiz (2013) obtiene una máxima eficiencia del 100% y de igual forma lo obtiene con el parámetro de Cromo Total. En el parámetro de sulfatos el análisis de Martínez (2016) obtiene la máxima eficiencia con 95.9% y para sulfuros resalta el estudio de Cerón (2011) con 99.9%. Para el parámetro de Cr<sup>+6</sup> el estudio de Guevara et al (2012) remueve hasta un 99.8%. Asimismo, la mayoría obtuvo un pH neutro luego de cada tratamiento aplicado.

**Tabla 11**
*Registro de las eficiencias y cumplimiento de la normativa para aguas residuales de curtiembre en los trabajos de investigación revisados*

N° estudio	Autor	Efluente	AyG	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	S (%)		Cromo (%)		pH
			(%)	(%)	(%)	(%)	Sulfatos	Sulfuros	Cr+6	Cr Total	(A,N,B)
1	Galiana, A.	Curtido	-	-	38.46	-	-	-	-	93.33 *	Neutro **
2	Pardo, A.	Remojo	-	-	80.20	-	-	-	-	-	Básico
3	Imran et al.	Total	-	-	8.75	-	62.00 *	-	-	99.69 **	Neutro **
4	Aregu et al.	Total	-	59.00 **	54.00	84.00 **	75.00 *	77.00	-	69.00	-
5	Abdulla et al.	Curtido	-	-	76.13 **	-	-	-	-	99.00	Neutro **
6	Martinez, J.	Total	-	92.00	92.05 **	95.38 **	95.90 *	98.42 **	-	99.67 **	-
7	Tayupanda, S.	Pelambre	-	88.21	89.62	94.58	-	56.82	-	-	Básico
8	Cerón, P.	Remojo	-	-	58.53	89.25 **	-	-	-	-	Neutro **
8	Cerón, P.	Pelambre y Curtido	-	-	-	-	-	99.96 **	-	98.75	Neutro **
9	Ortiz, N.	Curtido	-	94.77 **	93.78 **	100.0 **	-	-	-	100**	Neutro **
10	Guevara et al.	Curtido	-	-	-	-	-	-	99.89	-	Neutro **
11	Portada, A.	Pelambre	-	-	-	-	-	91.45	-	-	-
11	Portada, A.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	96.22	Básico
12	Castillo, M. y López, J.	Total	99.57 **	95.17 **	96.15 **	99.22 **	-	94.98 *	-	95.22 *	Neutro **
13	Córdova, H.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	100**	Neutro **
14	Ganoza, J. y Panduro, E.	Total	-	68.21 **	80.26*	-	-	88.24	-	90.44	Neutro **
15	Castro, E. y Jave, E.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	99.99 **	Básico
16	Agreda, A. y Dominguez, T.	Total	-	95.98 **	-	-	-	-	-	-	Neutro **
17	Contreras, S. y Salvador, K.	Pelambre	-	-	80.48	60.57	55.58	96.80	-	-	Neutro **
18	Gordillo, G. y Toledo, C.	Curtido	-	-	99.83 **	-	-	-	-	100 **	Neutro **
19	Ramos, M.	Pelambre	39.96 *	8.50	37.16	39.63	46.46 *	23.68	-	-	Básico
20	Morocho, M.	Total	-	50.16	50.96	45.52	-	-	-	94.61	Básico
21	Mella, B.	Curtido	-	-	-	-	-	-	-	99.74 *	Básico
22	Geromel, C.	Total	-	-	9.34	36.73	23.00	-134.14	-	-	Neutro **
23	Montoya, C. y Silencio, K.	Pelambre	-	-	98.41 **	95.46 **	-	99.89 **	-	-	Neutro **

**Nota:** Para el parámetro pH considerar Ácido (A), Neutro (N), Básico (B). El símbolo de asterisco (\*) indica que la concentración cumple con los VMA, mientras que el símbolo (\*\*) indica que cumple para los LMP.

En el cuarto objetivo: Establecimiento de una valoración por tipo efluente, en base a criterios de eficiencia, cantidad de parámetros evaluados y cumplimiento de los LMP y VMA, se muestra la Tabla 12, donde en base a la valoración se han escogido los estudios de mayor puntuación, teniendo como resultado para el efluente de remojo al estudio de Cerón (2011), para pelambre a Montoya y Silencio (2017), para curtido se eligió el estudio de Ortiz (2013) y para el efluente total se seleccionó a los estudios de Martínez (2016) y de Castillo y López (2018). Para el efluente combinado de pelambre y curtido se seleccionó a Cerón (2011).

**Tabla 12**

*Valoración de las tesis analizadas en base a la eficiencia, cantidad de parámetros, VMA y LMP para aguas residuales de curtiembre*

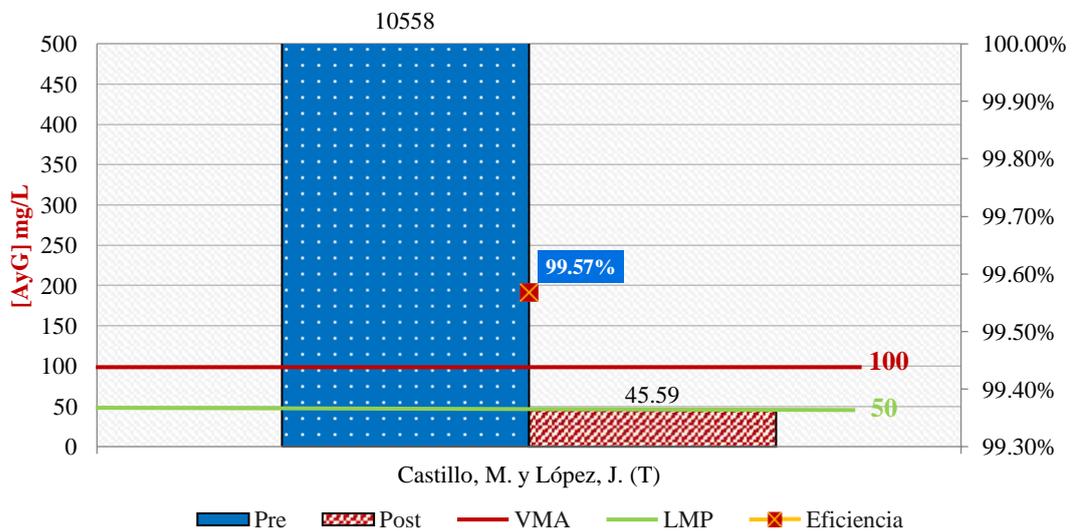
N° Estudio	Efluente	P	M	B	E	Criterios de Valoración			Valoración Total (E+PE+VMA+LMP)
						Por eficiencia (E)	Por cantidad de parámetros evaluados (PE)	Por cumplimiento de VMA (SI-NO)	
2	Remojo	0	0	1	0	2	-2	-2	-2
8	Remojo	0	1	1	1	3	1	1	6
7	Pelambre	0	1	3	0	5	-5	-5	-5
11	Pelambre	0	0	1	0	1	-1	-1	-1
17	Pelambre	0	2	1	2	5	-3	-2	2
19	Pelambre	6	0	0	0	7	-3	-6	-2
23	Pelambre	0	0	0	4	4	4	4	16
8	Pelambre y Curtido	0	0	0	3	3	1	1	8
1	Curtido	1	0	1	1	3	1	1	6
5	Curtido	0	0	1	2	3	1	1	7
9	Curtido	0	0	2	3	5	5	5	18
10	Curtido	0	0	0	2	2	0	0	4
11	Curtido	0	0	0	1	2	-2	-2	-1
13	Curtido	0	0	0	2	2	2	2	8
15	Curtido	0	0	0	1	2	0	0	3
18	Curtido	0	0	0	3	3	3	3	12
21	Curtido	0	0	0	1	2	0	-2	1
3	Total	1	1	0	2	4	2	1	9
4	Total	0	3	3	0	6	0	-1	5
6	Total	0	0	2	4	6	4	3	17
12	Total	0	0	1	6	7	7	3	23
14	Total	0	1	3	1	5	-1	1	6
16	Total	0	0	0	2	2	2	2	8
20	Total	1	2	1	0	5	-5	-5	-5
22	Total	4	0	0	1	5	-3	-2	1

*Nota: Considerar P: Pésimo, M: Moderado, B: Bueno, E: Excelente tomado como referencia del CCME (2006). La valoración total es expresada en puntos.*

En la Figura 7 se observa las concentraciones pre y post tratamiento del parámetro de aceites y grasas (AyG), donde el único estudio de los seleccionados en la valoración, fue el de Castillo y Lopez (2018), donde la eficiencia de tratamiento para dicho parámetro resulta de 99.5%, cabe precisar que dicho estudio propone sus tratamientos en el efluente final, sin embargo para el caso de Aceites y Grasas, lo aplica en el efluente de descarnado, ya que según sus analisis, es ahí donde estan presentes los valores más altos para dicho parámetro, y es donde se debería aplicar el tratamiento, demostrando una eficiencia excelente, asimismo al comparar el efluente inicial y el efluente con tratamiento, cumple con los 100 mg/L establecidos en los VMA y 50 mg/L que establece los LMP.

**Figura 7**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Aceites y Grasas (AyG) del estudio analizado para aguas residuales de curtiembre.*

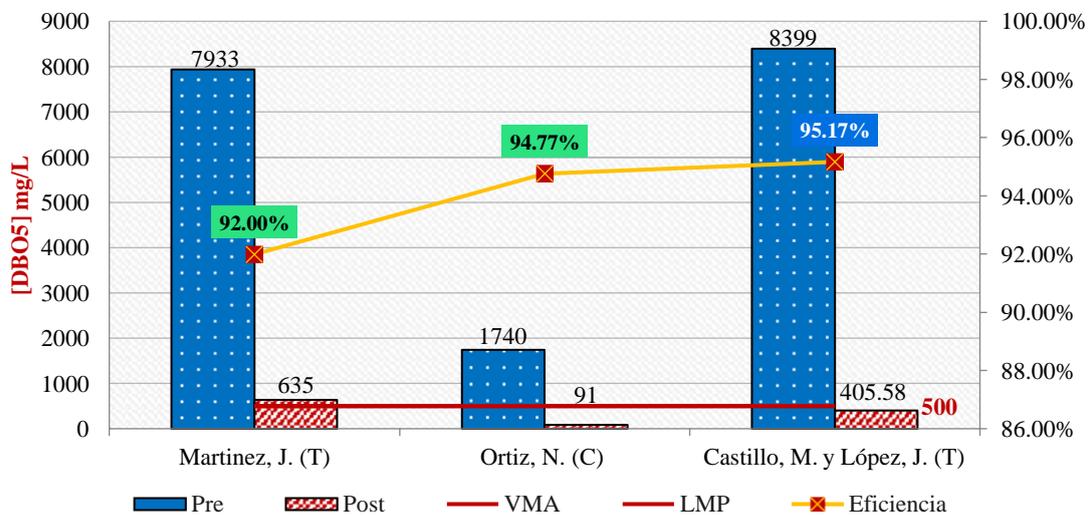


Nota: Considerar T: Total. VMA: 100 mg/L; LMP: 50 mg/L.

Para el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), se muestra las concentraciones iniciales (pre tratamiento) y finales (post tratamiento) de los estudios con mejores puntuaciones de valoración, donde se puede observar que las concentraciones de DBO<sub>5</sub> se reducen en más del 90% para los efluentes de curtido y totales, siendo el tratamiento de Castillo y Lopez (2018) el más eficiente con 95.1%, como se observa en la Figura 8. Respecto a los VMA y LMP, solo el efluente total de Martinez (2016) incumple con los 500 mg/L establecidos en la norma peruana, mientras que la tesis de Ortiz (2013) es la que obtiene el efluente post tratamiento con concentración más baja.

**Figura 8**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*

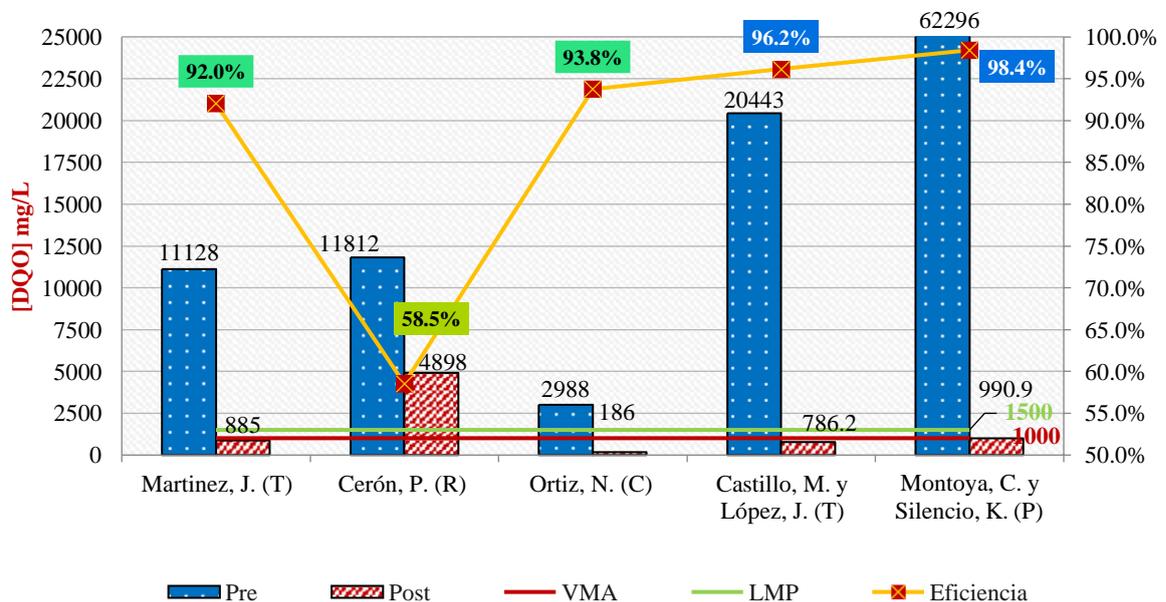


*Nota:* Considerar T: Total y C: Curtido. VMA: 500 mg/L; LMP: 500 mg/L.

En la Figura 9, respecto al parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DQO), los estudios con mejor valoración presentan altas concentraciones iniciales para los efluentes de Remojo, Pelambre y Total que exceden los VMA y LMP. Se observa que las concentraciones de los estudios disminuyen en más del 50% después de los tratamientos aplicados. El estudio con mayor eficiencia resultó Montoya y Silencio (2017) con 98.4% aplicado al efluente de Pelambre. Los estudios muestran mayor incidencia para el efluente total, además todos los resultados post tratamiento están por debajo de los 1500 mg/L que indica los LMP y de los 1000 mg/L de DQO indicados en los VMA, a excepción del estudio de Cerón (2011).

**Figura 9**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*

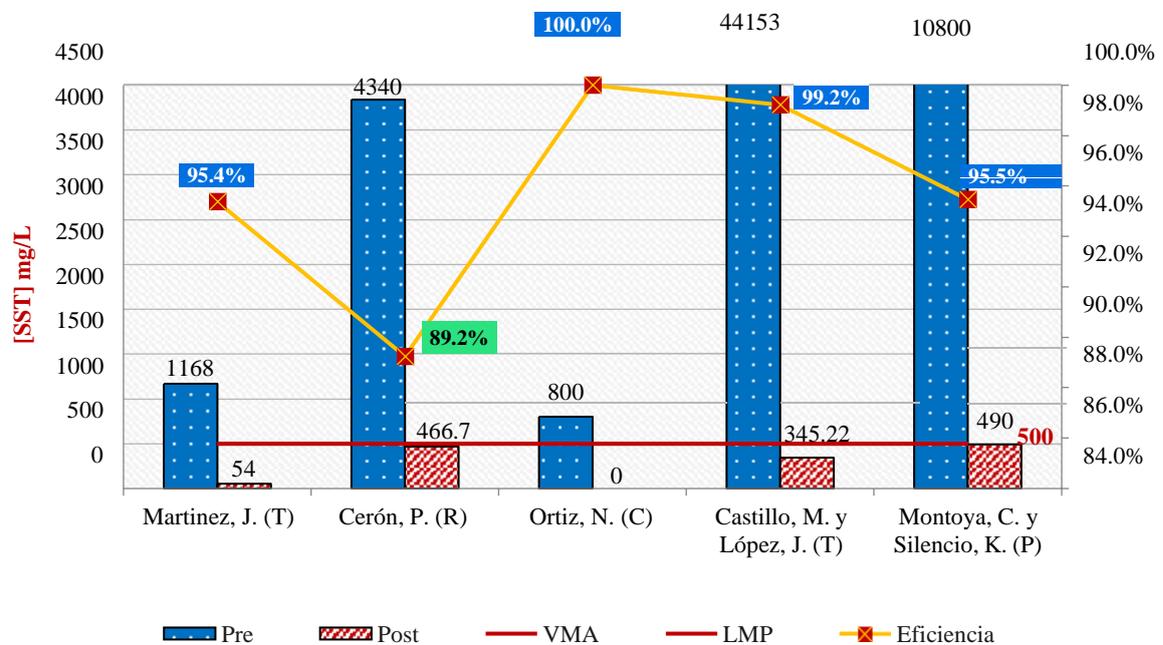


Nota: Considerar R: Remojo, P: Pelambre, T: Total. VMA DQO: 1000 mg/L; LMP DQO: 1500 mg/L.

Para el parámetro de Sólidos Suspending Totales (SST) se muestra en la Figura 10 que las concentraciones iniciales de los estudios con mejor valoración, exceden la concentración establecida en los VMA y LMP, así como después de la aplicación de los tratamientos se reduce más del 80% con concentraciones por debajo de los 500 mg/L que indica los VMA y LMP, siendo la concentración más alta de 490 mg/L del estudio de Montoya y Silencio (2017). El estudio de Ortiz (2013) logra una eficiencia del 100%, debido en parte a que la concentración inicial es la más baja de todos los efluentes, así como la eficiencia más baja es para el estudio de Cerón (2011) con un 89.2% de eficiencia. Los estudios para este parámetro se realizan en los 4 efluentes analizados.

**Figura 10**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Sólidos Suspendidos Totales (SST) de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*

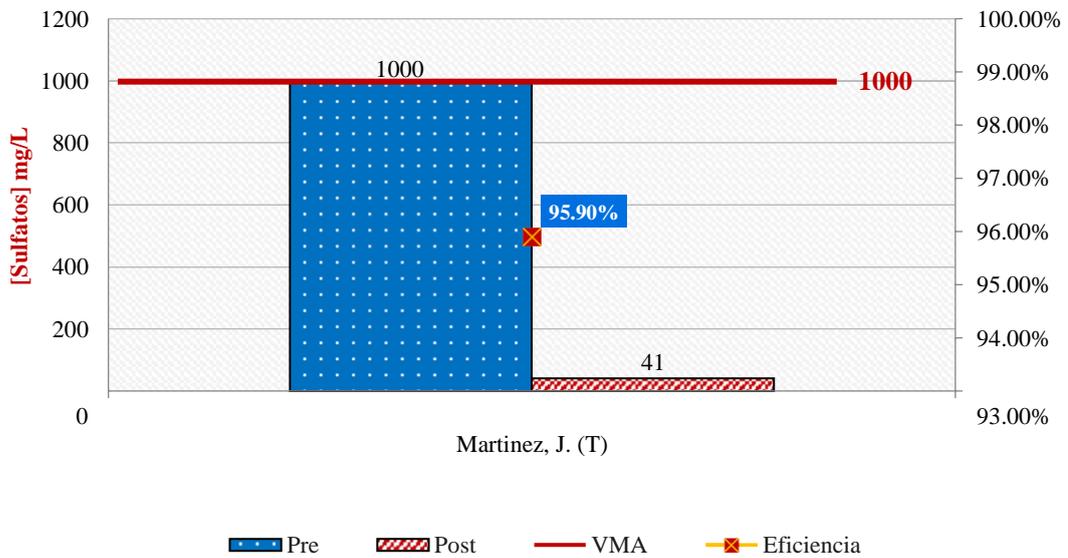


Nota: Considerar R: Remojo, P: Pelambre, C: Curtido, T: Total. VMA SST: 500 mg/L; LMP SST: 500 mg/L.

En la Figura 11, se observa las concentraciones pre y post tratamiento para el parámetro de sulfatos del estudio de Martínez (2016), que obtuvo la mejor puntuación de la valoración, debido a la reducción de más del 95% respecto al efluente total sin tratamiento. A través de este estudio se conoce que el tratamiento realizado genera el cumplimiento de los VMA, al estar el efluente post tratamiento por debajo de los 1000 mg/L establecidos en los Valores Máximos Admisibles (VMA) del D.S. 010-2019-VIVIENDA. Este parámetro no es analizado por los LMP del D.S. 003-2002-PRODUCE.

**Figura 11**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Sulfatos del estudio analizado para aguas residuales de curtiembre.*

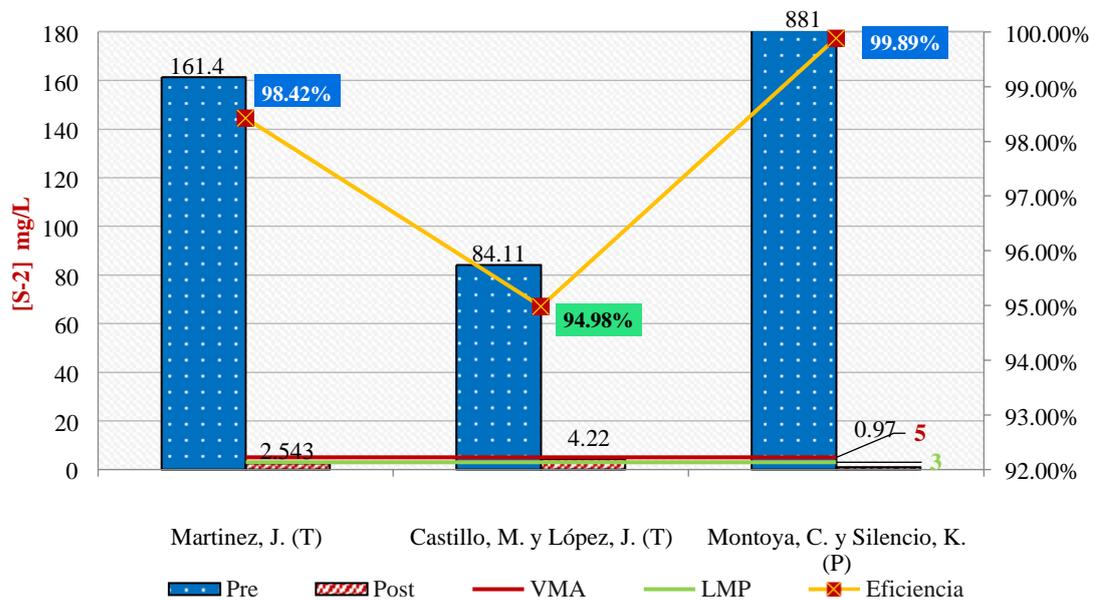


*Nota:* Considerar T: Total. VMA Sulfatos: 1000 mg/L.

Para el parámetro de Sulfuros ( $S^{-2}$ ) se muestra la Figura 12, donde las concentraciones iniciales de los estudios con mejores valoraciones exceden el límite establecido en los VMA y LMP, sin embargo después de los tratamientos propuestos en cada estudio, estas concentraciones se reducen en más del 90%, siendo la eficiencia más alta la de Montoya y Silencio (2017) con 99.8%. Ninguno de los estudios excede los 5 mg/L de sulfuros que los VMA, sin embargo en Castillo y Lopez (2018) sí excede los 3 mg/L que establece los LMP. Los efluentes en los que se analiza sulfuros son en el de pelambre y total, con dos (02) estudios que analizaron en el efluente total.

**Figura 12**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Sulfuros de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*

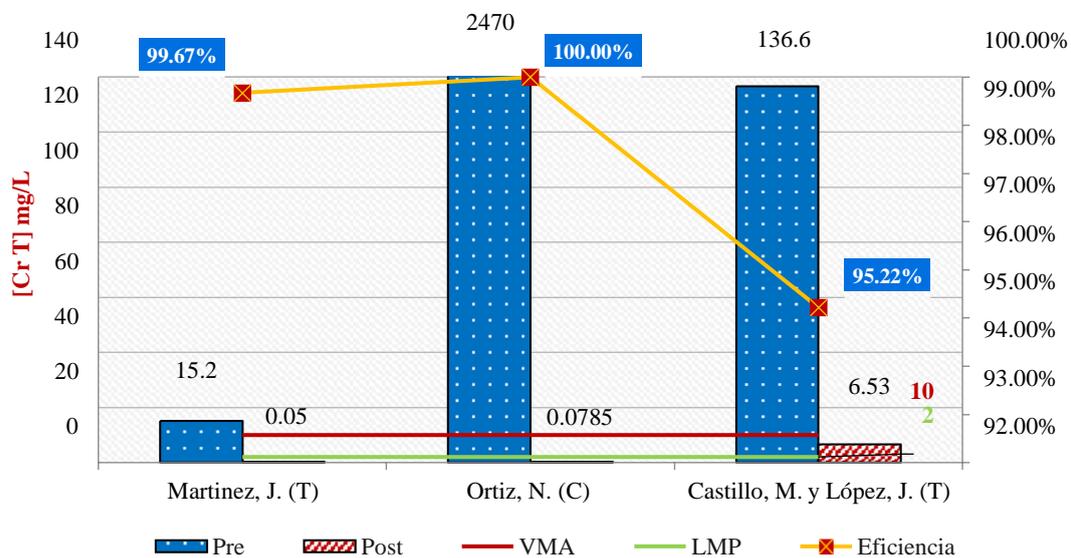


*Nota:* Considerar P: Pelambre, T: Total. VMA Sulfuros: 5 mg/L; LMP Sulfuros: 3 mg/L.

Para el parámetro de Cromo Total (Cr T), las concentraciones iniciales de los estudios con mejores valoraciones exceden el límite establecido en los VMA y LMP, sin embargo después de los tratamientos realizados en cada estudio, las concentraciones se reducen en más del 90% de cromo. Todos los estudios presentan cromo total post tratamiento por debajo de los 10 mg/L que estipula los VMA, sin embargo en Castillo y Lopez (2018) se incumple los 2 mg/L que se establece en los LMP, siendo la concentración más baja la del estudio de Ortiz (2013) y la de más alta eficiencia con 100%. De los tres efluentes que se analiza cromo, dos estudios son en el efluente total y uno en el efluente de curtido.

**Figura 13**

*Concentración y eficiencia de tratamiento para Cromo Total de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*

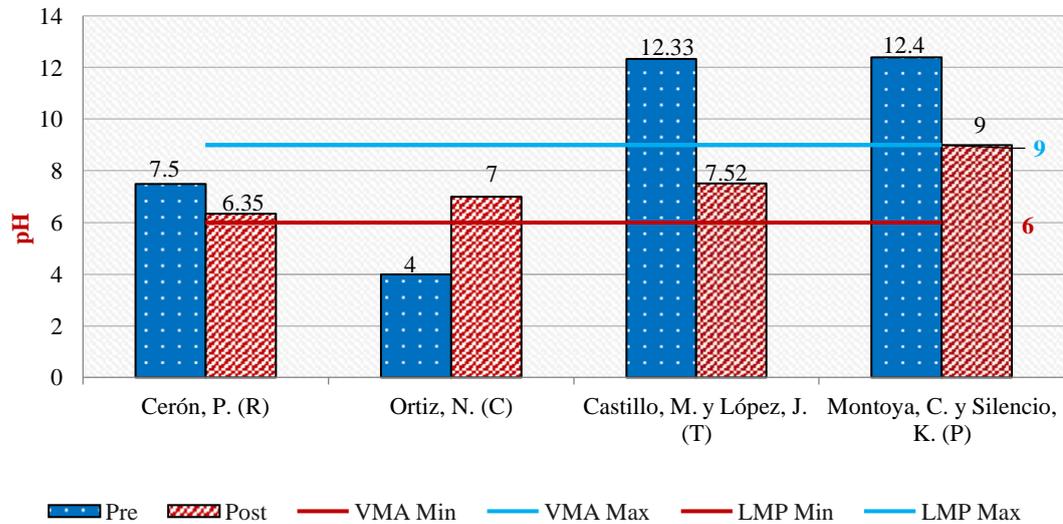


*Nota:* Considerar C: Curtido, T: Total. VMA Cr T: 10 mg/L; LMP Cr T: 2 mg/L.

En la Figura 14, se analiza el parámetro de pH, donde solo las concentraciones iniciales del estudio de Cerón (2011) para el efluente de remojo está en el rango de pH que establece la norma siendo los otros de carácter ácido o básico en un rango entre 4 y 12.4, mientras que el pH post tratamiento es de carácter neutro a excepción el de Montoya y Silencio (2017) con un valor básico de 9, sin embargo todos los estudios se encuentran en el rango de 6 a 9 de pH, rango estipulado en los VMA y LMP para vertimiento de efluentes. Los estudios para este parámetro se realizan en los 4 efluentes analizados.

**Figura 14**

*Nivel de pH iniciales y finales de los estudios analizados para aguas residuales de curtiembre.*



*Nota:* Considerar R: Remojo, P: Pelambre, C: Curtido, T: Total. VMA pH: 6- 9; LMP pH: 6- 9.

En la siguiente figura se presenta una matriz que consolida los resultados de los estudios con mejores puntos de valoración, donde se analiza los sistemas de tratamiento aplicados en dichos estudios. Se puede destacar que el tratamiento más usado en los estudios es coagulación- floculación (C-F) aplicado en 3 tratamientos de los estudios con mayor calificación, seguido con el proceso de filtración. Además, los estudios se enfocan en 4 tipos de efluentes: 1 estudio en remojo, 2 de pelambre, 2 de curtido y 2 en efluente total. Esta figura demuestra además la relación del tratamiento con el parámetro analizado.

