

Physical-chemical treatments of tannery effluents for proper disposal on the sewerage system in Trujillo province.

Llaro Castro Alvin Yomar, Ing. Ambiental¹, Mendoza Lara Carlos Daniel, Ing. Ambiental¹, Llaque Fernández Grant Ilich, Mg², Lujan Rojas Jessica Marleny, Mg³, Valderrama Puscan Marlon Walter, Mg⁴, Calvanapón Alva Flor Alicia, Dra⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú, alvinllarocastro@gmail.com

¹Universidad Privada del Norte, Perú, cmendozaoctavo@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, marlon.valderrama@upn.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

Abstract– The manufacturing sector dedicated to the production of leather is of the utmost importance, because it boosts a large number of tannery companies that boost economic growth in Trujillo province and Peru. However, its processing produces effluents with high concentrations of pollutants that enter into the sewerage system. Therefore, the purpose of this article was to analyze, by type of effluent, various physical-chemical treatments applied in 23 research works, to propose a treatment system for proper discharge to the sewerage based on quantitative assessment. As a result, it was identified that the most analyzed effluents were soaking, peeling, tanning and total. Likewise, 5 investigations were selected: Ceron, Castillo & Lopez, Martinez, Montoya & Silencio, and Ortiz, who obtained good and excellent efficiencies in the reduction of parameters such as COD, TSS, chromium and sulfides by applying precipitation treatments, coagulation-flocculation, filtration, homogenization and grease trap, achieving compliance with the Peruvian regulations of LMP and VMA. The proposal was economically viable and timely to build, focuses on the treatment of 4 effluents and complies with regulations, also promotes the care of the sanitary infrastructure and provides a solution to companies against possible economic sanctions.

Keywords-- Tannery, physical-chemical treatment, sewage, wastewater.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.20>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Physical-chemical treatments of tannery effluents for proper disposal on the sewerage system in Trujillo province.

Tratamientos físico-químicos de efluentes de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo.

Llaro Castro Alvin Yomar, Ing. Ambiental¹, Mendoza Lara Carlos Daniel, Ing. Ambiental¹, Llaque Fernández Grant Ilich, Mg², Lujan Rojas Jessica Marleny, Mg³, Valderrama Puscan Marlon Walter, Mg⁴, Calvanapón Alva Flor Alicia, Dra⁵

¹Universidad Privada del Norte, Perú, alvinllarocastro@gmail.com

¹Universidad Privada del Norte, Perú, cmendozaoctavo@gmail.com

²Universidad Privada del Norte, Perú, grant.llaque@upn.pe

³Universidad Privada del Norte, Perú, jessica.lujan@upn.pe

⁴Universidad Privada del Norte, Perú, marlon.valderrama@upn.pe

⁵Universidad Privada del Norte, Perú, flor.calvanapon@upn.pe

Resumen— El sector manufacturero dedicado a la producción de cuero es de suma importancia, debido a que alberga gran cantidad de empresas de curtiembre que impulsan el crecimiento económico en la provincia de Trujillo y el Perú. Sin embargo, su elaboración produce efluentes con elevadas concentraciones de contaminantes que ingresan a la red de alcantarillado. Por ello, la finalidad de este artículo fue analizar, por tipo de efluente, diversos tratamientos físico-químicos aplicados en 23 trabajos de investigación, para proponer en base a una valoración cuantitativa un sistema de tratamiento para el adecuado vertimiento al alcantarillado. Como resultado se identificó que los efluentes más analizados fueron remojo, pelambre, curtido y total. Asimismo, quedaron seleccionadas 5 investigaciones: Cerón, Castillo y López, Martínez, Montoya y Silencio, y Ortiz, quienes obtuvieron eficiencias buenas y excelentes en la reducción de parámetros como DQO, SST, cromo y sulfuros aplicando tratamientos de precipitación, coagulación-floculación, filtración, homogenización y trampa de grasas, logrando cumplir con los LMP y VMA. La propuesta resultó viable económicamente, oportuna de construir, se enfoca en el tratamiento de 4 efluentes y cumple con la normativa, además promueve el cuidado de la infraestructura sanitaria, y brinda una solución a las empresas ante posibles sanciones económicas.

Palabras clave—Curtiembre, tratamiento físico-químico, alcantarillado, agua residual.

Abstract— The manufacturing sector dedicated to the production of leather is of the utmost importance, because it boosts a large number of tannery companies that boost economic growth in Trujillo province and Peru. However, its processing produces effluents with high concentrations of pollutants that enter into the sewerage system. Therefore, the purpose of this article was to analyze, by type of

effluent, various physical-chemical treatments applied in 23 research works, to propose a treatment system for proper discharge to the sewerage based on quantitative assessment. As a result, it was identified that the most analyzed effluents were soaking, peeling, tanning and total. Likewise, 5 investigations were selected: Cerón, Castillo & Lopez, Martínez, Montoya & Silencio, and Ortiz, who obtained good and excellent efficiencies in the reduction of parameters such as COD, TSS, chromium and sulfides by applying precipitation treatments, coagulation-flocculation, filtration, homogenization and grease trap, achieving compliance with the Peruvian regulations of LMP and VMA. The proposal was economically viable and timely to build, focuses on the treatment of 4 effluents and complies with regulations, also promotes the care of the sanitary infrastructure and provides a solution to companies against possible economic sanctions.

Keywords— Tannery, physical-chemical treatment, sewage, wastewater.

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 [1].

Europa destaca por ser el mayor exportador de cuero gracias a países como Italia, Francia o Alemania, siendo el

primero quien posee el 15% de la producción mundial, donde el continente al 2010 se estimó con una producción de 903 mil toneladas. Asimismo, otros continentes con gran producción se encuentran en las regiones de América y Asia [2]. Dentro de este último se puede mencionar a Turquía, país que ha generado alrededor de 800 m³/día de efluentes de curtiembre en sus 2 últimas décadas, donde estos pasan por sistemas simples de sedimentación y son vertidos sobre la superficie, siendo una gran amenaza por sus altos niveles de contaminación [3].

A nivel de Sudamérica el impacto de contaminación sigue siendo de gran riesgo. Por ejemplo Argentina en 2011 ya registraba cerca de 400 mil toneladas de cuero que provenían de establecimientos considerados como agentes contaminantes, sin embargo, su marco normativo no contempló una adecuada gestión de sustancias peligrosas [4]. En Ecuador entre los años 2012 al 2014 se registró un aumento en la exportación de cueros, 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 [5].

En caso de Perú, a nivel nacional existen alrededor de 4819 empresas de curtiembre, dentro de las cuales el 50% se encuentran en la ciudad de Trujillo, 30% en Arequipa y 20% en Lima además de micro empresas distribuidas en distintas partes del país [6]. Esta industria se encuentra en un período crítico debido a que muchas curtiembres formales han cerrado y los empleados han migrado a las curtiembres informales [7], un factor que ha llevado a que en el departamento de La Libertad, específicamente en la provincia de Trujillo, la informalidad sea alta e imprecisa [8]. Este problema se traduce en tratamientos deficientes de los efluentes que se vierten al sistema de alcantarillado, las mismas que ingresan a las PTAR de El Cortijo y Covicorti [9] afectando el tratamiento que se realiza en estas instalaciones y alterando la red de alcantarillado.

