

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE
TÉCNICAS DE CURTIDO LIBRES DE CROMO EN PIELS
DE PESCADO DE LA REGIÓN UCAYALI”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ELABORADO POR:

BLAS GARCÍA, JALINEE ROSARIO

ASESORA:

MSc. MARRUFO SALDAÑA, LILIANA DEL ROSARIO

LIMA – PERÚ
2021

DEDICATORIA

“A Dios por su amor y bondad infinita, por su guía y compañía que nos brinda con cada persona y detalle que pone en nuestras vidas, así como la oportunidad que me brindó de realizar esta carrera universitaria”

“A mis padres Edgar y Luz, hermanos Edgar, Helen e Irvin, tíos, abuelos y primos por su amor y apoyo incondicional”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Centro de Innovación Tecnológica del Cuero y Calzado - CITEccal-Lima por permitirme y brindarme todas las facilidades para desarrollar la presente investigación en su institución, en especial al equipo de la Unidad de Investigación y Desarrollo, así como al equipo de la planta piloto de curtiembre.

De igual modo quiero agradecer a la asesora de mi tesis, MSc. Liliana del Rosario Marrufo Saldaña, por su amistad, paciencia y orientación en la etapa universitaria y desarrollo de la investigación.

A la Facultad de Ingeniería Ambiental, por las enseñanzas y consejos de los docentes, a mis compañeros de estudio por los gratos e inolvidables momentos compartidos.

A Michel, Jannet, Grecia, Susan, Julio, Marco, Elviro, Ivet y Katy por su amistad, cercanía y apoyo durante la realización de mis estudios universitarios.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por la formación profesional y a todos los amigos que me apoyaron con su aliento y compañía para perseverar en este camino.

RESUMEN

La presente investigación evaluó el desempeño ambiental de técnicas de curtido libres de cromo en pieles de paiche ejecutadas a escala piloto por del Centro de Innovación Tecnológica del Cuero y Calzado - Lima. Para ello, primero, se determinaron los indicadores de desempeño ambiental operacional, obtenidos del análisis de flujo de las técnicas desarrolladas y de la caracterización de los efluentes de curtido. Luego, se comparó el desempeño ambiental de las técnicas, realizando un análisis integrado de los indicadores por el método “Grey Clustering” que permitió obtener los valores máximos de coeficientes de clusterización (σ) correspondiente a las clases de evaluación establecidas en el estudio ($\lambda 1$: Buen desempeño, $\lambda 2$: Regular desempeño, $\lambda 3$: Deficiente desempeño).

Los resultados indicaron que la técnica de curtido con sales de aluminio (σ : 0.99, clase $\lambda 1$) y la técnica de curtido con compuestos fenólicos (σ : 0.98, clase $\lambda 1$), presentaron un mejor desempeño ambiental respecto a la técnica de curtido con sales de cromo (σ : 0.54, clase $\lambda 2$). Durante la ejecución del proyecto se generó un afloramiento de olor característico a pescado y un amarillamiento, principalmente, en el cuero producido por la técnica de curtido con aluminio, por lo que se optimizó solo el proceso de curtido con compuestos fenólicos y se evaluó su desempeño ambiental para su transferencia tecnológica. La técnica de curtido optimizada, tuvo un σ : 0.977, clase $\lambda 1$, evidenció también un mejor desempeño ambiental respecto de la técnica de curtido con sales de cromo. Los valores de sus indicadores fueron: 30.00 m³ de agua consumida/1000 kg de piel inicial procesada; 815.00 kg de químicos utilizados/1000 kg de piel inicial procesada, 2022.68 kWh de energía/1000 kg de piel inicial procesada, 105.00 kg de residuos sólidos generados/1000 kg de piel inicial procesada, 2870.90 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 11682.90 mg/L de Demanda Química de Oxígeno y Cromo total no detectable. En este sentido, se recomendó su transferencia con su respectivo sistema de tratamiento para efluentes y aplicación de medidas de mejora ambiental.

Palabras clave: Técnicas de curtido libres de cromo, Evaluación del desempeño ambiental, Indicadores ambientales, Análisis Grey Clustering.

ABSTRACT

The present investigation evaluated the environmental performance of chrome-free tanning techniques in paiche hides carried out on a pilot scale by the Center for Technological Innovation of Leather and Footwear - Lima. To do this, first, the operational environmental performance indicators were determined, obtained from the flow analysis of the techniques developed and from the characterization of the tanning effluents. Then, the environmental performance of the techniques was compared, carrying out an integrated analysis of the indicators by the Grey Clustering method that allowed obtaining the maximum values of clustering coefficients (σ) corresponding to the evaluation classes established in the study ($\lambda 1$: Good performance, $\lambda 2$: Regular performance, $\lambda 3$: Poor performance).

The results indicated that the tanning technique with aluminum salts (σ : 0.99, class $\lambda 1$) and the tanning technique with phenolic compounds (σ : 0.98, class $\lambda 1$), presented a better environmental performance compared to the salt tanning technique chromium (σ : 0.54, class $\lambda 2$). During the execution of the project, an outcrop with a characteristic fishy odor and yellowing was generated, mainly, in the leather produced by the aluminum tanning technique, for which reason only the tanning process with phenolic compounds was optimized and its performance was evaluated environment for its technology transfer. The optimized tanning technique, had a σ : 0.977, class $\lambda 1$, also evidenced a better environmental performance compared to the chrome salt tanning technique. The values of its indicators were: 30.00 m³ of water consumed/1000 kg of initial skin processed; 815.00 kg of chemicals used/1000 kg of initial skin processed, 2022.68 kWh of energy/1000 kg of initial skin processed, 105.00 kg of solid waste generated/1000 kg of initial skin processed, 2870.90 mg/L of Biochemical Oxygen Demand, 11682.90 mg/L of chemical oxygen demand and total chromium not detectable. In this sense, its transfer with its respective treatment system for effluents and application of environmental improvement measures was recommended.

Keywords: Chrome-free tanning techniques, Environmental performance evaluation, Environmental indicators, Grey Clustering Analysis.

PRÓLOGO

La presente tesis lleva el título de “Evaluación del desempeño ambiental de técnicas de curtido libres de cromo en pieles de pescado de la región Ucayali”. La investigación se ha llevado a cabo para identificar la técnica de curtido con mejor desempeño ambiental en pieles de paiche, que fueron desarrolladas en la planta piloto de curtiembre del Centro de Innovación Tecnológica del Cuero y Calzado - CITEccal-Lima, y en base a la evaluación recomendar su transferencia a escala de producción.

Este trabajo ha sido elaborado como tesista de la Unidad de Investigación y Desarrollo de CITEccal-Lima, en marco del proyecto “Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali”.

La pregunta de investigación se formuló con ayuda de la asesora, Liliana Marrufo. El proceso de investigación implicó esfuerzo en el registro detallado de las variables de estudio y permitieron responder a la pregunta formulada. Afortunadamente en todo el proceso recibí apoyo y disponibilidad del equipo de la Unidad de Investigación y Desarrollo. Me gustaría, por tanto, agradecerles por la oportunidad de colaborar con esta investigación, por su orientación y soporte.

Así mismo agradecer a los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental que me brindaron sus apreciaciones y aportes en el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
PRÓLOGO	VI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descripción del problema de investigación	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos del Estudio	4
1.4.1. Objetivo general:	4
1.4.2. Objetivos específicos:	4
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis general:	5
1.5.2. Hipótesis específicas:	5
1.6. Antecedentes	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1. Marco Teórico	9
2.1.1. La industria de curtiembre a nivel mundial	9
2.1.2. La industria de curtiembre a nivel nacional	9
2.1.3. Las técnicas de curtido	11
2.1.4. Aspectos e impactos ambientales de las curtiembres	12
2.1.4.1. <i>Aspectos ambientales de las curtiembres</i>	12
2.1.4.2. <i>Impactos ambientales de las curtiembres</i>	13
2.1.5. El cromo en la industria de curtiembre	16
2.1.6. Técnicas de curtido libres de cromo	16
2.1.7. Especies de pescado de la Región Ucayali con potencial para la producción de cuero	17

2.1.8. Proceso de las técnicas de curtido en pieles de pescados amazónicos	18
2.1.9 Desempeño ambiental	21
2.1.10. Indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido	21
2.2. Marco legal	24
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	25
3.1. Diseño de investigación	25
3.2. Metodología	27
3.2.1. Análisis del flujo de materia	27
3.2.2. Caracterización de los efluentes	30
3.2.3. Análisis y comparación de los indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido	36
3.2.4. Metodología de la determinación de la técnica de curtido con mejor desempeño ambiental	36
3.2.5. Análisis de propuesta de medidas de mejora ambiental y sistema de tratamiento para los efluentes de la técnica de curtido optimizada.	38
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	39
4.1. Resultados de la técnica de curtido con sales de cromo	39
4.1.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con sales de cromo	39
4.1.2. Resultados de la caracterización de efluentes de la técnica de curtido con sales de cromo	41
4.1.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con sales de cromo	42
4.2. Resultados de la técnica de curtido con sales de aluminio	43
4.2.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con sales de aluminio	43
4.2.2. Resultados de la caracterización de los efluentes de la técnica de curtido con sales de aluminio	45

4.2.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con sales de aluminio	46
4.3. Resultados de la técnica de curtido con compuesto fenólicos	47
4.3.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con compuestos fenólicos	47
4.3.2. Resultados de la caracterización de los efluentes de la técnica de curtido con compuestos fenólicos	49
4.3.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con compuestos fenólicos	50
4.4. Resultados del análisis y comparación de los indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido	51
4.4.1. Comparación de los indicadores del análisis de flujo de materia	52
4.4.2. Análisis de los indicadores de parámetros de agua residual	57
4.5. Determinación de la técnica de curtido con mejor desempeño ambiental	63
4.6. Evaluación del desempeño ambiental de la técnica de curtido optimizada	69
4.7. Medidas de mejora del desempeño ambiental y propuesta de sistema de tratamiento para el efluente de la técnica optimizada	76
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	90
Anexo 1: Formato de registro del proceso de las técnicas de curtido desarrollado por CITEccal-Lima.	90
Anexo 2: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con sales de cromo.	91
Anexo 3: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con sales de cromo (muestra codificada como CCrP).	94