**Figura 15**

*Matriz consolidada de los 5 estudios seleccionados con mayor valoración para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre.*

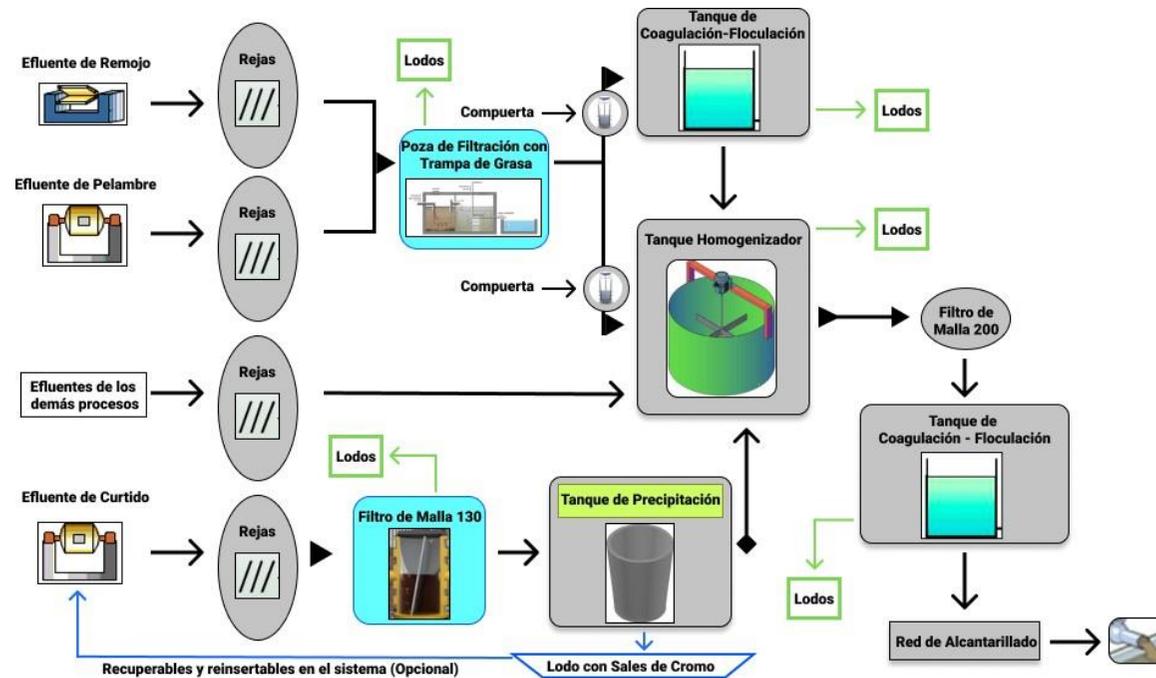
Enfoque de análisis	Estudios seleccionados		Tratamientos										Parametros estudiados							Parametros afectados														
	Nº	Autores	Coagulación- Floculación	Filtro de Pelo	Oxidación de Sulfuros	Filtración (malla 100)	Precipitación	Recuperación	Floculación	Homogenización	Tamiz de 200 micras	Poza de Aireación	Sedimentación	Acites y Grasas	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Sulfatos	Sulfuros	Cromo VI	Cromo III, Total	pH	Acites y Grasas	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	Sulfatos	Sulfuros	Cromo VI	Cromo III, Total	pH			
Efluente Remojo	8	Cerón, P.	1																															
Efluente de Pelambre	6	Martinez, J.		1																														
	23	Montoya y Silencio	1		2																													
Efluente de Curtido	6	Martinez, J.					3																											
	9	Ortiz, N.			1																													
							2																											
Efluente Total	6	Martinez, J.								4																								
											5																							
	12	Castillo, M y Lopez, J.	6										6																					
												1																						
												2																						

Nota: El orden de la ejecución de los tratamientos por cada estudio está coloreada de la siguiente manera: Verde (Cerón), azul (Martinez), gris (Montoya y Silencio), guinda (Ortiz) y magenta (Castillo y López).

Como quinto y último objetivo se tiene realizar una propuesta de un sistema de tratamiento basado en los estudios seleccionados que obtuvieron mayor valoración. La propuesta ha tenido en cuenta los 4 tipos de efluentes principales analizados en este estudio: Remojo, Pelambre, Curtido y Total, así como, en base a ello seleccionar los tratamientos físico- químicos más acordes a las características que posee cada efluente, como sus parámetros y los residuos que contiene. Asimismo, en base a las eficiencias y concentraciones finales analizadas, el sistema de tratamiento pretende ser eficiente en el cumplimiento de las normas fiscalizables de los LMP y VMA. Por ello, en base a los datos brindados por una curtiembre se ha realizado un dimensionamiento de la propuesta (Ver planos en Anexo M) a fin de determinar el análisis económico y su oportunidad que son mencionados en el Anexo L.

**Figura 16**

*Diagrama de la Propuesta del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Curtiembre.*



*Nota:* Para realizar este diagrama se ha tenido en cuenta los 4 efluentes de análisis. En la entrada de cada efluente se ha considerado un enrejado a fin de retener sólidos gruesos. Para los efluentes de remojo y pelambre se realizará el tratamiento mediante una poza de filtración con trampa de grasas y después de un sistema de compuertas el efluente de pelambre pasará al tanque de C-F. Para el efluente de curtido se tiene un filtro de malla y un tratamiento de precipitación, donde opcionalmente se puede optar por una recuperación de lodos con sales de cromo. Los efluentes no considerados, así como los previamente tratados de remojo, pelambre y curtido ingresarán al Tanque homogeneizador para regular el caudal variable y luego pasar por un filtrado de malla para la retención de sólidos no sedimentados. Posteriormente el efluente total ingresará al tanque de C-F, donde el efluente líquido finalmente puede ser dispuesto en la red de alcantarillado.



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el análisis de esta investigación se ha revisado los diversos tratamientos físico-químicos analizados en los estudios seleccionados, para conocer los tratamientos que se han utilizado y en qué tipo de efluentes se aplican. Por ello es necesario conocer las características y parámetros que contiene el efluente, pues como indica la OMS (2020), un correcto análisis ayuda a realizar una evacuación adecuada de las aguas residuales. Es por eso que se ha analizado la eficiencia en cada parámetro, a fin de conocer si el tratamiento realizado es suficiente para reducir las concentraciones iniciales a un nivel considerable o si es necesario aplicar otros tratamientos para lograr la calidad que se requiere en su disposición o aprovechamiento final como menciona el MINAM (2009, p. 20). Ello implica realizar un contraste con los valores que estipulan las normas legales como los VMA y LMP para determinar un correcto vertimiento, evitando no solo daños en la red de alcantarillado, sino que tal como indica la ONU (s.f.), se generen acciones que contribuyan con los ODS y garanticen la sostenibilidad del agua y el saneamiento.

Al analizar los diversos tratamientos de aguas residuales de curtiembre teniendo como base resultados de los diversos trabajos de investigación, se pudo observar que los tratamientos físico- químicos de los estudios se realizan, en algunos casos, antes de tratamientos avanzados, como lo menciona Mella (2013) quien realiza precipitación química antes de aplicar electrocoagulación, o Geromel (2012) que aplica coagulación-floculación y sedimentación antes de realizar ultrafiltración. Esto se debe a que, como menciona Kaifer (2006, p. 2), los tratamientos físico- químicos se utilizan para eliminar contaminantes presentes en fase acuosa mediante la adición de reactivos, lo que lo hace conveniente al momento de la reducción de contaminantes de forma más práctica y menos

compleja a comparación de los tratamientos biológicos, pues dependen en gran medida de la estabilidad de  $DBO_5$  y pH mencionados por Ganoza y Panduro (2010, p. 24).

Tal como se mencionó en el párrafo anterior, los tratamientos físico - químicos se aplican para reducir contaminantes que se evidencian en altas concentraciones en parámetros como DQO y  $DBO_5$  descrito por Tayupanda (2010), o parámetros altamente contaminantes como sulfuros y cromo mencionados por Martínez (2016). También este tipo de tratamientos puede aplicarse con el propósito de reutilizar agua o insumos, debido a que son operaciones que ayudan a reducir los componentes contaminantes de las aguas residuales y poder reusarlas mediante reactivos que alteran su estado físico y solubilidad como indica Mendoza (2016, p. 18- 19).

Mediante el análisis con los SIG la relación que existe entre curtiembres, PTAR y el sistema alcantarillado en la provincia de Trujillo, se puede entender que los SIG son de gran apoyo e importancia, debido a que permite comprender el área a estudiar, que se refleja en lo mencionado por Esri (s.f.), ya que a través de la cartografía se analiza información relevante a la investigación y permite tomar decisiones en base a la ubicación de las curtiembres de la provincia de Trujillo. Por ello, con la aplicación de los SIG se ha podido visualizar y comprender mejor la distribución de los distritos que cuentan con mayor número de curtiembres para luego identificar las cuencas de alcantarillado a las que pertenecen y las PTAR que tienen como destino.

Se pudo observar que la mayor cantidad de curtiembres están ubicadas en los distritos de La Esperanza, El Porvenir y Trujillo, lo que concuerda con la información de Contreras y Salvador (2015, p. 10-11 en mención al Atlas Ambiental de Trujillo, 2002), donde La Esperanza es el distrito con mayor número de empresas con 42 curtiembres, mientras que según CITEccal Trujillo (2022) serían 40 curtiembres. Esto corrobora lo que menciona el

BCRP (2019, p.11), pues los distritos con la mayor PEA dedicada al sector de cuero y calzado se encuentran en El Porvenir, Trujillo, Florencia de Mora y La Esperanza. Por otro lado, SEDALIB S.A. (2015, p. 23) menciona que las PTAR de destino para dichos distritos tratan menos del 50% de las aguas residuales que reciben y sin embargo estas son las que tienen mayor caudal de tratamiento, que consiste, como detalla la SUNASS (2021, p. 83), en la aplicación de filtración con rejillas gruesas y tratamientos secundarios de lagunas facultativas y aireadas, por lo que estas plantas no son las más idóneas para tratar efluentes de curtiembre.

Se evidencia, por ejemplo, que los distritos de Trujillo y La Esperanza a pesar de tener un considerable número de curtiembres, 27 y 40 respectivamente según CITEccal Trujillo (2022), y que pertenecen a 2 cuencas de alcantarillado para Trujillo y a 3 cuencas para La Esperanza, donde las PTAR realizan un tratamiento por separación de sólidos con rejillas gruesas y lagunas facultativas, se trata menos del 45% de sus efluentes, mientras que distritos como Huanchaco o Víctor Larco Herrera que tienen 4 curtiembres en ambos casos, forman parte de 4 cuencas para el caso de Huanchaco y de 1 cuenca para Víctor Larco Herrera, donde para el primer distrito mencionado coincide con La Esperanza en la cuenca y PTAR El Tablazo, mientras que el segundo distrito coincide con Trujillo en la cuenca y PTAR Covicorti, y aún con los tratamientos de lagunas facultativas, rejillas gruesas y finas, llegan a tratar el 100% de sus efluentes como lo menciona SEDALIB S.A. (2015, p. 23).

Por lo mencionado en el párrafo anterior, se puede notar la importancia de un tratamiento adecuado antes de ser vertido a la red, ya que el sistema de alcantarillado no está hecho para transportar aguas residuales industriales con dichas características, ni tratarlas con ese tipo de PTAR, pues como indica Castillo y López (2018, p. 10, 47), por

cada tonelada de piel, se utiliza aproximadamente 500 Kg de sustancias químicas, y de estas el 85% termina siendo vertida a la red de alcantarillado provocando incrustación del carbonato de calcio, acumulación de sólidos en tuberías, sulfuros que agilizan que el concreto se deteriore, y hasta cromo que puede poner en riesgo el proceso biológico de las PTAR.

Además se ha identificado que los estudios enfocan sus análisis en efluentes que tienen mayor incidencia en 2 etapas de curtiembre (ribera y curtido), estos efluentes provienen de 3 procesos particulares (remojo, pelambre y curtido), así como hay estudios que abarcan 2 o más procesos por efluente (pelambre – curtido, y total), esto debido a que dichos efluentes contienen en gran parte materia orgánica, piel, pelos, tierra, sangre o excremento como indica Pinedo (2012, p. 12), así como la presencia de agentes químicos como sulfuros y cromo según Tayupanda (2010, p. 14). Para su tratamiento, Melgar (2000, p. 15-16, 45) menciona que se puede emplear aditivos químicos como NaOH, HCl o iones  $\text{OH}^-$  con el fin de darle propiedades a la piel y reducir la concentración de compuestos como el sulfuro de sodio para pelambre o sales de cromo para curtido. Además, parámetros como DQO o  $\text{DBO}_5$  dependen en gran parte del material orgánico, por lo que removerlo significa una reducción de SST y sales.

Uno de los procesos analizados es el proceso de remojo, siendo responsable de elevar las concentraciones de SST sobre los demás procesos, debido a que usa gran cantidad de agua para lavados, eliminar la sal, rehidratar la piel y eliminar materia orgánica tal como indica la Comisión Nacional de Medio Ambiente (1999, p. 6) por lo que es considerada por Ganoza y Panduro (2010, p. 30) como el tercer proceso más contaminante dentro de una curtiembre. Por otro lado, Galiana (2010, p.17 y 139), demuestra que, en remojo, los parámetros más comunes son el  $\text{DBO}_5$ , DQO, SS, materia orgánica y salinidad, donde

evidencia que remojo es uno de los procesos que más concentración de DQO aporta por su elevada cantidad de sangre y estiércol, teniendo concentraciones hasta 12000 mg/L, coincidiendo con lo encontrado mediante cajas y bigotes, obteniendo un rango entre 6000 a 8000 mg/L. Añadir que según Martínez (2016, p. 19), la DQO está directamente relacionada con el DBO<sub>5</sub>, que es afectada por pelos, grasas, salinidad, sulfuros, tensoactivos y cromo.

En la caracterización de parámetros, para el efluente de remojo (Etapa ribera) se analizaron el estudio de Pardo (2016, p. 71), quien consideró entre sus parámetros al pH y DQO, usando para la reducción de la DQO los tratamientos de Coagulación-Floculación (C-F), Precipitación y Sedimentación, mientras que el estudio de Cerón (2011, p. 8- 70) aplica C-F probando con FeCl<sub>3</sub> para eliminar materia orgánica, sal y externalidades que caracterizan estas aguas según Gallego (2011, p. 14) y así mejorar la calidad del efluente en pH, DQO y SST. En otros estudios como Martínez (2016, p. 90) y Castillo y López (2018, p. 32- 33) propusieron un tratamiento con trampa de grasas y decantación para reducción de material orgánico y grasas. Estos tratamientos buscan reducir las concentraciones de sólidos como SST y DQO que suelen ser mayores a 4000 mg/L, ya que según Portada (2016, p. 74- 75) en remojo no se suele emplear insumos químicos que tiendan a modificar de modo drástico el pH natural del agua usada.

El proceso de pelambre (Etapa ribera), es definido según la Secretaría de Industria, Comercio y PyME de Argentina (2009, p. 8) como un proceso que determina ciertas características de suavidad y resistencia del cuero, es por ello que sus efluentes presentan como indica Galiana (2010, p. 139), elevadas concentraciones en sulfuros, pelo, piel y queratina, por lo que Ramos (2015, p. 69) lo señala como el efluente más contaminante convirtiéndolo según Martínez (2016, p. 91) en el responsable del 76% de la toxicidad

total. Castillo y López (2018, p. 55) indican que entre el 1 al 5% de sulfuros se aplican en relación al peso de las pieles, por lo que los tratamientos a diferencia de remojo, se realizan para evitar que el  $H_2S$  genere daños al ambiente y la salud como menciona Cerón (2011, p. 3). Este efluente tiene concentraciones hasta 28000 mg/L para DQO, coincidiendo con los estudios de Ramos (2015) y Tayupanda (2010), donde incluso Montoya y Silencio (2017), y Contreras y Salvador (2015) presentaron niveles mayores a 60000 mg/L.

En el efluente de este proceso los parámetros más analizados fueron DQO, SST,  $S^{-2}$  y pH, siendo sus concentraciones variadas de acuerdo a los estudios. Por ejemplo, Ramos (2015, p. 61) obtuvo las menores concentraciones iniciales para DQO con 26278 mg/L y para  $S^{-2}$  con 70.5 mg/L, y aplicando el tratamiento de Filtración se redujeron hasta 16513.6 mg/L para DQO y hasta 53.8 mg/L para  $S^{-2}$ . Por su parte, Montoya y Silencio (2017, p. 61 y 81) tuvo la concentración inicial más alta de 62296 mg/L en DQO y una concentración de 881 mg/L para  $S^{-2}$ , por lo que luego del tratamiento con C-F, se redujo hasta 990.8 mg/L para DQO y hasta 0.97 mg/L para sulfuros con un pH inicial mayor a 12 y final mayor a 9. Sin embargo, el tratamiento más empleado en este efluente fue el de filtración con 4 de los estudios, seguido de Oxidación Química con 3 estudios como Portada (2016, p. 71), o Precipitación Química también con 3 estudios como Contreras y Salvador (2015, p. 33), donde buscan reducir sulfuros pues a pH ácido el  $Na_2S$  es tóxico y genera malos olores.

El siguiente proceso analizado es el proceso de curtido, ya que produce un efluente con elevadas concentraciones de  $Cr^{3+}$ , ello es consecuencia del uso de sales de cromo que le dan las cualidades a la piel como menciona Huamaní (2014, p. 12), por lo que es considerado por Ganoza y Panduro (2010, p. 24) como el segundo más contaminante

dentro de los efluentes de una curtiembre, debido al ineficaz proceso de curtido de algunas curtiembres, donde según Córdova (2014, p. 80- 83) se estima que el 40% del cromo ofertado tiende a perderse causando daños en la infraestructura, pérdidas económicas y perjuicios al ambiente al no ser absorbido en su totalidad. Por otro lado, la ausencia de  $\text{Cr}^{+6}$  durante el curtido se debe a que muchas veces la sal usada o las condiciones mínimas para su oxidación no se cumplen, y como menciona Ganoza y Panduro (2010, p. 21- 22), estas características dependen específicamente del pH y estado de oxidación del cromo.

En el efluente de curtido (Etapa Curtido) los parámetros más analizados fueron DQO, pH y Cromo, donde el pH inicial suele ser ácido mayor a 2.5. Para DQO las concentraciones iniciales oscilan entre 2988 mg/L según Ortiz (2013, p. 68) hasta casi 6500 mg/L mencionado por Galiana (2010, p. 151 y 171) y en los niveles post tratamiento se obtuvo 4000 mg/L para Galiana (2010), hasta una reducción de 10 mg/L señalado por Gordillo y Toledo (2013, p. 123 y 148), el cual a su vez tiene la concentración inicial más alta con 4482 mg/L para Cromo y la concentración inicial más baja la obtiene Galiana (2010, p. 151) con 30 mg/L. Para las concentraciones de cromo post tratamiento, estas varían desde los 41.9 mg/L mencionados por Portada (2016, p. 88) con un tratamiento por Precipitación química, hasta los 0 mg/L como el aplicado por Córdova (2014, p. 114) que usa un tratamiento de absorción y precipitación.

La precipitación química se propuso en 11 estudios, siendo el más aplicado para este efluente. Para ello es necesario emplear aditivos como NaOH mencionado por Ortiz (2013, p. 53) y también por Córdova (2014, p. 94- 114), así como MgO aplicado en Guevara et al. (2012, p. 120). Otro tratamiento que menciona la adición de insumos químicos es C-F, usando  $\text{FeCl}_3$  como en el caso de Galiana (2010, p. 151), así como para el proceso post tratamiento de recuperación de cromo se puede usar Ácido Fórmico,

aplicado en el estudio de Ortiz (2013, p. 74). La importancia de tratar el efluente de curtido se debe en principal por el cromo, insumo que hace la diferencia entre las etapas de ribera y curtido, pues es el aditivo que le da la consistencia a la piel, por lo que cerca del 40% permanece en los efluentes debido a las sales de cromo o aluminio mencionados por Abdulla et al. (2010, p. 171).

Los procesos de curtiembre con efluentes no analizados en este estudio como piquelado, desescalado, engrasado o recurtido, son por lo general, procesos siguientes a los 4 analizados, y sus efluentes resultantes suelen tener puntos de vertimientos en común, formando el efluente considerado como total. Este efluente se caracteriza por tener valores altos para sólidos totales, DBO<sub>5</sub> y DQO, además de la presencia de grasas y de curtientes químicos y naturales, como hace mención Cerón (2011, p. 15). En la caracterización del efluente total se tiene como parámetros más analizados al Cromo, Sulfuros, pH, DBO<sub>5</sub> y DQO. El pH inicial se caracteriza por ser básico con valores mayores a 9, mientras que el final está en un nivel relativamente neutro con valores desde 6 y 8.5. Para Cromo, la mayor concentración la obtuvo Morocho (2017, p. 42) con 1308 mg/L y la menor fue de 3.19 mg/L mencionado por Imran et al. (2012, p. 85), quienes por su baja concentración llegan a obtener la concentración final más baja de 0.01 mg/L, luego de aplicar el tratamiento C-F con sulfato de amonio aluminio.

Para DBO<sub>5</sub> la concentración inicial más alta la obtiene Castillo y López (2018, p. 34) con 8399 mg/L y la más baja la obtiene Aregu et al. (2018, p. 7) con 1081 mg/L, quienes luego de los tratamientos de aireación y sedimentación, así como adsorción obtienen concentraciones no mayores a 450 mg/L, sin embargo, la concentración final más baja la obtuvieron Agreda y Dominguez (2018, p. 26) con 195 mg/L. Para sulfuros el rango de concentraciones iniciales varía desde los 29 mg/L obtenido por Geromel (2012, p. 200)

hasta 417 mg/L de Aregu et al. (2018, p. 7), mientras que la concentración final más baja la obtiene Ganoza y Panduro (2010, p. 51) con 18 mg/L utilizando los tratamientos de filtración, C-F, homogenización y sedimentación. El tratamiento más analizado fue C-F con un total de 6 estudios utilizando aditivos como Terra Flock GM aplicado por Morocho (2017, p. 27) o  $\text{FeCl}_3$  y policloruro de aluminio empleados por Geromel (2012, p. 63), lo que conlleva a una sedimentación, siendo el segundo tratamiento más empleado.

En la presente investigación también se analizó el cumplimiento de los LMP, VMA y eficiencias en los sistemas de tratamiento de cada estudio, puesto que es necesario compararlos con la normativa peruana, ya que sirven de instrumentos legales para que, como indica el Ministerio de Producción (2002, p. 2), se conozca si la concentración de parámetros del efluente llega a exceder los límites de la normativa actual, por lo que es necesario tener un valor límite (LMP). Caso similar es lo que indica el MVCS (2019, p. 4) con los VMA, pues este instrumento legal sirve para conocer si después de su medición cumple los estándares de calidad necesarios para poder depositarse en la red de alcantarillado.

Para tener un efluente tratado adecuadamente, se depende de la eficiencia del tratamiento que tenga, por lo que en base a la escala de eficiencias de la CCME (2006) se observó que, para los efluentes analizados, los tratamientos de C-F o precipitación química tienen eficiencias de más de 80% para SST y DQO e incluso en  $\text{S}^{-2}$  y Cr T, siendo consideradas según la escala de eficiencia como buena. Esto se debe a que al añadir diversos químicos generan una alteración del estado físico de los sólidos como menciona Fonfría (1989, p. 101), neutraliza y estabiliza las cargas de los compuestos como indica Martínez (2016, p. 26-27) y genera que mediante procesos como C-F o precipitación química estos terminen eliminándolos por sedimentación.

Las eficiencias llegan a ser, para el efluente de remojo, buenas en estudios como el de Cerón (2011) con parámetros como SST hasta con 89.25% de eficiencia (Bueno: B) y pH neutro, cumpliendo con los VMA y LMP. En el efluente de pelambre, estudios como Montoya y Silencio (2017) tienen eficiencias mayores al 95% (Excelente: E) y cumplen con los LMP y VMA para parámetros como DQO, SST, pH neutro y  $S^{-2}$ , siendo este último el más alto con 99.89%. Por otro lado, también existen estudios que cumplen solo con los VMA y no con los LMP, como es el caso de Ramos (2015), pues con una eficiencia de 39.96% (Pésimo: P) y una concentración de 88.37 mg/L para AyG, cumple con lo que estipula los VMA para AyG de 100 mg/L, mas no para los LMP que estipulan 50 mg/L.

En el efluente de curtido, las eficiencias llegan hasta el nivel de excelente como en el estudio de Ortiz (2013), que cumple con los LMP y VMA en 5 parámetros, teniendo eficiencias de hasta 100% (E) para SST y Cr T así como pH neutro. Para este efluente, otros estudios cumplen para los VMA y LMP en solo 1 parámetro como el caso de Castro y Jave (2017) con 99.99% (E) para Cr T, pero el pH básico; y otros como Portada (2016) no cumplen ni con los VMA ni con los LMP, pese a tener una eficiencia excelente de 96.22% para el parámetro de Cr T.

Para el efluente total, el estudio con la mayor cantidad de parámetros que cumplen con los VMA y LMP se evidencia en Castillo y López (2018), con eficiencias excelentes de 99.57% para AyG, 99.22% para SST y pH neutro, pese a que 2 parámetros solo cumplen con los VMA, siendo estos  $S^{-2}$  con 94.98% de eficiencia buena y Cr T con una eficiencia excelente de 95.22%. Asimismo, estudios como Ganoza y Panduro (2010) tienen parámetros que cumplen solo con los LMP, para parámetros como DQO con una eficiencia buena de 80.26%; y también estudios que no cumplieron con los VMA ni con

los LMP como es el caso de Morocho (2017) que obtuvo una eficiencia pésima de 45.52% para SST, y regulares (R) para DBO<sub>5</sub> y DQO con 50.16% y 50.96% respectivamente.

Una vez analizadas las eficiencias en cada estudio se realizó una valoración por tipo de efluente en base a criterios de eficiencia, cantidad de parámetros y cumplimiento de los LMP y VMA, ello con la finalidad de conocer cuántos de los estudios que aplicaron tratamientos físico- químicos resultaron más efectivos, es decir, con los puntajes más altos para realizar una propuesta de tratamiento. Para el efluente de remojo, el puntaje más alto lo obtuvo Cerón (2011) con 6 puntos y el más bajo fue para Pardo (2016) con -2 puntos. En pelambre, Montoya y Silencio (2017) tiene el mayor puntaje con 16 puntos y el menor resultó Tayupanda (2010) con -5 puntos. El efluente combinado de pelambre y curtido tiene al estudio de Cerón (2011) como el único con dichas características, obteniendo 8 puntos. Para curtido, el puntaje más alto es Ortiz (2013) con 18 puntos y el más bajo Portada (2016) con -1 punto. En el efluente total el mayor puntaje resultó para Castillo y López (2018) con 23 puntos, seguido de Martínez (2016) con 17 puntos, y el más bajo resultó ser Morocho (2017) con -5 puntos, lo que coincide con que ninguno de sus parámetros cumple con los LMP y VMA.

En base al párrafo anterior se analizaron los tratamientos que se aplicaron en los estudios con mayor puntuación. El efluente de remojo caracterizado por poseer gran cantidad de sólidos, con la aplicación del tratamiento de C-F descrito por Cerón (2011, p. 8) con FeCl<sub>3</sub> de coagulante y floculante aniónico logra remover, con eficiencias no tan óptimas, los parámetros de SST hasta 89.2% y para DQO apenas llega al 58.5%. En el efluente de pelambre, el estudio de Martínez (2016, p. 90) analiza un tratamiento con filtro de pelo, seguido de oxidación de sulfuros con MnSO<sub>4</sub> y O<sub>2</sub> como catalizadores para la remoción SST y S<sup>-2</sup> llegando a tener eficiencias excelentes en parámetros de SST con

95.3% y para  $S^{-2}$  mejora hasta 98.4%. Por su parte, Montoya y Silencio (2017, p. 63) aplican C-F con  $FeCl_3$  y  $FeSO_4$  para remover SST,  $S^{-2}$  y DQO, logrando eficiencias excelentes de 95.4% para SST, 98.8% para DQO, 99.8% para  $S^{-2}$  y pH neutro, observando que C-F es el tratamiento con más eficiencia de remoción en comparación con la oxidación de sulfuros.

Para el tratamiento aplicado en el efluente combinado de pelambre y curtido propuesto por Cerón (2011, p. 86- 89) se realizó una aireación y sedimentación para remover sulfuros, así como precipitación con hidróxido de calcio, para remover Cr T en forma de hidróxido, pues como lo describe Martínez (2016, p. 56), tanto el sulfuro como el cromo son insumos muy contaminantes. Cerón (2011, p. 57 y 75) en su tratamiento logra eficiencias excelentes de 99.96% para  $S^{-2}$  y 98.75% para Cr T, sin embargo, para aplicar el tratamiento hay que tener en consideración que la dosis sería de 40% de pelambre y 60% de curtido, además de tener una columna de absorción para el  $H_2S$  que se formará por la neutralización de los efluentes.

Para el efluente de curtido se analizó el estudio de Ortiz (2013, p. 53 y 61) con una propuesta de filtración con malla 100 mesh, pues indica que los filtros de grava, arena o mallas menores a este tamaño se saturan rápido debido a la elevada cantidad de sólidos, mientras que estos filtros retienen hasta 97% de SST. Además, realiza precipitación con NaOH 4M, con ajuste de pH a 9, ya que mayor a 10 el cromo forma iones solubles en agua y no permite la recuperación, buscando retener Cr T y SST con eficiencias de 100% en ambos casos, para posterior a ello realizar una recuperación de cromo con  $Na_2SO_4$  y H-COOH, así como remover  $DBO_5$  y DQO llegando a obtener eficiencias mayores al 93%. Por su parte, en el tratamiento propuesto por Martínez (2016, p. 102) se hace uso de precipitación química con NaOH para recuperar cromo, y a comparación de Ortiz,

indica que desde pH 10 se obtienen buenos resultados para remover Cr T con eficiencias de 99.67%.

Para el efluente total se analizó la propuesta de Martínez (2016, p. 90) que realiza la incorporación de los efluentes en el tanque homogeneizador, para que, como indica Castillo y López (2018, p. 40), se uniformice el caudal, pH y las características de los efluentes ya que suelen tener variaciones debido al flujo inconstante. Martínez también consideró un tratamiento por tamiz de 200 mm para reducir SST, sólidos y lodos, y posteriormente pasar dicho efluente al tanque de C-F y sedimentación utilizando Terra Flocc GM y Back Flocc RR como coagulante y floculante respectivamente, con el fin de remover parámetros como SST obteniendo eficiencias de hasta 95.3% (excelente), y también parámetros de DQO y DBO<sub>5</sub> con eficiencias hasta 92%. El otro estudio analizado fue el de Castillo y López (2018, p. 40- 43) que propone el uso de una poza de aireación con inyección de aire para efluentes provenientes de trampa de grasas, remojo y calero, seguido de una poza de sedimentación para remover DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y S<sup>-2</sup>, con eficiencias excelentes de más de 94.98%.