Para un adecuado proceso se tiene en consideración la normativa que exige el estado a los usuarios que vierten sus efluentes. La normativa peruana menciona que es necesario el cuidado de la red de alcantarillado y del ambiente, por lo cual se tienen instrumentos legales que sirven como base para diagnosticar los efluentes. Uno de ellos son los LMP (Límites Máximos Permisibles) establecido en el D.S. 003-2002-PRODUCE, y es exigible y de obligatorio cumplimiento para las industrias de curtiembre, papel, cemento y cerveza. De acuerdo a esta norma, los LMP representan la concentración de parámetros que determinan a un efluente, y que al excederse pueden causar daños a la salud, ambiente y población [L1].

El otro marco legal son los VMA (Valores Máximos Admisibles) establecidos en el D.S.010-2019-VIVIENDA que aplica para las Unidades No Domésticas (UND) que vierten en la red de alcantarillado, ya que sus aguas residuales deben cumplir ciertos estándares de calidad para ser adecuadamente depositadas en el alcantarillado y de esta manera evitar deteriorar la infraestructura sanitaria [L2].

Para cumplir con la normativa se requiere indiscutiblemente de sistemas de tratamiento. Este tipo de sistemas para aguas residuales pueden darse de modo unitario o

por un conjunto de operaciones y procesos de tipo físico, químico y biológico, y son utilizados con el propósito de verter efluentes con un nivel aceptable en calidad para su disposición final, o aprovechar estas aguas con el fin de reusarlas [10]. Por ello, los tratamientos físico-químicos son los que más se aplican debido a que elimina los contaminantes en fase acuosa mediante la adición de aditivos [11], y puede incluso recuperar materiales contenidos en los efluentes y reutilizarlos en múltiples aplicaciones.

Debido a lo mencionado, esta investigación tuvo como objetivo analizar diversos tratamientos físico-químicos aplicados en 23 trabajos de investigación para realizar una propuesta de tratamiento. Es por ello que se dispuso identificar los principales procesos y efluentes de curtiembre a través de una caracterización de parámetros contemplados en la normativa de los LMP y VMA (AyG, DBO₅, DQO, SST, Sulfatos, Sulfuros, Cromo VI, Cromo Total y pH). Asimismo, identificar los tratamientos físico- químicos aplicados por tipo de efluente en las investigaciones revisadas.

Con el análisis de las investigaciones, se dispuso evaluar el cumplimiento de los parámetros post tratados con la normativa de los LMP y VMA, así como las eficiencias de los sistemas de tratamiento, ello con la finalidad de seleccionar los mejores estudios a través de una valoración cuantitativa basada en criterios de eficiencia, cantidad de parámetros evaluados y cumplimiento de las normativas que permitan proponer un sistema de tratamiento. Por último, analizar la oportunidad y viabilidad económica de la propuesta para ser aplicada en las curtiembres de provincia de Trujillo, buscando así reducir el impacto de sus efluentes en la red de alcantarillado.

II. METODOLOGÍA

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo debido a que se realizaron cálculos [39] en las investigaciones revisadas para conocer la eficiencia y cumplimiento de las concentraciones de cada parámetro con los límites establecidos. Tuvo un diseño no experimental- transversal pues es sistemático y empírico ya que las variables no se manipulan deliberadamente [40]. La población y muestra quedó a criterio del investigador debido a que el estudio es no probabilístico y está orientado por las características de la investigación mas no por un criterio estadístico, por lo que la población resultó todos los trabajos de investigación sobre sistemas de tratamiento de aguas residuales de curtiembre. La muestra quedó conformada en 23 trabajos de investigación en un intervalo de 10 años (2010-2020), acerca de sistemas de tratamiento mecánicos y físico- químicos.

Se usó la técnica de investigación bibliográfica para buscar información relevante a nuestro estudio, además se utilizó una matriz de registro de base de datos para recopilar y organizar toda la información y facilitar su análisis mediante tablas de registro simple aplicado como instrumentos. También se utilizaron instrumentos informáticos, con el propósito de organizar y sintetizar la información procedente de los diversos estudios previamente escogidos.

Por ello, el desarrollo de este trabajo tuvo en consideración 4 instrumentos para el análisis de las variables, y de los estudios revisados. El primer y segundo instrumento son de tipo legal, correspondiente a los Valores Máximos Admisibles y los Límites Máximos Permisibles, el tercero fue de tipo geográfico en donde se utilizaron programas de sistemas de información geográfica como QGis 3.12 versión libre. El cuarto fue de modelamiento usado para el dimensionamiento de la propuesta, utilizando el software AutoCAD en su versión libre.

La valoración de los 23 trabajos de investigación obtenidos como muestra 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 (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 cumplieran y no cumplieran con los VMA y LMP respectivamente, donde el resultado podría salir negativo o positivo.

Asimismo, para realizar el cálculo de la eficiencia de tratamiento en cada parámetro analizado en las investigaciones se tuvo en consideración la siguiente fórmula:

$$Efic. (\%) = \left[\frac{\text{Parámetro pre tratamiento} - \text{Parámetro post tratamiento}}{\text{Parámetro pre tratamiento}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Para el análisis de las eficiencias y considerar qué tan efectivas resultan los tratamientos entre las investigaciones, se categorizó mediante una escala en base al porcentaje de eficiencia obtenido, donde las eficiencias pueden ser desde pésimas a excelentes que se especifican en [12], tal como se observa en la siguiente tabla:

TABLA I
ESCALA DE EFICIENCIA DE CATEGORIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
POR PROCESO DE TRATAMIENTO

ESCALA	EFICIENCIA (%)
Excelente (E)	> 95
Bueno (B)	75- 94
Moderado (M)	50- 74
Pésimo (P)	< 50

Adaptación en base a [12].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para un correcto tratamiento de las aguas residuales se necesita realizar un análisis de las características y parámetros de los efluentes, ya que de esto depende su vertimiento apropiado [13]. Esta investigación ha identificado que 15 estudios se enfocan en efluentes unitarios: Remojo, pelambre y curtido, mientras que 9 estudios se enfocan en efluentes combinados, es decir que se mezclan con al menos un efluente, como pelambre– curtido y el efluente total analizado por 8 investigaciones. Con el objetivo de identificar las principales etapas y procesos de curtiembre se muestra la tabla II, donde se observa los 4 principales procesos de curtiembre analizados en los 23 estudios. El más analizado es curtido con el 38.5% de los estudios y el de menor análisis es remojo con el 7%.