Anexo 4: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con sales de aluminio.	96
Anexo 5: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con sales de aluminio (muestra codificada como Cap. 20).	100
Anexo 6: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con compuestos fenólicos.	102
Anexo 7: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos (muestra codificada como CSM7).	106
Anexo 8: Cuadro de comparación de la calidad de cuero producido por las técnicas de curtido estudiadas.	107
Anexo 9: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtidos con compuestos fenólicos optimizada.	108
Anexo 10: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como CF 22/04/19).	113
Anexo 11: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación de desengrase correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial (muestra codificada como B).	114
Anexo 12: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación de desengrase correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como DP8) y del efluente de la muestra compuesta correspondiente al proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como CP8).	115
Anexo 13: Registro fotográfico del sistema de tratamiento y sus componentes en funcionamiento.	116
Anexo 14: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente tratado (muestra codificada como CP-TF).	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del impacto ambiental del proceso de curtido según CONAMA, 1999. ¹	15
Figura 2. Operaciones de la obtención de pieles de doncella y paiche curtidas de acuerdo a Segundo, 2019.....	19
Figura 3. Operaciones de la obtención de pieles de doncella y paiche Crust de acuerdo a Segundo, 2019.....	20
Figura 4. Operación de la obtención de pieles de doncella y paiche acabado de acuerdo a Segundo, 2019.....	21
Figura 5. Registro de información para el análisis de flujo de las técnicas de curtido.....	28
Figura 6. Esquema de entradas y salidas de las operaciones de las técnicas de curtido hasta cuero Crust.....	29
Figura 7. Efluentes del baño de piquelado y curtido de las técnicas estudiadas. a) Curtido con compuestos fenólicos. b) Curtido con sales de cromo. c) Curtido con sales de aluminio	34
Figura 8. Toma y preservación de las muestras de efluentes estudiados. a) Rotulación de los envases para las muestras. b) Muestras de efluentes tomadas. c) Preservación de las muestras tomadas.	35
Figura 9. Entradas y salidas de la técnica de curtido con sales de cromo.....	40
Figura 10. Entradas y salidas de la técnica de curtido con sales de aluminio. ...	44
Figura 11. Entradas y salidas de la técnica de curtido con compuestos fenólicos.	48
Figura 12. Comparación del consumo de agua por piel inicial procesada (m ³ /1000 kg) de las técnicas de curtido y porcentaje por operación	53
Figura 13. Comparación del indicador cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada de las técnicas de curtido y porcentaje por operación.....	54
Figura 14. Comparación del indicador consumo de energía por piel inicial procesada de las técnicas de curtido y porcentaje por operación.....	55

Figura 15. Análisis del indicador cantidad de residuos sólidos generados	56
Figura 16. Comparación del parámetro de pH de los efluentes de curtido	58
Figura 17. Comparación del parámetro de DBO ₅ de los efluentes de curtido.....	59
Figura 18. Comparación del parámetro de DQO de los efluentes de curtido	60
Figura 19. Comparación del parámetro de Aceites y grasas de los efluentes de curtido.....	61
<i>Figura 20. Función de Whitenización</i>	<i>65</i>
Figura 21: Registro fotográfico de la comparación de pieles de paiche. A la izquierda cuero Crust de la técnica con sales de aluminio. A la derecha cuero Crust de la técnica con compuestos fenólicos	68
Figura 22. Entradas y salidas de la técnica de cutidos con compuestos fenólicos optimizada	70
Figura 23. Diagrama de los componentes del prototipo del sistema de tratamiento	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Indicadores benchmarking curtiembres	22
Tabla 2: Variables de estudio	26
Tabla 3: Parámetros evaluados de los efluentes del curtido	30
Tabla 4: Parámetros evaluados de los efluentes del desengrase	31
Tabla 5: Parámetros evaluados de las muestras de efluente de la técnica de curtido optimizada y la muestra del efluente tratado por el sistema propuesto ..	32
Tabla 6: Requerimientos para la toma y preservación de las muestras.....	32
Tabla 7: Métodos de ensayo de los parámetros	34
Tabla 8: Límites máximos permisibles de efluentes para curtiembres	35
Tabla 9: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente del baño de piquelado y curtido de la técnica de curtido con sales de cromo	42
Tabla 10: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con sales de cromo	42
Tabla 11: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente del piquelado y curtido de la técnica de curtido con sales de aluminio	46
Tabla 12: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con sales de aluminio	46
Tabla 13: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente de piquelado y curtido de la técnica de curtido con compuestos fenólicos	50
Tabla 14: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con compuestos fenólicos.....	50
Tabla 15: Comparación de los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtido de las técnicas de curtido respecto a los LMP de curtiembres.....	57
Tabla 16: Rangos y estándares de evaluación	64
Tabla 17: Valores adimensionales de los estándares de evaluación.....	64
Tabla 18: Valores de los criterios evaluados y sus valores adimensionales.....	64
Tabla 19: Pesos de clusterización	66

Tabla 20: Coeficientes de clusterización	67
Tabla 21: Comparación de los indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial y la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada	71
Tabla 22: Funciones de whitenización y Coeficientes de clusterización de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada	72
Tabla 23: Comparación de los resultados del vector de clusterización que incluye la técnica de curtido optimizada	72
Tabla 24: Caracterización de los efluentes de desengrase	73
Tabla 25: Resultados de la caracterización del efluente del proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada.....	75
Tabla 26: Comparación de los parámetros del efluente tratado respecto a los LMP	78

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Como parte de las políticas de desarrollo productivo, en el Perú se ha promovido el crecimiento de la actividad acuícola del paiche (Chu-Koo et al., 2017; Kleeberg, 2019). Es así que las proyecciones de mercado incluyen el crecimiento de la exportación de la carne de paiche, pues junto a la trucha y tilapia son las principales especies de agua dulce exportadas del país (ONUDI, 2017).

La exportación de la carne de paiche es como filetes congelados, por lo que previamente se retira la piel y eviscera, con rangos de rendimientos que fluctúan entre 47% y 52%, esto trae la generación de residuos como la piel que requieren ser gestionados adecuadamente y tienen potencial de valorización, pues pueden utilizarse para la producción de cueros (Chu-Koo et al., 2017).

La industria de curtido convierte las pieles en cuero, mediante diversos procesos en los que se emplean diferentes productos químicos (Covington & Wise, 2019). El proceso determinante es el curtido ya que trae la conversión, a través de la estabilización del colágeno contra el calor y el ataque enzimático (Beghetto et al., 2013; Zeiner et al., 2011).

El método de curtición más difundido es el que utiliza sulfato básico de cromo como agente curtiente, con alrededor del 90% de la producción global, pues le confieren al cuero propiedades físico-mecánicas muy deseables como: una excelente estabilidad hidrotérmica, mejor teñido y suavidad (Fei & Liu, 2016; Kanagaraj, Chandra Babu, & Mandal, 2008) y su uso implica la liberación de concentraciones muy altas de cromo trivalente Cr (III) en los efluentes y residuos sólidos, este Cr (III) se puede convertir fácilmente en cromo hexavalente Cr (VI) debido a la presencia de agentes oxidantes como oxígeno disuelto y dióxido de manganeso (MnO₂); también en fluctuaciones de pH del efluente (Apte et al., 2006; da Silva et al., 2011; Zasoski & Fendorf, 1992) ; por lo que la aplicación de sulfato básico de cromo significa una contaminación ambiental importante debido a la toxicidad del Cr (VI) y el deterioro ecológico asociado (China et al., 2020; Kotás & Stasicka, 2000).

Ante este desafío ambiental se han reportado estudios de técnicas para manejar la contaminación por cromo de las industrias de curtiembre (China et al., 2020). Estas técnicas incluyen la minimización de la entrada de cromo tales como el reciclaje de licores de cromo usados, alto agotamiento de cromo, tecnologías de curtido que utilizan otros productos químicos para mejorar la absorción de cromo, y las tecnologías alternativas que fomentan el reemplazo total de sales de cromo mediante el uso de agentes curtientes alternativos (Bacardit, Armengol, Burgh, & Ollé, 2014; China et al., 2020; Fathima, Kumar, Kumar, Rao, & Nair, 2006; Roig et al., 2011).

En este marco, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el desempeño ambiental de técnicas curtido de pieles de paiche libres de cromo, la curtición con aluminio y con compuestos fenólicos para determinar la viabilidad de su transferencia tecnológica a la cadena productiva en desarrollo. La metodología consistió en determinar indicadores de desempeño ambiental y un análisis integrado de los indicadores a través del método Grey Clustering. Este método, se basa en la teoría del sistema gris, que se centra en el estudio de problemas que involucran muestras pequeñas e información limitada (Liu & Lin, 2010) y se usa ampliamente en la evaluación de sistemas ambientales tal como calidad del agua, niveles de eutrofización, gestión del agua y análisis de conflictos ambientales; desarrollado para clasificar índices de observación u objetos de observación en clases definibles utilizando matrices de incidencia de grises o funciones de ponderación de blanqueamiento de grises (Delgado & Romero, 2016; Rathnayaka et al., 2015; Wang et al., 2018; Zhou & Xu, 2006).

En esta investigación, utilizamos el basado en funciones de ponderación de blanqueamiento triangular de punto central, ya que las técnicas de curtido pueden tratarse como objetos de observación para la evaluación de su desempeño ambiental; la evaluación permitió identificar la técnica de curtido con mayores beneficios ambientales y a su vez detectar los potenciales de optimización, para así contribuir al desarrollo de una industria de curtiembre sostenible, que cuente con procesos eficientes e integración de la gestión ambiental.