Adicional a los efluentes analizados, Castillo y López (2018, p. 35- 40), propone la construcción de una trampa de grasas como tratamiento para el efluente de descarnado con la finalidad de reducir AyG, DBO y DQO, logrando una eficiencia excelente de 99.57% para AyG. Sin embargo, para los parámetros de DBO y DQO no consiguió reducirlos hasta cumplir con los VMA, por lo que con la ayuda de una poza de sedimentación al onceavo día recién se observó que estos lograron estar por debajo de lo establecido en los VMA con eficiencias de hasta más del 95% para ambos casos. Otros estudios como el de Martínez (2016, p. 90) también proponen trampa de grasas, pero son usados para efluentes de salida en las etapas de ribera (lavados, remojo, pelambre) y de

curtido (lavado, desencalado, piquelado y curtido), con el objetivo de la retención de las grasas y su posterior decantación de sólidos.

Por último, se ha realizado la propuesta del sistema de tratamiento basado en el análisis de los estudios con mayor puntaje. Para el efluente de remojo no consideró el tratamiento de C-F propuesto por Cerón (2011, p. 34- 35), debido a que, si bien con este tratamiento logra remover sólidos, sales y materia orgánica, estos también pueden ser removidos a través de una filtración con malla. Por ello se propone el tratamiento con una Poza de Filtración con Trampa de Grasa que también tratará los efluentes de pelambre, donde se reduce la carga orgánica de SST, DQO y DBO<sub>5</sub>. La poza consta de 3 compartimentos con 2 tratamientos, donde el primer tratamiento se encarga de retener las grasas del efluente y el segundo realiza una filtración a través de un filtro de malla que permite retirar hasta el 97% de SST como la epidermis, grasas y pelos, ya que según Ortiz (2013, p. 28, en mención a Alzate, 2004) tanto la piel como el pelo producen gran cantidad SST y por consecuente gran DQO.

El tratamiento de Filtración unido con una trampa de grasa fue considerado debido a Castillo y López (2018, p. 39), pues aun cuando el tratamiento lo realiza para un efluente no considerado como es el descarnado, hace mención en la necesidad de reducir el parámetro de AyG que es un parámetro de control para los instrumentos legales de los VMA y LMP. Con la unión de los tratamientos de filtración y trampa de grasas se busca reducir también la DBO<sub>5</sub>, el cual representa un 20% de los AyG, evitando de ese modo que se acumule en tuberías, bombas y en el sistema de alcantarillado, debido a que las grasas suelen causar obstrucción en el flujo de los sistemas de tratamiento gracias a su baja biodegradabilidad, baja densidad y poca solubilidad como lo mencionan en la página 53.

El efluente de pelambre también tendrá un tratamiento con un tanque de C-F en base al estudio de Montoya y Silencio (2017), usando como coagulante el  $\text{FeCl}_3$  y floculante aniónico, pues este tratamiento ayuda a remover la presencia de sulfuro de sodio en más del 99%, así como la reducción de sólidos y material orgánico en suspensión hasta un 95%. Por ello, como también lo menciona Martínez (2016, p. 89), es necesario separar los sulfuros del efluente a fin de que el efluente pueda ingresar sin problemas junto con los demás en una poza de homogenización. Cabe señalar, como menciona Martínez en las páginas 21 y 22, se genera el riesgo de producir lodos altamente tóxicos con la adición de coagulantes y floculantes, por lo que es necesario considerar una disposición final. Por todo ello la propuesta considera un tratamiento de C-F solo para pelambre debido a su pH básico, siendo riesgoso mezclarlo con otros de pH neutro pues desde un pH de 9 se genera ácido sulfhídrico, que es un gas tóxico como indica Martínez (2016, p. 88 y 143).

En este en el efluente no se consideró aplicar la oxidación de sulfuros propuesto por Martínez (2016, p. 90) pues como menciona Ramos (2015, p. 32), se corre el riesgo que a un pH menor de 10 pueda generar  $\text{H}_2\text{S}$ , el cual es venenoso en altas concentraciones, además que es un tratamiento lento para reducir SST como indican Ganoza y Panduro (2010, p. 25). Asimismo, tampoco se optó por considerar el tratamiento por aireación para los efluentes de pelambre y curtido porque, si bien es cierto, Cerón (2011, p. 89) menciona que se puede llegar a remociones cercanas al 99% para sulfuro y cromo, este tratamiento exige proporciones que no se adecuan a la realidad, además que es peligroso si es que no se tiene condiciones adecuadas. Por ello, tratamientos de aireación, como el aplicado por Contreras y Salvador (2015, p. 52), mencionan que sería necesario considerar el impacto del gas formado en el ambiente, debiendo tratarse mediante una columna de absorción con aplicación de cal y posteriormente pasar por filtros de arena para la retención de sólidos y remover sulfuros como lo detallan en las páginas 6 y 7.

Para el efluente de curtido, se ha considerado un tratamiento por filtro de malla en base a Ortiz (2013, p. 78- 82) para la retención de SST, así como su posterior paso al tanque de precipitación con NaOH como también menciona Martínez (2016, p. 25), con el objetivo de reducir el nivel de cromo y carga orgánica como SST, DQO y DBO<sub>5</sub>. Opcionalmente el cromo precipitado se puede recuperar con la adición de ácido fórmico o sulfato de sodio mencionado por Ortiz (2013, p. 80- 81), teniendo en consideración que el pH ideal para la precipitación de cromo es entre 8 a 8.5 según Ganoza y Panduro (2010, p. 62), coincidiendo con lo que indica Castro y Jave (2017, p. 25 y 92), ya que de acuerdo con el Diagrama de Pourbaix, el cromo entre pH 7 y 11 es susceptible de precipitar. Ellos consideran como aditivo al NaOH al igual que Ortiz (2013, p. 8) y de la misma manera que Gordillo y Toledo (2013, p. 127).

Por ello, para precipitar cromo se considera un pH ideal de 8, teniendo por agentes precipitantes, como mencionan Martínez (2016, p. 25) y Guevara et al. (2012, p. 118) aditivos de MgO, Ca(OH)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y NaOH. De todos estos, Córdova (2014, p. 80) menciona que como en el efluente de curtido se usan sulfatos básicos de cromo que generan la formación de Cr<sup>+3</sup>, los precipitantes más factibles son el NaOH y Ca(OH)<sub>2</sub> como los menciona Portada (2010, p. 82), coincidiendo con Ortiz (2013, p. 8). Existen otros precipitantes como la oxidación con Cl<sub>2</sub> mencionado por Ganoza y Panduro (2010, p. 25), sin embargo, es riesgosa por la formación de organoclorados y Cr<sup>+3</sup>, además si se quisiera recuperar sería muy costoso. Por eso, la recuperación de cromo se propone de modo opcional, ya que sería necesaria una inversión inicial, teniendo que en un periodo de 2 años con una tasa de venta de 15- 20 lotes de 100 pieles mensuales, se puede recuperar la inversión como menciona Ortiz (2013, p. 92).

Por último, en efluente total se consideró la propuesta de Martínez (2016, p. 56 y 90) con el tratamiento en el tanque de homogenización para nivelar los caudales procedentes de los diversos efluentes debido a que estos no presentan estabilidad, por lo que suelen llegar a picos de contaminación irregular que el homogenizador se encarga de evitar. Además, como mencionan Ganoza y Panduro (2014, p. 31) los efluentes de curtiembre se caracterizan por tener una gran variación de sus concentraciones en el tiempo ya que se realizan los procesos en diferentes cantidades haciendo imposible mantener constantes las características del efluente. Es por eso que se requiere tener un lugar donde retener a todos los efluentes a fin de homogenizarlos y tratarlos de forma conjunta.

Para el efluente total también se consideró también un filtro de malla con el fin de reducir la cantidad de sólidos y disminuir los lodos que serán posteriormente sedimentados. Finalmente está el tratamiento de C-F aplicado por Martínez (2016, p. 114 y 141) que menciona que con un pH de 8 es necesario para realizar un adecuado procedimiento usando como aditivos Terra FlocK GM y Back Flock RR, llegando a remover más del 50% de los sólidos en efluentes totales. Otros estudios como el de Agreda y Domínguez (2018, p. 24), proponen el uso de PAC como aditivo con una concentración de 2000 ppm, sin embargo, mencionan que al pasar dicha concentración de coagulante el porcentaje de remoción tiende a bajar. En este efluente no se consideró optar por el tratamiento de aireación de Castillo y López (2018, p. 8 y 40- 43) debido a que un sistema de aeración difusa y C-F, requiere aguas de pH ácido y básico separados para lograr remover el 75% de contaminantes orgánicos y 70% de inorgánicos.

Recalcar que el tratamiento de Sedimentación propuesto por Castillo y López (2018, p. 45- 50), no se consideró ya que el tratamiento en el tanque de C-F para el efluente total tiene como parte de su proceso un tiempo de sedimentación. Además, solo con la

sedimentación se busca reducir entre el 50 – 70% de SST y hasta el 40% de DBO<sub>5</sub>. Por otro lado precisar que las aguas residuales de curtiembre tienen un índice de biodegradabilidad mayor a 0.8, por lo que es posible que se puedan aplicar tratamientos biológicos si no fuera por parámetros como sulfuros y cromo que limita su aplicación, lo cual se relaciona con lo mencionado por Morocho (2017, p. 2) que compara la eficiencia de tratamientos físico- químicos como C-F con tratamientos biológicos aplicando EMAs, llegando a concluir que el tratamiento físico químico tiene mejores resultados para efluentes totales.

En base a los 5 estudios seleccionados que son Castillo y López (2018), Montoya y Silencio (2017), Ortiz (2013), Martínez (2016) y Cerón (2011) se han realizado la propuesta de tratamiento, las cuales tienen resultados buenos y excelentes ya que dichos trabajos de investigación se han escogido mediante la valoración aplicada en los resultados. Sin embargo, la investigación de Cerón (2011) al presentar eficiencias inferiores a los demás no fue considerada para el diseño del sistema de tratamiento, mientras que los estudios restantes han demostrado reducir significativamente las concentraciones de los parámetros analizados en la presente tesis que son a su vez parámetros de fiscalización y control para la normativa de los VMA y LMP, evidenciando que los tratamientos aplicados en los estudios logran cumplir con al menos uno de los marcos legales, por lo que de implementarse el sistema de tratamiento se obtendría buenos resultados.

El modelo de la propuesta presentada tiene similitud con la investigación de Martínez (2016), donde los tratamientos de trampa de grasas, precipitación química, homogenización, filtración por malla y C-F son tomados en consideración para nuestra propuesta, sin embargo tratamientos como oxidación de sulfuros que lo propone Martínez

(2016) para el efluente de pelambre no es considerado debido a que en la investigación de Montoya y Silencio (2017) obtienen mejores resultados aplicando el tratamiento de C-F en los parámetros de DQO, SST,  $S^{-2}$  y pH. Por otro lado el trabajo de investigación de Ortiz (2013) ha servido como base para el tratamiento del proceso de curtido realizado por Martínez (2016). Finalmente el trabajo de Castillo y López (2018) ha sido considerado para el tratamiento de filtración por rejillas para la retención de sólidos gruesos en la entrada de cada efluente, por lo tanto la presente propuesta, aunque presenta cierta similitud con Martínez (2016), incluye tratamientos de los 3 estudios antes mencionados.

En cuanto al análisis económico detallado en el Anexo L de la tesis, el costo de inversión para el sistema de tratamiento en base al dimensionamiento, ajustados a la moneda peruana resultan S/130,980.21 soles. El costo del sistema de tratamiento se puede dividir en dos partes: El costo de construcción y los equipos a utilizar, donde el primero es el precio total por la construcción de los 4 tanques y 1 poza, cuyo monto resulta S/78,925.26. Este incluye los costos para la construcción individual de cada estructura, oscilando desde los S/6,980.44 atribuido a la Poza de filtración con trampa de grasa para los efluentes de remojo y pelambre, hasta los S/12,047.95 para el Tanque de Coagulación-Floculación del efluente total. Cabe resaltar que también se incluye los gastos adicionales y por Habilitamiento para las 5 estructuras, sumando ambos S/30,012.33.

El segundo costo hace referencia a los equipos a utilizar, donde el precio total resulta S/ 52,054.85 soles. Dentro los costos que comprende, están los equipos de filtrado de la marca Lama y las mallas cuyo costo resulta S/32,399.77, así como las bombas extractoras y dosificadoras con un costo de S/9830.00 soles. Además, se incluye el flete e IGV por el transporte de estos equipos que provienen de Europa, como por ejemplo los filtros de malla que vienen desde España como lo indica en su página la empresa Lama (s.f.). Estos

costos podrían variar, en base al mercado extranjero por lo que es importante considerar la capacidad de inversión de la empresa. Por ello, al analizar la oportunidad del sistema de tratamiento, es decir, la oportunidad de encontrar los equipos y la construcción de este sistema en el mercado local y nacional, el estudio demuestra que sí es oportuno, pues tal como se ve en la Tabla 26, solo 5 de los 12 equipos no se encuentran fácilmente en el mercado local teniendo que importarlo de otros países, como son los filtros de malla.

En este estudio, el monto referencial que las empresas invertirían sería S/25 000 que si se compara con los casi S/131 000 soles que cuesta el sistema de tratamiento la posibilidad de inversión, de acuerdo a la escala adaptada del modelo de Gonzales y Zúñiga (2011), resulta Muy Baja (MB), ya que podrían invertir menos del 20% del costo, y por tanto el costo del sistema resulta Muy Alto (MA). Si se considera como monto límite S/25,000 soles, las empresas podrían optar por la construcción de tratamientos de forma independiente, debido a que el tratamiento para un determinado efluente resultaría con costos Bajos (B) al ser costos menores a la mitad del monto de inversión, a excepción del equipo de filtración Automesh AM4 cuyo costo es de S/28,696.32, que resulta Muy Alto (MA).

El costo del tratamiento visto desde la capacidad de inversión resulta ser muy elevada, sin embargo, es necesario tener en cuenta otros factores como los riesgos de sanciones por no realizar un correcto tratamiento en sus efluentes, tal como lo realiza OEFA (2019, p.1) en la R.D. N° 0543-2019-OEFA/DFAI que podría traer consigo la aplicación de Procesos Administrativos Sancionadores (PAS) al no cumplir con los LMP estipulados en el D.S. 003-2002-PRODUCE, así como también las posibles sanciones por parte de las EPS, que en caso de la provincia de Trujillo es la EPS SEDALIB S.A., quienes se encargan de velar y exigir el cumplimiento de los VMA tal como detalla el Ministerio

de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el Artículo 3 del D.S. 010-2019-VIVIENDA. A ello se sumaría el cierre de la empresa y por tanto la falta de ingresos para la empresa y la mala imagen que tendría en el mercado.

Al contemplar las sanciones económicas que podrían recibir, para el incumplimiento de los LMP según la metodología de OEFA que es mencionada en la Resolución de Presidencia de Consejo Directivo N° 035-2013-OEFA/PCD (2013, p. 1- 20), la multa depende del porcentaje en exceso de la concentración del parámetro, además de factores de gradualidad y beneficios ilícitos, así como del artículo 4° de la Resolución de Consejo Directivo N° 045-2013-OEFA/CD, Tipificación de Infracciones y Escala de Sanciones, donde OEFA (2013, p. 4) hace mención que al sobrepasar de los 200% de los LMP referente a parámetros no calificados como de mayor riesgo ambiental, la multa estaría desde los 50 hasta los 5000 UIT. Cabe señalar que esta multa, de acuerdo al Artículo 12, numeral 12.2 de la Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA/CD, no puede ser mayor al 10% del ingreso bruto anual que percibió el infractor el año anterior a la fecha de la infracción, por lo que una empresa en promedio podría recibir hasta 50 UIT si su venta es de casi 2 millones de soles anuales.

Para el caso de los VMA, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento o conocido por sus siglas SUNASS, a través de la Resolución de Consejo Directivo N° 011-2020-SUNASS-CD, en su capítulo II establece la metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración que será fiscalizada por la EPS, en base a los rangos de concentración y factores de ajuste para los parámetros del Anexo 1 de los VMA, así como en base a la Resolución de Consejo Directivo N° 036 -2004-SUNASS-CD que establece la tipificación de infracciones y sanciones menciona que la multa puede ir de 0 a 100 UIT de ser una infracción leve, hasta 500 UIT de ser muy grave de acuerdo al ítem

4.1 de dicha resolución, además en base a la gradualidad del tamaño de las empresas descrito en el ítem 5: Sobre la escala de sanciones, la multa no debe exceder el 30% de lo que factura mensualmente. Sin embargo, la OEFA también puede sancionar por incumplimiento de los VMA, tal como indica en la Resolución Directoral (R.D.) N° 0713-2019-OEFA/DFAI.

En base a las sanciones mencionadas tanto por OEFA como por la SUNASS y ejecutada por las EPS, con un monto de hasta 50 UIT, y teniendo en consideración que al 2020 el valor de 01 UIT es S/4200 soles como menciona el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) en el Decreto Supremo N° 380-2019-EF, el monto a pagar por la sanción para una venta promedio de 370 UIT sería desde los 37 UIT (monto al 2020) o el equivalente a S/159,100 soles, ello en base a las R.D. de OEFA analizadas para sanciones a curtiembres, ya que la aplicación de la multa no debe ser mayor al 10% de los ingresos en base a la Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA/CD. Este monto a pagar resulta mayor al costo del sistema de tratamiento estipulado en S/130,980.21, un costo que representa el 82.33% de la multa a pagar, por lo que, el tratamiento resulta favorable económicamente, ya que solo se contempla la multa, mas no las pérdidas de la venta y utilidades por el cierre de la empresa.

Por todo ello, la ejecución del sistema de tratamiento propuesto brindaría una alternativa de solución a los efluentes de las empresas de curtiembre, lo que ayuda en la reducción de las concentraciones de los parámetros y cumplir con los VMA y LMP antes de verterse al sistema de alcantarillado, a través de un tratamiento que permitiría reducir la carga contaminante de estos efluentes. La propuesta traería consigo el bienestar ambiental, optimización de la calidad que se realizan dentro de las empresas de los procesos y evitaría sanciones económicas. Además, al contemplar de modo opcional el

proceso de recuperación, la propuesta permitiría que la empresa reduzca la cantidad de sus insumos y consumo de agua, debido a la progresiva demanda y agotamiento del recurso hídrico, así como reducir el impacto negativo al momento de disponer sus efluentes en el sistema de alcantarillado y evitar riesgos al ingreso de las PTAR de la provincia de Trujillo.

En este estudio, dentro de algunas limitaciones encontradas para su elaboración, está la fecha de publicación, debido a la existencia de estudios con información relevante pero que no estaban en el periodo de años requerido, además de la cantidad de estudios con resultados de propuestas físico- químicas, debido a que los estudios lo aplicaban como pre tratamiento para un posterior tratamiento avanzado, reduciendo la posibilidad de analizarlos como tratamientos independientes y la cantidad trabajos a analizar. Al momento de escoger los estudios, la falta de homogeneidad limitaba el consolidado de información y dificultaba en la aplicación del análisis estadístico, así como pocos estudios con análisis económico generó un límite para la predicción de los costos. Mención aparte, el acceso a información de las empresas y software de modelamiento de tratamiento de aguas industriales ha sido limitado, impidiendo hacer un modelamiento de la propuesta generada.

Por todo ello, se concluye que a través del análisis de diversos tratamientos físico-químicos en 23 trabajos de investigación, para proponer un sistema de tratamiento para las aguas residuales de curtiembre en base a los estudios con las mejores puntuaciones, la propuesta de sistema de tratamiento debe considerar las etapas, procesos y las concentraciones de los parámetros más comunes de cada efluente de una curtiembre (AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, S<sup>-2</sup>, Cromo VI, Cromo Total y pH), y para ello se realizó un análisis de diversos estudios valorizándolos cuantitativamente, donde se llegó

a elegir a los estudios con mejor puntuaciones que cumplan los VMA y LMP, puesto que estos se disponen en la red de alcantarillado, y al no manejarse de modo adecuado, los impactos negativos que producen estos efluentes serían muy contaminantes y dañinos en el sistema de alcantarillado.

Por ello, mediante la aplicación de SIG se analizó la relación que existe entre las curtiembres, las PTAR y la red de alcantarillado en la provincia de Trujillo, identificando que los distritos con mayor número de curtiembres fueron La Esperanza, El Porvenir, Trujillo y Florencia de Mora, siendo La Esperanza el que tiene la mayoría de curtiembres. Además, se observó que en estos distritos las PTAR tratan menos del 50% de sus aguas demostrando que si no se tratan adecuadamente los efluentes de curtiembre causarían deterioro en la red de alcantarillado y afectarían los procesos de tratamiento de las PTAR, ya que pese a que existen tratamientos físicos como desarenador y cámara de rejillas finas (PTAR El Tablazo), aún con lagunas aireadas o facultativas, su tratamiento está enfocado en aguas residuales domésticas mas no industriales.

Además, se identificaron las etapas y procesos de curtiembre con mayor análisis en la caracterización de parámetros, encontrándose que de los 23 estudios los efluentes de Remojo, Pelambre, Curtido y Total, fueron los de mayor frecuencia con 8%, 23%, 38% y 31% respectivamente. Por otra parte, los parámetros más analizados fueron pH (24%), DQO (20%), Cr Total (16%) y SST (12%). Además, los tratamientos físico-químicos más aplicados en los estudios fueron Precipitación Química (21%), Coagulación- Floculación (16%), Sedimentación (14%) y Filtración (10%). Cabe mencionar que las concentraciones pre tratamiento de los parámetros varían, como para pelambre, los SST en un rango 4583 – 9278 mg/L,  $S^{-2}$  entre 476 – 898 mg/L, para curtido con un rango entre

2066 – 3393 mg/L de Cromo Total, y para total se tiene parámetros como DQO con un rango entre 5919 – 7929 mg/L.

También se evaluó el cumplimiento de los LMP, VMA y la eficiencia de los sistemas de tratamiento de cada estudio, considerando para ello las concentraciones post tratamiento de cada estudio. Se observó que parámetros de  $S^{-2}$  y DQO fueron los de mayor incumplimiento en ambas normativas, mientras que pH y Cr Total fueron los que cumplieron en la mayor cantidad de estudios analizados, en gran parte con los VMA. Para el efluente de remojo se tienen eficiencias desde regulares (58.53% para DQO) hasta buenas (89.25% para SST). Para pelambre se tienen eficiencias pésimas (P) como 8.5% para  $DBO_5$  hasta excelentes (E) como 99.89% para  $S^{-2}$ . En el efluente de curtido es el que se tiene muy buenas eficiencias, con solo una pésima de 38.46% para DQO y eficiencias excelentes (E) hasta 100% para SST o Cr Total. Para el efluente total se tienen eficiencias pésimas (P) desde 8.75% para DQO hasta excelentes (E) de 99.69% para Cr Total o 99.22% para SST.

Para la elección de los trabajos de investigación, se seleccionaron por tipo de efluente los mejores estudios, para comparar a través de una valoración la eficiencia, cantidad de parámetros evaluados y cumplimiento de los LMP y VMA. De este modo se calificó a los estudios, encontrándose que los de mayor puntuación fueron el trabajo de Cerón (2011) para el efluente de Remojo con 6 puntos, Montoya y Silencio (2017) para el efluente de pelambre con 16 puntos, el trabajo de Ortiz (2013) centrado en curtido con 18 puntos y para el efluente total los trabajos de Martínez (2016) con 17 puntos y de Castilloy López (2018) con 23 puntos. Para el caso del efluente combinado de pelambre y curtido estudiado por Cerón (2011) que obtuvo 8 puntos no se consideró debido al análisis entre los efluentes para la ejecución de la propuesta de tratamiento.

Por último, se propuso un sistema de tratamiento basado en los estudios que obtuvieron mayor puntaje de valoración, así como se analizó los tratamientos realizados por cada estudio aun cuando no sea del efluente enfocado de dicho estudio. Por ello, la propuesta consta de una poza de filtración con trampa de grasas para los efluentes de remojo y pelambre con base en el estudio de Martínez (2016), además, para el efluente de pelambre se realizará un tratamiento de C-F mencionado en Montoya y Silencio (2017). Para el efluente de curtido se realizará un proceso de filtración con malla en base a Ortiz (2013), seguido de precipitación química basado en los estudios de Martínez (2016) y Ortiz (2013), y una opcional recuperación como señala Ortiz (2013). Estos efluentes luego pasarán al tanque homogeneizador para una estabilización del caudal y pH, para luego ingresar por un filtro de malla y un tanque de C-F descrito por Martínez (2016) antes de ser vertida en la red de alcantarillado.

Se concluye, respecto al análisis económico detallado en el Anexo L del presente estudio, que la propuesta tiene un costo de inversión Muy Alto (MA) en base a la escala de nivel de costo, tomando como referencia el monto de S/25,000 que las empresas estarían dispuestas a invertir. Sin embargo, el tratamiento sí resulta conveniente con un ahorro de casi S/30,000 (un aproximado de \$7,400) solo considerando que la curtiembre podría recibir una multa desde 37 UIT y que podría aumentar hasta 50 UIT, porsobrepasar los parámetros con los LMP fiscalizados por OEFA o los VMA fiscalizados por las EPS y OEFA. Esto sin considerar las pérdidas de utilidades que tendría la empresadebido a la falta de ventas, además de la mala imagen que tendría en el mercado. En cuanto a la oportunidad de la ejecución del sistema de tratamiento, este sí resulta oportuno, debido a la accesibilidad de encontrar la mayoría de los equipos en el mercadonacional que se proponen como sistema de tratamiento.

Como recomendaciones para próximos estudios, está en hacer un análisis geográfico del ámbito de intervención, incluyendo datos concernientes a la cantidad de las empresas de curtiembre aledañas para evaluar el impacto que generan en el sistema de alcantarillado. Además, sería necesario analizar el recorrido del efluente por las tuberías desde su emisión en la salida de la curtiembre hasta que llega a la PTAR o EDAR, así como realizar un análisis de dispersión de los parámetros contaminantes para conocer el impacto real que tienen en todo su recorrido, y si estas podrían o no dañar la infraestructura sanitaria. En la parte informática es necesario utilizar un software que permita modelar y demostrar el nivel de efectividad de los tratamientos propuestos a través de datos referente a las concentraciones de los parámetros de entrada y salida, los caudales de los efluentes por los procesos a estudiar, los aditivos a usar para los tratamientos y las dosis respectivas, para observar la eficiencia de los tratamientos.

Por otro lado, sería conveniente evaluar el porcentaje de las empresas de curtiembre de la zona de estudio que exceden las regulaciones actuales y si realizan tratamientos antes de verter sus efluentes a fin de tener un panorama más detallado de los tratamientos que realizan y la eficiencia de estos. Asimismo, se considera necesario hacer una comparación de la eficiencia en tratamientos avanzados, puesto que la presente tesis se enfoca en tratamientos físico-químicos. Para el caso de la propuesta, se recomienda tener un control adecuado en el tratamiento de los efluentes analizados y de los lodos que se generan a fin de tratarlas, las recomendaciones para los tratamientos están detalladas en el Anexo L.

## REFERENCIAS

- Abdulla, H., Ahmed, E., Mohamed, A. y El-Bassuony, A. (2010). Chromium removal from tannery wastewater using chemical and biological techniques aiming zero discharge of pollution. Proceeding of 5th Scientific Environmental Conference. ZAGAZIG UNI.,p. 171 - 183.  
[https://www.researchgate.net/publication/307137491\\_Chromium\\_removal\\_from\\_tannery\\_wastewater\\_using\\_chemical\\_and\\_biological\\_techniques\\_aiming\\_zero\\_discharge\\_of\\_pollution](https://www.researchgate.net/publication/307137491_Chromium_removal_from_tannery_wastewater_using_chemical_and_biological_techniques_aiming_zero_discharge_of_pollution)
- Agreda Gabriel, A. y Dominguez Tolentino, T. (2018). *Influencia de la concentración de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno de efluentes de curtiembre pretratados mediante coagulación-floculación*. (Tesis de Grado). p. 25- 34. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11438>
- Alfaro Melgar, J., Carranza Cisneros, J. y Gonzales Reyes, I. (2012). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aguas lluvias y planta de tratamiento de aguas residuales para el área urbana del Municipio de San Isidro, Departamento de Cabañas*. (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador (<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1698/>).
- Amador, A., Bataller, M. y Veliz (2014). Tratamiento de Lodos, generalidades y aplicaciones. *CENIC*, Vol. (46), p. 1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>
- Aregu, M., Asfaw, S. y Khan, M. (2018). Identification of two low-cost and locally available filter media (pumice and scoria) for removal of hazardous pollutants from tannery

wastewater. *Environmental Systems Research*, 2018, p. 1-10, 7(1).

<https://doi.org/10.1186/s40068-018-0112-2>

ArcGIS (s.f.). *Introducción a SIG*. <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>

Artuz, L., Martínez, M. y Morales, C. (2011). Las industrias curtiembres y su incidencia en la contaminación del río Bogotá. *Revista Isocuanta*. p. 46.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/4973/Contaminaci%C3%B3n%20del%20r%C3%ADo%20Bogot%C3%A1.pdf?sequence=1>

Banco Central de Reserva del Perú (2019). “Perú: Situación actual del sector cuero y calzado”.

<https://citeccal.itp.gob.pe/wp-content/uploads/2019/12/IV-CONGRESO-NACIONAL-DE-CUERO-Y-CALZADO-SITUACION-ACTUAL-DEL-SECTOR-CUERO-Y-CALZADO-BCRP-Trujillo.pdf>

Banco Interamericano de Desarrollo (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales de México. Sector de Infraestructura y Medio Ambiente* (IDB-TN-521).

<https://publications.iadb.org/es/tratamiento-de-aguas-residuales-en-mexico>

Campos Cuenca, V. (2013). *Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo* (Tesis de Grado). p. IV. Repositorio Institucional de la Pontificia

Universidad Católica del Perú. (<http://hdl.handle.net/20.500.12404/4898>)

Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg- CCME (2006). *Municipal*

*Wastewater Effluent in Canada*. p. 8- 9. <https://ccme.ca/en/resources/groundwater#>

Castillo Cuzco, M. y López Mendoza, J. (2018). *Tratamiento del Agua residual industrial de la curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles* (Tesis

de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello (<http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/825>).

- Castro Espinoza, J. y Jave Azabache, E. (2017). *Minimización del cromo (III) mediante Hidróxido de Calcio en Efluentes de la Etapa de curtido de pieles en las curtiembres del parque industrial-Trujillo* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9855>).
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D. y Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una Revisión. *Revista de Ingeniería y Región*, 13(1), p.73-90. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (s.f.). *Acerca del Desarrollo Sostenible*. <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>
- Cerón Chafra, P. (2011). *Estudio de un Sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre* (Tesis de Grado). Repositorio Digital de la Universidad San Francisco de Quito. Ecuador (<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1248>).
- CITEccal Trujillo (2022). *Atención: Información requerida- Sr. Carlos Lara*. [Correo electrónico].
- Comisión Europea (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins*. (Industrial Emissions Directive 2010/75/EU). <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/best-available-techniques-bat-reference-document-tanning-hides-and-skins-industrial-emissions>
- Comisión Nacional de Medio Ambiente de Chile (1999). *Guía para el control de la contaminación industrial. Curtiembres* (p.6-8).