En la tabla III se observa la caracterización de los parámetros pre y post tratamiento en las investigaciones revisadas. El parámetro DQO presenta la mayor concentración para el efluente de remojo con más de 10000 mg/L, además los parámetros de DQO, DBO₅ y sulfuros son más frecuentes en el efluente de pelambre. Cromo Total es el de mayor presencia en el efluente de curtido, así también los parámetros de Cromo Total y DQO son los de mayor presencia en el efluente total. Respecto a las eficiencias de tratamiento en cada parámetro, se observa que para AyG se obtiene 99.5% [25], DBO₅ consigue hasta 99.9% en [29], SST y Cromo Total logran una máxima de 100% en [22], y para sulfuros se llega hasta 99.9% en [21].

Así también en la tabla III, las eficiencias para el efluente de remojo resultaron buenas (B) en parámetros como SST y pH [21], cumpliendo con los VMA y LMP, en pelambre se tuvo eficiencias excelentes (E) para DQO, SST, y S⁻² [36], hasta pésimas en parámetros como AyG [31], llegando a cumplir solo con los VMA y no con los LMP. En curtido, las eficiencias llegan hasta E además de cumplir las 2 normas en especial para Cromo Total [22], mientras que otros estudios en este efluente pese a tener excelente incumplen las 2 normativas [24].

En el efluente total el estudio [25] tiene la mayor cantidad de parámetros que cumplen con los VMA y LMP con eficiencias excelentes para AyG, DBO₅, DQO, pH y SST, sin embargo, sulfuros y cromo total solo obtuvieron eficiencias B y E respectivamente, además solo cumplieron con los VMA.

TABLA II
PRINCIPALES EFLUENTES, POR PROCESOS DE CURTIEMBRE, DESCRITOS
EN LOS ESTUDIOS QUE CUMPLEN CON LOS CRITERIOS DE CARACTERIZACIÓN

AUTOR	EF. REMOJO	EF. PELAMBRE	EF. CURTIDO	EF. TOTAL
[14]	-	-	X	-
[15]	X	-	-	-
[16]	-	-	-	X
[17]	-	-	-	X
[18]	-	-	X	-
[19]	-	-	-	X
[20]	-	X	-	-
[21]	X	X	X	-
[22]	-	-	X	-
[23]	-	-	X	-
[24]	-	X	X	-
[25]	-	-	-	X
[26]	-	-	X	-
[27]	-	-	-	X
[28]	-	-	X	-
[29]	-	-	-	X
[30]	-	X	-	-
[31]	-	-	X	-
[32]	-	X	-	-
[33]	-	-	-	X
[34]	-	-	X	-
[35]	-	-	-	X
[36]	-	X	-	-
TOTAL	2	6	10	8

Criterios considerados: Caracterización de los efluentes pre y post tratamiento físico- químico, parámetros contemplados en los LMP y VMA

Tabla III
CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE PRE Y POST TRATADO DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN ESCOGIDOS PARA AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

N°	EFLUENTE	AyG (mg/L)		DBO ₅ (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)		SULFATOS (mg/L)		SULFUROS (mg/L)		Cr ⁺⁶ (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
[14]	CURTIDO	-	-	-	-	6500	4000	-	-	-	-	-	-	-	-	30	2 *	8	9 **
[15]	REMOJO	-	-	-	-	10200	2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.38	10
[16]	TOTAL	-	-	-	-	2000	1825	-	-	1000	380 *	-	-	-	-	3.19	0.01 **	8.2	6 **
[17]	TOTAL	-	-	1081	443.21 **	12913	5939.98	2426	388.16 **	1307	326.75 *	417	95.91	-	-	35.7	11.067	-	-
[18]	CURTIDO	-	-	-	-	4190	1000 **	-	-	-	-	-	-	-	-	2131	21.31	3.6	8 **
[19]	TOTAL	-	-	7933	635	11128	885 **	1168	54 **	1000	41 *	161.4	2.543 **	-	-	15.2	0.05 **	-	-
[20]	PELAMBRE	-	-	26658	3143	38326	3980	32850	1781	-	-	3305	1427	-	-	-	-	12.3	12
[21]	REMOJO	-	-	-	-	11812	4898	4340	466.7 **	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	6.35 **
[21]	PELAMBRE Y CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	577.82	0.205 **	-	-	4510	56.2	7.068	7.45 **
[22]	CURTIDO	-	-	1740	91 **	2988	186 **	800	0 **	-	-	-	-	-	-	2470	0.0785 *	4	7 **
[23]	CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5375	5.95	-	-	3.6	6.9 **
[24]	PELAMBRE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1127.59	96.41	-	-	-	-	-	-
[24]	CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1110.83	41.968	4.48	9.83
[25]	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 **
[26]	CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	0 **	4.35	7.36 **
[27]	TOTAL	-	-	1362	433 **	5919	1168 *	-	-	-	-	153	18	-	-	136	13	9	8.25 **
[28]	CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3700	0.4 **	2.5	9.25
[29]	TOTAL	-	-	4845	195 **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	6.5 **
[30]	PELAMBRE	-	-	-	-	62000	12100	3525	1390	2573	1143	898	28.74	-	-	-	-	12	6.5 **
[31]	CURTIDO	-	-	-	-	6050	10 **	-	-	-	-	-	-	-	-	4442	0.002 **	3.11	7 **
[32]	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
[33]	TOTAL	-	-	3525	1757	7929	3888	965.5	526	-	-	-	-	-	-	1308.98	70.55	11.29	9.59
[34]	CURTIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000	5.3 *	4.07	9.98
[35]	TOTAL	-	-	-	-	7010	6355	1960	1240	2000	1540	29	67.9	-	-	-	-	8.81	8.51 **
[36]	PELAMBRE	-	-	-	-	62296	990.87 **	10800	490 **	-	-	881	0.97 **	-	-	-	-	12.4	9 **

El símbolo de asterisco (*) indica que la concentración cumple con los VMA, mientras que el símbolo (**) indica que cumple para los LMP. Adicional a ello, las celdas de color celeste representan aquellos estudios con eficiencia Excelente (mayor al 95%).

En la figura 1 se observa la cantidad de parámetros por tipo de efluente en donde los trabajos de investigación se han enfocado. Se aprecia que existen 3 efluentes puros (remojo, pelambre, curtido), y 2 efluentes mezcla (pelambre- curtido, total), obteniendo 5 efluentes distintos. Los parámetros más analizados fueron pH (24%), DQO (20%), Cr Total (16%) y SST (12%), y los que menos se analizaron fueron Aceites y Grasas (2%) y Cr⁺⁶ (1%). El pH suele ser el parámetro más analizado debido a que es un parámetro que regula los tratamientos, por ejemplo, este influye en la remoción de cromo ya que es necesario un pH mayor a 8 para que sea insoluble en el agua y se pueda remover [19]. Además, la variación de pH influye en el estado y concentración del Sulfuros [33].