1.2. Descripción del problema de investigación

En el Perú, la técnica de curtido más difundida es aquella que utiliza sulfato básico de cromo como agente curtiente y si bien este metal le confiere al cuero propiedades físico-mecánicas muy deseables, su uso en este proceso significa la liberación de concentraciones muy altas de cromo trivalente Cr (III) en los efluentes y residuos, teniendo en cuenta que del cromo total utilizado para el curtido sólo se utiliza del 60% al 70%, mientras que el 30 al 40% restante permanece en el licor de curtido (Belay, 2010). El Cr (III) liberado se puede convertir fácilmente en cromo hexavalente Cr (VI) debido a la presencia de agentes oxidantes como oxígeno disuelto y dióxido de manganeso (MnO₂); también en fluctuaciones de pH del efluente (da Silva et al., 2011). Por lo que la aplicación de sulfato básico de cromo significa una contaminación ambiental importante debido a la toxicidad del Cr (VI) y el deterioro ecológico asociado, ante este desafío se vienen reportando estudios de técnicas para manejar la contaminación por cromo de las industrias de curtiembre (China et al., 2020; Kotás & Stasicka, 2000).

En este sentido, el Centro de Innovación Tecnológica del Cuero y Calzado - CITEccal Lima - que se rige por el Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), adscrito al Ministerio de Producción, dentro de sus líneas de investigación y desarrollo viene ejecutando proyectos que buscan la incorporación de nuevos agentes curtientes al proceso de curtido que reduzcan los impactos ambientales y que a la vez contribuyan a incrementar la productividad de las empresas en forma sostenible para hacerlas más competitivas. Uno de los proyectos ejecutados se denomina "Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali", que tiene entre sus objetivos la evaluación de dos propuestas tecnológicas de curtido más limpio, una la técnica de curtido con sales de aluminio y la otra con compuestos fenólicos, sin embargo, para su transferencia tecnológica a escala de producción se requiere identificar:

¿Cuál de estas dos técnicas de curtido genera una producción con un mejor desempeño ambiental respecto al curtido con cromo?

1.3. Justificación

Con el fin de identificar y reducir los impactos ambientales negativos de la industria nacional de curtiembres, la presente investigación evalúa las técnicas de curtido libre de cromo en pieles de paiche a escala de piloto, a través del análisis del desempeño ambiental de tales técnicas desarrolladas en la planta de piloto de CITEccal-Lima. De esta manera se promoverá el uso de tecnologías más limpias en la producción de cueros de paiche que brinden procesos con una mejor eficiencia y rendimiento ambiental, trayendo consecuencias positivas sobre aspectos que mejoran la competitividad de las empresas de la industria de curtiembre, tales como: reducción de los costos de producción y la mejora en la imagen institucional ante la sociedad. Además, en el desarrollo de la investigación se determinaron los indicadores de desempeño ambiental por medio de un análisis de flujo del proceso productivo y la caracterización de los efluentes. Los valores obtenidos y la metodología utilizada podrán servir de referencia para que las empresas de la industria nacional de curtiembre cuenten con una línea base que defina su rendimiento actual y les permita identificar con facilidad las áreas donde existen oportunidades para mejorar la eficiencia y el desempeño ambiental.

1.4. Objetivos del Estudio

1.4.1. Objetivo general:

- Evaluar el desempeño ambiental de técnicas de curtido libres de cromo en pieles de pescado de la Región Ucayali.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Realizar el análisis del flujo de proceso de las 3 técnicas de curtido en estudio.
- Caracterizar los efluentes del proceso de curtido de las 3 técnicas en estudio.
- Analizar y comparar los indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido con compuestos fenólicos y aluminio respecto a la técnica de curtido con cromo.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general:

- La técnica de curtido con compuestos fenólicos en pieles de pescado de la Región Ucayali, presentará un mejor desempeño ambiental que la técnica de curtido con sales de aluminio respecto a la técnica de curtido con cromo.

1.5.2. Hipótesis específicas:

- En las técnicas de curtido estudiadas se generan alto consumo de agua y energía, así como altas cantidades de residuos sólidos.
- Los efluentes de la técnica de curtido en pieles de pescado de la Región Ucayali con cromo presentarán cargas contaminantes más altas que las otras 2 técnicas de curtido alternativas.
- Las técnicas de curtido con compuestos fenólicos y aluminio en estudio presentarán indicadores de mejor desempeño ambiental en relación a la técnica de curtido con cromo.

1.6. Antecedentes

La evaluación del desempeño ambiental de los procesos productivos como las técnicas de curtido se realiza por medio de indicadores de operación, conocidos como indicadores de desempeño ambiental, pues miden la eficiencia y el comportamiento ambiental de las operaciones o procesos dentro de una organización, proporcionando los valores de referencia requeridos para la evaluación y el control de los impactos ambientales (Aragón & Alzate, 2004).

Un paso preliminar para establecer los indicadores de desempeño ambiental es hacer un inventario de los problemas ambientales en el sector curtiembre, tal como el estudio de Rivela et al., "Caracterización de los aspectos ambientales de una planta de curtido", 2004, mediante el análisis de los flujos de entrada y salida de los procesos de curtición, análisis fisicoquímicos de los efluentes y la determinación de la toxicidad acuática de algunas corrientes de efluentes del proceso. Los resultados mostraron la distribución del consumo de agua, productos químicos y la generación de agua residual y residuos sólidos. A partir de ello concluyeron que por cada tonelada de piel bruta salada (procesada) se consumen 351 kg de producto químicos (principalmente en la sección de curtidos) y 22 980

L de agua (46% en la sección de Ribera). Los efluentes fueron caracterizados en detalle, identificando los puntos críticos: elevados valores de Demanda Química de Oxígeno (1 105 a 18 075 mg/L), Cromo en las aguas residuales de Curtido y Recurtido (15 a 4 950 mg/L), Sulfuro procedente de la etapa de pelambre (659 mg/L) y Nitrógeno Amoniacal (245 mg/L) y Sulfatos (35 200 mg/L) en la sección de curtido (Rivela et al., 2004).

Por su parte Mendez, Vidal, Lorber, & Márquez, 2007, realizaron el análisis del flujo de materia en las industrias de curtido, mediante la sistematización de los flujos de materia en una planta de curtidos, con el objetivo de estimar el impacto ambiental generado y evaluar las alternativas de reducción del mismo. Los resultados muestran un diagrama de flujo de balance de materia, en el que detallan que el consumo medio de agua requerida es de 63 m³ por cada tonelada de piel procesada, del cual el 50% no se consume directamente en el proceso (maquinaria, lavado de planta y alimentación de la caldera), el 33% corresponde a la Ribera, el 10% al Curtido y Recurtido. La entrada de 63 m³ de agua se corresponde con una salida de 58 m³. En torno al 20% del agua residual del proceso está potencialmente contaminada con cromo (efluentes de las secciones de Curtido y Recurtido). El 36% del efluente, generado en la sección de Ribera, presenta un alto contenido en materia orgánica y está parcialmente contaminado con sulfuros. Con respecto al consumo de productos químicos se estimó que se emplean 442 kg por cada tonelada de piel procesada (tphs). Las secciones de mayor consumo son las de Curtido (187 kg/tphs, 42% del proceso) y Recurtido (149 kg/tphs, 34% del proceso). La Ribera y Terminaciones consumen cada una unos 55 kg/tphs (12% del total). De la generación total de residuos sólidos (696 kg/tphs), el 21% contiene cromo (piel partida, recortes, polvo de lijado y mayoritariamente virutas); el 7% es sal usada para la conservación de las pieles en las instalaciones de almacenamiento; el 71% se corresponde con residuo libre de cromo (descarne, piel no usada, recortes y residuo de pelo), concluyendo así que los valores estimados permiten evaluar el potencial de prevención de la contaminación, las oportunidades de reciclaje o reutilización y el tratamiento de corrientes individuales de efluente (Méndez et al., 2007).

También se han realizado investigaciones para determinar los indicadores fundamentales en el monitoreo del desempeño técnico, económico y ambiental de

las fábricas de curtido como la desarrollada por Galindo et al., 2009, en este trabajo se aplicó una metodología para la gestión de calidad y ambiental integrada al análisis de procesos industriales para la prevención de los problemas ambientales en la tenería Abel Santamaría. La metodología abarcó lo siguiente: 1°) Definición, aplicación y revisión de la política ambiental empresarial. 2°) Caracterización del desempeño técnico– económico y ambiental de la industria, empleando herramientas de análisis de procesos. 3°) Evaluación del desempeño técnico-económico y ambiental de la industria, determinando los indicadores de desempeño técnico, económico y ambiental. 4°) Generación de alternativas para el mejoramiento del desempeño técnico-económico y ambiental. 5°) Ejecución de alternativas. 6°) Monitoreo y control. Los resultados detallaron los valores de los indicadores ambientales que fueron 0.03 m³ de consumo agua/kg de producto, 0.032 Kg de productos tóxicos/kg de producto, 0.0059 kg de desechos sólidos no curtidos/kg de producto. Concluyeron en una propuesta de alternativa de solución que consiste en la modificación tecnológica al proceso de remojo y pelambre basada en la recirculación de licores de pelambre y la oxidación catalítica a sulfatos (Galindo et al., 2009).

Respecto a las investigaciones de las técnicas de curtido libres de cromo se han desarrollado las siguientes:

“Nuevos desafíos en cueros libres de cromo: desarrollo de procesos húmedos y brillantes”, 2014. El trabajo desarrolló un nuevo proceso de curtido con el objetivo de obtener cueros libres de cromo, aldehídos, precursores de aldehídos y solventes orgánicos. Además de mostrar las ventajas económicas y ambientales resultantes del uso de este nuevo sistema. El nuevo sistema propuesto aplicó como agente curtiente compuestos de silicato de aluminio y ácidos policarboxílicos. La metodología estuvo compuesta por 2 etapas. En la primera etapa establecieron las condiciones de trabajo óptimas para el nuevo sistema (pH a 3.5) y en la segunda evaluaron si los cueros curtidos tenían ventajas de rendimiento sobre el cuero curtido con cromo. Se concluye que el nuevo sistema de curtido redujo la DQO en un 60%, los sólidos en suspensión en un 61% y el nitrógeno en un 65% en comparación con los procesos de curtido con cromo (Bacardit et al., 2014).