[https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/download/7296\\_d9137ab070ec83768d6cad872c6b3d22](https://www.mvotma.gub.uy/ambiente/produccion-sostenible/guias-tecnicas/item/download/7296_d9137ab070ec83768d6cad872c6b3d22)

Contreras Moreno, S. y Salvador Torres, K. (2015). *Influencia del pH y tiempo de aireación en la remoción de sulfuros en efluentes provenientes de la etapa de Pelambre de la industria de curtiduría utilizando ácido fórmico, acético y cítrico*. (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo, p. 11 (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3260>).

Córdova Bravo, H. (2014). *Minimización de emisiones de cromo en el proceso de curtido, por uso de complejantes y basificantes de cromo y tratamiento de efluentes* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina (<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1902>).

Cupe, B. y Juscamaita, J. (2018). Tratamiento de lodos residuales de una industria cervecera a través de fermentación Homoláctica para la producción acelerada de abono orgánico. *Ecología Aplicada*, p. 1-12, 17(1). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v17i1.1179>

Díaz Román, A., Jiménez Romero, M. y Herrera Reyes, L. (2015). Diseño de trampas para grasas con fibras naturales. *Sustentabilidad Productiva Sectorial. Algunas Evidencias de aplicación*. p. 48. Archivo de la Universidad Autónoma del Estado de México (<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68709/LIBRO+SUSTENTABILIDAD+PRODUCTIVA.pdf;jsessionid=82D5E4A09CEA0D0E9429EF5608DDFC53?sequence=3>).

Ecodena (s.f.) *Características de las Trampas de grasas*. Portal Web de Ecodena México de <https://ecodena.com.mx/caracteristicas-de-las-trampa-de-grasas/#fregadero>

Esri (s.f.) *¿Qué son los SIG?* <https://www.esri.com/es-es/what-is-gis/overview>

Estado Plurinacional de Bolivia (2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales*. <https://www.bivica.org/file/view/id/256>

Esteban Nieto, N. (2018). Tipos de Investigación. <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>

Fondo Nacional del Ambiente- FONAM (2013). Guía de buenas prácticas de ahorro y eficiencia energética Sector curtiembre. *Revista del Fondo Nacional del Ambiente* 1(1) p. 6. <http://energiayambienteandina.net/pdf/FONAM%20-%20GU%20C3%8CA%20DE%20BP%20DE%20AHORRO%20Y%20EFICICENCIA%20ENERG%20C3%88TICA%20EN%20EL%20SECTOR%20CURTIEMBRE.pdf>

Fonfría, R. (1989). *Ingeniería Ambiental: Contaminación y Tratamientos*. Barcelona, España: Editorial Marcombo.

Font, J. y Marsal, A. (2006). La importancia de la industria del curtido en Europa. *En Libro de calidad para la producción de piel y cuero libre de cromo (VI)*. (p. 21). España: S/E. <https://core.ac.uk/download/pdf/41765219.pdf>

Galiana Aleixandre, M. (2010). *Estudio experimental de minimización de la contaminación de efluentes de la industria de curtidos aplicando reutilización de baños residuales y tratamientos con procesos de membrana y biológicos* (Tesis doctoral). Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València, España. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/8954>

Gallego Molina, A. (2011). *Caracterización y tratamiento mediante membranas de las aguas residuales de desenchalado de una industria de curtidos para su reutilización*. (Tesis de Maestría). Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València, España. <http://hdl.handle.net/10251/15826>

- Ganoza García, J. y Panduro Salazar, E. (2010). *Propuesta de una tecnología para reducir carga contaminante de los efluentes líquidos de una curtiembre en el Distrito de El Porvenir* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3277>).
- García, L. (2010). *El saneamiento desde su última consideración como servicio público y derecho humano en la actualidad: el caso argentino*. *Revista Derecho y Ciencias Sociales*, (3), p. 49-69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5615322>
- Gerencia Regional de la Producción La Libertad (2012). Análisis Regional Empresarial Manufacturero. p. 35. <http://sir.regionlalibertad.gob.pe/admin/docs/2DREM%202012%20FINAL.pdf>
- Geromel, C. (2012). *Tratamiento físico-químico de efluentes de curtume por medio de filtros de membrana selectiva* (Tesis de Maestría). Repositorio de la Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, (<http://hdl.handle.net/11449/98074>).
- Gil, J., Manjarrez, N., Perdomo, M., Pérez, H., Solís, A. y Solís, M. (2013). El proceso de Sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12(3), p. 585- 594. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v12n3/v12n3a20.pdf>
- Gobierno de España (s.f.). Fichas descriptivas de regiones de procedencia. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/Contenido%20fichas%20regiones\\_tcm30-139359.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/Contenido%20fichas%20regiones_tcm30-139359.pdf)

- Gonzales, R. y Zúñiga, A. (2011). Método CEPCES para la Evaluación del Potencial Emprendedor. *Journal of technology management & innovation*, 6(1), p. 77-99.  
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242011000100008>
- Gordillo Moreno, G. y Toledo Luque, C. (2013). *Técnicas ambientales de Producción más limpia en la industria de curtiembre* (Tesis de Grado). p. 148. Repositorio Institucional de la Universidad Central de Ecuador, Quito.  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1371>
- GREENPEACE (2012). Cueros Tóxicos: Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la cuenca Matanza- Riachuelo. p. 4  
[http://www.dpn.gob.ar/documentos/20160517\\_30814\\_556734.pdf](http://www.dpn.gob.ar/documentos/20160517_30814_556734.pdf)
- Guevara, A., Quishpe, A. y de la Torre, E. (2012). Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración. *Revista Politécnica*, 31(1), p. 117-122.  
[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/200](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/200)
- Guzmán Torres, G. (2019) *Análisis de métodos para reducir los índices de grasas y aceites en los efluentes del área del comedor operativo de la empresa NAPORTEC S.A* (Tesis de Grado). p. 9. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Guayaquil  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/44994>
- Huamaní Taipe, G. (2014). *La industria de la curtiembre y su incidencia en el medio de la Ciudad de Lima - 2012*. (Tesis de Maestría). p. 12. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Callao (<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1613>).

- Imran, P., Hanif, M., Riaz, M., Noureen, S., Ansari, T. y Bhatti, H. (2012). Coagulation/Flocculation of tannery wastewater using Immobilized Chemical Coagulants. *Journal of applied research and technology*, 10(2), p. 79-86.  
<http://www.scielo.org.mx/pdf/jart/v10n2/v10n2a1.pdf>
- Interempresas (s.f.). *Equipos de filtración de agua*.  
<https://www.interempresas.net/Agua/FeriaVirtual/Producto-Rejas-manuales-para-canal-103894.html>
- Kaifer, J. (2006). Tratamientos Físico-Químicos de Residuos. *Módulo de contaminación por residuos*. Ed. 2005/2006. <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45772.pdf>.
- Lalangui, D. (2018). ¿Qué es una población y una muestra en tesis?  
<https://www.emprendimientocontperu.com/poblacion-y-muestra-de-tesis/#:~:text=Muestra%20de%20Tesis,-.%C2%BFQue%20es%20una%20Poblaci%C3%B3n%20en%20tesis%3F,Tambi%C3%A9n%20es%20conocido%20como%20Universo.>
- Lama Sistemas de Filtrado S.L. (s.f.). *Filtros de Malla*. Página Web de Lama, España.  
<https://lama.es/filtros-de-mallas/>
- Lama Sistemas de Filtrado S.L. (s.f.). *Malla Metálicos. Ficha Técnica*. Página Web de Lama, España. <https://lama.es/download/LAMA-MALLA-METALICOS.pdf>
- Lama Sistemas de Filtrado S.L. (s.f.). *Malla Automesh. Ficha Técnica*. Página Web de Lama, España. <https://lama.es/download/LAMA-MALLA-AUTOMESH.pdf>
- Lama Sistemas de Filtrado S.L. (2021). *Manual de Usuario*. Metálicos de Malla, p. 11- 13. Página Web de Lama, España, <https://lama.es/download/LAMA-CENTRIFUGAL-SCREEN-MANUAL-GUIDE-FILTERS.pdf>

- Lama Sistemas de Filtado S.L. (2021). *Manual de Usuario*. Automesh, p. 31. Página Web de Lama, España, <https://lama.es/download/LAMA-SCREEN-GUIDE-FILTERS.pdf>
- Lazo Cuentas, E. (2017). *Evaluación de la contaminación ambiental generada por efluentes industriales en el proceso productivo de una curtiembre de mediana capacidad del parque industrial de Río Seco, Arequipa*. (Tesis de Grado). Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín- UNSA. Arequipa. Perú. p. 1- 82. (<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2413>)
- Llano, B., Cardona, J., Ocampo, D., y Ríos, L. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica* 25(3), p. 73-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- López, P. (2004). Población, muestra y muestreo. *Punto Cero*, 09(8), p. 69-74. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012&lng=es&tlng=es)
- Marín, R. y Rodríguez, J. (1999). *Fisicoquímica de aguas*. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Martinez Ortiz, J. (2016). *Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la empresa Curtiembre Aldas* (Tesis de Grado). Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. (<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24502>).
- McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en ingeniería química*, 7ma edición.

- Melgar, D. (2000). Tecnología del Cuero. En *Proceso de Curtición, Control de Calidad y Maquinaria Tomo I* (p.15-50). [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/publicaciones/artesania/2005\\_2017/8\\_Tecnologia\\_cuero\\_t.1\\_2000.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/publicaciones/artesania/2005_2017/8_Tecnologia_cuero_t.1_2000.pdf)
- Mella, B. (2013). *Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação*. (Tesis de Maestría). Repositorio Digital de la Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul (<http://hdl.handle.net/10183/87302>)
- Mendoza Quintos, R. (2016). *Efecto precipitante del hidróxido de sodio y óxido de magnesio en la remoción de cromo del efluente de curtido, inversiones Harold S.A.C.* (Tesis de Grado). Repositorio Digital Institucional de la Universidad Privada César Vallejo, Perú (<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6818>).
- Merchán Viteri, J. (2015). *Planta de tratamiento de efluentes para los procesos del área húmeda en la tenería Inca CIA. Ltda de la ciudad de Ambato*. (Tesis de Grado). p. 1. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador (<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/13077>)
- Ministerio de Agricultura y Riego (23, marzo 2010). *Decreto que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 (D.S N°001-2010- AG)*. <https://www.minagri.gob.pe/portal/decreto-supremo/ds-2010/3768-decreto-supremo-no-001-2010-ag>
- Ministerio de Economía y Finanzas [MEF] (19, diciembre 2019). Valor de la Unidad Impositiva Tributaria durante el año 2020 (D.S. N° 380-2019-EF). <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/valor-de-la-unidad-impositiva-tributaria-durante-el-ano-2020-decreto-supremo-n-380-2019-ef-1838987-2/>

Ministerio de Medio Ambiente de España (1997). *Aplicaciones del manual media a sectores industriales. Sector Curtido de pieles animales* (p. 20-29). España: Fundación EOI.

<https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19390/aplicaciones-del-manual-media-sectores-industriales-sector-curtidos-de-pieles-animales>

Ministerio de Producción (4, octubre 2002). *Decreto Supremo que Aprueba los límites máximo permisibles (LMP) y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel* (D.S N°003-2002-PRODUCE).

<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (11, marzo 2019). *Decreto Supremo que Aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de Alcantarillado* (D.S N°010-2019-VIVIENDA).

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/272120-010-2019-vivienda>

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) – Norma OS.20 (8, mayo 2006). *Decreto Supremo que Aprueba las Norma Técnicas del Reglamento Nacional de edificaciones específicas para diseños definitivos* (D.S. N°011-2006-VIVIENDA).

[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.020.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.020.pdf)

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) – Norma OS.90 (8, mayo 2006). *Decreto Supremo que Aprueba las Norma Técnicas del Reglamento Nacional de edificaciones específicas para diseños definitivos* (D.S. N°011-2006-VIVIENDA).

[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)

Ministerio del Ambiente (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes*.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/155328/15\\_manual\\_para\\_municipios\\_ecoeficientes.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/155328/15_manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf)

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2013). *Lodos de depuración de aguas residuales*. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora/>

Montoya Arias, C. y Silencio Acuña, K. (2017). *Evaluación de pH, concentración de  $FeSO_4$  y  $FeCl_3$ , en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros en efluentes de pelambre de curtiembres* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. Perú. p. 42- 67. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9861>

Morocho Yascaribay, M. (2017). *Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el cantón Cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos)* (Tesis de Maestría). Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. Ecuador (<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26955>)

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (11, marzo 2013). *Metodología para el cálculo de las multas base y la aplicación de los factores agravantes y atenuantes a utilizar en la graduación de sanciones* (Resolución de Presidencia del Consejo Directivo N° 035-2013-OEFA/PCD). <https://www.gob.pe/institucion/oefa/normas-legales/214410-035-2013-oefa-pcd>

OEFA (12, noviembre 2013). *Tipificación de Infracciones y Escala de Sanciones relacionadas al incumplimiento de los LMP previstos para actividades económicas bajo el ámbito de competencia del OEFA* (Resolución de Consejo Directivo N° 045 -2013-OEFA/CD). <https://www.gob.pe/institucion/oefa/normas-legales/214777-045-2013-oefa-cd>

- OEFA (2014). *Se aprueba la tipificación de infracciones y escala de sanciones relacionadas al incumplimiento de los Límites Máximos Permisibles*. <https://www.oefa.gob.pe/se-aprueba-la-tipificacion-de-infracciones-y-escala-de-sanciones-relacionadas-al-incumplimiento-de-los-limites-maximos-permisibles/ocac02/>
- OEFA (11, octubre 2017). *Aprueban el Reglamento del Procedimiento Administrativo Sancionador del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA* (Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA/CD). <http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2017/10/RES-027-2017-OEFA-CD-ELPERUANO.pdf>
- OEFA (2019). *EXPEDIENTE N° 1720-2018-OEFA/DFAI/PAS* (Resolución Directoral N° 0543-2019-OEFA/DFAI). [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=35435](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=35435)
- OEFA (2019). *EXPEDIENTE N° 2696-2018-OEFA/DFAI/PAS* (Resolución Directoral N° 0713-2019-OEFA/DFAI). [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=35491](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=35491)
- Organización de las Naciones Unidas [ONU] (s.f.). *Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Organización Mundial de la Salud (2020). *Saneamiento*. <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>
- Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasa*. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xv.pdf>
- Ortiz Penagos, N. (2013). *Recuperación y reutilización de cromo de las aguas residuales del proceso de curtido de curtiembres de San Benito (Bogotá), mediante un proceso sostenible y viable tecnológicamente* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la

Universidad de Manizales. Colombia

(<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/1076>).

Pardo Delgado, A. (2016). *Diseño de una instalación para tratar el agua residual de la etapa de remojo generada en una industria de curtidos mediante tratamiento físico-químico y proceso de membranas*. (Trabajo de Grado). Repositorio Institucional de la

Universitat Politècnica de València. España

(<https://riunet.upv.es/handle/10251/68560>)

Pinedo Ochoa, R. (2012). Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el distrito de El Porvenir, provincia Trujillo, región La Libertad. (p. 9- 10) Tingo María.

[https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEM](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-)

[BRE%20D-](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-)

[LEYSE%2C%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20EL%20PORVENIR%2C%2](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-)

[OPROVINCIA%20TRUJILLO%2C%20REGION%20LA%20LIBERTAD.pdf](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-)

[BRE%20D-LEYSE%2C%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20EL%20PORVENIR%2C%2OPROVINCIA%20TRUJILLO%2C%20REGION%20LA%20LIBERTAD.pdf](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20GENERADOS%20POR%20LA%20CURTIEMBRE%20D-)

Ponce, M. (2020). *Desarrollo de biorreactor para reducir la carga orgánica generada en el agua residual de curtiembre Lizberth*. (Expediente Técnico). Trujillo, Perú.

Portada Mamani, A. (2016). *Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido en pieles por proceso físico-químico de la curtiembre de la facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la

Universidad Nacional del Altiplano. Perú.

(<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4061>).

Pulido Polo, M. (2015). Ceremonial y protocolo: métodos y técnicas de investigación científica.

*Revista Redalyc*, 31(1), p.1137-1156.

<https://www.redalyc.org/pdf/310/31043005061.pdf>

Ramos Jaramillo, M. (2015). “*Evaluación de metodologías para disminuir la contaminación existente en los efluentes líquidos generados en el proceso de producción de la curtiduría Aldás*”. (Trabajo de Maestría). Repositorio Institucional de la Universidad

Técnica de Ambato. Ecuador

(<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23389>).

Reyes Moreno, A., Martínez Garzón, A., Garzón Gallo, D., Pérez Rodríguez, L., y Echevarría Pedraza, M. (2018). Tratamiento de trampa de grasas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB), con cepas nativas para el estudio piloto de degradación. *Encuentro Internacional de Educación de Ingeniería*

(<https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/678>).

Rodríguez, E. A. (2005). *Metodología de la Investigación*. Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

<https://books.google.com.pe/books?id=r4yrEW9Jhe0C&lpg=PA23&dq=tipos%20de%20investigacion&pg=PA26#v=onepage&q=tipos%20de%20investigacion&f=false>

Rojas, E. (s.f). *El Usuario de la Información*. EUNED.

<https://books.google.com.pe/books?id=r4yrEW9Jhe0C&lpg=PA23&dq=tipos%20de%20investigacion&pg=PA26#v=onepage&q=tipos%20de%20investigacion&f=false>

Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. México D.F, México:

McGRAW HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp->

[content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf](https://content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf)

Sánchez Mejía, D. (2018). *Gestión de riesgo de desastres de las lagunas de oxidación de Covicorti, El Cortijo y propuesta para tratamiento de aguas residuales industriales de curtiembres en la ciudad de Trujillo y distritos. La Libertad*. (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú. (<https://hdl.handle.net/20.500.12759/4170>)

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] (s.f.). *Tanques de Almacenamiento en concreto y mampostería*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SAGARPA%20s.f.%20Tanques%20de%20almacenamiento%20en%20concreto%20y%20mamposter%C3%A9a.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SAGARPA%20s.f.%20Tanques%20de%20almacenamiento%20en%20concreto%20y%20mamposter%C3%A9a.pdf)

Secretaría de Industria, Comercio y PyME (2009). *Informe Aspectos Ambientales, Legales y Socioeconómicos. Curtiembre* (p.7-15). <https://vdocuments.net/informe-aspectos-ambientales-legales-y-socioeconomicos-curtiembres-2009.html>

SEDALIB S.A. (2015). *Memoria Institucional 2015*. <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/82018/20180820-2230493440.pdf>

SEDALIB S.A. (2017). *Plan Ambiental de SEDALIB S.A. 2017 – 2021*. <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32018/20180327-6552545280.pdf>

SEDALIB S.A. (2018). *Cobertura del servicio de alcantarillado brindado por SEDALIB S.A. en Trujillo Metropolitano*. <http://sedalib.com.pe/upload/drive/32018/20180326-6606670848.pdf>

SEDAPAR (2017). *Diseño de Rejas de limpieza manual*. Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado sanitario en la localidad de Chuquibamba,

distrito de Chuquibamba, provincia de Condesuyos, Departamento y Región Arequipa.

<https://www.sedapar.com.pe/wp-content/uploads/2018/02/1.REJA-MANUAL.pdf>

SIGMADAF Clarifiers (2021). *Tratamiento de aguas residuales de la industria de curtidos.*

*Aplicación de tecnologías Sigma DAF.* <https://sigmadafclarifiers.com/es/articulos-tecnicos/tratamiento-de-aguas-de-curtiembres>

Silva Villanueva, J. (2011). *Rol de las Ecotecnologías, Tecnologías Limpias y de Tratamiento en el control de la contaminación generada por las curtiembres de Trujillo.* (Tesis de Doctorado). Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. (<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8191>)

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS] (2, diciembre 2004). *Reglamento de infracciones y sanciones y escala de multas aplicable a las empresas prestadoras de servicios de saneamiento y su exposición de motivos* (Resolución de Consejo Directivo N° 036-2004-SUNASS-CD). [https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/re36\\_04cd.pdf](https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/re36_04cd.pdf)

SUNASS (26, mayo 2020). *Aprueban la “Norma complementaria al Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA, Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario” y dictan otras disposiciones* (Resolución de Consejo Directivo N° 011-2020-SUNASS-CD). <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-la-norma-complementaria-al-decreto-supremo-n-010-resolucion-n-011-2020-sunass-cd-1866759-1>

SUNASS (2021). *Estudio Tarifario. Servicio de agua potable y alcantarillado de La Libertad S.A. (SEDALIB S.A.) 2021 – 2026.*  
<http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/122021/20211221-6390301184.pdf>

- Tamayo, G. (2001). Diseños muestrales en la investigación. *Semestre Económico*, 4(7), p. 1-14. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5262273.pdf>
- Tarcan, G., Akinci, G. y Danişman, A. (2010). Assessment of the Pollution from Tannery Effluents upon Waters and Soils in and Around Kula Vicinity, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*. (213)1, p.199-210. 10.1007/s11270-010-0378-0  
([https://www.researchgate.net/publication/225687258\\_Assessment\\_of\\_the\\_Pollution\\_from\\_Tannery\\_Effluents\\_upon\\_Waters\\_and\\_Soils\\_in\\_and\\_Around\\_Kula\\_Vicinity\\_Turkey](https://www.researchgate.net/publication/225687258_Assessment_of_the_Pollution_from_Tannery_Effluents_upon_Waters_and_Soils_in_and_Around_Kula_Vicinity_Turkey))
- Tayupanda Pagalo, S. (2010). *Diseño de un Sistema de tratamiento de agua residual del proceso de Pelambre para su reutilización, curtiembre pieles "Puma"* (Tesis de Grado). Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2650>).
- Vargas, M. y Sabogal, M. (2017). Investigación crítico-propositiva, sistémico-transdisciplinar: Pertinencia, diseño y modelado. *Red Científica Internacional del Campo Unificado de la Educación*. p. 1- 24.  
<http://www.redcicue.com/attachments/article/80/SOBRE%20INVESTIG.%20Y%20MODELOS.pdf>
- 3D Warehouse (2014). Trampa de Grasas. Portal web de 3D Warehouse  
<https://3dwarehouse.sketchup.com/model/bb4049de2b567d22447b10e2757c2b29/TRAMPA-DE-GRASAS?hl=es>

## ANEXOS

### ANEXO A. Matriz de Consistencia

**ESTUDIANTES:** Llaro Castro, Alvin Yomar; Mendoza Lara, Carlos Daniel

**TÍTULO:** "Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, 2020"

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Qué tratamientos de aguas residuales de curtiembre son adecuados para su disposición en el sistema de alcantarillado en la provincia de Trujillo, 2020?	No aplica hipótesis.	<p><b>GENERAL:</b> Analizar diversos tratamientos físico-químicos aplicados en 23 trabajos de investigación, para proponer, en base a criterios y una valoración cuantitativa, un sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado.</p>	<p>VARIABLE 1: Tratamiento de Aguas Residuales</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptiva Propositiva</p> <p><b>Diseño:</b> No experimental transversal.</p>	<p>POBLACIÓN: Trabajos de investigación sobre sistemas de tratamiento de Aguas Residuales de Curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado.</p>
		<p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) la relación que existe entre las empresas de curtiembre, las PTAR y el sistema alcantarillado en la provincia de Trujillo.</li> <li>• Identificar etapas y procesos en curtiembre con mayor incidencia en la caracterización de los efluentes en los parámetros (AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo VI, Cromo Total y pH) y los tratamientos físico-químicos aplicados en las investigaciones analizadas.</li> <li>• Evaluar el cumplimiento de los LMP, VMA y las eficiencias de los sistemas de tratamiento de cada estudio en base a las concentraciones iniciales y finales de los parámetros analizados.</li> <li>• Seleccionar por tipo de efluente los mejores estudios para comparar a través de una valoración la eficiencia, cantidad de parámetros evaluados, cumplimiento de los LMP y VMA.</li> <li>• Proponer un sistema de tratamiento basado en el análisis de los estudios que obtuvieron mayor puntaje de valoración por tipo de efluente tratado.</li> </ul>	<p>VARIABLE 2: Sistema de Alcantarillado</p>	<p><b>Técnica:</b> Análisis e investigación bibliográfica, registro de datos.</p> <p><b>Instrumentos:</b> * Software QGIS, Google Earth, AutoCAD, Figma.</p> <p><b>Método de análisis de datos:</b> *Paramétrico: Estadística descriptiva (análisis de frecuencias) *No Paramétrico: Cajas y bigotes.</p>	<p>MUESTRA: 23 trabajos de investigación recopilados en un intervalo de 10 años, acerca de sistemas de tratamiento mecánicos y físico-químicos de las Aguas Residuales de Curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado.</p>

## ANEXO B. Matriz de Operalización de las Variables

Tabla 13

*Matriz de Operalización de las Variables*

**ESTUDIANTES:** Llaro Castro, Alvin Yomar; Mendoza Lara, Carlos Daniel

**TÍTULO:** "Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, año 2020"

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE 1:</b> Sistema de Alcantarillado	Se denomina alcantarillado o red de alcantarillado sanitario, al sistema que está integrado por tuberías y estructuras complementarias necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población (Alfaro, Carranza y Gonzales, 2012, p.26).	El trabajo de investigación se desarrollará en base al D.S-010-2019-VIVIENDA que aprueba los Valores Máximos Admisibles para las descargas de Aguas Residuales No Domésticas, aprobado por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento y al D.S.003-2002-PRODUCE que aprueba los Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.	Valores Máximos Admisibles (VMA) Límites Máximos Admisibles (LMP)	SST, DQO, DBO <sub>5</sub> , Cr total, S <sup>-2</sup> , AyG, pH	<b>Cuantitativo y Cardinal:</b> Concentración en mg/L y nivel de pH
<b>VARIABLE 2:</b> Tratamiento de Aguas Residuales de curtiembre	Proceso que busca eliminar las concentraciones de materia orgánica, sólidos, grasas, sulfuros, cloruros o cromo generados, mediante tratamientos físico-químicos, térmicos, biológicos o de membrana (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013, p.39).	En la evaluación de los sistemas de tratamiento de las aguas de curtiembre se hará una comparación entre las eficiencias de los trabajos analizados y posteriormente realizar una propuesta de tratamiento de las aguas residuales con los mejores estudios seleccionados para buscar una disposición adecuada en los sistemas de alcantarillado en la provincia de Trujillo.	<b>Estudios analizados:</b> Eficiencia <b>Sistema de Tratamiento propuesto:</b> Viabilidad económica, oportunidad de acceso.	<b>Estudios analizados:</b> % de eficiencia <b>Sistema de Tratamiento Propuesto:</b> Nivel de costo, nivel de oportunidad de acceso	<b>Eficiencia Ordinal:</b> < 95% = Excelente, 75-94%= Bueno, 50-74% = Moderado, >50% = Pésimo. <b>Costo Ordinal:</b> Muy Alto, Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo <b>Nivel de Oportunidad Ordinal:</b> Si, No

### ANEXO C. Límites máximos permisibles (LMP) de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, papel y curtiembre.

PARÁMETROS	CEMENTO		CERVEZA		PAPEL		CURTIEMBRE	
	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA	EN CURSO	NUEVA
pH	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9	6-9		6-9
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35
Sólidos Susp. Tot. (mg/L)	100	50	500	350	1000	500		500
Aceites y Grasas (mg/L)			20	15	100	50	100	50
DBO <sub>5</sub> (mg/L)			1000	500		500		500
DQO (mg/L)			1500	1000		1000		1500
Sulfuros (mg/L)								3
Cromo VI (mg/L)								0.4
Cromo Total (mg/L)								2
N - NH <sub>4</sub> (mg/L)								30
Coliformes Fecales (NMP/100ml)							*	*

Fuente: D.S. 003-2002-PRODUCE del Ministerio de Producción.

### ANEXO D. Valores máximos admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

**Tabla 14**

*Valores Máximos Admisibles (VMA) para la descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario- Anexo 1*

PARÁMETROS	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	DBO <sub>5</sub>	500
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	100

*Nota: Representan los parámetros físico-químicos descritos en la norma.*

Fuente: D.S. 010-2019- VIVIENDA del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.