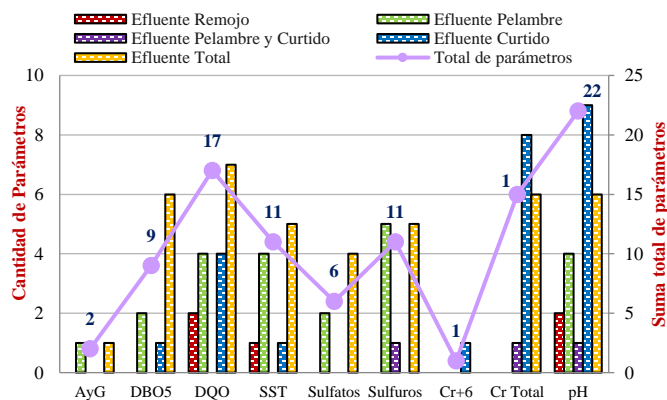


Fig. 1 Parámetros más analizados por tipo de efluente de curtiembre

En la tabla IV se observa que los tratamientos menos aplicados resultaron ser absorción y acidulación aplicado para curtido, mientras que lavado de gas fue aplicado en pelambre, todos con 1%. Por otro lado, tratamientos como coagulación-floculación (C-F) y precipitación química son los más aplicados, donde el primero es usado en ciertos escenarios donde el pH no es muy elevado o alcalino, ya que de otra forma el aditivo no trabajaría a toda su eficiencia [19], mientras que la precipitación química busca quitar los iones metales solubles de los metales y luego recuperarlos como hidróxido metálico [23] de esa manera se aplica en concentraciones de iones metálicos muy altas.

Otro tratamiento muy frecuente es la filtración que permite que los tratamientos posteriores a este puedan aplicarse de mejor forma, este tratamiento puede hacerse mediante filtro con malla de acero o con filtro de arena [22], asimismo resaltar la importancia de la homogenización, donde el cuadro demuestra que dicho tratamiento es aplicado generalmente en efluentes totales, debido a que de esa manera se minimiza fluctuaciones en la composición de vertidos causados por descargas intermitente de líquidos fuertes, y la sedimentación es necesaria por los grandes volúmenes de fangos presentes en los vertidos [20]. Finalmente, como se observa en el presente artículo no se incluyeron tratamientos biológicos por su grado de complejidad y baja efectividad [20].

TABLA IV
TRATAMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS APLICADOS EN CADA ESTUDIO

Nº	ABSORCIÓN	ACIDULACIÓN	ADICIÓN QUÍMICA	ADSORCIÓN	AIREACIÓN	COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN	DECANTACIÓN	FILTRACIÓN	HOMOGENIZACIÓN	LAVADO DE GAS	NEUTRALIZACIÓN	OXIDACIÓN QUÍMICA	PRECIPITACIÓN QUÍMICA	RECUPERACIÓN	REUTILIZACIÓN	SEDIMENTACIÓN	TRAMPA DE GRASA
[14]						X		X					X		X	X	
[15]						X							X			X	
[16]						X											
[17]				X													
[18]													X				
[19]						X	X	X	X			X	X			X	X
[20]							X	X							X		
[21]					X	X					X	X				X	
[22]						X		X				X			X		
[23]			X									X	X			X	
[24]						X						X	X				
[25]				X												X	X
[26]	X												X				
[27]						X	X	X	X								
[28]													X				
[29]						X						X					
[30]			X		X					X		X					
[31]		X	X								X	X			X	X	
[32]								X									
[33]						X											
[34]													X				
[35]						X										X	
[36]						X											

En la figura 2 se observa que el tratamiento más aplicado resultó ser precipitación química, que representa el 21% de todos los tratamientos siendo aplicado con mayor incidencia en el efluente de curtido en un 73%. El motivo de su aplicación se debe a que el Cr^{+3} es un metal presente y soluble en fibras de cuero a pH 3 [20], y según el diagrama de Pourbaix entre pH 7 a 11 la forma predominante es el $\text{Cr}(\text{OH})_3$, el cual precipita [28]. Por ello se busca aumentar el nivel de pH con aditivos como CaO , NaOH , MgO o Na_2CO_3 [23]. El pH ideal varía, sin embargo, diversos estudios proponen que dependiendo al aditivo que se use, puede estar en un rango entre 7-8.

Por otro lado, se puede apreciar que se tienen una considerable cantidad de tratamientos que suelen ser aplicados, dependiendo de las características del efluente, cuando tienen tratamientos previos a ellos, es por ello la importancia del pre tratamiento como la filtración con rejillas [20], para luego aplicar tratamientos más costosos por su complejidad y equipos usados, como el lavado de gas [26], o tratamientos que buscan reducir parámetros aunque esto conlleve la formación de otros compuestos, como la oxidación de sulfuros [31].

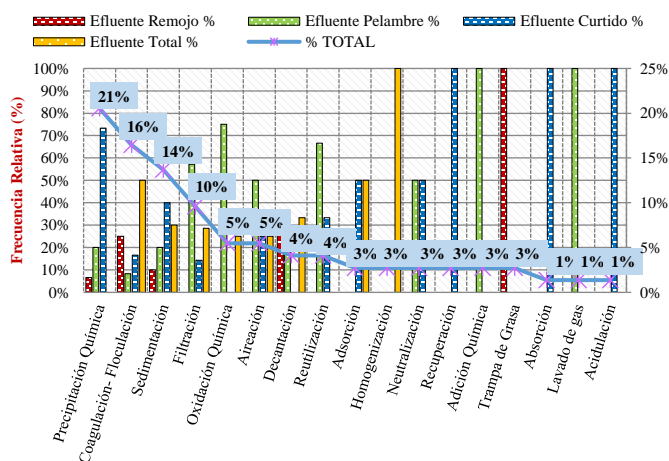


Fig. 2 Tratamientos físico- químicos aplicados por tipo de efluente de curtiembre.

En base a lo mencionado anteriormente, se realizó una valoración en base a cuatro criterios, el primero relacionado con la eficiencia, asignando puntaje solo aquellos que eran excelentes o mayores al 95% [12], ya que de esa forma se puede asegurar que el tratamiento aplicado sea adecuado y por ende puede ser vertido adecuadamente. Por otro lado, también se consideró la cantidad de parámetros evaluados y el cumplimiento con la normativa para los LMP y VMA.

TABLA V
VALORACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES ANALIZADAS EN BASE A EFICIENCIA, CANTIDAD DE PARÁMETROS, Y CUMPLIMIENTO DE LOS VMA Y LMP PARA AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE

Nº	EFLUENTE	CRITERIOS DE VALORACIÓN				VALORACIÓN TOTAL (E+PE+VMA +LMP)
		POR EFICIENCIA (E)	POR CANTIDAD DE PARÁMETROS EVALUADOS (PE)	POR CUMPLIMIENTO DE VMA (SI-NO)	POR CUMPLIMIENTO DE LMP (SI-NO)	
[15]	REMOJO	0	2	-2	-2	-2
[21]	REMOJO	1	3	1	1	6
[20]	PELAMBRE	0	5	-5	-5	-5
[24]	PELAMBRE	0	1	-1	-1	-1
[30]	PELAMBRE	2	5	-3	-2	2
[32]	PELAMBRE	0	7	-3	-6	-2
[36]	PELAMBRE	4	4	4	4	16
[21]	PELAMBRE Y CURTIDO	3	3	1	1	8
[14]	CURTIDO	1	3	1	1	6
[18]	CURTIDO	2	3	1	1	7
[22]	CURTIDO	3	5	5	5	18
[23]	CURTIDO	2	2	0	0	4
[24]	CURTIDO	1	2	-2	-2	-1
[26]	CURTIDO	2	2	2	2	8
[28]	CURTIDO	1	2	0	0	3
[31]	CURTIDO	3	3	3	3	12
[34]	CURTIDO	1	2	0	-2	1
[16]	TOTAL	2	4	2	1	9
[17]	TOTAL	0	6	0	-1	5
[19]	TOTAL	4	6	4	3	17
[25]	TOTAL	6	7	7	3	23
[27]	TOTAL	1	5	-1	1	6
[29]	TOTAL	2	2	2	2	8
[30]	TOTAL	0	5	-5	-5	-5
[35]	TOTAL	1	5	-3	-2	1

Considerar E: Excelente [12]. La valoración total es expresada en puntos.