“Procesamiento de cuero blanco húmedo: un nuevo sistema de combinación”, 2006. En esta investigación se desarrolló un nuevo sistema de curtido basado en aluminio-sílice-fosfonio (THPS) para obtener un mejor desempeño ambiental. La metodología abarcó 1º) Determinación de tres sistemas de combinación diferentes: silicio-aluminio, sílice-THPS y sílice-aluminio-THPS. 2º) Realización del proceso de curtición de control con cromo. 3º) Determinación de la temperatura de contracción, propiedades físicas, como la resistencia a la tracción, el % de alargamiento, la resistencia al desgarro y el índice de agrietamiento. 4º) Evaluación de las propiedades organolépticas. 5º) Análisis de los efluentes del proceso de curtición. Los resultados muestran que el sistema de combinación más óptimo es sílice- aluminio-THPS con concentraciones de 10%, 1.5% y 1% respectivamente. Concluyeron que el sistema de curtido combinado (sílice- aluminio-THPS) produce una reducción de la carga de DQO y la TS en un 41% y un 67%, respectivamente (Fathima et al., 2006).

“Tecnologías alternativas de curtido y su idoneidad para frenar la contaminación ambiental de la industria del cuero”, 2020, esta investigación de revisión evaluó las tecnologías de curtido ecológicas orientadas a mejorar o reemplazar la tecnología del cromo sin comprometer la calidad del cuero producido. Constataron que las tecnologías se han centrado en el reciclaje de licores usados; mejora del agotamiento del cromo y sustitución total de las sales de cromo. Precisando que se puede lograr una minimización eficaz de la contaminación por cromo empleando técnicas de manejo del cromo, pero las virutas y los recortes generados plantean un serio desafío para los desechos sólidos similar al de los desechos plásticos. Por tanto, la aplicación de las tecnologías libres de cromo es una solución permanente deseable para la contaminación por cromo de la industria del cuero. Concluyeron que el curtido combinado con taninos vegetales y sulfato de aluminio es considerado un método de curtido sin cromo apropiado porque los taninos vegetales son un recurso renovable mientras que el aluminio es abundantemente disponible en la corteza terrestre y ambos no son tóxicos. Además, el curtido combinado vegetal-aluminio produce cueros de alta calidad con propiedades casi similares a las producidas por el curtido al cromo (China et al., 2020).

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. La industria de curtiembre a nivel mundial

A nivel mundial, la industria de curtiembre es considerada una de las más contaminantes, debido a que en sus procesos de producción se libera una alta carga contaminante en forma de efluentes (alto contenido de materia oxidable y tóxicos), residuos sólidos (materia orgánica putrescible o residuos de piel) y vapores (compuestos orgánicos volátiles). Es por ello que las instituciones del sector y las de protección ambiental desarrollan acciones para reducir los impactos negativos al ambiente y así promover una industria sostenible, aplicando estrategias como el desarrollo de tecnologías de producción más limpia y uso de tecnologías de tratamiento de disposición final.

El país con mayores avances y referente en temas de producción, comercio y gestión ambiental en curtiembres es Italia ya que ha logrado posicionarse como el principal productor, con 15 % de la producción mundial de cuero y en la Unión Europea con el 65% de la fabricación total; a su vez maneja los más altos estándares de calidad en la prevención de la contaminación y realiza buenas prácticas como: sustitución de sustancias contaminantes, integración de procesos, manejo y tratamiento de agua residual y disposición final del lodo (Black et al., 2013; Martínez & Romero, 2018).

En Latinoamérica, los avances en protección ambiental de las curtiembres son escasos y las empresas en mayor grado lo realizan por las implicancias de la normatividad, además esta industria se caracteriza por el desarrollo en pequeñas y medianas empresas, y por su mínima actualización tecnológica, utilizando procesos y materias primas muy similares, como lo es la aplicación de la técnica de curtido con sales de cromo (Martínez & Romero, 2018).

2.1.2. La industria de curtiembre a nivel nacional

La industria de curtiembre nacional se encuentra hasta la actualidad en estado crítico por la problemática económica y ambiental que atraviesa, esto debido a aspectos externos e internos como la falta de competitividad en el mercado globalizado, disminución de la demanda y la informalidad, el desarrollo en

pequeñas y medianas empresas, y por su mínima actualización tecnológica (Eppers, Gonzales, García, & Luque, 2020).

Según datos del Diagnóstico ambiental Preliminar de las curtiembres de las Resoluciones de la Dirección de Evaluación Ambiental de Industria del Ministerio de Producción y los registros del subsector curtiembres del Mapa de Fiscalización ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2019; PRODUCE, 2019) las empresas de esta industria se encuentran ubicadas principalmente en las regiones de Lima, Arequipa y Lambayeque, de las cuales 986 curtiembres son fiscalizadas por OEFA.

La técnica que emplean es el curtido con sales de cromo y las pieles que procesan principalmente son las de vacuno, ovino, caprino y camélidos, que generan efluentes con altas cargas contaminantes de cromo que superan la concentración establecida en los límites máximos permisibles del sub sector curtiembre (5 mg/L), con valores de concentraciones de cromo total que pueden ir desde 275.6 mg/L hasta 1719 mg/L; sin embargo, la mayoría de las empresas aún carecen de sistemas de tratamiento eficientes para sus efluentes.

En Arequipa, las empresas se han asociado estableciendo un parque industrial para así realizar el tratamiento de sus efluentes a través de un sistema de tratamiento compuesto por lagunas de oxidación, pero aún se carecen de medidas que permitan disminuir el consumo de cromo a través del reciclaje o la aplicación de técnicas de curtido alternativas que sustituyan este agente curtiente.

Por su parte el Instituto Tecnológico de Producción, con la finalidad de impulsar la cadena productiva del paiche y dar valor agregado al residuo piel que se genera, a través del proyecto "Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali" desarrollado por CITEccal Lima a finales del 2018 hasta mediados del 2019, está promoviendo la producción de cuero incorporando técnicas de curtido libres de cromo en pieles de especies hidrobiológicas de la Amazonía peruana, específicamente de Paiche y Doncella (Instituto Tecnológico de la Producción, 2019).

2.1.3. Las técnicas de curtido

El proceso de curtido permite convertir la piel en un material imputrescible, por medio de aplicación de insumos químicos, que se regulan en cada una de las etapas de producción y en condiciones físicas específicas (Covington & Wise, 2019). Existe una amplia variedad de técnicas y materiales de curtido; cuya elección depende principalmente de las propiedades requeridas en el cuero acabado, el costo de los materiales, la planta disponible y el tipo de materia prima. La mayoría de los agentes de curtido se clasifican en uno de los siguientes grupos: Curtidos minerales, taninos vegetales, síntanos, aldehído, curtido de aceite (Black et al., 2013).

En la guía para el tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos de curtiembres (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1997), se clasificó las técnicas de curtido de la siguiente manera:

Curtido con cromo: en la etapa de curtición, se emplea principalmente sal de cromo, sulfato de cromo básico trivalente y complejos hidratados. Además, se utiliza el bicarbonato de sodio para ajustar el pH; agentes enmascarantes como el formiato de sodio, talatos y sales o ácidos dicarboxílicos y, en casos en los que las pieles deben almacenarse o transportarse en condiciones de wet blue, se emplean fungicidas.

Curtido con tintes vegetales: Este proceso, aunque se emplea menos que el curtido con cromo, generalmente se usa para curtir cueros para suelas, monturas y otros usos especiales. A menudo se utiliza como agente de curtido la corteza de árboles o madera que se extrae de manera acuosa y se le agrega sulfuro.

Curtido sintético: El curtido sintético (síntanos) se utiliza solo o con taninos que emplean cromo o tintes vegetales como recuercientes. Por lo general, los síntanos son productos sulfonados del fenol, cresol y naftaleno, o resinas derivadas de ácidos poliacrílicos.

Curtido alternativo: Los agentes del curtido alternativo se emplean como agentes primarios de curtido o para complementar los curtidores convencionales ya mencionados. Los agentes curtientes alternativos son las sales de aluminio, sales

de titanio, formaldehídos, sales de circonio, aceite de bacalao (para gamuza) y glutaraldehídos.

2.1.4. Aspectos e impactos ambientales de las curtiembres

2.1.4.1. Aspectos ambientales de las curtiembres

Según la Norma ISO 14001: 2015, los aspectos ambientales son elementos de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúan o pueden interactuar con el medio ambiente, ocasionando uno o varios impactos ambientales (ISO, 2015).

En el sector curtiembre existe un amplio número de estudios de la evaluación del impacto ambiental de las curtiembres, en los que han identificado como principales aspectos ambientales lo siguiente:

- Consumo de agua
- Uso de insumos químicos
- Efluentes líquidos
- Residuos sólidos
- Emisiones gaseosas
- Ruido

Esto debido a que el proceso productivo de curtido cuenta con diferentes etapas y cada una de ellas cumplen con objetivos específicos para lograr que las pieles se conviertan en cuero. En cada etapa se hace uso de materias primas (agua, reactivos químicos), uso de energía y se generan desechos.

Los desechos generados se encuentran en estado gaseoso, líquido o sólido, siendo las descargas líquidas las que implican un mayor grado de significancia, pues el proceso se realiza principalmente en medio acuoso y los efluentes generados durante el proceso de curtiembre convencional (curtido al cromo) contienen elevadas concentraciones de agentes químicos tóxicos como cromo y sulfuro, así como elevada carga orgánica, sólidos suspendidos y gases. Por otro lado, gran parte de los residuos sólidos generados en el proceso de curtido convencional contienen cromo, por lo que recomiendan que su gestión debe ser muy controlada (Eppers et al., 2020; Mendez, Vidal, Lorber, & Márquez, 2007).

Cabe precisar que, en su mayoría, los estudios de caracterización de los aspectos e impactos ambientales de las curtiembres investigados corresponden a procesos de curtido de pieles de vacuno, sin embargo, se carecen de estudios de caracterización ambiental para el proceso de curtido de pieles de pescado.

2.1.4.2. Impactos ambientales de las curtiembres

Según la Norma ISO 14001: 2015, los impactos ambientales son los cambios en el medio ambiente, ya sean adversos o beneficiosos, que son el resultado total o parcial de los aspectos ambientales.

En la industria de curtiembre acorde a los aspectos ambientales presentados han identificado los siguientes impactos:

Contaminación del agua

Este es el mayor problema ambiental causado por la industria de curtiembre, debido a los efluentes vertidos en el proceso de curtido, se ha estimado que se utilizan 452 kg de sustancias químicas en el proceso de curtido de una tonelada de piel, de las cuales sólo 72 kg de se fijan en el cuero; entretanto 380 kg van a los efluentes, que representan el 85% de las sustancias químicas utilizadas (Buljan, Reich, & Ludvik, 2000).