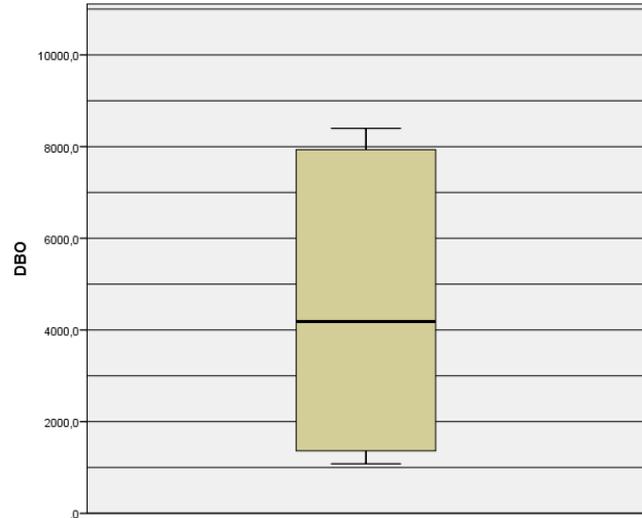
## ANEXO J. Estadística de Cajas y Bigotes para los parámetros contenidos en los efluentes de curtiembre

### *Efluente Total*

#### Estadísticos

DBO<sub>5</sub>

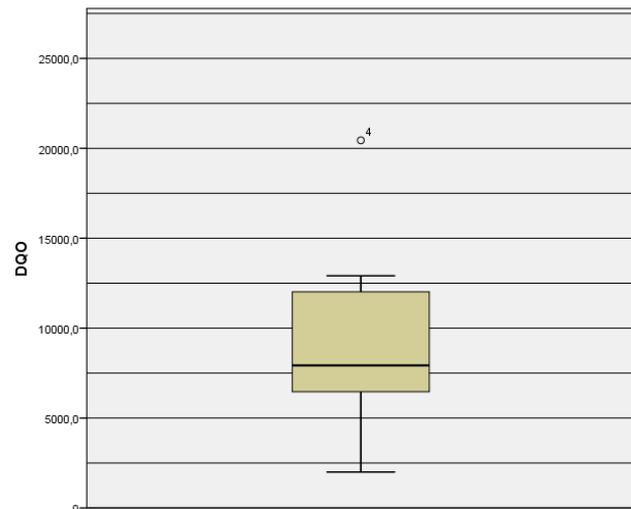
	Válidos	
N		6
Media		4524.167
Mediana		4185.000
Mínimo		1081.0
Máximo		8399.0
Percentiles	25	1291.750
	50	4185.000
	75	8049.500



#### Estadísticos

DQO

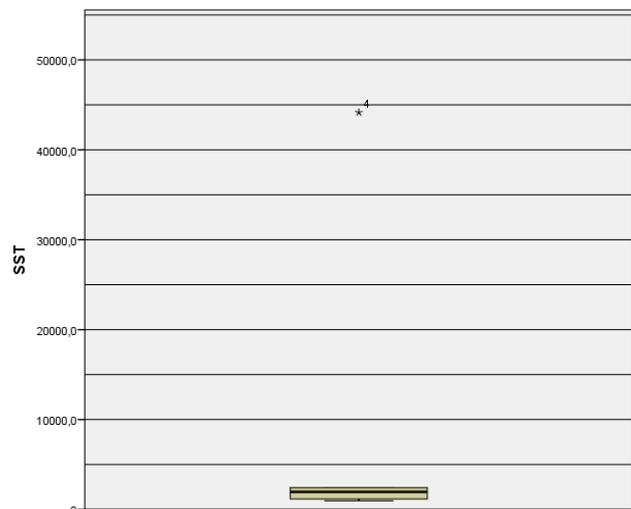
	Válidos	
N		7
Media		9620.286
Mediana		7929.000
Mínimo		2000.0
Máximo		20443.0
Percentiles	25	5919.000
	50	7929.000
	75	12913.000



#### Estadísticos

SST

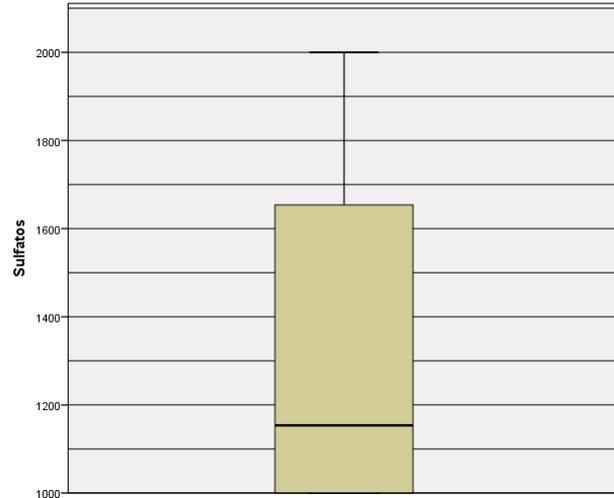
	Válidos	
N		5
Media		10134.500
Mediana		1960.000
Mínimo		965.5
Máximo		44153.0
Percentiles	25	1066.750
	50	1960.000
	75	23289.500



**Estadísticos**

Sulfatos

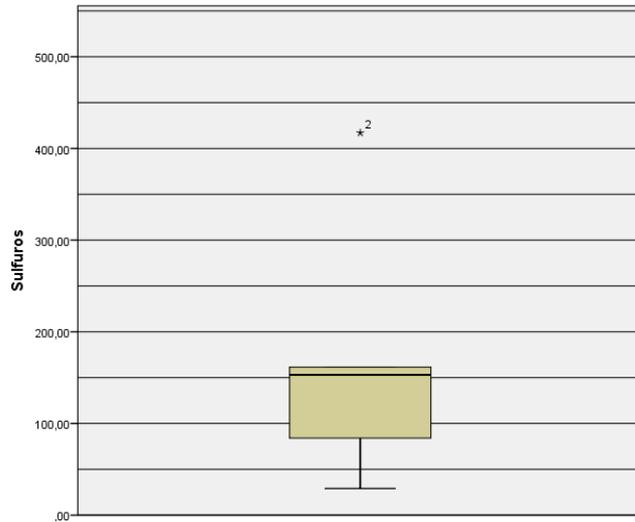
N	Válidos	4
Media		1326.75
Mediana		1153.50
Mínimo		1000
Máximo		2000
Percentiles	25	1000.00
	50	1153.50
	75	1826.75



**Estadísticos**

Sulfuros

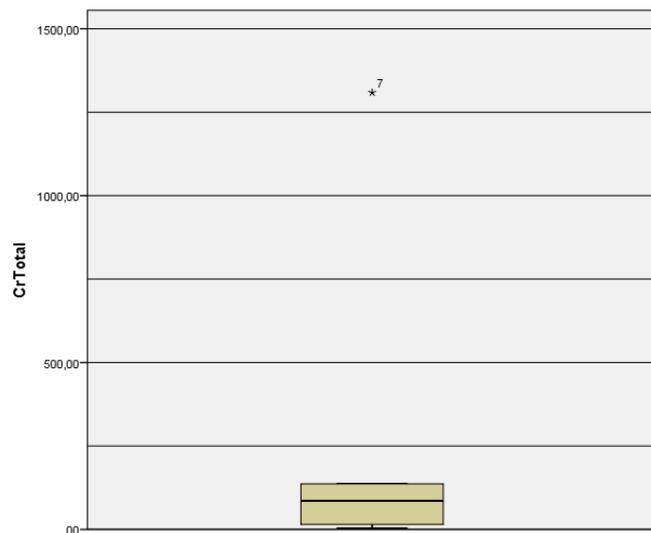
N	Válidos	5
Media		168.9020
Mediana		153.0000
Mínimo		29.00
Máximo		417.00
Percentiles	25	56.5550
	50	153.0000
	75	289.2000



**Estadísticos**

CrTotal

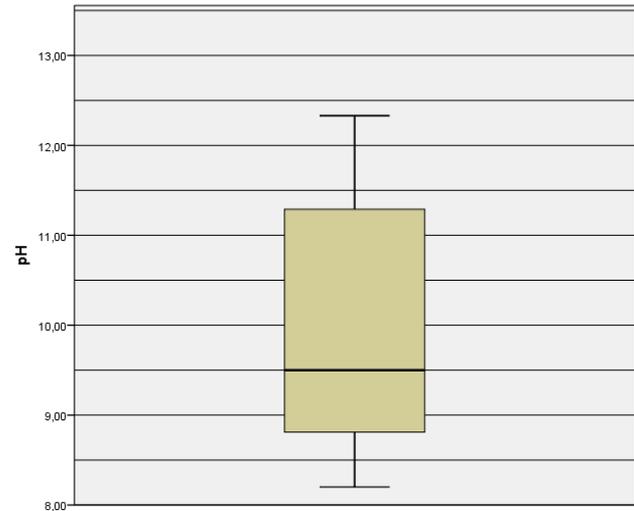
N	Válidos	6
Media		272.6117
Mediana		85.8500
Mínimo		3.19
Máximo		1308.98
Percentiles	25	12.1975
	50	85.8500
	75	429.6950



**Estadísticos**

pH

	Válidos	
N		6
Media		9.9383
Mediana		9.5000
Mínimo		8.20
Máximo		12.33
Percentiles	25	8.6575
	50	9.5000
	75	11.5500

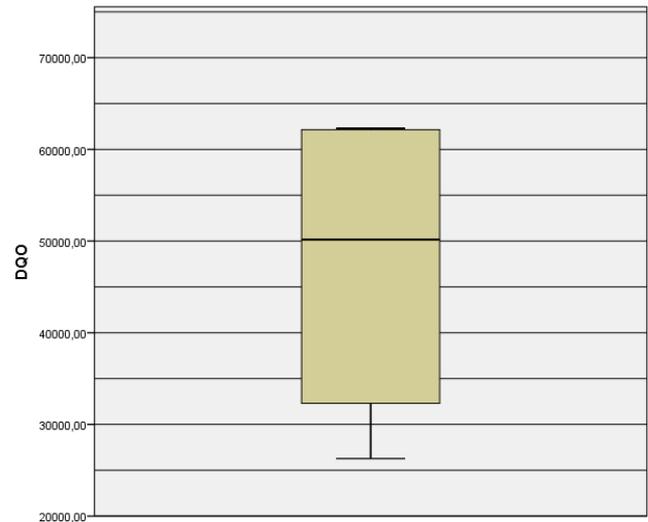


**Efluente de Pelambre**

**Estadísticos**

DQO

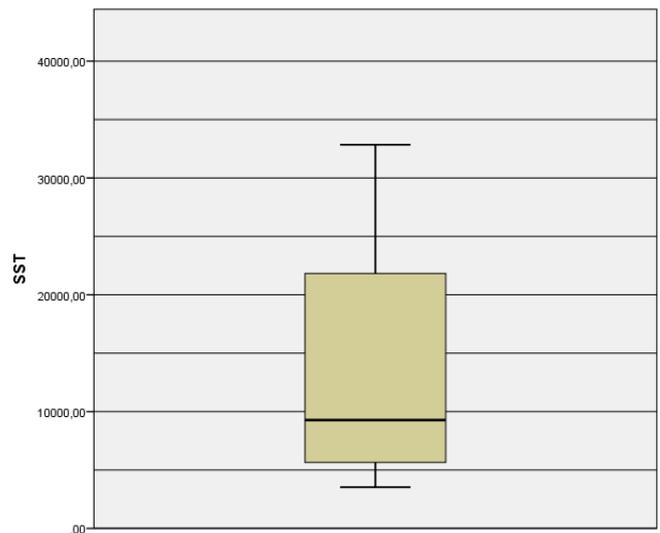
	Válidos	
N		4
Media		47225.0825
Mediana		50163.0000
Mínimo		26278.33
Máximo		62296.00
Percentiles	25	29290.2475
	50	50163.0000
	75	62222.0000



**Estadísticos**

SST

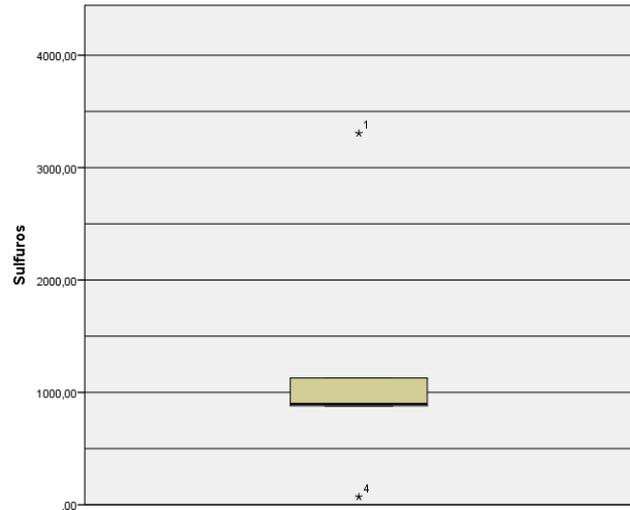
	Válidos	
N		4
Media		13732.9175
Mediana		9278.3350
Mínimo		3525.00
Máximo		32850.00
Percentiles	25	4582.9175
	50	9278.3350
	75	27337.5000



**Estadísticos**

Sulfuros

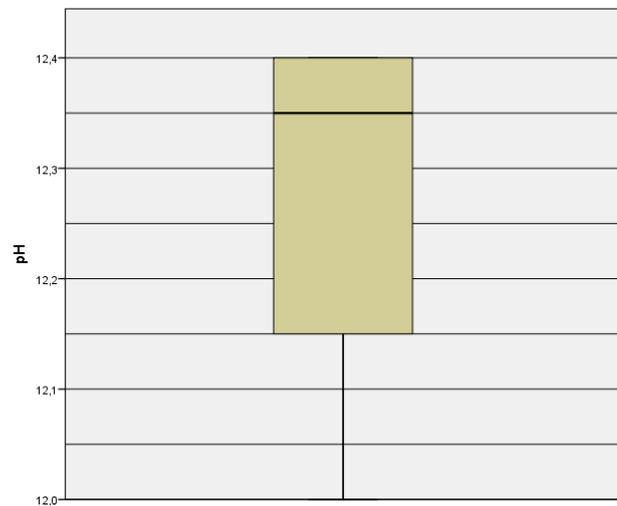
N	Válidos	5
Media		1195.7900
Mediana		898.0000
Mínimo		70.51
Máximo		3305.00
Percentiles	25	324.1800
	50	898.0000
	75	2216.2950



**Estadísticos**

pH

N	Válidos	4
	Perdidos	995
Media		12.275
Mediana		12.350
Mínimo		12.0
Máximo		12.4
Percentiles	25	12.075
	50	12.350
	75	12.400

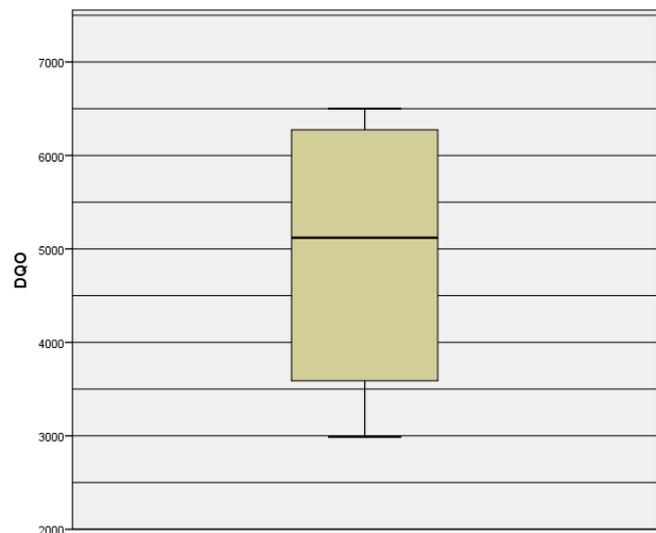


**Efluente de Curtido**

**Estadísticos**

DQO

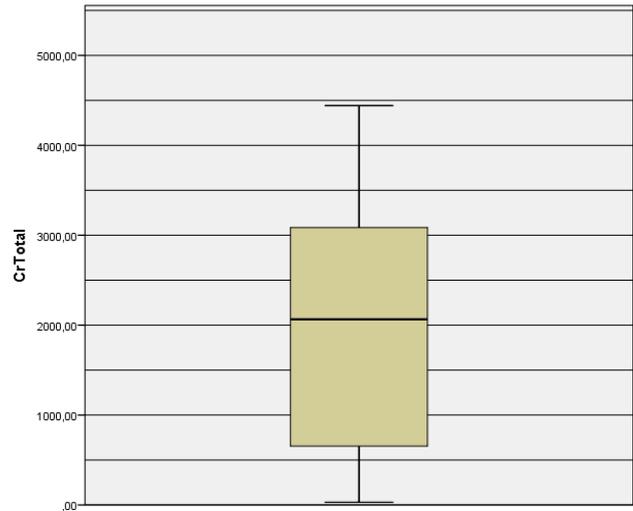
N	Válidos	4
Media		4932.00
Mediana		5120.00
Mínimo		2988
Máximo		6500
Percentiles	25	3288.50
	50	5120.00
	75	6387.50



**Estadísticos**

CrTotal

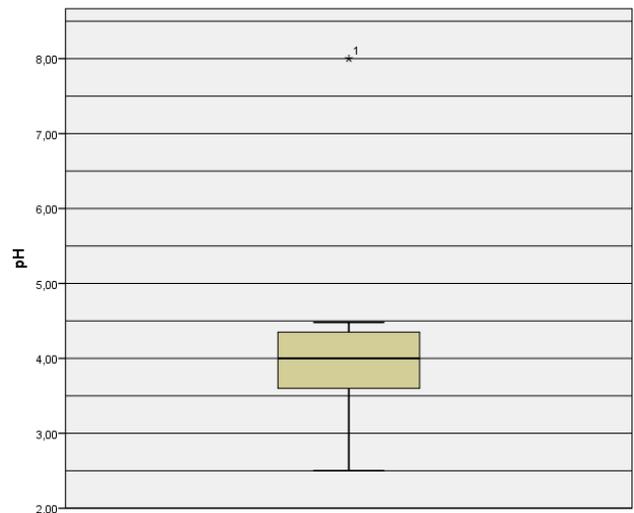
N	Válidos	8
Media		2010.4788
Mediana		2065.5000
Mínimo		30,00
Máximo		4442.00
Percentiles	25	427.7075
	50	2065.5000
	75	3392.5000



**Estadísticos**

pH

N	Válidos	9
Media		4.1778
Mediana		4.,0000
Mínimo		2.50
Máximo		8.00
Percentiles	25	3.3000
	50	4.0000
	75	4.4150



## ANEXO K. Estadística de los tratamientos más empleados por efluente analizado

**Tabla 21**

*Tratamientos más empleados en cada proceso de curtiembre*

Tratamiento	Efluente Remojo	Efluente Remojo %	Efluente Pelambre	Efluente Pelambre %	Efluente Curtido	Efluente Curtido %	Efluente Total	Efluente Total %	Nº veces aplicados	% TOTAL	
Precipitación Química	1	6.67	3	20.00	11	73.33	-	-	15	20.55	
Coagulación- Floculación	3	25.00	1	8.33	2	16.67	6	50.00	12	16.44	
Sedimentación	1	10.00	2	20.00	4	40.00	3	30.00	10	13.70	
Filtración	-	-	4	57.14	1	14.29	2	28.57	7	9.59	
Oxidación Química	-	-	3	75.00	-	-	1	25.00	4	5.48	
Aireación	-	-	2	50.00	1	25.00	1	25.00	4	5.48	
Decantación	1	33.33	1	33.33	-	-	1	33.33	3	4.11	
Reutilización	-	-	2	66.67	1	33.33	-	-	3	4.11	
Adsorción	-	-	-	-	1	50.00	1	50.00	2	2.74	
Homogenización	-	-	-	-	-	-	2	100.00	2	2.74	
Neutralización	-	-	1	50.00	1	50.00	-	-	2	2.74	
Recuperación	-	-	-	-	2	100.00	-	-	2	2.74	
Adición Química	-	-	2	100.00	-	-	-	-	2	2.74	
Trampa de Grasa	2	100.00	-	-	-	-	-	-	2	2.74	
Absorción	-	-	-	-	1	100.00	-	-	1	1.37	
Lavado de gas	-	-	1	100.00	-	-	-	-	1	1.37	
Acidulación	-	-	-	-	1	100.00	-	-	1	1.37	
									<b>Total</b>	<b>73</b>	<b>100.00</b>



## **ANEXO L. Propuesta de Sistema de Tratamiento**

### **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

#### **1.1.CONTEXTO DE LAS EMPRESAS DE CURTIEMBRE EN LA PROVINCIA DE TRUJILLO**

Las empresas de curtido y adobo de cuero de la provincia de Trujillo están entre los primeros puestos del Perú debido a su gran producción, encontrándose la Población Económicamente Activa (PEA) del sector cuero y calzado mayormente ubicados en los distritos de Florencia de Mora, El Porvenir, Trujillo y La Esperanza según el BCRP (2019, p. 11). Sin embargo, pese a que es un sector que genera un gran impulso en la economía local y nacional, las empresas de curtiembre suelen ocasionar daños en el sistema de alcantarillado debido en gran parte a la informalidad que es alta e imprecisa (Silva, 2011, p. 2) así como también por la creciente crisis del sector que obliga el cierre de las empresas formales (Pinedo, 2012, p. 9-10, en referencia a Mera et al, 2010) lo que ha conllevado al Estado a generar campañas de reactivación económica para dar un impulso a la dinamización económica del sector.

A esto se suma el hecho de que, sobre todo en las empresas informales, al no ser fiscalizadas, no realizan inversiones en generar un adecuado tratamiento de sus efluentes industriales que son vertidas por las tuberías, las mismas que después de su recorrido llegan a desembocar en las PTAR que consisten en lagunas de oxidación como las de El Cortijo y Covicorti (Sánchez, 2018, p. 3- 4) y al pertenecer las curtiembres a 7 de las 8 cuencas de alcantarillado de Trujillo (SEDALIB S.A., 2018) afectan la efectividad de tratamiento de las lagunas y al sistema de alcantarillado en general. Pero, ¿A qué se debe este problema que puede poner en problemas al sistema de alcantarillado? El problema está en los efluentes líquidos de las empresas, pues contienen surfactantes, materia

orgánica, sólidos, grasas, sulfuros, cloruros o cromo (Comisión Europea, 2013, p. 10) generados en los procesos de elaboración.

El no realizar un sistema de tratamiento a sus efluentes industriales conlleva a generar daños en la salud tanto de los trabajadores como de la población aledaña, así como contaminación al ambiente y daños al ciclo de saneamiento (Artuz, Martínez y Morales, 2011, p. 46) y se genera un riesgo de incumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) y Límites Máximos Admisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA) que estipula la normativa peruana, es por ello que para brindar una solución a las empresas de curtiembre, se ha propuesto un sistema de tratamiento que sea eficiente y que cumpla con la normativa evitando sanciones y daños al alcantarillado a través del análisis y selección de los estudios con mejor valoración mencionados en los resultados.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El sector curtido y adobo de cueros es uno de los más importantes sectores en el rubro de manufactura del país, donde se destaca el rol de las empresas de curtiembre de la provincia de Trujillo por ser de las más productivas en el Perú, pero a la vez uno de los sectores que más problemas de contaminación al sistema de alcantarillado genera cuando no se trata adecuadamente sus efluentes. Es por ello que es necesario brindarle una solución a las empresas para que viertan adecuadamente sus efluentes cumpliendo con los VMA y LMP con un sistema de tratamiento eficiente y oportuno. La presente propuesta de tratamiento busca evitar daños al sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo con un tratamiento enfocado en los efluentes con presencia de alto material contaminante, pues no solo afecta al sistema, sino que repercute en el ambiente, en la seguridad sanitaria de los trabajadores y en el ciclo de saneamiento de la provincia de Trujillo.

## CAPITULO II: ANÁLISIS GEOGRÁFICO DE INTERVENCIÓN

### 2.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

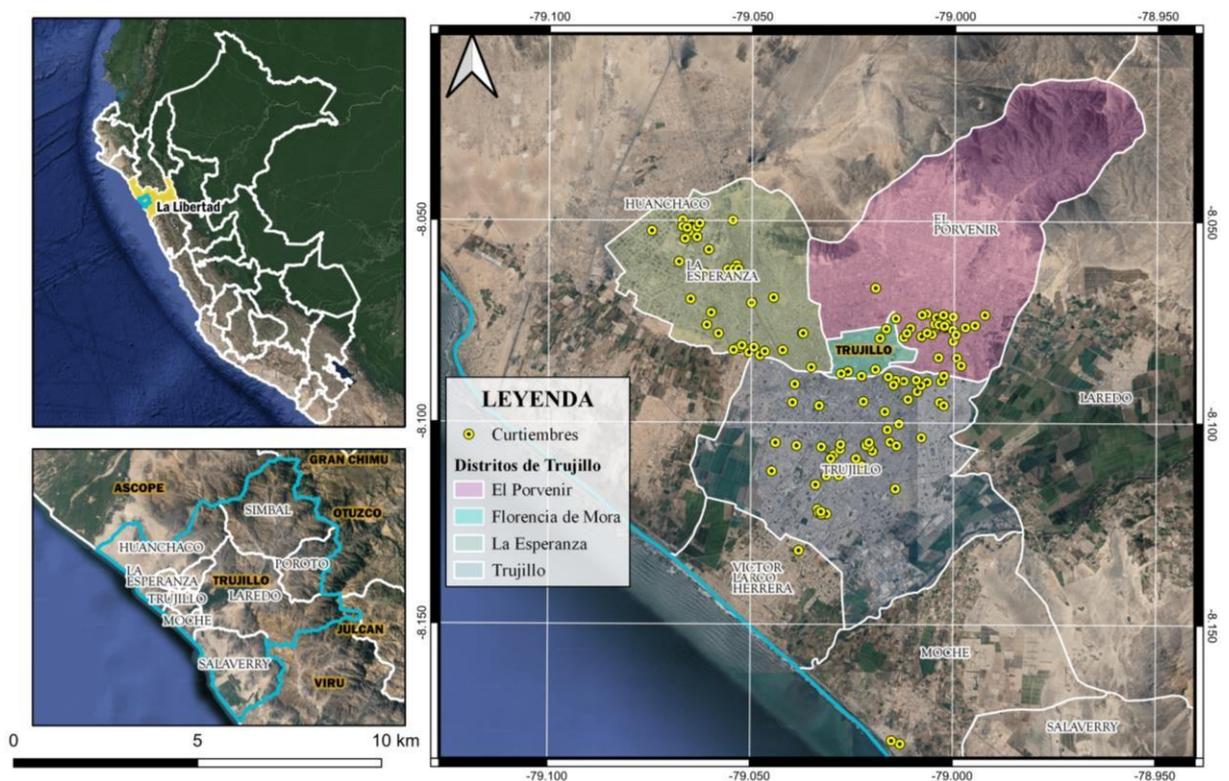
**Departamento:** La Libertad

**Provincia:** Trujillo

- **Principales distritos con curtiembres de la provincia de Trujillo:**

**Figura 17**

*Ubicación de los distritos con la mayor cantidad de curtiembres de la provincia de Trujillo*



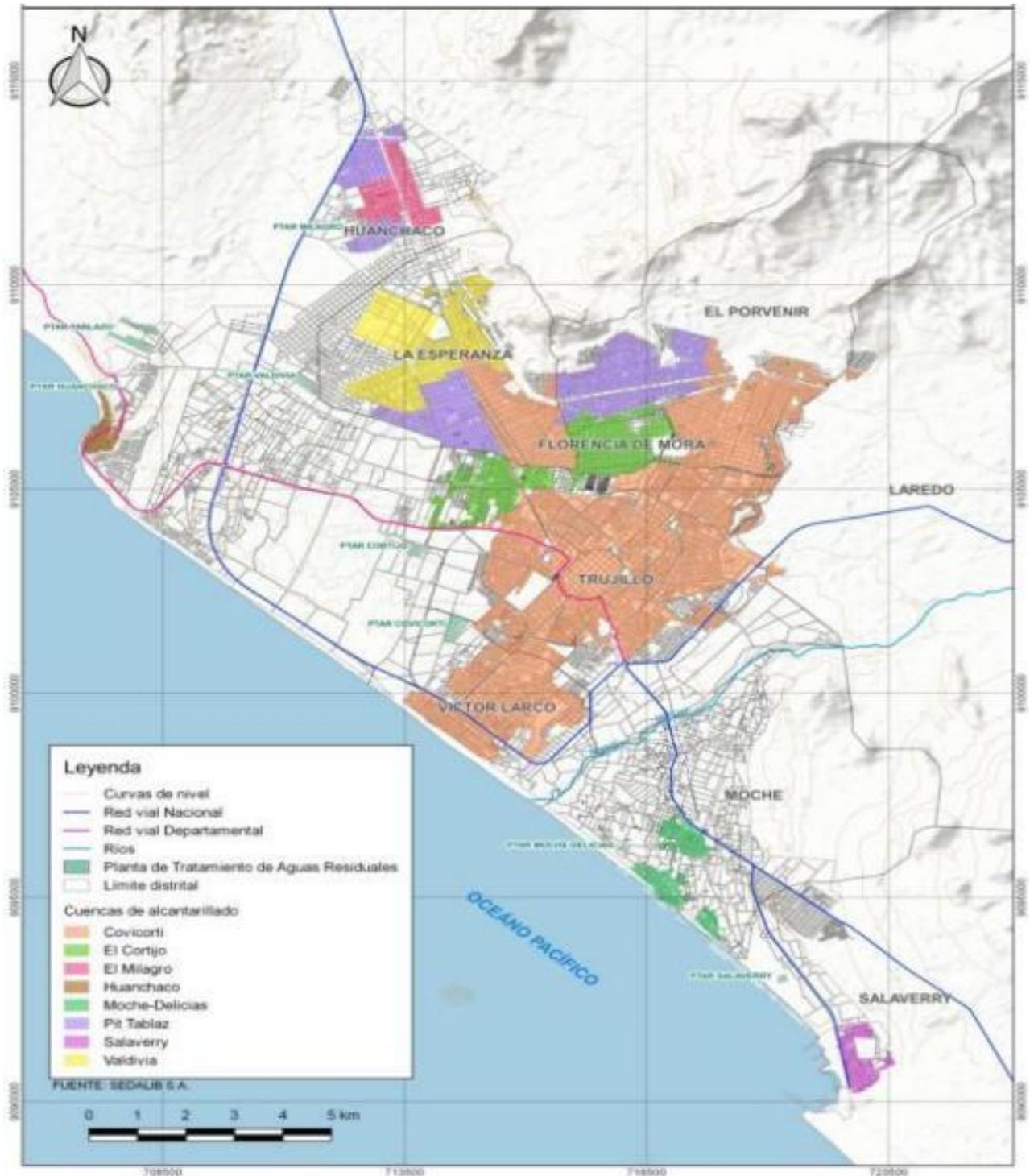
**Fuente:** IGN/ CITEccal Trujillo (2022)

Elaboración Propia

- **PTAR y cuencas de alcantarillado de la provincia de Trujillo:**

**Figura 18**

*Cuencas de Alcantarillado y PTAR de la provincia de Trujillo*

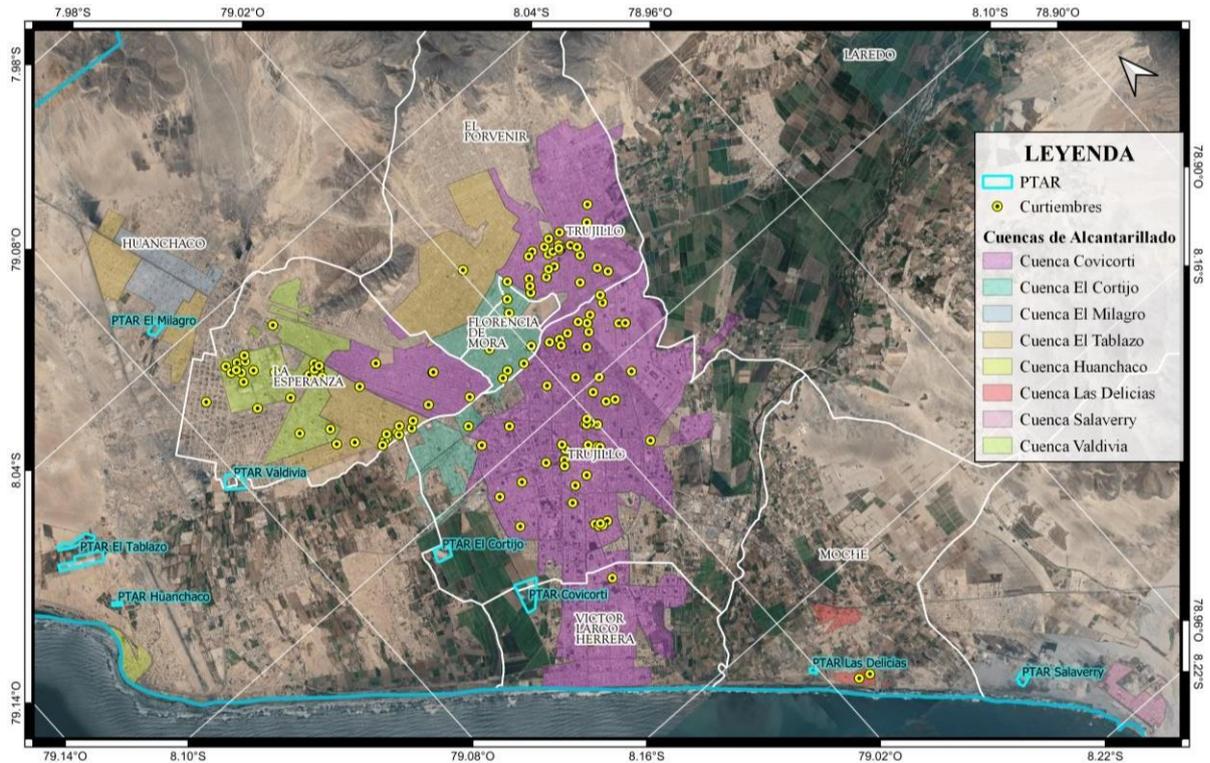


Fuente: SEDALIB S.A. (2018).