Partiendo de los trabajos previamente seleccionados, se realizó la propuesta de tratamiento para los principales efluentes de una curtiembre, considerando los tratamientos necesarios por cada tipo de efluente identificado y buscar la reducción de los parámetros. Los criterios de dimensionamiento pueden verificarse en el Anexo L de [37].

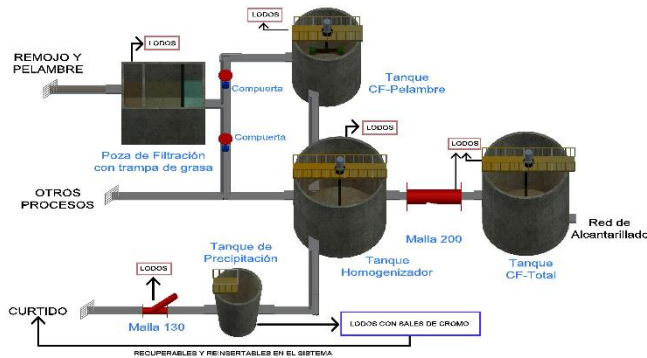


Fig. 3 Sistema de tratamiento propuesto para los principales efluentes de curtiembre.

En base a los 5 estudios seleccionados mediante la valoración, se han escogido los trabajos [19, 21, 22, 25, 36] para realizar la propuesta de tratamiento, las cuales tienen resultados buenos y excelentes. Sin embargo, la investigación [21] 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 el presente artículo que son a su vez parámetros de fiscalización y control para la normativa de los VMA y LMP, por lo que de implementarse el sistema de tratamiento se obtendrían buenos resultados.

El modelo de la propuesta presentada tiene similitud con la investigación [19] 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 propone [19] para el efluente de pelambre no son considerados debido a que en [36] se obtienen mejores resultados con C-F.

Por otro lado, el trabajo de investigación [21] ha servido como base para el tratamiento de filtro de malla 100 y precipitación química del proceso de curtido. Finalmente, el trabajo [25] ha sido considerado para el tratamiento de filtración por rejillas a la entrada de cada efluente, por lo tanto, la presente propuesta, aunque presenta cierta similitud con la investigación [19] incluye tratamientos de los estudios antes mencionados.

Comenzando con el análisis de la propuesta, se tiene un pretratamiento, el cual consiste en rejillas a la entrada de cada uno de los efluentes al sistema de tratamiento, ello con la finalidad de retener impurezas de gran tamaño [25], de esa manera se protegen equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser dañados u obstruidos con perjuicio de los procesos que se produjeran [22] asegurando y promoviendo que los tratamientos posteriores puedan desarrollarse correctamente. El

tratamiento propuesto cuenta con cuatro entradas, las cuales están diferenciadas por el tipo de efluente que ingresa en cada una de ellas.

El primero y el segundo corresponden al efluente de remojo y pelambre donde ambos ingresan a la Poza de filtración con trampa de grasa, sin embargo, estos no van a mezclarse ya la descarga de estos efluentes se realiza en diferentes días debido a que el efluente de una curtiembre es irregular [19]. Por ello se propuso aplicar el diseño de la empresa ECODENA, buscando a través de dicho diseño reducir la concentración de AyG [25] en el efluente de remojo; y con la filtración lograr que en el efluente de pelambre se minimice las concentraciones de SST por las altas cantidades de pelo que se desprende [14] así como materia orgánica y sulfuros [20]. Por ello tendrá un filtro de malla 100 de acero inoxidable, reduciendo hasta un 97% la cantidad de sólidos presentes [22].

Partiendo de otras investigaciones enfocadas en remojo, también se aplica C-F en dicho efluente, donde usando aditivos como sulfato de alúmina y NaOH (coagulante y floculante) se logra eficiencias en ST en un 98% [24], sin embargo otros estudios mencionan que dicho tratamiento no es viable debido a la grandes cantidades de diversos aditivos que se necesitan para la formación de flóculos con posterior precipitación [27], así como las eficiencias solo alcanzan remover el 89% en SST y 59% en DQO usando aditivos como FeCl_3 a un pH de 7.5, incumpliendo con la normativa [21], evidenciando que a pesar que la C-F logra reducir algunos parámetros, no es rentable por su gasto en aditivos y poca eficiencia en el efluente de remojo.

Luego del tratamiento en la Poza de filtración con trampa de grasa, el efluente pasará a un sistema de canaletas que los separará por medio de compuertas dependiendo del tipo de efluente, llevando directamente al efluente de remojo al tanque homogeneizador, mientras que el efluente de pelambre será transportado para tratarse individualmente, ya que al usar Na_2S como insumo en el proceso [14] presenta el riesgo que se forme el H_2S en caso se mezcle con otros efluentes de otros procesos [25], un gas que hace que el sulfuro sea responsable del 76% de la toxicidad total [30].

Para el efluente de pelambre se pueden aplicar diversos tratamientos. Uno de ellos es el tratamiento de C-F añadiendo FeCl_3 como coagulante y floculante aniónico a pH de 9, este tratamiento reduce S^{2-} en 99.89% así como ST, SST, DQO y Tb [36], pero en contraste se generan gran cantidad de lodos con altas concentraciones de S^{2-} y SST [24], estos lodos son tóxicos por las concentraciones que contienen [19]. Por otro lado, 4 investigaciones optan por aplicar el tratamiento de Oxidación Química en el efluente de pelambre, ya que presenta remociones de hasta el 98.9% de sulfuros usando como catalizador el MnSO_4 [21], además no produce gran cantidad de lodos y estos son mínimamente tóxicos pues no contienen sulfuros en exceso [19].

Sin embargo, la presente investigación optó por considerar dentro de propuesta para el efluente de pelambre, un tratamiento con C-F debido a que evita la formación de H_2S [21], no genera como residuos como sulfatos, tiosulfato o

sulfitos [19], no es un proceso muy lento como la oxidación química [22], no genera gastos muy elevados de energía, no deteriora los equipos que se usan y finalmente porque remueve gran parte de los SST [27]. Una vez tratado, el efluente pasará al tanque homogeneizador donde se juntará con los efluentes de los demás procesos conformando el efluente Total.