Además, según el estudio denominado “Medidas y tratamientos preventivos aplicables a la industria del cuero para reducir el consumo de insumos químicos y la carga de contaminantes de sus efluentes”, los parámetros de calidad de agua afectados por los efluentes de curtiembre son los siguientes (Quisca, 2002):

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), son los parámetros que permiten estimar la concentración de materia orgánica del efluente. Concentraciones elevadas de DBO y DQO en los ríos pueden dañarlos por provocar la eliminación del oxígeno disponible en estos.

- pH, es un parámetro fundamental que señala el grado de acidez o alcalinidad del efluente. Comúnmente los efluentes de las curtiembres tienen fluctuaciones de pH de 2.5 a 12.0. Los cambios de pH afectan ampliamente la vida acuática.

- Sulfuro, puede provocar generación de gas sulfuro de hidrógeno, el que en pequeña concentración ocasiona olor desagradable y en elevada concentración es muy dañino para la salud.

- Nitrógeno- Kjeldahl, en elevadas concentraciones puede ocasionar el crecimiento veloz y excesivo de plantas acuáticas.
- Cromo (VI), metal pesado, altamente tóxico y mutagénico, que en altas concentraciones provoca problemas a la salud.
- Color, procedente de los taninos y tintes, afecta la fotosíntesis de las plantas acuáticas y puede ocasionar su muerte.
- Sólidos sedimentables, provocan la formación de bancos de lodos que a su vez emanan olores desagradables.

Contaminación producida por mala disposición de los residuos sólidos:

Se genera una afectación de la calidad de los suelos, olores fétidos producto de la descomposición de la materia orgánica y congestión en el flujo de las redes de alcantarillado debido a un inadecuado manejo de los residuos sólidos (Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), 2006; Martínez & Romero, 2018).

Contaminación del aire:

La contaminación del aire no es muy relevante, sin embargo se ha estimado que usualmente por cada tonelada de piel curtida se emiten 40 kg de solventes a la atmósfera (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CTPS), 2003).

A continuación, se presenta un esquema resumido de los impactos ambientales identificados en cada etapa del proceso de curtido en pieles de vacuno de la Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial: curtiembre (Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 1999).

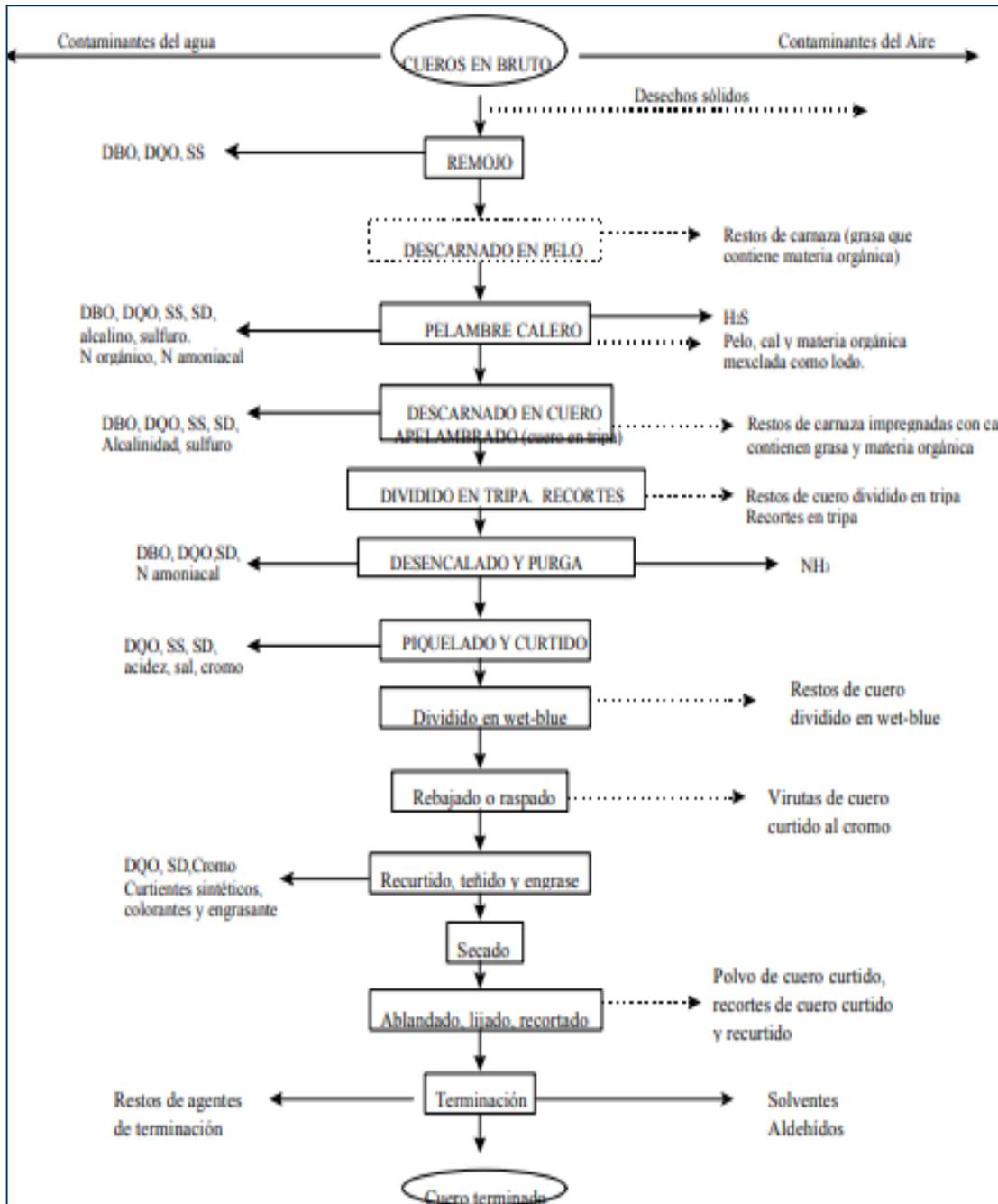


Figura 1. Esquema del impacto ambiental del proceso de curtido según CONAMA, 1999.¹

¹ El esquema presentado es de referencia a pesar de su antigüedad y muestra detalladamente los aspectos e impactos ambientales del proceso de curtido.

2.1.5. El cromo en la industria de curtiembre

El sulfato básico de cromo es el principal agente curtiente empleado en la industria de curtiembre, se utiliza en aproximadamente el 90 % de la producción global de cueros (Fei & Liu, 2016), ya que le confieren al cuero propiedades físico-mecánicas muy deseables como: una excelente estabilidad hidrotérmica, mejor teñido y suavidad (Kanagaraj et al., 2008). Sin embargo, se ha demostrado que los efluentes y residuos sólidos provenientes del curtido al cromo, pueden presentar características de toxicidad para el hombre y para el medio ambiente. Pues en el curtido de pieles con sulfato básico de cromo suele implicar la liberación de cromo trivalente Cr (III), que en determinadas condiciones como presencia de agentes oxidantes (oxígeno disuelto y dióxido de manganeso) y fluctuaciones de pH, puede transformarse fácilmente en cromo hexavalente Cr (VI), forma tóxica del cromo (Apte, Tare, & Bose, 2006; Kotás & Stasicka, 2000; Zasoski & Fendorf, 1992). Esto debido a las características de la especie Cr (VI), como una mayor movilidad y biodisponibilidad que el Cr (III), que le confieren un mayor efecto de toxicidad (Doménech Antúnez, 2014). Además de ser considerado un elemento cancerígeno, cuya exposición está vinculada a numerosos problemas de salud en los seres humanos, tales como reacciones alérgicas en la piel, problemas gastrointestinales y respiratorios, y daños en el sistema reproductor masculino (Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), 1990; Grupo AFIRM, 2018).

Por ello en la industria de curtiembre se toman medidas para prevenir la formación de Cr (VI) y se buscan alternativas más seguras, por medio de técnicas que proponen la minimización de la entrada de cromo ; tecnologías de bronceado que utilizan otros productos químicos para mejorar la absorción de cromo, y las tecnologías alternativas que fomentan la sustitución del cromo en el proceso de curtición mediante la aplicación de curtientes alternativos como compuestos fenólicos, sales de aluminio, fosfonio, oxazolidina y/o compuestos de fosfonio (Bacardit et al., 2014; China et al., 2020; Fathima et al., 2006; Roig et al., 2011).

2.1.6. Técnicas de curtido libres de cromo

Para mitigar la contaminación por cromo de las curtiembres, se utiliza cada vez más técnicas de curtido libres de cromo y al cuero obtenido se le denomina blanco

húmedo en inglés Wet white. Los cueros blancos húmedos consisten principalmente en productos a base de aldehído, oxazolidina y / o compuestos de fosfonio (Taylor et al, 2011). También se consideran en las técnicas libres de cromo, la curtición con sales de aluminio, titanio o circonio (Ollé et al, 2011).

2.1.7. Especies de pescado de la Región Ucayali con potencial para la producción de cuero

- *Arapaima gigas* “Paiche”

El paiche es considerada la especie que sustenta el desarrollo de la acuicultura de exportación en la Amazonía peruana, debido a sus notables características zootécnicas como la calidad y rendimiento de carne, su rápido crecimiento que permite conseguir ejemplares entre 8 a 12 kilos por año en su fase de pre-cría, su rusticidad al manipuleo y adaptabilidad a bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, permite obtener filete sin presencia de espinas, sus escamas pueden utilizarse para la producción de artesanías y su piel en la producción de cueros. Además actualmente se promueve una acuicultura responsable y sustentable, y está prohibida su pesca ya que se encuentra en la lista CITES (Chu-Koo et al., 2017).

La piel del paiche supone el 10% a 18% del peso del animal, presenta ventajas con respecto al bovino en el proceso de curtido, pues sustenta más tensión ya que sus fibras son entrelazadas, mientras que la piel vacuna están acomodadas en paralelo (Barrenechea, 2019).