- **Principales curtiembres y PTAR de la provincia de Trujillo:**

**Figura 19**

*Ubicación de curtiembres y PTAR por cuencas de alcantarillado de la provincia de Trujillo*



**Fuente:** Silva, J. (2011), Sánchez, D. (2018) / SEDALIB S.A. (2018).

## CAPITULO III: PROPUESTA DE TRATAMIENTO

### 3.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer un sistema de tratamiento físico- químico de los efluentes de curtiembre eficiente y oportuno para su adecuada disposición al sistema de alcantarillado.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Dimensionar la propuesta en base a los volúmenes de los efluentes de una curtiembre de la provincia de Trujillo.
- Realizar un análisis económico del sistema de tratamiento propuesto.
- Analizar la viabilidad económica y la oportunidad del sistema de tratamiento.

### 3.2. ALCANCE

El alcance para la propuesta es para cualquier empresa de curtiembre que requiera realizar un sistema de tratamiento de sus efluentes.

### 3.3. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE LA PROPUESTA

Los tratamientos físico- químicos son de los procesos más usados por ser de aplicación convencional frente a los tratamientos avanzados que requieren mayor capacidad tecnológica y mayor inversión, además que según los estudios seleccionados tiene una eficiencia entre buena y excelente (según la escala de valoración de la CCME) para la remoción en parámetros como AyG, SST,  $S^{-2}$ , Sulfatos, Cr,  $DBO_5$  y DQO, así como un pH neutro. Es por ello que para desarrollar la propuesta ambiental se decidió utilizar los tratamientos de los estudios seleccionados con mayor puntaje de valoración para obtener un tratamiento eficiente.

### 3.4. PLANIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

#### METODOLOGÍA

#### Primera Parte

- Dimensionamiento
- *Muestreo de identificación en las empresas.*

El muestreo de identificación tiene por objetivo conocer información de 3 empresas de curtiembre de los principales distritos con empresas de curtiembre acerca de los caudales de ingreso y de salida de los procesos de remojo, pelambre, curtido y total, así como información de los equipos que utilizan y las horas en funcionamiento que operan. Para poder dimensionar se escoge una de las 3 empresas considerando que el volumen sea intermedio entre las 3 empresas, para así realizar el dimensionamiento en base a la capacidad que tendría una empresa con un volumen medio.

- *Dimensionamiento con los datos de una empresa de curtiembre*

Para el dimensionamiento de los tanques de tratamiento se utilizaron fórmulas matemáticas que han sido aplicadas en los estudios seleccionados, así como criterios de diseño mencionados en un apartado de estudios revisados para este objetivo. Las pozas y tanques serán construidos con concreto simple de  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> para una mayor resistencia (Ponce, 2020) y contarán con un espesor de 15 cm por lado (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], s.f., p.14; Ponce, 2020), además de un sobredimensionamiento del 25% para los tanques acorde al estudio de Martínez (2016). Para un mejor orden se detallará a continuación los tanques y las fórmulas usadas de acuerdo al efluente de tratamiento.

Los tiempos de salida para los efluentes oscilan entre 18 y 24 horas, por lo que para el dimensionamiento de los tanques no se consideró usar fórmulas relacionadas al tiempo de retención o residencia. En la siguiente tabla se observa los volúmenes, caudales y tiempo de salida de cada efluente.

**Tabla 22**

*Volúmenes de Ingreso y Salida de una empresa de curtiembre*

<b>Proceso</b>	<b>Salida (m3)</b>	<b>Tiempo de salida (Horas)</b>	<b>Caudal (m3/h)</b>
Remojo	11.4	24	0.475
Pelambre	25	24	1.042
Curtición	6.6	18	0.367
Total	52.61	24	2.192

*Nota:* Los datos mencionados son los reportados por la empresa de curtiembre.

## **POZA DE FILTRACIÓN Y TRAMPA DE GRASAS**

### **Efluente de Remojo y Pelambre**

Para esta poza se consideró el mayor volumen de salida entre los efluentes de remojo (11.4 m<sup>3</sup>) y de pelambre (25 m<sup>3</sup>), siendo el volumen a considerar los 25 m<sup>3</sup> pertenecientes al efluente de pelambre. Cada efluente tiene un tiempo de salida de 24 horas, así como la poza contará con una bomba extractora de lodos para que los sólidos puedan ser extraídos antes del ingreso del siguiente efluente.

La poza de filtración y trampa de grasas está basada en el modelo de trampa de grasa de la empresa mexicana Ecodena. Será de forma rectangular, con una división de 3 compartimentos: El primero es para la entrada del efluente, la segunda es una trampa de grasas (Guzmán, 2019, p. 9 en mención a INTERAGUA, 2018), y la tercera se denomina caja de filtración, donde la primera división estará construida con concreto simple y la segunda tendrá una malla 100 como filtro para los sólidos del efluente de remojo y pelos del efluente de pelambre. Asimismo, la relación de Largo/Ancho de la poza según el modelo es de 3 a 2 (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2003, p.7).

**Volumen de E. Pelambre:**  $25 \text{ m}^3$

**Volumen de E. Pelambre + 25% (sobredimensionamiento)** =  $31.25 \text{ m}^3$

- **Largo (L):**  $4.5 \text{ m}$     **Ancho (A):**  $3 \text{ m}$     **Altura (H):**  $3.1 \text{ m}$     **L/A:**  $2$

**Volumen del tanque:**  $L * A * H: 41.85 \text{ m}^3$

Para el **volumen útil** se ha considerado restar el espesor de  $15 \text{ cm}$  a cada lado del tanque, así como  $30 \text{ cm}$  a la altura para que exista el espacio mínimo que se requiere entre la superficie de la poza y el nivel de agua.

- **L útil:**  $4.20 \text{ m}$     **A útil:**  $2.70 \text{ m}$     **H útil:**  $2.80 \text{ m}$

**Volumen útil del tanque:**  $Lu * Au * Hu: 31.75 \text{ m}^3$

- **Vol. útil > Vol. +25%:**  $31.75 \text{ m}^3 > 31.25 \text{ m}^3$

Referente al filtro, se usará una malla  $100 \text{ mesh}$  o de  $0.149 \text{ mm}$ , teniendo como referencia al estudio de Ortiz (2013), debido a que si bien el estudio de Martínez (2016, p. 90) menciona en su flujograma un filtro de pelo para pelambre, no menciona el dimensionamiento que este tendrá, por lo que se optó por el modelo de filtro de Ortiz (2013, p. 89), pues menciona que el dimensionamiento del largo y ancho de la malla que deben ser múltiplos de  $25$ , por lo que:

- **A útil de poza:**  $2.70 \text{ m}$     **H útil de poza:**  $2.80 \text{ m}$
- **A de malla:**  $2.50 \text{ m}$ ;    **H de malla:**  $2.50 \text{ m}$

La malla estará sujeta como se aprecia en la Figura 20, por lo que al ancho útil de la poza se tendrá que incorporar un soporte de  $10 \text{ cm}$  en cada lado y en la parte superior un soporte de  $30 \text{ cm}$  respecto a la altura útil de la poza.

## Figura 20

### *Diseño de la poza de filtración y trampa de grasas*



*Fuente:* ECODENA (s.f).

Para el dimensionamiento del espacio interior de la poza se toma como referencia el largo útil de 4.20 m, y la relación de distancias entre los compartimentos está en la proporción de 1/2/1 tomando como referencia el modelo del portal web 3D Warehouse del usuario Jose Rafa (2014), así como el espesor será de 15 cm tanto para el primer separador como para el soporte de la malla 100.

- ***L útil:*** 4.20 m
- ***Espesor Sedimentador (S):*** 0.15 m; ***Espesor Malla 100 (M):*** 0.15 m

**Espesor S+M:** 0.30 m

- ***Largo total compartimentos:*** L útil- Espesor S+M

**Largo total compartimentos:** 3.90 m

- ***1er compartimento:*** 0.98 m;      ***2do compartimento*** 1.94 m
- ***3er compartimento:*** 0.98 m      ***Proporción:*** 1/2/1

## TANQUE DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN

Para el tanque se consideró el volumen de salida de los efluentes de pelambre y total. Para el cálculo del volumen del tanque se usó los criterios de dimensionamiento descritos por McCabe, Warren, Smith, Julian y Harriot (2007) para un sistema de agitación tipo turbina, así como el sobredimensionamiento de 25% mencionado por el estudio de Martinez (2016, p. 128).

La forma será cilíndrica, y la relación altura- diámetro (H/D) será igual a 1, además la semejanza geométrica entre los espacios se hará considerando las siguientes fórmulas estandarizadas:

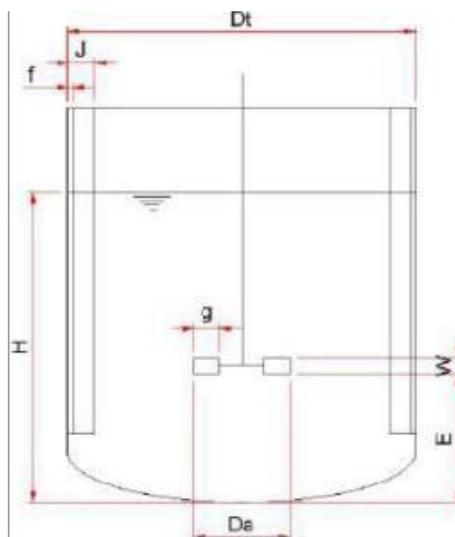
$$\frac{Da}{Dt} = 0.33 \quad \frac{W}{Da} = 0.2 \quad \frac{E}{Dt} = 0.33 \quad \frac{g}{Da} = 0.25 \quad (\text{I})$$

$$\frac{J}{Dt} = 0.1 \quad \frac{f}{Dt} = 0.02 \quad (\text{II})$$

(McCabe, et al, 2007)

### Figura 21

*Semejanza geométrica para un sistema de agitación tipo turbina*



*Fuente:* McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot (2007)

Respecto al caso de las fórmulas (II), que hacen incidencia en el espesor, no se considerarán, debido al espesor queda estandarizado con 15 cm descritos al inicio del dimensionamiento, que serán restados con el radio del tanque.

### Efluente de Pelambre

**Volumen de E. Pelambre:** 25 m<sup>3</sup>

**Volumen de E. Pelambre + 25% (sobredimensionamiento)** = 31.25 m<sup>3</sup>

- **Radio (r):** 1.9 m    **Diámetro (D):** 3.8 m    **Altura (H):** 3.8 m    **H/D:** 1

**Volumen del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 43.07 m<sup>3</sup>

- **r útil:** 1.75 m    **D útil:** 3.50 m    **H útil:** 3.50 m

**Volumen útil del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 33.66 m<sup>3</sup>

- **Vol. útil > Vol. +25%:** 33.66 m<sup>3</sup> > 31.25 m<sup>3</sup>

Con las fórmulas (I), se determina las dimensiones internas del tanque y la paleta.

$\frac{Da}{Dt} = 0.33$	$\frac{W}{Da} = 0.2$	$\frac{g}{Da} = 0.25$	$\frac{E}{Dt} = 0.33$
<b>Dt:</b> 3.80 m	<b>Da=</b> 1.25 m	<b>Da=</b> 1.25 m	<b>Dt:</b> 3.80 m
Da= 0.33 * 3.80 m	W= 0.2 * 1.25 m	g= 0.25 * 1.25 m	E= 0.33* 3.80 m
<b>Da=</b> 1.25 m	<b>W=</b> 0.25 m	<b>g=</b> 0.31 m	<b>E=</b> 1.25 m

### Efluente Total

**Volumen E. Total:** 52.61 m<sup>3</sup>

**Volumen de E. Total + 25% (sobredimensionamiento)** = 65.76 m<sup>3</sup>

- **Radio (r):** 2.35 m    **Diámetro (D):** 4.7 m    **Altura (H):** 4.7 m    **H/D:** 1

**Volumen del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 81.50 m<sup>3</sup>

- **r útil:** 2.20 m    **D útil:** 4.40 m    **H útil:** 4.40 m

**Volumen útil del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 66.87 m<sup>3</sup>

- **Vol. útil > Vol. +25%:** 66.87 m<sup>3</sup> > 65.76 m<sup>3</sup>

Con las fórmulas (I), se determina las dimensiones internas del tanque y la paleta.

$\frac{D_a}{D_t} = 0.33$	$\frac{W}{D_a} = 0.2$	$\frac{g}{D_a} = 0.25$	$\frac{E}{D_t} = 0.33$
<b>Dt:</b> 4.70 m	<b>Da=</b> 1.55 m	<b>Da=</b> 1.55 m	<b>Dt:</b> 4.70 m
Da= 0.33 * 4.70 m	W= 0.2 * 1.55 m	g= 0.25 * 1.55 m	E= 0.33* 4.70 m
<b>Da=</b> 1.55 m	<b>W=</b> 0.31 m	<b>g=</b> 0.39 m	<b>E=</b> 1.55 m

### TANQUE HOMOGENIZADOR

#### Efluente Total

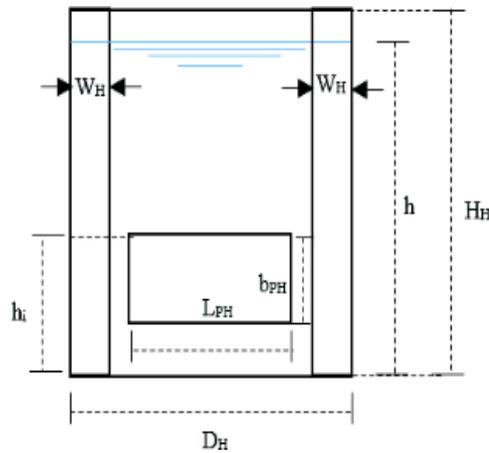
Para el tanque se consideró el volumen de salida del efluente total de 52.61 m<sup>3</sup>, así como las proporciones que existen dentro del tanque y la paleta de agitación que son mencionadas por Arboleda (2000, p. 123).

$$2.2 \leq \frac{Dh}{Lph} \leq 6.6 \qquad 2.7 \leq \frac{h}{Lph} \leq 3.9 \qquad \frac{Lph}{8} = Bph$$

$$\frac{Lph}{10} = Wh \qquad 1.1xLph = hi$$

**Figura 22**

*Diseño del tanque de homogenización*



Fuente: Arboleda (2000, p. 123)

**Volumen E. Total:** 52.61 m<sup>3</sup>

**Volumen de E. Total + 25% (sobredimensionamiento)** = 65.76 m<sup>3</sup>

- **Radio (r):** 2.5 m    **Diámetro (Dh):** 5 m    **Altura (H):** 4.1 m

**Volumen del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 80.46 m<sup>3</sup>

- **Radio útil (r u):** 2.35 m    **Diámetro útil (Dh u):** 4.8 m    **Altura útil (H u):** 3.8 m

**Volumen del tanque:**  $\pi R^2 H$ : 65.89 m<sup>3</sup>

- **Vol. útil > Vol. +25%:** 65.89 m<sup>3</sup> > 65.76 m<sup>3</sup>

Con las proporciones para el homogenizador se determina las dimensiones internas:

$2.2 \leq \frac{Dh}{Lph} \leq 6.6$	$2.7 \leq \frac{h}{Lph} \leq 3.9$	$\frac{Lph}{8} = Bph$	$\frac{Lph}{10} = Wh$	$1.1 \times Lph = hi$
<b>Lph:</b> 1.40 m	<b>Lph:</b> 1.40 m	<b>Lph:</b> 1.40 m	<b>Lph:</b> 1.40 m	<b>Lph:</b> 1.40 m
Dh/Lph=5/1.4 m	h= H u	Bph= 1.40m/ 8	Wh= 1.40m /10	hi= 1.40 * 1.1
<b>Dh/Lph = 3.57</b>	h/Lph=3.8m/1.4 m	<b>Bph= 0.18 m</b>	<b>Wh= 0.14 m</b>	<b>hi= 1.54 m</b>

$$h/Lph = 2.71$$

Para el caso del espesor (Wh) se consideró tomar el espesor de 0.15 m determinado como espesor que regirá para todos los tanques según la metodología de este anexo.

## TANQUE DE PRECIPITACIÓN

### Efluente de Curtido

Para el tanque se consideró el volumen de salida del efluente total de 6.60 m<sup>3</sup>, así como las proporciones dadas por Ortiz (2013). El espesor se consideró de 0.15 m y la forma del tanque será de un tronco de cono, donde la relación entre el Diámetro Superior e Inferior es 1.30, y la que existe entre la Altura (H) y el diámetro superior es de 1.10.

**Volumen E. Curtido:** 6.60 m<sup>3</sup>

**Volumen de E. Curtido + 25% (sobredimensionamiento)** = 8.25 m<sup>3</sup>

**Radio inf (r):** 1.01 m **Radio sup (R):** 1.32 m **Altura (H):** 2.91 m

**Volumen del tanque:**  $\frac{h \times \pi}{3} (R^2 + r^2 + R \times r)$ : 12.94 m<sup>3</sup>

**Radio inf útil (ru):** 0.86 m **Radio sup útil (Ru):** 1.17 m **Altura (Hu):** 2.61 m

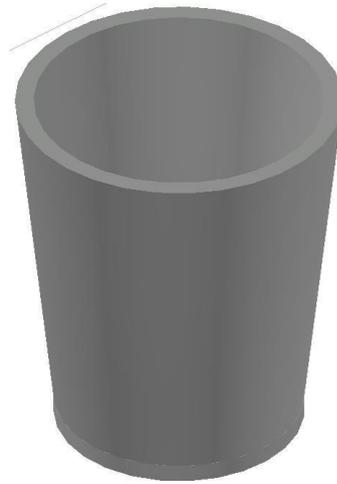
**Volumen útil del tanque:**  $\frac{Hu \times \pi}{3} (Ru^2 + ru^2 + Ru \times ru)$ : 8.51 m<sup>3</sup>

- **Vol. útil > Vol. +25%:** 8.51 m<sup>3</sup> > 8.25 m<sup>3</sup>

Con las fórmulas de las proporciones se cumple que la relación entre los diámetros de 1.30 para el volumen del tanque, así como la relación entre el diámetro inferior y la altura es 1.10.

## **Figura**

### *Modelo del Tanque de Precipitación*



*Fuente:* Ortiz (2013)

## **FILTRO DE MALLA**

Para el filtro de malla se utilizaron los modelos de la empresa española Lama con modelos de filtros de malla automesh y filtro malla metálico.

### **Efluente de Curtido**

Para el equipo a utilizar se consideró el caudal de salida de  $0.3 \text{ m}^3/\text{h}$ , y con ello determinar el modelo a utilizar que será un modelo de malla metálicos tipo FMY2 (Lama, s.f.), cuyo caudal límite es de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ , usado al ser el tipo de filtro de menor caudal que ofrece la empresa Lama, como puede observarse en la siguiente figura.

**Figura 24**

*Ficha Técnica del Filtro Malla Metálico Lama FMY2*

A	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	Peso Neto (Kg)	Peso Bruto (Kg)	Volumen Embalaje (m <sup>3</sup> )	Caudal Limite (m <sup>3</sup> /h)	Descripción	Código
2" Rosca H	319	165	230	540	11,5	12	0,032	25	2" vertical (malla exterior)	GL2V
3" Rosca H	275	165	230	666	14	15	0,070	50	3" vertical (malla exterior)	GL3V
2" Rosca M	450	165	605	504	12,5	13	0,048	25	2" inclinado (malla exterior)	FMY2
3" Brida	500	165	752	500	20	22	0,089	50	3" inclinado (malla exterior)	FMY3
4" Brida	700	219	785	500	30	33	0,160	80	4" inclinado (malla exterior)	FM4B
4" Brida	700	250	825	600	37	40	0,158	80	4" inclinado (malla interior)	FMY4
5" Brida	700	250	825	600	39	42	0,158	100	5" inclinado (malla interior)	FMY5
6" Brida	730	320	986	923	68,5	69	0,48	150	6" inclinado (malla interior)	FMY6
8" Brida	900	430	1340	1250	133	135	0,610	200	8" inclinado (malla interior)	FMY8
10" Brida	1000	430	1525	1430	167	170	1,320	300	10" inclinado (malla interior)	FMY10
4" Brida	649	250	840	310	39	40	0,158	80	4" horizontal (malla interior)	FML4
6" Brida	1420	320	1680	380	99	101	0,230	150	6" horizontal (malla interior)	FML6
8" Brida	1645	320	1930	270	Consultar	Consultar	Consultar	200	8" horizontal (malla interior)	FML8
10" Brida	1623	430	1950	540	Consultar	Consultar	Consultar	300	10" horizontal (malla interior)	F10L
12" Brida	1848	430	2250	590	Consultar	Consultar	Consultar	420	12" horizontal (malla interior)	F12L
16" Brida	1689	600	2143	840	Consultar	Consultar	Consultar	850	16" horizontal (malla interior)	F16L

Fuente: Lama (s.f)

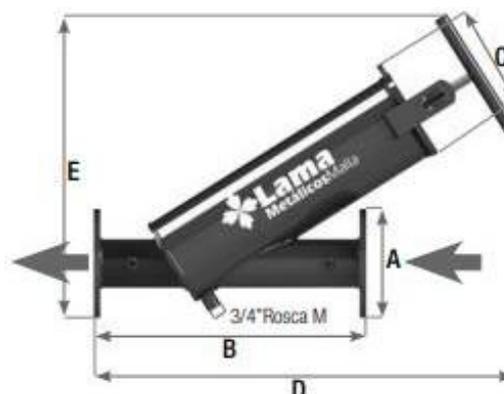
La malla a emplear será una de 0.130 mm que ofrece la empresa en la Ficha Técnica de Malla Metálicos (Lama, s.f.), al ser un tamaño próximo a los 0.149 mm que tiene una malla 100 concordante con la propuesta de Ortiz (2013). La dimensión está mencionada en base a la ficha técnica del modelo FMY2:

$$A: 2" \text{ rosca} = 5.08 \text{ cm} \quad B: 45 \text{ cm} \quad C: 16.5 \text{ cm}$$

$$D: 60.5 \text{ cm} \quad E: 50.4 \text{ cm} \quad \text{Inclinación: } 2" \text{ (malla exterior)}$$

**Figura 25**

*Diseño del filtro Lama FMY2*



Fuente: Lama (2021, p. 13)

## Efluente Total

Para el equipo a utilizar se consideró el caudal de salida de 2.19 m<sup>3</sup>/h del efluente total, y con ello determinar que será un modelo de malla automesh tipo AM4, debido a que este tipo de filtro se caracteriza por tener una gran superficie para la filtración, baja pérdida de carga y alta resistencia a las alteraciones producto de la presión (Lama, s.f.), cuyo caudal máximo recomendado es de 139 m<sup>3</sup>/h para una concentración entre 50 a 100 ppm como se observa en la Figura 26, usado al ser el tipo de filtro de menor caudal que ofrece la empresa Lama.

**Figura 26**

### *Ficha Técnica del Filtro Malla Automesh Lama AM4*

A	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (Ø)	G* (mm)	H (mm)	Peso Neto (Kg)	Dimensiones Embalaje (mm)	Peso Embalaje (Kg)	Volumen Embalaje (m <sup>3</sup> )	Código
4" Brida	450	406	1590	760	3" Rosca	1270	1440	190	1900x700x850	210	1,024	<b>AM4</b>
4" Brida	800	406	1995	741	3" Rosca	1270	1835	195	1900x700x850	214	1,024	<b>AM6B4</b>
6" Brida	800	406	2010	760	3" Rosca	1270	1840	195	1900x700x850	214	1,024	<b>AM6</b>
8" Brida	1100	406	2145	760	3" Rosca	1405	1975	210	2050x700x850	250	1,105	<b>AM8</b>
10" Brida	1100	406	2415	760	3" Rosca	1675	2240	235	2320x700x850	275	1,250	<b>AM10</b>
12" Brida	1370	406	2550	760	3" Rosca	1810	2380	250	2455x700x850	285	1,323	<b>AM12</b>
14" Brida	1.370	600	2.415	795	3" Rosca	1.400	2380	525	2500x820x850	570	1,92	<b>A14ETXL</b>

Caudal Límite 3m. P.D.	Diámetro Pulgada	Caudal Máx. Recomendado (m <sup>3</sup> /h)		Superficie de la malla (cm <sup>2</sup> )	Superficie Filtración (cm <sup>2</sup> )	Caudal Lavado (m <sup>3</sup> /h)	Litros Agua Lavado (mínimo)	Duración Lavado (mínimo)	Nº de Tramos de Cartuchos	Código	
		< 50ppm	50/100ppm								
700	4" Brida	230	139	5.980	8.058	75	105	5"	5	<b>AM4</b>	
700	4" Brida	350	211	9.568	12.893	120	167	5"	5	<b>AM6B4</b>	
1050	6" Brida	350	211	9.568	12.893	120	167	5"	8	<b>AM6</b>	
1400	8" Brida	470	284	10.764	14.089	135	188	5"	9	<b>AM8</b>	
1480	10" Brida	490	296	13.156	16.481	165	229	5"	11	<b>AM10</b>	
1800	12" Brida	600	363	14.352	17.677	180	250	5"	12	<b>AM12</b>	
2.760	14" Brida	938	567	18.313	29.030	210	292	5"	-	<b>A14ETXL</b>	
Boquilla de goma									<b>Nueva</b>	<b>BAAG</b>	
Motor eléctrico con caja de mando 220V										<b>MOEL</b>	
<b>Tramo de Cartucho</b>		Ø 282	135 mm	0,190 mm de malla							<b>T28P135</b>

Fuente: Lama (s.f.)

Para la malla a emplear se utilizará una de 0.2 mm propuesto por Martinez (2016, p. 90). La dimensión está mencionada en base a la ficha técnica del modelo AM4:

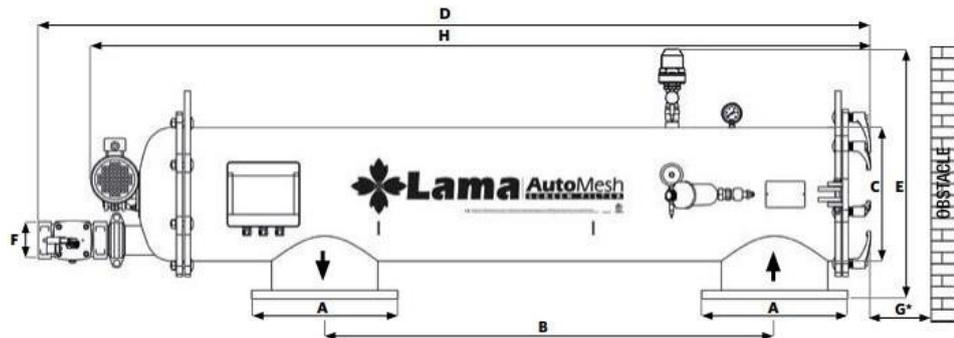
***Dimensiones embalaje (cm): 190 x 70 x 85***

**A:** 4" brida = 10.16 cm    **B:** 45 cm    **C:** 40.6 cm    **D:** 159 cm

**E:** 76 cm    **F:** 3" rosca = 7.62 cm    **G:** 127 cm    **H:** 144 cm

**Figura 27**

*Diseño del filtro Lama AM4*



*Fuente:* Lama (2021, p. 31)

## REJAS

### Efluente de Remojo, Pelambre, Curtido y Total

Para el criterio de diseño de las rejillas que tendrán a la entrada de cada tanque de tratamiento, se consideró el criterio usado por SEDAPAR (2017, p.1), que consideró los criterios según la Norma OS. 090. Las rejillas serán de material de acero inoxidable 304.

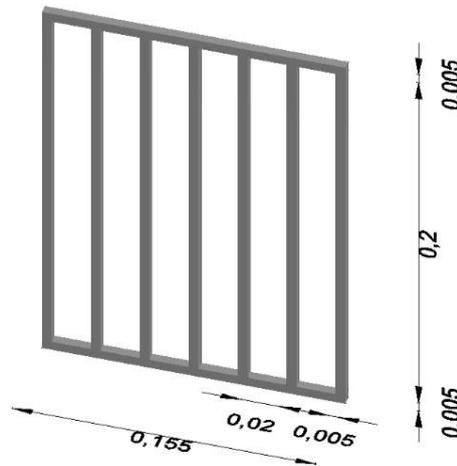
**Separación entre barras:** 20 mm    **Espesor de la barra:** 5 mm

**Ángulo de inclinación de la rejilla:** 45°    **Nº barras:** 7

**Largo:** 15.5 cm    **Ancho:** 21 cm    **Forma de barra:** Rectangular

## Figura 28

### *Diseño de las rejas*



Elaboración propia.

#### - ***Encuesta de opinión***

Con la encuesta de opinión se busca conocer la factibilidad de realizar la propuesta de tratamiento en sus empresas, así como el monto que están dispuestos a invertir por un sistema de tratamiento.

#### - ***Escala de viabilidad económica***

Esta escala se ha realizado tomando como referencia el modelo de Gonzales y Zúñiga (2011, p. 84) que utilizan un modelo de escala Likert debido a que es una escala que representa la mejor capacidad de las personas para apreciar variables desde niveles bajos o nulos hasta niveles máximos de manifestación. Para esta escalase han contemplado los mismos rangos descritos en la escala de evaluación de Gonzales y Zúñiga (2011), y acondicionándola con formato de porcentaje, para conocer el monto que las empresas de curtiembre estarían dispuestas a invertir en un sistema de dedicado a tratar sus efluentes.