La tercera entrada corresponde al efluente del proceso de curtido, el cual pasará mediante rejillas, para luego ser tratado con un filtro de malla 100, dicho filtro permite reducir la cantidad de sólidos en el efluente, promoviendo que los tratamientos posteriores puedan realizarse eficientemente. Asimismo, no se consideró el uso de filtros de arena ya que se saturan fácilmente, no son fáciles de limpiar y generan residuos sólidos adicionales, al igual que filtros de menor diámetro como de malla 200 mm, debido a su rápida saturación [22].

Después de los filtros, el efluente llegará al tanque de precipitación donde se aplica la precipitación química, buscando reducir los iones solubles de los metales y luego recuperarlos como hidróxidos metálicos modificando el pH de acuerdo al diagrama de Pourbaix [23]. Se usará NaOH como agente precipitante, para que luego opcionalmente se recupere con Na_2SO_4 y ácido fórmico. El pH 9 se señala como ideal [22], o al menos lo recomendable es que este entre 7.36 y 9.99 [26], además varios autores señalan al NaOH como el más idóneo para precipitar el cromo por ser barato, más puro, genera menos dureza y genera mayor recuperado al precipitar el cromo.

Finalmente recalcar que las eficiencias son cercanas al 100% al precipitar el cromo [22], logrando retener todo el cromo en dicho tratamiento. Acotar que la presencia Cr^{+6} es escasa debido a que la sal mayormente usada como materia prima es el sulfato básico de cromo, un compuesto trivalente de mayor uso en la actividad curtiembre, por lo que durante el proceso de curtido no se dan las condiciones mínimas para la formación a Cr^{+6} [26] las cuales están relacionadas con el pH y el estado de oxidación, dependiendo de ello el Cr variará su toxicidad [27].

La cuarta entrada pertenece a los efluentes de los demás procesos de una curtiembre que no han sido analizados, los cuales al no contener caracterizaciones significativas de algún parámetro serán depositadas en su totalidad en el tanque homogeneizador. Los efluentes no considerados comparten similares características como los efluentes de remojo, pelambre, curtido o total, por lo que será común en algunos efluentes encontrar parámetros como sulfuros, Cr^{+3} o SST, que suelen ser los parámetros más contaminantes de una curtiembre [27], perteneciendo a los vertidos de pelambre, curtido y remojo [14].

Todos los efluentes se depositarán en el tanque homogeneizador, debido a que los efluentes de una curtiembre se caracterizan por la gran variación de sus concentraciones en el tiempo, ya que al realizarse la mayoría de sus procesos por cargas es imposible mantener constantes las características del efluente [27], asimismo se propone que el efluente de pelambre una vez tratado, al contener una alta concentración de cal [20], sea añadido al tanque homogeneizador para que sirva como

floculante contribuyendo así en la remoción del 50% de los sólidos que aún se tienen [19].

Luego el efluente total ingresará a través de un filtro de malla 200 [19], el cual se consideró en base a los filtros que ofrece la empresa LAMA reteniendo parte de los sólidos, grasas y coágulos formados por la mezcla en el tanque homogeneizador, reteniendo el 45% de los sólidos restantes, para que por último pase al tanque de C-F, donde se usarán como coagulante y floculante Terra Flock y Back Flock respectivamente, siendo el pH óptimo de 8. Por otro lado, se menciona que a pesar que en este efluente las concentraciones son más estables y por ende más aptas para tratamientos biológicos, aún no es factible ya que la C-F trae mejores resultados en la remoción de Cr, DBO_5 y DQO [33].

Con el diseño de la propuesta se logra reducir los parámetros analizados con altas eficiencias por lo que podría aplicarse a cualquier curtiembre. Este estudio se enfoca en la provincia de Trujillo- Perú, debido a su gran producción de adobo de cueros, por lo que en la siguiente figura se muestra la ubicación de las curtiembres en donde se podría aplicar este sistema de tratamiento, así como un contraste con las PTAR o EDAR de destino de sus efluentes. Cabe mencionar que cada PTAR posee su propia cuenca de alcantarillado [38].

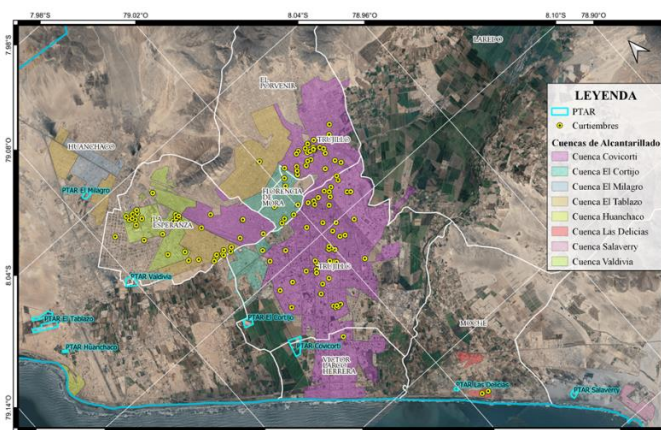


Fig. 4. Ubicación de curtiembres y PTAR por cuencas de alcantarillado de la provincia de Trujillo.

Elaboración propia en base a [8, 9, 38].

Para estimar costos referidos a la construcción y equipamiento del sistema de tratamiento, se utilizó como data de dimensionamiento la información brindada por las empresas de curtiembre en cuanto a sus volúmenes y caudal de entradas y salidas en los 4 efluentes analizados. Para ello se analizó el costo máximo de inversión por las empresas y el costo de la propuesta:

- Costo máximo a invertir (empresas): S/25 000.00 soles
- Costo de la propuesta: S/130 980.21 soles

Se observa que la propuesta tiene un costo muy alto referente al monto máximo de inversión, sin embargo, 7 de 12 equipos pueden construirse con accesorios del mercado local y 5 tienen que importarse, por lo que la propuesta es oportuna, es

decir accesible de construir. En la tabla VI se muestra la relación de costos, así como su clasificación por nivel de costo respecto al monto de inversión, y la oportunidad.

TABLA VI
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
Tanque de Coagulación Flocculación - Total	S/12 047.95				X		X	
Tanque de Coagulación Flocculación - Pelambre	S/ 9 139.34				X		X	
Tanque Homogenizador	S/11 414.37				X		X	
Pozo de Filtración con trampa de Grasa	S/6 980.44				X		X	
Tanque de Precipitación	S/9 330.92				X		X	
Filtro Automesh AM4 Lama	S/28 696.32	X						X
Filtro Metálico FMY2 Lama	S/866.30				X			X
Malla 0.13 mm	S/184.09				X			X
Malla 0.2 mm	S/2 653.06				X	X		
Electrobomba sumergible 0.85 H.P. xzm 1a/40	S/ 3 120.00				X	X		
Bomba dosificadora de polímero mecánico de aguas residuales PAC PAM floculante	S/ 2 710.00				X			X
Bomba de vacío de paleta rotativa de doble etapa 2x4 L/s	S/ 4 000.00				X			X
Sistema de Tratamiento Propuesto	S/130 980.21	X					X	
TOTAL		2	0	0	5	6	8	5

Si bien el costo del sistema propuesto resulta muy alto, es necesario compararlo con las posibles multas que recibiría la empresa en caso incumpla ya sea con VMA o LMP, por lo que el análisis aplica a la realidad de la provincia de Trujillo. Para el caso de los LMP, la fiscalización se realiza por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) acorde a la Resolución de Consejo Directivo 045-2013-OEFA/CD [L4] y la Resolución de Consejo Directivo 027-2017-OEFA/PCD [L5], en base al valor de la Unidad Impositiva Tributaria (UIT) que varía cada año, para este caso se considera el valor de la UIT al 2020 según el D.S. 380-2019-EF [L3].