- *Pseudoplatystoma sp.* “Doncella”

La doncella es un pez de hábitos piscívoros que se reproduce en el período de meses de noviembre y marzo en la región amazónica peruana. Es considerada como una especie de triple propósito para carne y uso de las pieles para la elaboración de cuero, cuando es adulto y como ornamental, en la fase de alevines, por la belleza y formas de sus pintas negras. Por ella el pez “doncella” ocupa un lugar sobresaliente en el mercado regional e internacional (Navarro, 2015).

2.1.8. Proceso de las técnicas de curtido en pieles de pescados amazónicos

En el Manual de curtido de pieles de paiche y doncella conservando su patrón y color natural se detalla el proceso de curtido que permite transformar la piel de paiche y doncella a cueros, por medio de agentes curtientes (glutaraldehído y compuestos fenólicos) (Segundo, Marrufo, & Contreras, 2019).

El proceso de la obtención del cuero (pieles acabadas de paiche y doncella), se esquematiza en 3 etapas (obtención de pieles de paiche y doncella curtidas, obtención de pieles de paiche y doncella Crust, obtención de pieles de paiche y doncella acabadas). Cabe precisar que las pieles se encontraban conservadas mediante el salado que es un procedimiento previo a las operaciones del proceso de curtido.

1° Etapa: Obtención de pieles curtidas

Abarca el acondicionamiento y el curtido de la piel, el acondicionamiento se realiza para que el agente curtiente actúe sobre la piel y está basado en operaciones como el descarnado, remojo, desengrase y piquelado o acidificado. El curtido por su parte consiste en la fijación de curtientes al colágeno que forma la piel para detener su degradación y conferir propiedades de estabilidad frente al calor y la humedad. En la figura 2 se detalla un esquema de las operaciones que se realizan para la obtención de pieles curtidas.



Figura 2. Operaciones de la obtención de pieles de doncella y paiche curtidas de acuerdo a Segundo, 2019.

2° Etapa: Obtención de pieles Crust

Se realiza con el fin de obtener las propiedades finales del cuero a través de operaciones adicionales como el neutralizado, teñido y engrase. En el manual la técnica precisada tuvo como objetivo mantener el color y patrón natural por lo que aplicaron sólo las operaciones de neutralizado y engrase que se caracterizan por ser operaciones húmedas. Luego se adicionan operaciones de pre-acabado (alisado, secado y lijado) para proveer al cuero propiedades de suavidad y elasticidad. En la figura 3 se detalla un esquema de las operaciones que se realizan para la obtención de pieles Crust.



Figura 3. Operaciones de la obtención de pieles de doncella y paiche Crust de acuerdo a Segundo, 2019.

3° Etapa: Obtención de pieles acabadas

El acabado es la última etapa del proceso de curtición, en el que se resaltan las propiedades físicas del cuero curtido como la mejora de su color, brillo, tacto y lo protección de los elementos externos como la humedad. A través de la aplicación de mix ligante y cera.

En la figura se muestra la operación de la etapa de obtención de piel acabada.

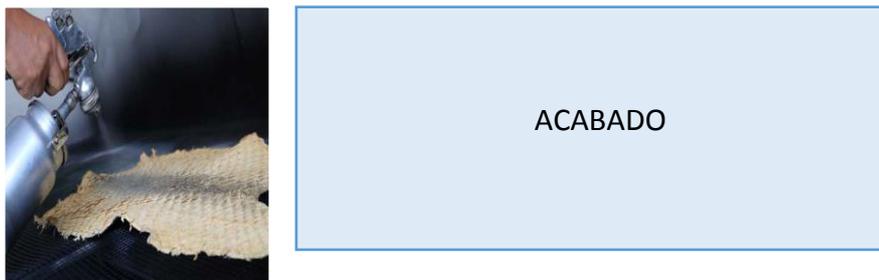


Figura 4. Operación de la obtención de pieles de doncella y paiche acabado de acuerdo a Segundo, 2019.

2.1.9 Desempeño ambiental

El desempeño ambiental es el resultado medible de la gestión que hace una organización de sus aspectos ambientales, siendo así un concepto procedente de la gestión ambiental y de gran importancia pues se comparan con la política, los objetivos y las metas ambientales de cada organización (ISO, 2015).

La información del desempeño ambiental se expresa en función de indicadores, según la ISO 14031:2013 los indicadores desempeño ambiental incluye los indicadores de gestión, los indicadores de desempeño operacional y los indicadores de condición ambiental (ISO, 2013).

- Los indicadores de desempeño operacional miden la eficiencia y el desempeño ambiental de las operaciones o procesos dentro de la organización.
- Los indicadores de gestión: miden los esfuerzos de la gerencia para influenciar el desempeño ambiental de la organización.
- Los indicadores de condición ambiental brindan información acerca de las condiciones del ambiente en el ámbito local, regional o global.

2.1.10. Indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido

Para el caso de las curtiembres según el Sistema de referenciación ambiental del sector curtiembre en Colombia (SIRAC), los indicadores de desempeño operacional denominados concretamente indicadores ambientales son los más empleados, pues brindan los valores de referencia necesarios para evaluar la situación actual y los impactos de las medidas implementadas para mejorar el

desempeño ambiental de la curtiembre (Aragón & Alzate, 2004; Eppers et al., 2020).

Los indicadores que consideran en el SIRAC corresponden a las operaciones del proceso de curtido, se detallan en una tabla denominada Indicadores Benchmarking curtiembres y se presenta a continuación.

Tabla 1: Indicadores benchmarking curtiembres

	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	LÍNEA BASE	BENCHMARK COLOMBIA	BENCHMARK INTERNACIONAL
1	Consumo de agua por piel inicial procesada	m ³ /1000 kg	17.56	6.25	8.25 N.Zelanda
1.1	Preremoyo y remojo	m ³ /1000 kg	3.6	2	2.0*
1.2	Pelambre y encalado	m ³ /1000 kg	1.89	1.39	3.0(Unión Europea)
1.3	Desencalado y rendido	m ³ /1000 kg	2.42	0.79	2.50**
1.4	Piquelado y curtición	m ³ /1000 kg	1.08	0.48	0.1(Unión Europea)
2	Cantidad total de químicos utilizados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	164.46	154.66	239.63 India
2.1	Preremoyo y remojo	kg/1000 kg	4.16	1.59	3
2.2	Pelambre y encalado	kg/1000 kg	52.28	36.06	80
2.3	Desencalado y rendido	kg/1000 kg	15.65	12.12	46.5
2.4	Piquelado y curtición	kg/1000 kg	95.29	60.72	110.2
3	Absorción de cromo por piel inicial procesada	%	4.11	5.3	4.4
4	Consumo de energía por piel inicial procesada	kWh/kg de piel inicial procesada	0.25	0.16	0.12 N. Zelanda

5	Consumo de combustible por piel inicial procesada	kWh/kg piel	1.04	0.27	1.08 Sur África
6	Subproductos generados por piel inicial procesada	kg/kg	0.42	0.51	0.9 Austria
7	Parámetros del agua residual de las curtiembres				
7.1	Sólidos suspendidos (SS)	mg/L	5459.11	2124.11	3000(Unión Europea)
		kg/1000 piel	165.75	86.8	10*
7.2	DBO	mg/L	3546.72	1369.33	800****
		kg/1000 piel	234.82	60.06	7(Unión Europea)
7.3	DQO	mg/L	9310.04	4900.57	2000***
		kg/1000 piel	624.48	227.04	23*
7.4	Cromo (Cr)	mg/L	667.71	26.2	10***
		kg/1000 kg	18.46	0.78	0.15(Unión Europea)
8	Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada	kg/kg	0.09	0.02	0.44 Noruega

Fuente: Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales de Colombia, 2004.

2.2. Marco legal

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, establece el derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado, así como el deber de cooperar en una gestión ambiental eficaz y protección del ambiente, cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de la población y el desarrollo sostenible del país.

Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, regula el Sistema Nacional de Gestión Ambiental, el cual tiene como finalidad orientar, integrar, coordinar, supervisar, evaluar y garantizar la aplicación de las políticas, planes, programas y acciones destinados a la protección del ambiente y contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Decreto supremo N° 008-2005-PCM, Reglamento de la Ley N° 28245. En el Artículo 84°.- Fomento de la Investigación ambiental científica y tecnológica, precisa que corresponde a los poderes del Estado, a las universidades y a los organismos competentes de ciencia y tecnología, dar preferencia de recursos para la realización de estudios científicos y tecnológicos en materia ambiental y el desarrollo de tecnologías limpias, principalmente bajo el principio de prevención de la contaminación.

Decreto supremo N° 017-2015-PRODUCE, Reglamento de Gestión Ambiental para la Industria Manufacturera y Comercio Interno. En el Artículo 5.- Lineamientos para la Gestión ambiental, detalla como uno de sus lineamientos, lo siguiente: Promover la adopción de procesos productivos y de actividades que utilicen tecnologías e insumos limpios, incorporando el reaprovechamiento de residuos y/o el desarrollo de procesos de reconversión de las industrias contaminantes, entre otras prácticas necesarias para lograr una producción limpia.

Decreto supremo N° 003-2002-PRODUCE, Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel. En el Anexo 1, detallan los Límites Máximos Permisibles y en el Anexo 2, los Valores Referenciales para curtiembres.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

Esta investigación sigue un diseño no experimental transversal, en el que se evaluó el desempeño ambiental de 2 técnicas de curtido libres de cromo en pieles de paiche, la técnica de curtido con sales de aluminio y la otra con compuestos fenólicos, que se compararon respecto a la técnica de curtido con sales de cromo (técnica tradicional que emplea sulfato básico de cromo).

Tipo de estudio:

Es un estudio de tipo aplicado porque se genera una solución a la problemática de la contaminación por cromo de las curtiembres. Pues permite determinar la técnica de curtido libre de cromo en pieles de paiche que presente un mejor desempeño ambiental y así mismo brinde cueros de calidad, para su transferencia a escala de producción. Promoviendo así la aplicación de tecnologías limpias en el sector curtiembre.

Nivel de investigación:

Con nivel de investigación descriptivo, de enfoque cuantitativo.

Población de estudio:

Técnicas de curtido en pieles de "Paiche".