A través de esta escala se conocerá la posibilidad de inversión de la empresa en base al costo total del sistema de tratamiento, donde 100% significaría que la empresa tendría una posibilidad de inversión total muy alta (MA) y 0% significaría que la empresa tendría una posibilidad nula de inversión muy baja (MB).

**Tabla 23**

*Escala de Evaluación del Potencial Emprendedor*

Escala	Posibilidad de Inversión (%)
Muy Alto (MA)	80.1-100
Alto (A)	60.1- 80
Medio (M)	40.1-60
Bajo (B)	20.1- 40
Muy Bajo (MB)	< 20

*Fuente: Gonzales y Zúñiga (2011).*

La relación entre posibilidad de inversión y el nivel de costo del sistema de tratamiento es inversamente proporcional, esto quiere decir si la posibilidad de inversión resulta muy baja (MB), significaría que el costo del sistema de tratamiento es muy alto (MA) y si la posibilidad de inversión es muy alta (MA), el nivel de costo del sistema sería muy bajo (MB) para la empresa. La escala del nivel de costo del sistema de tratamiento se menciona a continuación:

**Tabla 24**

*Escala de Evaluación del Nivel de Costo para la empresa del sistema de tratamiento*

Posibilidad de Inversión (%)	Nivel de Costo
80.1-100	Muy Bajo (MB)
60.1- 80	Bajo (B)
40.1-60	Medio (M)
20.1- 40	Alto (A)
< 20	Muy Alto (MA)

**Nota:** Adaptación de Evaluación del Potencial Emprendedor de Gonzales y Zúñiga (2011).

## **Segunda Parte**

- Diseño de la propuesta del sistema de tratamiento.

Este diseño se ha elaborado en el programa AutoCAD en 3D, para fines de una mejor observación de los tanques y los diseños, así como el tamaño que tendrá cada tanque mencionado en el dimensionamiento (Ver Anexo M).

## **Tercera Parte**

- Análisis de la información
  - *Consolidación de la propuesta*

Una vez recopilada la información se realizará el análisis de viabilidad económica en base al costo total del sistema de tratamiento propuesto y la posibilidad de inversión de la empresa, así como la oportunidad, es decir, si los equipos pueden ser accesibles o no de conseguirse fácilmente en el mercado, en base a la información solicitada a las empresas de curtiembre para la propuesta.

### 3.5. SISTEMA DE TRATAMIENTO

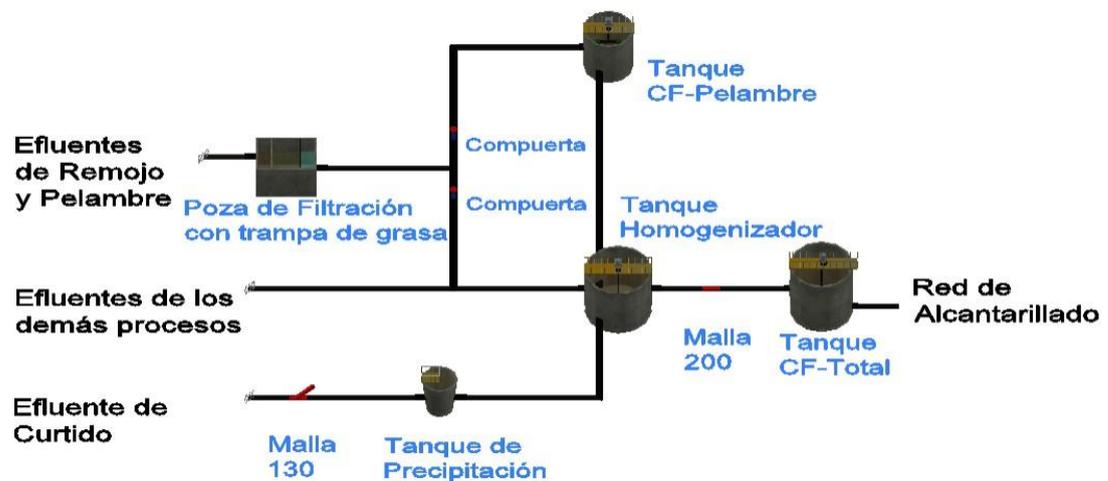
El sistema de tratamiento que se ha propuesto considera los principales efluentes de los procesos más contaminantes en una curtiembre, que contienen los parámetros de Aceites y Grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo y pH en las descargas de sus procesos, siendo los parámetros de AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO y SST los más evaluados por las EPS al momento de su vertido en el sistema de alcantarillado, así como pueden evaluar los anexos I y II del mismo o los parámetros que establecen los LMP. Los principales procesos de curtiembre en los que los estudios analizados se enfocan son Remojo, Pelambre, Curtido y Total. Para el efluente de remojo y de pelambre se ha propuesto una poza de filtración con trampa de grasas con el fin de retener la gran cantidad de sólidos (incluyendo pelo del efluente de pelambre) que ambos efluentes aportan, así como, por el proceso de flotación, retener las grasas que salen en especial del proceso de pelambre.

Para el efluente de pelambre también se ha propuesto realizar un tratamiento por coagulación- floculación, después de haber pasado por un sistema de compuertas que regulan su entrada, para que aplicando coagulantes como FeCl<sub>3</sub> y floculante aniónico (Montoya y Silencio, p. 75) se pueda controlar y reducir la concentración en principal de sulfuro, ya que un mal manejo o una mezcla no controlada de este efluente afecta a el tratamiento de los efluentes de otros procesos y generaría severos daños a la salud pues a pH bajos o neutros puede producir H<sub>2</sub>S(g). Finalmente, el tratamiento para el proceso de curtido consta de un filtro con una malla de tipo metálico de 0.130 mm dentro de una tubería basado en el modelo de la empresa Lama, con el fin de minimizar la carga orgánica y facilitar el tratamiento en el tanque de precipitación con NaOH (Ortiz, 2013, p. 78) que busca reducir las concentraciones de Cr<sup>+3</sup> para que opcionalmente se pueda recuperar y reinsertar en el proceso o ser tratado como lodo.

Estos efluentes tratados se unirán con los efluentes de los demás procesos en el tanque homogenizador que los almacenará, estabilizará su composición química y homogenizar el caudal. Luego pasará por un filtro de malla de tipo automesh de 0.2 mm del modelo Lama, reduciendo la carga de sólidos del efluente total, para después aplicar el tratamiento de Coagulación- Floculación con Terra Flock GM y Back Flock RR (Martínez, 2016) y sedimentar sólidos con el tiempo necesario, con el propósito de reducir la carga contaminante del efluente total de la curtiembre, dejándolo listo para ser vertido al sistema de alcantarillado, como se observa en las Figuras 29 y 30.

**Figura 29**

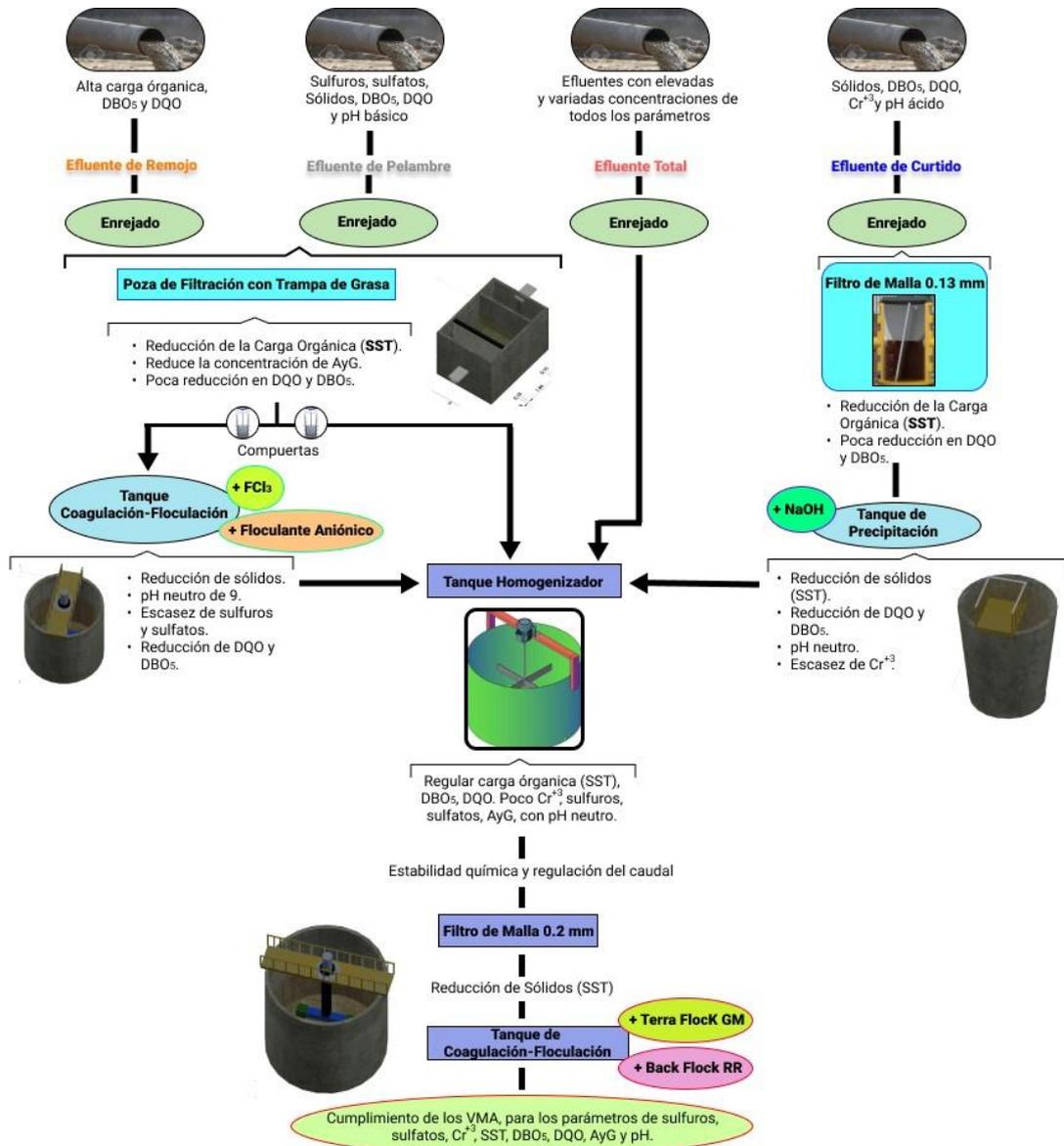
*Propuesta del Sistema de Tratamiento*



*Nota:* El diagrama elaborado ha tomado como base los estudios seleccionados y el criterio de dimensionamiento señalado en la metodología de este anexo. Los planos se encuentran en el Anexo M.  
Fuente: Autores.

**Figura 30**

*Diagrama de entradas y salidas por efluente con la propuesta de tratamiento*



*Nota: El diagrama explica la incidencia de cada tratamiento propuesto para la disminución de las concentraciones de los parámetros considerados en la presente investigación.*

## CAPITULO IV: ANÁLISIS ECONÓMICO

En el siguiente capítulo se analiza el costo total de la instalación del sistema de tratamiento, así como se muestran los costos unitarios por la construcción de cada tanque y el equipamiento de los filtros. En el ítem 1 de Habilitamiento se muestran los costos movimiento de tierra, obras provisionales, así como el costo por concreto simple de F’C de 80 Kg/ cm<sup>2</sup> y de concreto armado de F’C de 210 Kg/ cm<sup>2</sup> para cada uno de los tanques. En el ítem 2 se detalla los costos unitarios de los equipos de filtrado y las mallas de 0.3 mm y 0.2 mm para el sistema de filtración de la marca Lama con los precios a nivel internacional que se cotizan en dólares (\$), y su conversión a moneda local (Soles- S/), como puede observarse en la siguiente tabla.

**Tabla 25**

*Habilitamiento y Construcción del Sistema de Tratamiento*

Item	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Costo
<b>1.</b>	<b>HABILITAMIENTO</b>				
<b>1.1</b>	<b>ESTRUCTURAS DE HABILITAMIENTO</b>				
<b>1.1.1</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				
<b>1.1.1.1</b>	TRANSPORTE DE EQUIPO, HERRAMIENTAS Y MADERA	Glb	1	4500	S/ 4.500,00
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 4.500,00</b>
<b>1.2.1</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				
<b>1.2.1.1</b>	TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO	m2	95	3,68	S/ 349,60
<b>1.2.1.2</b>	LIMPIEZA DE TERRENO	m2	95	2,5	S/ 237,50
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 587,10</b>
<b>1.3.1</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				
<b>1.3.1.1</b>	EXCAVACION DE ZANJA P/CIMENTACION	m3	53	29,28	S/ 1.551,84
<b>1.3.1.2</b>	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	53	26,28	S/ 1.392,84
<b>1.3.1.3</b>	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	10	57,77	S/ 577,70
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 3.522,38</b>
<b>1.4.1</b>	<b>CONCRETO SIMPLE</b>				
<b>1.4.1.1</b>	CONCRETO SIMPLE F’C=80 kg/cm2	m3	10,15	62,97	S/ 639,15
				<b>SUBTOTAL</b>	<b>S/ 639,15</b>
				<b>SUBTOTAL ESTRUCTURAS DE HABILITAMIENTO</b>	<b>S/ 9.248,63</b>
<b>1.5.1</b>	<b>CONCRETO ARMADO</b>				
<b>1.5.1.1.</b>	<b>TANQUE DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN- EFLUENTE TOTAL</b>				

Item	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Costo
	<b>ESTRUCTURAS DE OBRA / EJECUCIÓN</b>				
1.5.1.1.1	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSA ARMADA F´C=210 kg/cm2	m3	12,03	302,5	S/3.639,08
1.5.1.1.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	70,6	27,63	S/1.950,68
1.5.1.1.3	HABILITACION Y COLOCACION DE ACERO fy=4,200 kg/cm2	kg	1330	4,67	S/6.211,10
1.5.1.1.4	CURADO DE CONCRETO	m2	70,6	3,5	S/247,10
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>S/12.047,95</b>
<b>1.5.1.2</b>	<b>TANQUE DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN- EFLUENTE PELAMBRE</b>				
	<b>ESTRUCTURAS DE OBRA / EJECUCIÓN</b>				
1.5.1.2.1	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSA ARMADA F´C=210 kg/cm2	m3	7,71	302,5	S/2.332,28
1.5.1.2.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	70,6	27,63	S/1.950,68
1.5.1.2.3	HABILITACION Y COLOCACION DE ACERO fy=4,200 kg/cm2	kg	987	4,67	S/4.609,29
1.5.1.2.4	CURADO DE CONCRETO	m2	70,6	3,5	S/247,10
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>S/9.139,34</b>
<b>1.5.1.3</b>	<b>TANQUE HOMOGENIZADOR</b>				
	<b>ESTRUCTURAS DE OBRA / EJECUCIÓN</b>				
1.5.1.3.1	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSA ARMADA F´C=210 kg/cm2	m3	11,68	302,5	S/3.533,20
1.5.1.3.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	70,6	27,63	S/1.950,68
1.5.1.3.3	HABILITACION Y COLOCACION DE ACERO fy=4,200 kg/cm2	kg	1217	4,67	S/5.683,39
1.5.1.3.4	CURADO DE CONCRETO	m2	70,6	3,5	S/247,10
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>S/11.414,37</b>
<b>1.5.1.4</b>	<b>POZA DE FILTRACIÓN CON TRAMPA DE GRASA</b>				
	<b>ESTRUCTURAS DE OBRA / EJECUCIÓN</b>				
1.5.1.4.1	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSA ARMADA F´C=210 kg/cm2	m3	9,45	302,5	S/2.858,63
1.5.1.4.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	70,6	27,63	S/1.950,68
1.5.1.4.3	HABILITACION Y COLOCACION DE ACERO fy=4,200 kg/cm2	kg	412	4,67	S/1.924,04
1.5.1.4.4	CURADO DE CONCRETO	m2	70,6	3,5	S/247,10
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>S/6.980,44</b>
<b>1.5.1.5</b>	<b>TANQUE DE PRECIPITACIÓN</b>				
	<b>ESTRUCTURAS DE OBRA / EJECUCIÓN</b>				
1.5.1.5.1	CONCRETO PREMEZCLADO EN LOSA ARMADA F´C=210 kg/cm2	m3	12,28	302,5	S/3.714,70
1.5.1.5.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	70,6	27,63	S/1.950,68
1.5.1.5.3	HABILITACION Y COLOCACION DE ACERO fy=4,200 kg/cm2	kg	732	4,67	S/3.418,44
1.5.1.5.4	CURADO DE CONCRETO	m2	70,6	3,5	S/247,10
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>S/9.330,92</b>
	<b>SUBTOTAL CONCRETO ARMADO</b>				<b>S/ 48.913,03</b>
	<b>SUBTOTAL ESTRUCTURAS: CONCRETO ARMADO Y ESTRUCTURAS DE HABILITAMIENTO</b>				<b>S/ 58.161,65</b>
<b>1.2</b>	<b>GASTOS ADICIONALES</b>				
<b>1.2.1</b>	GASTOS GENERALES 10%				S/5.816,17
<b>1.2.2</b>	UTILIDAD 5%				S/2.908,08
	<b>SUB PRESUPUESTO</b>				<b>S/66.885,90</b>

Item	Descripción	Und	Metrado	P.U.	Costo
1.2.3	IGV 18%				S/12.039,46
<b>SUBTOTAL ITEM 1. ESTRUCTURAS</b>					<b>S/ 78.925,36</b>
<b>2. FILTROS Y EQUIPOS</b>					
	CAMBIO DE DÓLARES- USD (\$) A SOLES-PEN. (S/)	\$		\$1,00	S/3,76
2.1	FILTRO AUTOMESH AM4 CON RETROLAVADO AUTOMÁTICO, MARCA LAMA	Unid	1	7632	\$7.632,00
	AL CAMBIO EN SOLES (S/)				S/ 28.696,32
2.2	FILTRO FMY2, MARCA LAMA	Unid	1	230,4	\$230,40
	AL CAMBIO EN SOLES (S/)				S/ 866,30
2.3	MALLA X 0.13MM PARA FILTRO FMY2	Roll	1	48,96	\$48,96
	AL CAMBIO EN SOLES (S/)				S/ 184,09
2.4	MALLA X 0.2MM PARA FILTRO AM4	Tramo	5	141,1	\$705,60
	AL CAMBIO EN SOLES (S/)				S/ 2.653,06
2.5	FLETE	Glb	1	900	\$900,00
	AL CAMBIO EN SOLES (S/)				S/ 3.384,00
<b>SUB PRESUPUESTO</b>					<b>S/35.783,77</b>
2.6	IGV 18%				S/6.441,08
<b>SUBTOTAL ITEM 2. FILTROS Y EQUIPOS</b>					<b>S/ 42.224,85</b>
<b>3. BOMBAS PARA TRATAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE LODOS</b>					
3.1.	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE 0.85 H.P. ZXM 1A/40		2	1560	S/ 3.120,00
3.2.	BOMBA DOSIFICADORA DE POLÍMERO MECÁNICO DE AGUAS RESIDUALES PAC PAM FLOCULANTE		2	1355	S/ 2.710,00
3.3	BOMBA DE VACÍO DE PALETA ROTATIVA DE DOBLE ETAPA 2XZ 4L/S		4	1000	S/ 4.000,00
<b>SUBTOTAL ITEM 3. BOMBAS PARA TRATAMIENTO Y EXTRACCIÓN DE LODOS</b>					<b>S/ 6.830,00</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA PROPUESTA (100%)</b>					<b>S/130 980,21</b>

## **NIVEL DE COSTO Y OPORTUNIDAD:**

Mediante la información brindada por las empresas de curtiembre de la provincia de Trujillo se pudo conocer que ellos están dispuestos a invertir un máximo de S/25000.00 en un sistema de tratamiento a modo piloto, por lo que en base al costo total de S/130980.21, las empresas tendrían una posibilidad de inversión (PInv) del 19.087% en el sistema de tratamiento propuesto, lo que según la escala descrita en la Tabla 23, su posibilidad de inversión resulta Muy Baja (MB).

PInv: 19.09% → Muy Bajo (0%– 20%)

Por lo tanto, al resultar la posibilidad de inversión Muy Baja (19.09%) según la escala, y al ser inversamente proporcional al nivel de costo del sistema de tratamiento, este resultaría según la escala de nivel de costo del sistema de tratamiento (NCost) en el rango de Muy Alto (MA), lo que indica que la propuesta económicamente podría no ser viable para el monto de inversión que las empresas estarían dispuestas a invertir. Por ello, se presenta la Tabla 26 donde se analiza los costos unitarios por tratamiento y el costo total del sistema propuesto, así como el nivel de oportunidad, lo que significa la posibilidad a encontrar los productos en el mercado de modo accesible. Además, se aprecia que si se requiriera realizar parte del sistema de tratamiento como C-F para total o el tanque homogenizador para las empresas sería entre costos medios y bajos tomando como referencia que el costo Muy Alto sería de S/25000 a más, Alto desde S/18750 hasta S/24999.9, Medio desde S/12500 hasta S/18749.9, Bajo desde S/6250 hasta S/12499.9 y Muy Bajo desde los S/0 hasta los S/6249.9.

**Tabla 26**

*Análisis de la viabilidad económica y oportunidad del sistema de tratamiento propuesto*

#	Tratamiento a emplear	Costo unitario (S/)	Nivel de Costo				Oportunidad		
			Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo	SI	NO
1	Tanque de Coagulación Floculación - Total	S/12047.95				X		X	
2	Tanque de Coagulación Floculación - Pelambre	S/9139.34				X		X	
3	Tanque Homogenizador	S/11414.37				X		X	
4	Poza de Filtración con trampa de Grasa	S/6980.44				X		X	
5	Tanque de Precipitación	S/9330.92				X		X	
6	Filtro Automesh AM4 Lama	S/28696.32	X						X
7	Filtro Metálico FMY2 Lama	S/866.30					X		X
8	Malla 0.13 mm	S/184.09					X		X
9	Malla 0.2 mm	S/2653.06					X	X	
10	Electrobomba sumergible 0.85 H.P. zxm 1a/40	S/ 3120.00					X	X	
11	Bomba dosificadora de polímero mecánico de aguas residuales PAC PAM floculante	S/ 2710.00					X		X
12	Bomba de vacío de paleta rotativa de doble etapa 2xz 4 L/s	S/ 4000.00					X		X
13	Sistema de Tratamiento Propuesto	S/130980.21	X					X	
<b>Total</b>			<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>5</b>

Mediante la Tabla 26 se logra visualizar que el sistema de tratamiento en su conjunto tiene un nivel de costo Muy Alto (MA), y que de realizarse tratamientos independientes para cierto tipo de efluentes los costos serían mucho más accesibles debido a que 6 de 12 equipos de tratamiento resultan con niveles muy bajos (MB) para el nivel de costo de la empresa, y 5 resultan con costos en nivel bajo (B) para su adquisición o instalación, a excepción del filtro Automesh AM4 de la marca Lama que resulta con un costo Muy Alto (MA) para el precio presupuestado por las empresas de curtiembre. Por otra parte, el sistema de tratamiento resulta con una oportunidad de Sí, esto quiere decir que sí es oportuno debido a que es accesible de encontrar la gran mayoría de materiales a requerir puesto que de los 12 equipos 8 sí son oportunos y accesibles de cotizar en el mercado.

## **SOBRE LAS MULTAS:**

Las infracciones impuestas por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), toman como base el incumplimiento en el punto de vertimiento y tomando como instrumento a los LMP (Límites Máximos Permisibles). Por eso OEFA (2019, p. 3) considera dentro de sus parámetros fiscalizables y de control a la DQO, AyG, Cromo Total y Sulfuros, por lo que con la concentración del parámetro aplican la metodología de multiplicar el valor que obtuvo en el monitoreo de los efluentes por 100%, dividido entre LMP establecido en D.S. N° 003-2002-PRODUCE y al valor obtenido se resta el 100%, obteniendo el porcentaje de superación. En base a la concentración del parámetro establecen la multa cuyo valor máximo llegaría a 25 000 UIT tal como indica OEFA en la Resolución de Consejo Directivo N° 045-2013-OEFA/CD.

En base a dicha resolución, OEFA en sus artículos 3,4 y 5 menciona que las infracciones pueden ser de 3 tipos de naturaleza. Una infracción leve tiene un exceso de hasta 10% sobre los LMP, la infracción grave establece rangos que van por encima del 10% hasta el 200% de exceso y dependen si los parámetros de control califican o no como de mayor riesgo ambiental. Para el caso de los parámetros de una curtiembre, los efluentes no están calificados como de mayor riesgo ambiental, por lo que, podría llegar a obtener entre 50 UIT a 5500 UIT si se sobrepasara del 200% de exceso del parámetro. Para la infracción de naturaleza muy grave esta va desde los 100 UIT hasta los 25 000 UIT. Sin embargo, de acuerdo al artículo 7.3 de dicha resolución y vuelto a mencionar en el artículo 12.2 de la Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA/CD que indica el Reglamento del PAS (RPAS), se menciona que la multa no debe ser mayor al 10% del ingreso bruto anual que percibe el infractor el año anterior a la fecha de la infracción.

Las infracciones también pueden ser impuestas por las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), que se rigen acorde a lo que estipula la SUNASS (2020) en la Resolución de Consejo Directivo N° 011-2020-SUNASS-CD, donde se aprueba una norma complementaria al D.S. 010- 2019 VIVIENDA, que es el reglamento que establece los VMA (Valores Máximos Admisibles) para la descarga de aguas no domésticas a la red de alcantarillado. En este documento en el Artículo 2, establece la Metodología para determinar el pago adicional por exceso de concentración en base a los parámetros del Anexo N° 1 de los VMA, donde establece 4 rangos con sus respectivos factores individuales de exceso de concentración, así como el cálculo del factor de ajuste que las EPS deben monitorear y hacer conocer al Usuario No Doméstico (UND).

Por ello, la SUNASS (2004) en la Resolución de Consejo Directivo N° 036 -2004-SUNASS-CD, establece las infracciones, sanciones y escala de multas. En base a dicha resolución, en el ítem 4.1: Tipificación y calificación de las infracciones, SUNASS menciona que están establecidas 51 conductas infractoras correspondientes a las obligaciones más relevantes en los usuarios. Estas se dividen en 3 tipos: Leves, Graves y Muy Graves. La primera se sanciona hasta los 100 UIT, la segunda de 101 a 150 UIT, y la tercera de 251 hasta 500 UIT, como monto máximo. Para establecer a qué tipo pertenece se toma en cuenta 7 criterios entre los que se pueden mencionar la magnitud del daño causado, número de usuarios que resultan afectados o la intencionalidad del agente. Sin embargo, en el ítem 5.2: Sobre la escala de sanciones, se menciona que la multa debe ser gradual a los ingresos de la empresa, por lo que la multa no debe pasar del 30% de lo que factura mensualmente, considerando el número de usuarios afectados. Sin embargo, OEFA como entidad fiscalizadora y sancionadora también evalúa el vertimiento con los VMA.

## **EJEMPLOS DE MULTAS:**

En la Resolución Directoral N° 0543-2019-OEFA/DFAI, realizada para una curtiembre del distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, indica que al tener parámetros como Cromo Total con 5010% de exceso o sulfuros con 296.67% del exceso del límite, a la empresa en base a la metodología descrita en la Resolución de Presidencia de Consejo Directivo N° 035-2013-OEFA/PCD, le correspondería una multa de 11.69 UIT, pero al tomar como referencia el Artículo 4° de la Resolución de Consejo Directivo N° 045-2013-OEFA/CD, Tipificación de Infracciones y Escala de Sanciones relacionadas al incumplimiento de los LMP previstos para actividades económicas bajo el ámbito de competencia del OEFA, a la empresa le correspondería una multa de 50 UIT. Por lo tanto, de acuerdo con el Análisis de no Confiscatoriedad, se debe considerar que la multa no sea mayor al 10% de sus ventas, por lo que, las ventas de la empresa en 2016 ascendieron a 386.79 UIT, concluye que la multa a pagar debe ser de 38.679 UIT.

Para el caso de los VMA, en la Resolución Directoral N° 0713-2019-OEFA/DFAI, analiza el caso de una curtiembre del distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, en el año 2018 donde indica que parámetros como Cromo Total tienen un exceso de 4739% o de 2162% para sulfuros, así como excesos para AyG, DBO<sub>5</sub>, DQO, SST y Nitrógeno Amoniacal. Por ello, la empresa se compromete a realizar un sistema de tratamiento para sus efluentes, que en octubre del 2018 y enero 2019 presentan al Cromo Total como parámetro de exceso, el primero con 222.5% y para enero se redujo a 58.8%. Por ello, tomando como base la metodología del cálculo de multas de la Resolución de Presidencia de Consejo Directivo N° 035-2013-OEFA/PCD, le correspondería una multa de 10.17 UIT, sin embargo, acorde al RPAS, al ser la venta del administrado de 352.93 UIT en el año 2017, y al aplicarse que la multa no debe pasar del límite del 10% de dichos

ingresos, ascendiente a 35.293 UIT. Pero en este caso concluye que esta multa no resulta confiscatoria, por lo que la sanción final es de 10.17 UIT.

### **ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA:**

Tomando como referencia para el monto de ventas a los dos casos mencionados en las actas de supervisión, así como la sanción aplicada en la provincia de Trujillo, por tener relación directa con la realidad en la que se aplica la tesis se tiene:

- **Valor de 01 Unidad Impositiva Tributaria (UIT):** S/4300.00 al 2020 en base al Decreto Supremo N° 380-2019-EF.

- **Monto sanción según R.C.D. 045-2013-OEFA/CD:**

$$50 \text{ UIT} \rightarrow S/ 215 000.00 \text{ soles}$$

- **Monto sanción según R.C.D. 027-2017-OEFA/PCD (CS):** 10% VA

- **Venta anual (VA) promedio de la curtiembre:**

$$370 \text{ UIT} \rightarrow S/ 1 591 000.00 \text{ soles}$$

$$\text{CS} \rightarrow 10\% * S/ 1 591 000.00 \text{ soles}$$

***Monto de sanción (S/): S/159 100.00 soles***

- **Costo del Sistema de Tratamiento (CT): S/ 130 980.21**

***Monto de sanción > Costo del Sistema de Tratamiento***

$$\text{CS} - \text{CT}(S/): S/159 100.00 - S/130 980.21$$

$$\text{CS} - \text{CT}: S/28 119.79 \text{ soles}$$

- Adicional a las pérdidas por cierre de la empresa y utilidades.
- Mala imagen de la empresa en el mercado.