- **Valor de 01 UIT (al 2020):** S/4300.00 [L3]
- **Monto de sanción acorde a [L4]:**
50 UIT → S/ 215 000.00 soles
- **Monto sanción (CS) acorde a [L5]:** 10% VA
- **Venta anual (VA) promedio de una curtiembre:**

370 UIT → S/ 1 591 000.00 soles

CS → 10% * S/ 1 591 000.00 soles

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

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

Monto de sanción > Costo del Sistema de Tratamiento

CS – CT(S/): S/159 100.00 – S/130 980.21

CS – CT: S/28 119.79 soles

Para el caso de las sanciones impuestas por OEFA, se observa que el costo de inversión de la propuesta resulta casi S/28 100 menos de lo que costaría solo la infracción de 37 UIT por exceder en los LMP. Además, cabe considerar que la infracción podría llegar hasta los 50 UIT e incluso más [L5], sin embargo, también dependerá de las ventas anuales promedio de la empresa para la gradualidad de la multa [L4].

Para el caso de incumplimiento en los VMA, estas son impuestas por las EPS (empresas prestadoras de servicios de saneamiento), por lo que se rigen acorde a la Resolución de Consejo Directivo N° 011-2020-SUNASS-CD [L6] donde la infracción se da porque las UND incumplen el Anexo I de los VMA. La multa se calcula en base a la concentración y factor individual de exceso de los parámetros, por lo que se tiene para una curtiembre:

- **FACTORES INDIVIDUALES (F):**

❖ **AyG mayor a 600 mg/L:** F AyG = 400%

❖ **DBO₅ mayor a 2500 mg/L:** F DBO₅ = 500%

❖ **DQO mayor a 4500 mg/L:** F DQO = 700%

❖ **SST mayor a 3500 mg/L:** F SST = 400%

SUMA FACTORES INDIVIDUALES (F): 2000%

- **Pago Adicional por Exceso (PA):**

PA = Importe a facturar alcantarillado x F

- **Si Importe a facturar alcantarillado:** S/ 59.00

- **PA:** S/ 59.00 soles X 2000% = S/ 1180.00 soles

Monto de sanción VMA (S/): S/1 180.00 soles

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

Monto de sanción (PA) < Costo del Sistema de Tratamiento

CT(S/) – PA: S/130 980.21 – S/1 180.00

CT – PA: S/129 800.21 soles

En referencia a las sanciones impuestas por las EPS en caso de incumplimiento con los VMA se tiene que el costo de la propuesta resulta mucho mayor que la multa (S/129,800.21 de diferencia), sin embargo, es necesario contemplar que la multa es solo por el incumplimiento de los parámetros del Anexo 1 [L6], debido a que si se incumpliera el anexo 2, donde se tiene a parámetros como sulfuros, esto ameritaría que pasado 60 días calendario y sin acciones de mejora, la empresa tenga que cerrar. Asimismo, si se considera las posibles multas de la empresa por incumplir tanto los VMA y los LMP se tendría que:

CS_{LMP + VMA} = CS + PA: S/159 100.00 + S/1 180.00

• CS_{LMP + VMA} = S/160 280.00

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

Monto de sanción > Costo del Sistema de Tratamiento

CS_{LMP + VMA} – CT (S/): S/29 299.79 soles

Es importante considerar que si se aplicaran ambas multas la empresa debería pagar alrededor de S/160,280 o su equivalente de \$ 40,540 (US\$= S/3.95) por el incumplimiento de sus parámetros en el vertimiento de sus efluentes, esto sin considerar otros factores como las pérdidas de utilidades e incluso el cierre en caso incumpla el anexo 2 de los VMA, así como la mala imagen de la empresa, por lo que la propuesta sí resulta conveniente y oportuna de aplicarse ya que cumple con la normativa de los LMP y VMA con un ahorro de casi \$7600 en multas, sería eficiente llegando hasta más del 95% para los parámetros más analizados en los principales efluentes de curtiembre a través de una correcta operación, así como cuidaría la infraestructura del alcantarillado y el ambiente.

IV. CONCLUSIONES

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%).

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 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. A través de esta valoración, los estudios seleccionados fueron *Cerón* para el efluente de remojo con 6 puntos, *Montoya y Silencio* para el efluente de pelambre con 16 puntos, *Ortiz* centrado en curtido con 18 puntos y para el efluente total los trabajos de *Martínez* con 17 puntos y *Castillo y López* con 23 puntos, siendo estos quienes obtuvieron las mayores puntuaciones. Para el caso del efluente combinado de pelambre y curtido de *Cerón* que obtuvo 8 puntos no se consideró debido al riesgo que supone la mezcla entre ambos efluentes para la ejecución de la propuesta de tratamiento.

Respecto al análisis económico, la propuesta tiene un costo de inversión muy alto tomando como referencia el monto de S/25,000 que las empresas estarían dispuestas a invertir. Sin embargo, el sistema de tratamiento sí resulta conveniente con un ahorro de casi S/30,000 o \$7,590 solo considerando que la curtiembre podría recibir una multa por infringir la normativa de los LMP y VMA respecto al vertimiento de sus efluentes fiscalizados por las EPS y OEFA.