Muestra de estudio:

Las técnicas de curtido que fueron desarrolladas en la Planta Piloto de curtiembre del CITEccal- Lima, en el marco del proyecto "Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali". Las pieles de paiche (descamadas, saladas y conservadas) que se curtieron fueron proporcionadas por empresas acuícolas de la Región Ucayali.

El tipo de muestra es no probabilística y corresponde a una estimación puntual de indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido en estudio.

El desempeño ambiental de las técnicas de curtido se evaluó en función de los indicadores de desempeño ambiental tales como consumo de agua, cantidad total de químicos utilizados, consumo de energía, cantidad de residuos sólidos

generados por piel inicial procesada y parámetros del agua residual del curtido. Estos indicadores son las variables de estudio de la presente investigación no experimental, que se detallan en la tabla 2 con su respectiva definición operacional.

Tabla 2: Variables de estudio

Dimensiones	Variables	Definición operacional	Unidad de Medida
Indicadores obtenidos del análisis de flujo de procesos	Consumo de agua por piel inicial procesada	Se calcula el volumen total de agua utilizada en el procesamiento de las pieles por kilogramo.	m ³ /1000 kg
	Cantidad total de químicos utilizado por piel inicial procesada	Se calcula la cantidad de insumos químicos utilizados en el procesamiento de pieles por kilogramo.	kg/ 1000 kg
	Consumo de energía por piel inicial procesada	Se calcula el consumo de energía por kilogramo de piel inicial procesada, se tendrá en cuenta tanto la energía eléctrica consumida, como la energía térmica generada por consumo de combustibles.	kWh/1000 kg
	Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada	Se calcula y se expresa en: peso de residuos sólidos dispuestos por kilogramo de piel inicial procesada en 1 proceso.	kg/1000 kg
Indicadores obtenidos de la caracterización de las aguas residuales	Parámetros del agua residual de las curtiembres	Se registra los resultados de la caracterización fisicoquímica de los efluentes de curtiembre: pH, DBO, DQO, aceites y grasas, concentración de cromo.	mg/L

Fuente: Elaboración propia en base al SIRAC y la ISO 14001-2015.

3.2. Metodología

3.2.1. Análisis del flujo de materia

A. Etapa de preparación:

Para el análisis del flujo de materia se identificó las operaciones de proceso de las técnicas de curtido en estudio y se estableció el diagrama de flujo del proceso. Las operaciones identificadas de cada técnica de curtido en este estudio fueron el remojo, desengrase, piquelado, curtido y engrase. Cabe precisar que se tomó desde la operación de remojo ya que en la planta piloto de CITEccal se almacenaron pieles previamente acondicionadas con sal y descamadas.

Se determinó la información que se requiere para elaborar el análisis de flujo de procesos tales como medidas de las entradas al proceso (registro del uso del agua, registro de insumos químicos, peso de las pieles) y medida de las salidas del proceso (volúmenes de aguas residuales e inventario de residuos sólidos) mediante formatos que se detallan en el anexo 1 (Formato de registro del proceso de curtido desarrollado por CITEccal-Lima).

Cabe precisar que el alcance del análisis de flujo de materia de la presente investigación son las entradas y salidas del proceso de obtención de cuero crust de pieles de paiche, que permitieron calcular el valor de los indicadores de desempeño ambiental establecidos como variables de estudio.

B. Etapa de recolección de datos:

En los procesos de cada técnica de curtido se registraron los siguientes datos:

- Medidas de las entradas al proceso: Masa de pieles de pescado saladas en kilogramos, Masa de insumos químicos en gramos por kilogramo de piel procesada, energía (registro de la potencia de los equipos en kilovatios y los tiempos empleados en horas).
- Registro del consumo del agua: Volumen del consumo de agua por operaciones de los procesos de cada técnica de curtido en litros por kilogramo de piel procesada.
- Medida de las salidas del proceso: Masa de residuos sólidos en los procesos en kilogramos.

- Medida de emisiones de aguas residuales: Volumen de efluentes de agua por operaciones de los procesos de cada técnica de curtido en m³.
- Inventario de residuos sólidos: Descripción de los residuos sólidos observados y pesados.

En la siguiente figura se presenta imágenes del registro de información que se realizó para cada técnica de curtido estudiada. En el registro de volúmenes de efluentes se empleó baldes de 20 L y jarras de 1.5 L; en el registro de masa de pieles procesadas, masa de pieles acabadas y masa de residuos se empleó una balanza analítica de 150 kg y precisión de 20 g.



Figura 5. Registro de información para el análisis de flujo de las técnicas de curtido.

C. Etapa de análisis de información:

Con la información de los registros de entradas (E) y salidas (S) de cada operación se realizó el balance global del flujo de materia. E: masa de piel, volumen de agua, masa de productos químicos, consumo de energía; S: masa de cuero producido, volumen de efluente, masa de residuos. Los valores se detallaron en un esquema, como el presentado en la figura 6.

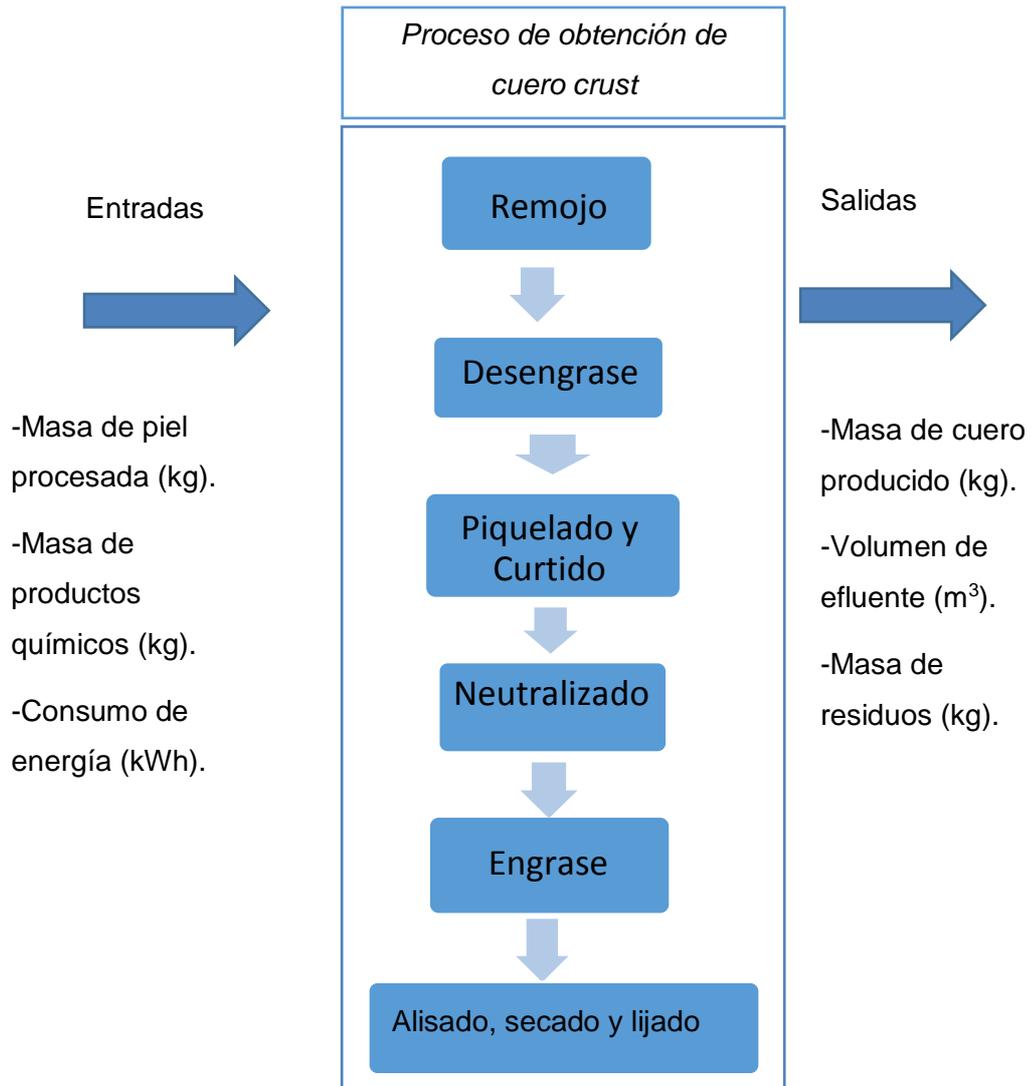


Figura 6. Esquema de entradas y salidas de las operaciones de las técnicas de curtido hasta cuero Crust.

Cabe precisar que para la determinación del consumo de energía se realizó el cálculo de la ecuación 1, para determinar el consumo de energía por la utilización de motores eléctricos de los botaes y la terma eléctrica en el proceso de las técnicas de curtido.

$$\text{Energía}(kWh) = \text{Potencia del equipo}(kW) \times \text{Tiempo}(h) \quad (1)$$

La potencia de los equipos:

La potencia de los motores eléctricos de los botaes fue de 1.49 kW.

La potencia de la terma eléctrica fue de 1.20 kW.

3.2.2. Caracterización de los efluentes

A. Etapa de preparación:

Se estableció el monitoreo de efluentes del proyecto, caracterizándose los parámetros fisicoquímicos de la operación de curtido de cada técnica, esto debido a que fue la operación que varió significativamente el proceso de curtido, pues se aplicaron diferentes agentes de curtición con una proporción de concentración específica en cada técnica de estudio.

Monitoreo de los efluentes de curtido:

Se elaboró el plan de monitoreo de efluentes del baño generado en la operación piquelado y curtido para cada una de las técnicas de curtido estudiadas. Los parámetros que se evaluaron se detallan a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3: Parámetros evaluados de los efluentes del curtido

Efluente de curtido según tipo de agente curtiente	Parámetros evaluados
Agente curtiente sales de aluminio	pH DBO ₅ (mg/L)
Agente curtiente compuestos fenólicos	DQO (mg/L) Aceites y grasas (mg/L) Fenoles (mg/L)
Agente curtiente sales de cromo	Aluminio (mg/L) Cromo (mg/L) Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)

Fuente: Elaboración propia.