Por lo tanto, se justifica la inversión de la construcción y equipamiento del sistema de tratamiento ya que el costo resulta casi S/30 000 soles menos de lo que costaría solo la infracción de 37 UIT. Además, cabe considerar que la infracción podría llegar hasta los 50 UIT e incluso más según lo contempla Resolución de Consejo Directivo N° 045-2013-OEFA/CD.

## CAPITULO V: RECOMENDACIONES

En relación a la propuesta para la Poza de Filtración con trampa de grasa es necesario tener un control del tamaño de los sólidos y grasas que ingresarán de los efluentes de remojo y pelambre, por lo que es necesario retener en el enrejado los sólidos más gruesos a fin que al momento de su paso por el segundo compartimento de la poza, la malla no llegue a saturarse muy rápido. En base a ello, se recomienda evaluar el número de malla a emplearse. Para el efluente de pelambre es necesario tener un control adecuado del pH a fin de evitar gases tóxicos, y en su tratamiento de C-F es necesario realizar test de jarras para encontrar la dosis óptima, velocidad y tiempo de mezclado de tratamiento. Además, se recomienda el reúso de las aguas del efluente con el uso de una bomba de recirculación, lo que disminuiría las concentraciones de sulfuro del efluente, así como gastos de insumos y de agua consumida.

En el caso del efluente de curtido, se recomienda que el filtro de malla se pruebe con diversas presiones y caudales de ingreso a fin de determinar la eficiencia de filtrado en base al tiempo y cantidad de sólidos removidos, así como un lavado presurizado que es recomendable cada 15 días y un mantenimiento preventivo cada 6 meses. Si la cantidad de sólidos es alta para el filtro se aconsejaría previamente un sedimentador. Para precipitar cromo considerar el pH y realizar pruebas para una dosis óptima de hidróxido de sodio. Luego del tratamiento de precipitación se recomienda reutilizar el agua que podría ser recirculada o puede tratarse con floculantes químicos. Respecto al efluente total, en el tanque homogeneizador es recomendable controlar la velocidad de llenado, mezclado y retención. Además de ello, es necesario evitar que se genere una sedimentación muy espesa, debido a que la bomba extractora de lodos podría saturarse,

por lo que se recomienda realizar pruebas con recirculación del agua o procesos de inyección con aire.

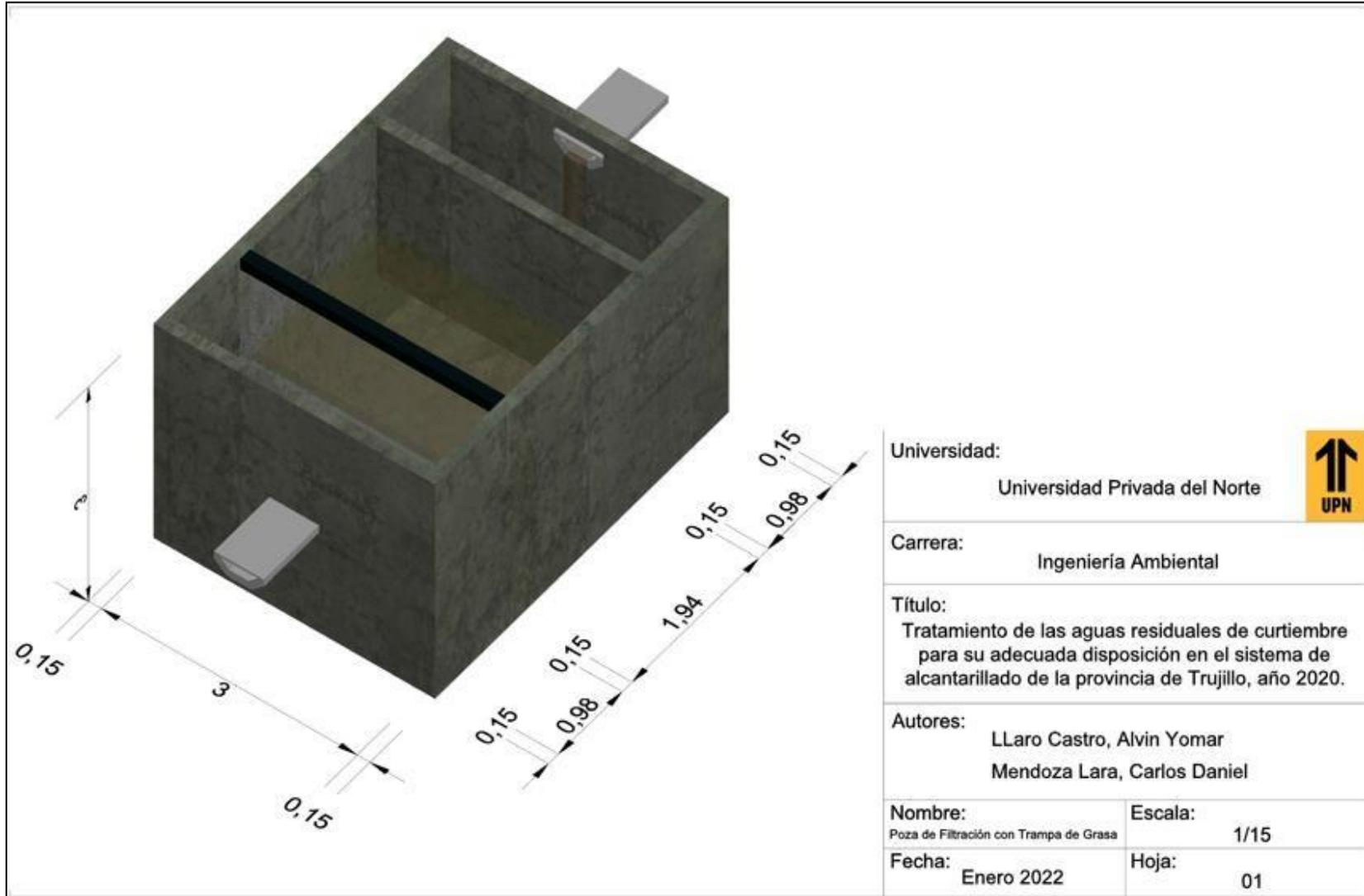
Para el tratamiento de C-F del efluente total se sugiere considerar un tratamiento posterior de sedimentación, dependiendo del caso, para que de esa manera el coagulante aplicado realice un mejor trabajo y permita reducir considerablemente la carga de sólidos finales. No menos importante es recomendable establecer un sistema de tratamiento de lodos posterior a la extracción con las bombas, considerándose un dimensionamiento para un contenedor de estos y aplicar tratamientos como lodos activados o reactores anaerobios, debido a la gran carga orgánica que se genera en las curtiembres, así como de los insumos químicos que han sido propuestos como parte del tratamiento que no puedan ser atrapados con los tratamientos como C-F, por lo que es recomendable tratar y evaluar la toxicidad de los lodos, así como su posible reúso dentro de los mismos procesos de curtiembre como las sales de cromo o en otras industrias.

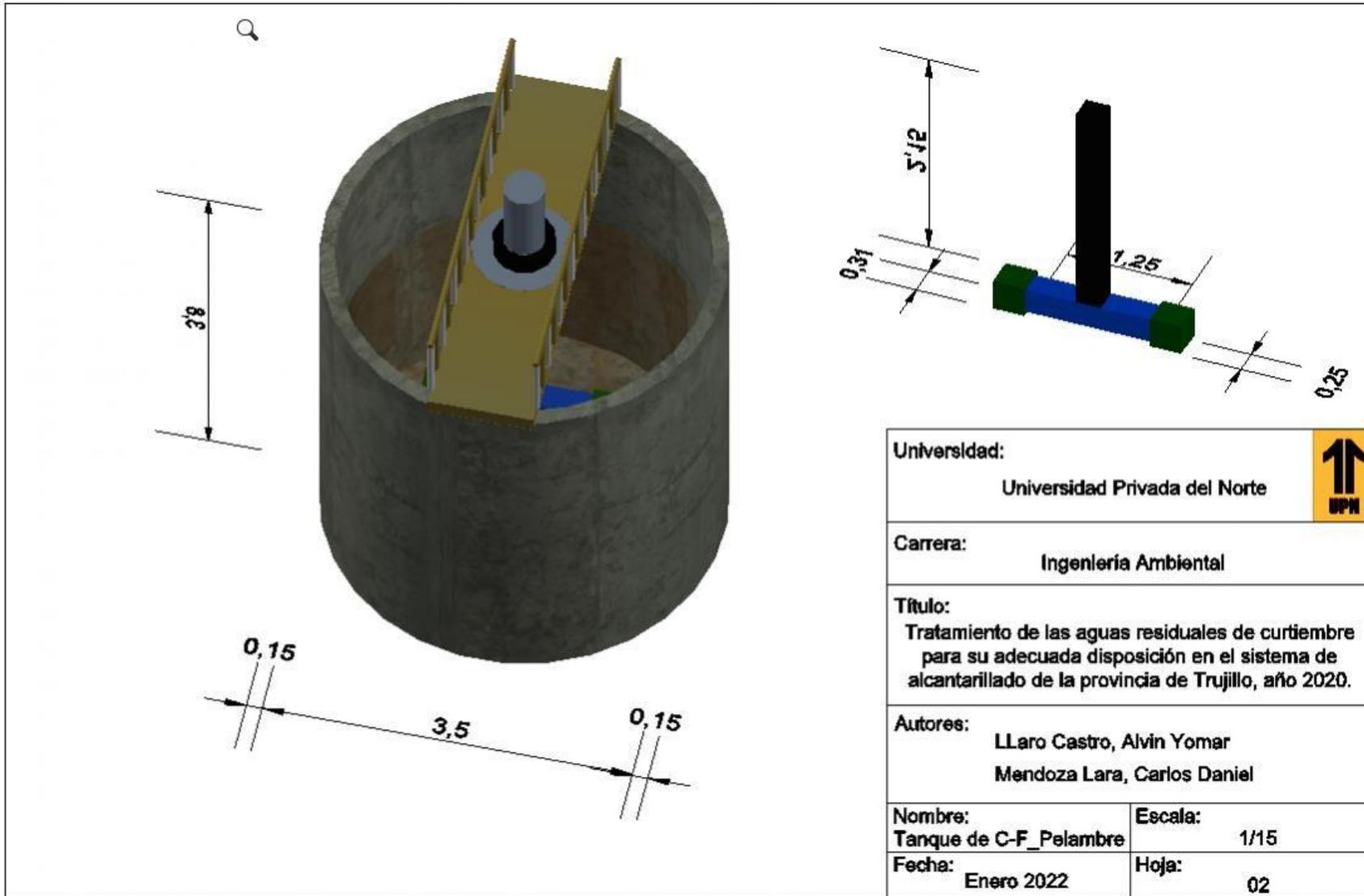
En todos los efluentes se recomienda que se diseñen y evalúen canales de transporte de los efluentes líquidos de una curtiembre, considerando sus caracterizaciones, caudales y desplazamiento, para que se permita articular de la mejor forma todo el sistema con sus tratamientos pertinentes. Asimismo, siempre es necesario realizar un mantenimiento y limpieza de los equipos evitando saturación y deterioro de los tanques, equipos y canaletas de conducción de toda la curtiembre. Para los efluentes de los tratamientos no considerados, se aconseja que sean analizados en base a muestreos continuos a fin de estudiar qué parámetros son los que predominan aún en dichos efluentes, para que de acuerdo a ello se proponga algún tipo de tratamiento que permita reducir la concentración de los parámetros más significativos, evitando de ese modo que los tratamientos posteriores no se vean afectados o sobrecargados al tratarlos.

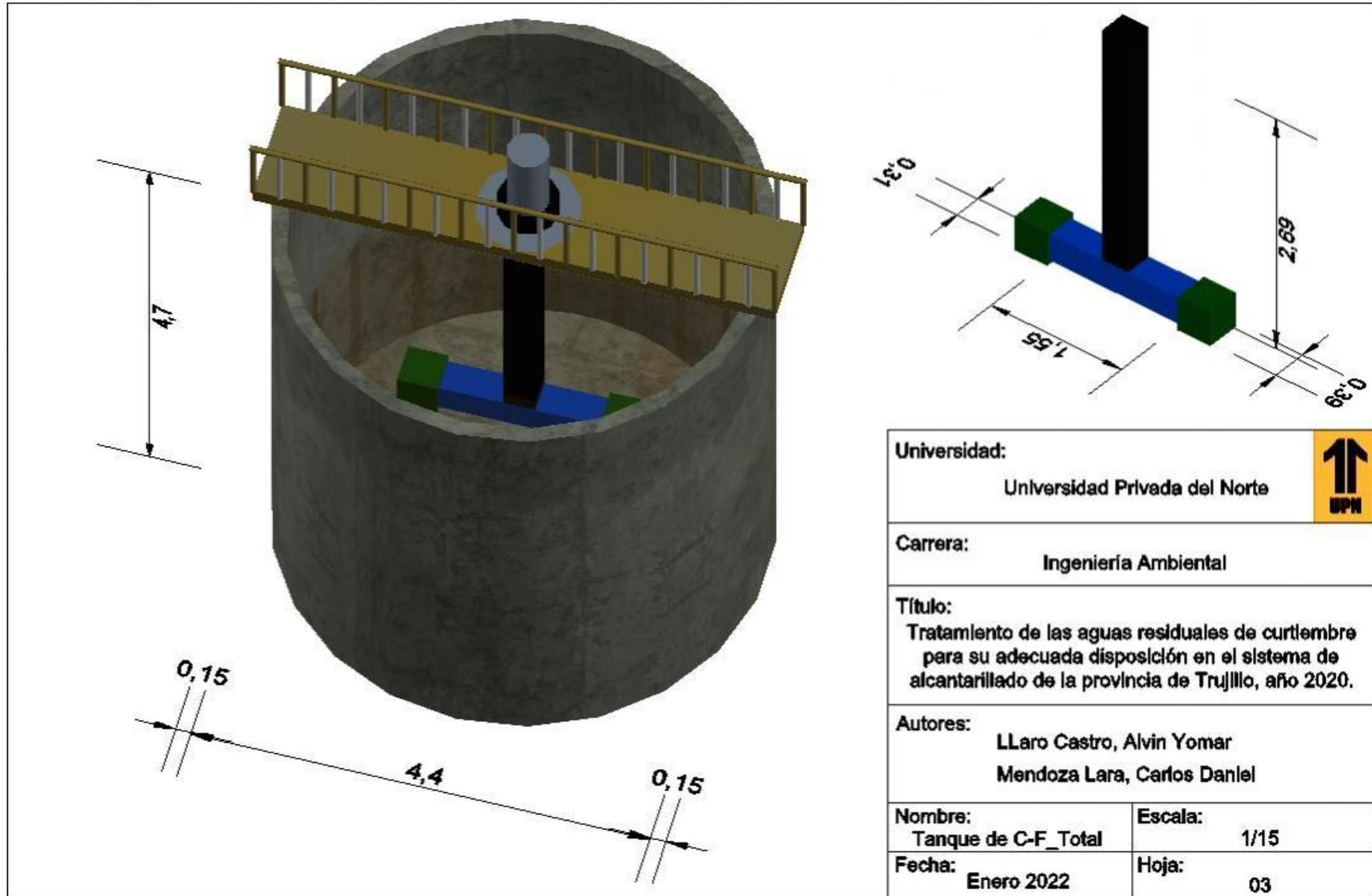
Respecto al análisis económico y oportunidad de la propuesta del sistema de tratamiento al tener un costo total Muy Alto con una posibilidad de inversión del 19.09% para el monto que mencionan las empresas que estarían dispuestos a invertir, se recomendaría a la empresa optar por realizar un sistema de tratamiento enfocado en cierto tipo de efluentes que le podría salir menos costoso y tendría la posibilidad de llegar a invertir hasta el 100% como son la construcción de los tanques y pozas de tratamiento.

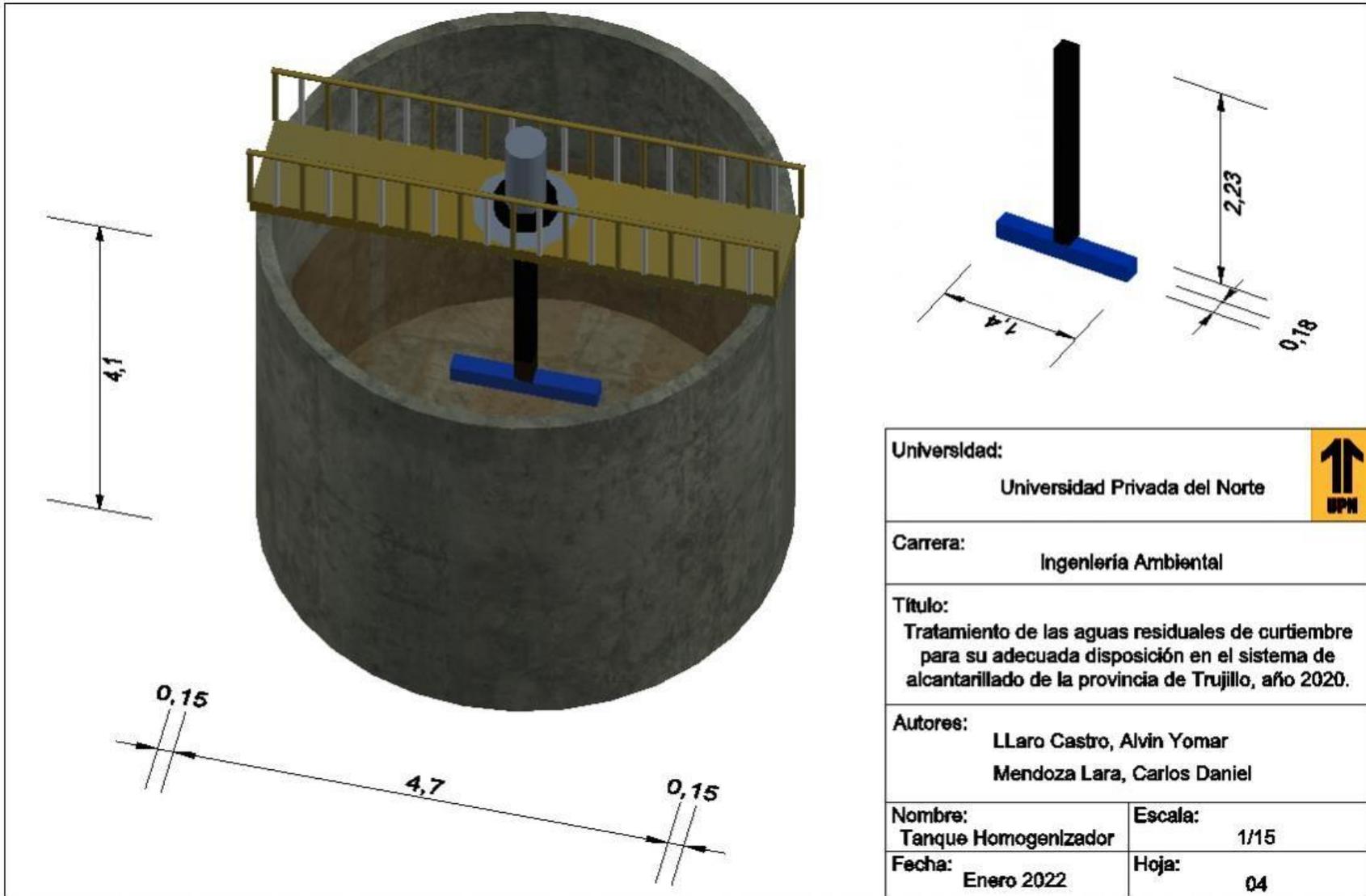
Finalmente, recomendar que el tratamiento es una alternativa para las aguas residuales, pero existen factores o causas que hacen que estas aguas se contaminen a diversas concentraciones y con múltiples contaminantes, ello genera la necesidad de recomendar enfocarse en alternativas que eviten o minimicen generar tales niveles de contaminación, ya sea usando insumos más amigables con el ambiente como los coagulantes naturales, optimizando la cantidad de agua a usar, reusando ciertos efluentes, mejorando los procesos de curtiembre, entre otros, que promuevan procesos y etapas óptimas, eficientes y efectivas, que permitiría realizar un tratamiento con menores gastos y concentraciones, promoviendo una cultura más limpia y sostenible.

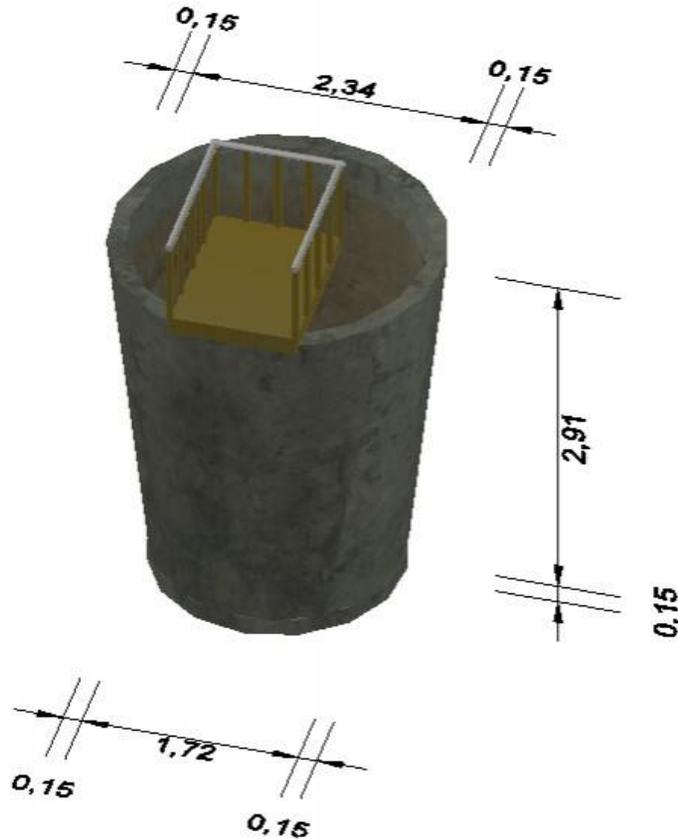
**ANEXO M. PLANOS**



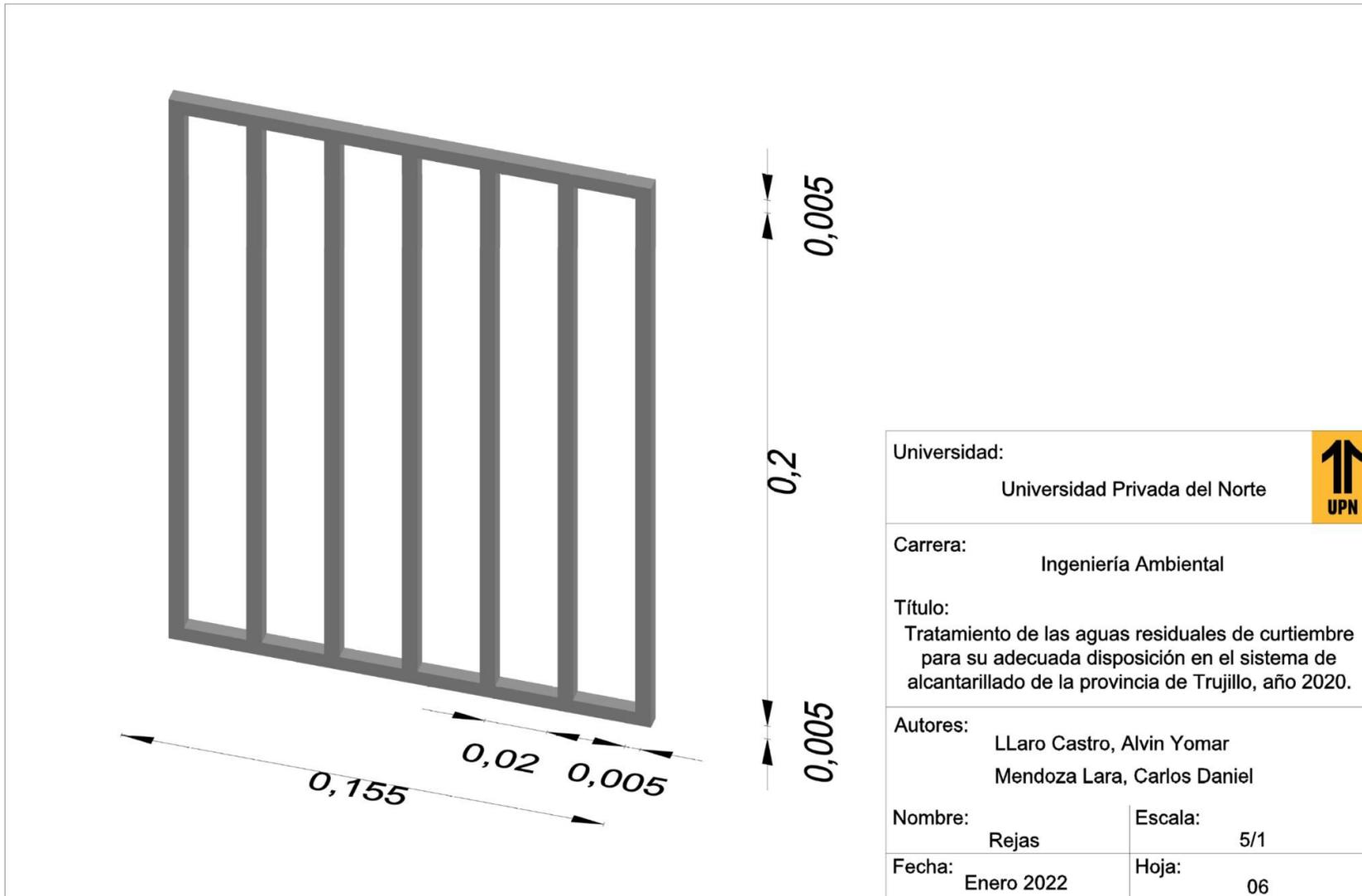


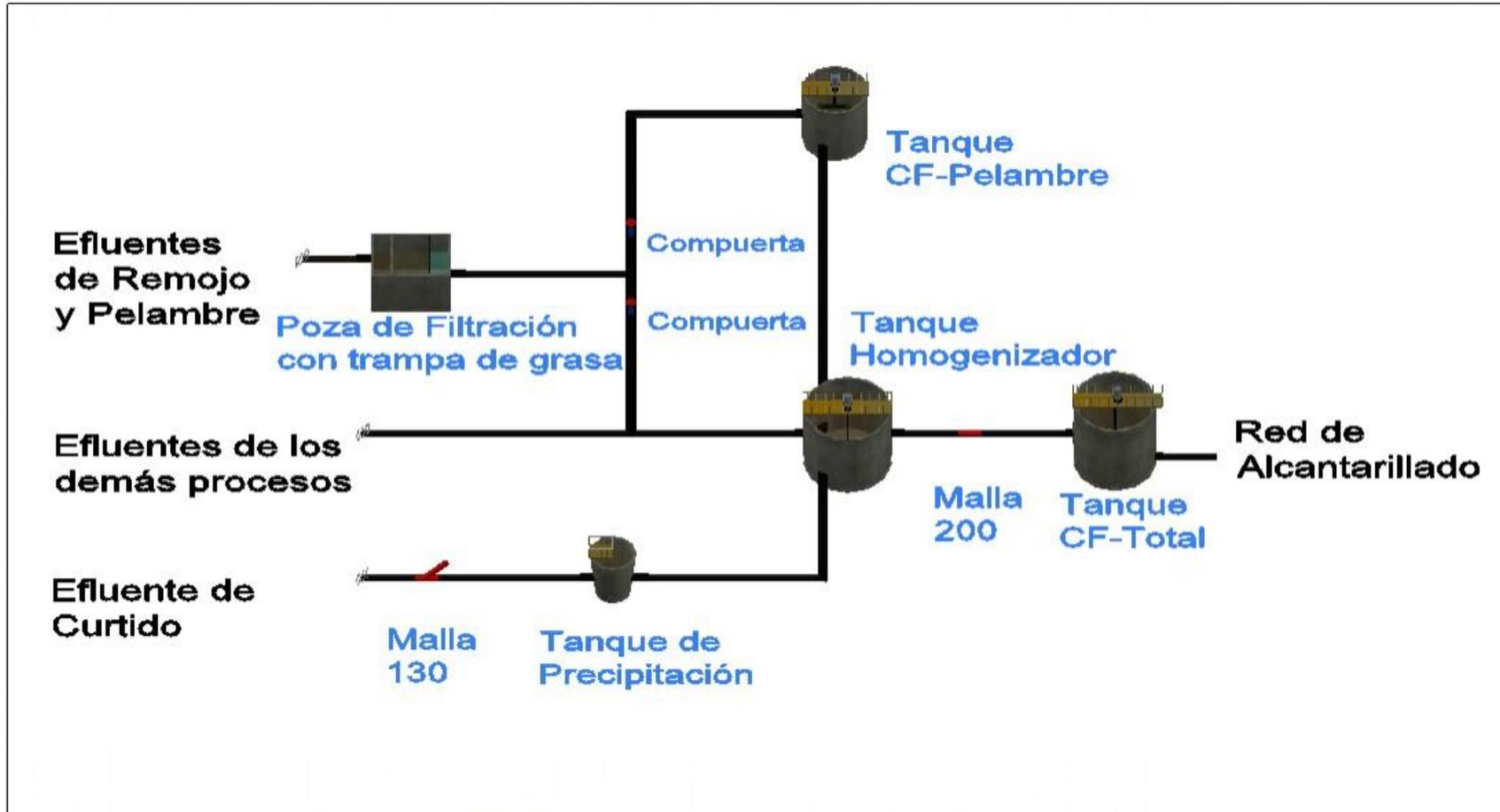






<b>Universidad:</b> Universidad Privada del Norte		
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental		
<b>Título:</b> Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, año 2020.		
<b>Autores:</b> LLaro Castro, Alvin Yomar Mendoza Lara, Carlos Daniel		
<b>Nombre:</b> Tanque de Precipitación	<b>Escala:</b> 1/15	
<b>Fecha:</b> Enero 2022	<b>Hoja:</b> 05	





<b>Universidad:</b> Universidad Privada del Norte		<b>Título:</b> Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, año 2020.	<b>Autores:</b> LLaro Castro, Alvin Yomar Mendoza Lara, Carlos Daniel
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental			<b>Nombre:</b> Propuesta de Tratamiento <b>Escala:</b> 1/100
			<b>Fecha:</b> Enero 2022 <b>Hoja:</b> 07