REFERENCIAS

- [1] Black. M., Canova. M., Rydin. S., Scalet. B., Roudier. S., Delgado. L. "Industrial Emissions Directive 2010/75/EU: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins", 2013, doi: [10.2788/13548](https://doi.org/10.2788/13548)
- [2] Martínez. S. y Romero. J. "Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: Un análisis de su competitividad". *Revista de la Facultad de Ciencias Económica: Investigación y Reflexión*, Vol. 26, N°1, pp.113- 124, 2018, doi: <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>
- [3] Tarcán. G., Akinci. G. y Danişman. A. "Assessment of the Pollution from Tannery Effluents upon Waters and Soils in and Around Kula Vicinity, Turkey". *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 213, N°1, pp.199-210, 2010, doi: [10.1007/s11270-010-0378-0](https://doi.org/10.1007/s11270-010-0378-0)
- [4] Greenpeace. "Cueros Tóxicos: Nuevas evidencias de contaminación de curtiembres en la cuenca Matanza- Riachuelo". 2012, Disponible: http://www.dpn.gob.ar/documentos/20160517_30814_556734.pdf
- [5] Merchán. J. "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, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/13077>
- [6] Luque. M. "Propuesta de un plan de manejo de residuos sólidos orgánicos mediante la valorización de "pelos y descame" en la curtiembre Global S.A.C., Rio Seco-Arequipa 2019". Tesis de Grado, Universidad Católica de San Pablo, Arequipa, Perú, 2019 [En línea]. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9793>
- [7] Pinedo. R. "Impactos ambientales generados por la curtiembre D-Leyse, en el distrito de El Porvenir, provincia Trujillo, región La Libertad". Trabajo de grado, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú, 2012 [En línea]. Disponible en: 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%20PROVINCIA%20TRUJILLO%2C%20REGION%20LA%20LIBERTAD.pdf
- [8] Silva. J. "Rol de las Ecotecnologías, Tecnologías Limpias y de Tratamiento en el control de la contaminación generada por las curtiembres de Trujillo". Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2011 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8191>
- [9] Sánchez. D. "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, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4170>
- [10] Ministerio del Ambiente (MINAM). "Manual para Municipios Ecoeficientes", 2009. Disponible: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/155328/15_manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf
- [11] Kaifer. J. "Tratamientos Físico-Químicos de Residuos. Módulo de contaminación por residuos. Ed. 2005/2006", 2006. Disponible: <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45772.pdf>
- [12] Canadian Council of Ministers of the Environment Winnipeg (CCME). "Municipal Wastewater Effluent in Canada", pp. 8- 9, 2006. Disponible: <https://ccme.ca/en/resources/groundwater#>
- [13] Organización Mundial de la Salud (OMS). "Saneamiento", 2020. Disponible: <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>
- [14] Galiana. M. "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 de Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2010 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/8954>
- [15] Pardo. A. "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, Universidad Politécnica de Valencia, España, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/68560>

- [16] Imran. P., Hanif. M., Riaz. M., Noureen. S., Ansari. T. y Bhatti. H. "Coagulation/Flocculation of tannery wastewater using Immobilized Chemical Coagulants". *Journal of applied research and technology*, Vol. 10, N°2, pp. 79- 86, 2012 [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/jart/v10n2/v10n2a1.pdf>
- [17] Aregu. M., Asfaw. S. y Khan. M. "Identification of two low-cost and locally available filter media (pumice and scoria) for removal of hazardous pollutants from tannery wastewater". *Environmental Systems Research*, Vol. 7, N°10, pp. 1-14, 2018, doi: [10.1186/s40068-018-0112-2](https://doi.org/10.1186/s40068-018-0112-2)
- [18] Abdulla. H., Ahmed. E., Mohamed. A. y El-Bassuony. A. "Chromium removal from tannery wastewater using chemical and biological techniques aiming zero discharge of pollution", en *5th Scientific Environmental Conference, ZAGAZIG UNI*, 2010, pp. 171 – 183. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307137491_Chromium_removal_from_tannery_wastewater_using_chemical_and_biological_techniques_aiming_zero_discharge_of_pollution
- [19] Martínez. J. "Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la empresa Curtiembre Aldas". Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2016 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24502>
- [20] Tayupanda. S. "Diseño de un Sistema de tratamiento de agua residual del proceso de Pelambre para su reutilización, curtiembre pieles Puma". Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2010 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espolch.edu.ec/handle/123456789/2650>
- [21] Cerón. P. "Estudio de un Sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre". Tesis de Grado, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, 2011 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1248>
- [22] Ortiz. N. "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, Universidad de Manizales, Colombia, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/1076>
- [23] Guevara. A., Quishpe. A. y de la Torre. E. "Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración". *Revista Politécnica*, Vol. 31, N°1, pp. 117- 122, 2012. [En línea]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/200
- [24] Portada. A. "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, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2016 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4061>
- [25] Castillo. M. y López. J. (2018). "Tratamiento del Agua residual industrial de la curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los Valores Máximos Admisibles". Tesis de Grado, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrel, Cajamarca, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/825>
- [26] Córdova. H. "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, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2014 [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1902>
- [27] Ganoza. J. y Panduro. 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, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2010 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3277>
- [28] Castro. J. y Jave. E. "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, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9855>
- [29] Agreda. A. y Domínguez. T. "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, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11438>
- [30] Contreras. S. y Salvador. K. "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, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2015 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3260>
- [31] Gordillo. G. y Toledo. C. "Técnicas ambientales de Producción más limpia en la industria de curtiembre". Tesis de Grado, Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/1371>
- [32] Ramos. M. "Evaluación de metodologías para disminuir la contaminación existente en los efluentes líquidos generados en el proceso de producción de la curtiduría Aldás". Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/23389>
- [33] Morocho. M. "Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el cantón Cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAS (Microorganismos Eficientes Autóctonos)". Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26955>
- [34] Mella. B. "Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação". Tesis de Maestría, Universidad Federal Do Rio Grande Do Sul, Brasil, 2013 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10183/87302>
- [35] Geromel. C. "Tratamento físico-químico de efluentes de curtume por meio de filtros de membrana seletiva", Tesis de Maestría, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil, 2012 [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11449/98074>
- [36] Montoya. C. y Silencio. K. "Evaluación de pH, concentración de FeSO₄ y FeCl₃, en la remoción de sólidos suspendidos y sulfuros en efluentes de pelambre de curtiembres". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9861>
- [37] Llaro. A. y Mendoza. C. "Tratamiento de las aguas residuales de curtiembre para su adecuada disposición en el sistema de alcantarillado de la provincia de Trujillo, 2020". Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte, Perú, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11537/31072>
- [38] SEDALIB S.A. "Cobertura del servicio de alcantarillado brindado por SEDALIB S.A. en Trujillo Metropolitano", 2018. Disponible: <http://sedalib.com.pe/upload/drive/32018/20180326-6606670848.pdf>
- [39] Rojas, E. "El Usuario de la Información", s.f. Disponible en: <https://cutt.ly/HNK53qh>
- [40] Sampieri, R. "Metodología de la Investigación" 6 ed. México, McGRAW HILL, 2014. Disponible en <https://cutt.ly/QNK6aV3>
- [L1] Decreto Supremo N°003-2002-PRODUCE de 4 de octubre 2002. Decreto Supremo que Aprueba los límites máximo permisibles (LMP) y valores referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.
- [L2] Decreto Supremo N°010-2019- VIVIENDA de 11 de marzo de 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.
- [L3] Decreto Supremo N°380-2019-EF de 19 de diciembre 2019. Valor de la Unidad Impositiva Tributaria durante el año 2020.
- [L4] Resolución de Consejo Directivo N° 045-2013-OEFA/CD de 12 de noviembre de 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.
- [L5] Resolución de Consejo Directivo N° 027-2017-OEFA/CD de 11 de octubre de 2017. Aprueban el Reglamento del Procedimiento Administrativo Sancionador del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA.
- [L6] Resolución de Consejo Directivo N° 011-2020-SUNASS-CD de 26 de 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.