Monitoreo de los efluentes de la operación de desengrase:

Posteriormente a la etapa de curtido se presentó una persistencia de olor característica a pescado y cambio de color de la piel terminada, esto debido posiblemente al afloramiento de grasas, y siendo el objetivo de las técnicas de curtición mantener el color y patrón de las pieles y a su vez generar cueros que

cumplan con los estándares de calidad, se optimizó el desengrase de la técnica que utilizó como agente curtiente compuestos fenólicos ya que fue la técnica que permitió conservar el color y patrón natural de las pieles en mayor medida.

En la optimización de la operación de desengrase se analizó los parámetros de Aceites y grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los efluentes según se detallan en la tabla 4. Esto con el objetivo de evaluar cómo los cambios adoptados en el proceso influyó en la calidad del efluente.

Tabla 4: Parámetros evaluados de los efluentes del desengrase

Tipo de desengrasante	Parámetros evaluados
1° Desengrase: Con 3% de FU-100 y 5% de hidrocarburos.	DBO ₅ (mg/L) DQO (mg/L)
2° Desengrase optimizado: Con 8% hidrocarburos, 18% FU-100, 1,2 % enzimas, 3% UD 800, 2.3% HE Desengrase post piquelado: 6% FU-100, 0.4 % enzimas, 0.2% UD- 800, 0.4 % HE	Aceites y grasas (mg/L)

Fuente: Elaboración propia.

Monitoreo de efluentes de la técnica de curtido optimizada:

Se programó la toma de muestra de efluentes de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada, las cuales fueron una muestra de efluente del baño de piquelado y curtido, y una muestra compuesta de los efluentes de las operaciones de todo el proceso. Los parámetros evaluados de las muestras se detallan en la Tabla 5.

Monitoreo del efluente tratado de la técnica de curtido optimizada:

Se programó la toma de muestra del efluente tratado por el sistema de tratamiento propuesto. Los parámetros evaluados de la muestras también se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5: Parámetros evaluados de las muestras de efluente de la técnica de curtido optimizada y la muestra del efluente tratado por el sistema propuesto

Muestra de efluentes	Parámetros evaluados
Efluente del baño de piquelado y curtido	pH DBO ₅ (mg/L) DQO (mg/L)
Efluente de todo el proceso	Aceites y grasas (mg/L) Fenoles (mg/L)
Efluente tratado por el sistema propuesto	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L) Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40) * Se exceptuó su análisis al efluente del baño de piquelado y curtido.

Fuente: Elaboración propia.

B. Etapa de recolección de datos:

La toma de muestra de los efluentes se realizó según los criterios de los métodos estándares para Análisis de Agua y Aguas Residuales de la AWWA (American Water Works Association). Los requerimientos para la toma de muestras y su preservación se realizaron acorde a lo detallado en la tabla 6. Los ensayos analíticos de los efluentes muestreados se realizaron en SGS del Perú SAC, laboratorio acreditado por INACAL.

Tabla 6: Requerimientos para la toma y preservación de las muestras

Parámetro	Tipo de envase	Tamaño mínimo de la muestra	Preservación
Aceites y grasas (mg/L)	Frasco vidrio ámbar de 500 mL boca ancha.	500 mL	Aplicar aprox. 2.5 mL de H ₂ SO ₄ (1:1) hasta un pH < 2

DBO ₅ (mg/L)	Frasco PVC 1L boca ancha	1000 mL	Llenar el frasco sin dejar burbujas de aire. Almacenar de 0°C a 6°C.
DQO (mg/L)	Frasco PVC 100mL boca ancha	100 mL	Adicionar H ₂ SO ₄ hasta un pH=2 (Añadir 0.5 mL o 10 gotas H ₂ SO ₄ 1:1) Almacenar de 0°C a 6°C.
pH	Frasco PVC 100mL boca ancha	100 mL	Analizar inmediatamente
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	Frasco PVC 100mL boca ancha	1000mL	Almacenar de 0°C a 6°C.
Fenoles (mg/L)	Frasco vidrio ámbar de 120 mL boca ancha	120 mL	Añadir 2 mL de H ₂ SO ₄ 1:1, C Almacenar de 0°C a 6°C
Metales traza (mg/L)	Frasco PVC 100mL boca ancha	100 mL	Adicionar HNO ₃ 1:1 hasta un pH < 2 (Añadir 0.3 mL o 6 gotas de HNO ₃ 1:1)

Fuente: SGS del Perú SAC.

Los métodos de ensayo de los parámetros evaluados se citan en la siguiente tabla.

Tabla 7: Métodos de ensayo de los parámetros

Parámetro a evaluar	Método de ensayo
Aceites y grasas (mg/L)	ASTM D3921-96 (Reapproved 2011)
DBO ₅ (mg/L)	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed
DQO (mg/L)	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220-D, 23 rd Ed
pH	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+.b, 22 nd Ed
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	SWEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23 rd Ed
Fenoles (mg/L)	EPA Method 420.2:1974. Phenolics-Colorimetric
Metales traza (mg/L)	EPA Method 200.8, Rev 5.4.:1994

Fuente: SGS del Perú SAC.

En la figura 7 se presentan imágenes de las muestras del monitoreo de los efluentes de curtido.

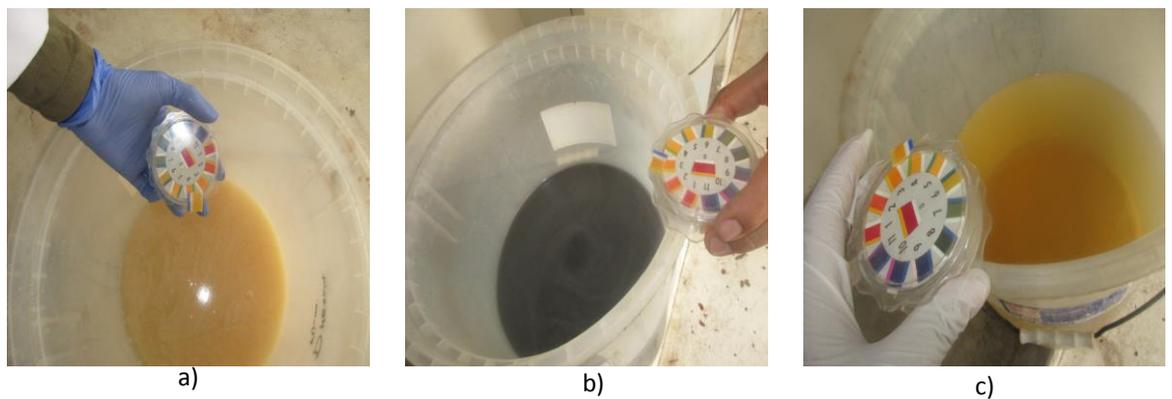


Figura 7. Efluentes del baño de piquelado y curtido de las técnicas estudiadas. a) Curtido con compuestos fenólicos. b) Curtido con sales de cromo. c) Curtido con sales de aluminio

En la figura 8 se presenta imágenes de la ejecución de la toma y preservación de las muestras de efluentes.



Figura 8. Toma y preservación de las muestras de efluentes estudiados.

a) Rotulación de los envases para las muestras. b) Muestras de efluentes tomadas.

c) Preservación de las muestras tomadas.

C. Etapa de análisis de la información:

Finalmente se realizó el análisis de los valores de los ensayos de los parámetros fisicoquímicos de los efluentes estudiados, mediante una comparación entre ellos y sus posibles causas de carga contaminante, además se compararon los valores registrados con los límites máximos permisibles para curtiembres (PRODUCE, 2002). Ver Tabla 8.

Tabla 8: Límites máximos permisibles de efluentes para curtiembres

Parámetros	LMP de efluentes para alcantarillado	LMP de efluentes para aguas superficiales
pH	6.0-9.0	5.0-8.5
Temperatura (°C)	35	35
Aceites y grasas (mg/L)	50	20
DBO ₅ (mg/L)	500	30
DQO (mg/L)	1500	50
Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	500	30
Sulfuro (mg/L)	3	0.5
Cromo VI (mg/L)	0.4	0.2
Cromo Total (mg/L)	2	0.5
Coliformes Fecales NMP/100mL	30	1000
N-NH ₄ (mg/L)	-	10

Fuente: Decreto supremo N° 003-2002-PRODUCE.

3.2.3. Análisis y comparación de los indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido

Se realizó el análisis y comparación de cada indicador de desempeño ambiental obtenido de las técnicas de curtido por medio de cuadros comparativos y gráfico de barras que permitieron obtener información parcial del desempeño ambiental y los aspectos críticos de cada técnica.

3.2.4. Metodología de la determinación de la técnica de curtido con mejor desempeño ambiental

Se realizó un análisis integrado de los indicadores de desempeño ambiental aplicando “Grey Clustering”, específicamente se utilizó el método de agrupamiento gris basado en funciones de peso de blanqueamiento triangular de punto central (CTWF). El método de agrupamiento gris basado en CTWF se desarrolla en base a la siguiente definición: Suponga que hay un conjunto de m objetos de observación, un conjunto de n criterios y un conjunto de s clases de grises diferentes, según el valor de muestra X_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, N$) del objeto i -ésimo ($i = 1, 2, \dots, m$), para el criterio j ($j = 1, 2, \dots, n$). Los pasos para la agrupación gris basada en CTWF se pueden expresar de la siguiente manera (Delgado & Romero, 2016; Liu & Lin, 2010; Rathnayaka, Seneviratna, & Jianguo, 2015).

1. Establecer los criterios de evaluación y los estándares de evaluación de las clases.
2. Elaborar las funciones de Whitenización.

Las funciones se construyeron en base a los estándares de evaluación de sus valores adimensionales, a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Valor adimensional} = \frac{\text{Valor real}}{\text{Valor promedio de los estándares de evaluación}} \quad (2)$$

Las funciones se calcularon aplicando las siguientes reglas de correspondencia aplicadas (Zhou & Xu, 2006), donde los x a evaluar son los datos adimensionados de los indicadores de las técnicas de curtido y los λ son los valores adimensionados.

$$f_j^1 = \begin{cases} 1, & x \in [0, \lambda_j^1] \\ \frac{\lambda_j^2 - x}{\lambda_j^2 - \lambda_j^1}, & x \in \langle \lambda_j^1, \lambda_j^2 \rangle \\ 0, & x \in [\lambda_j^2, \infty) \end{cases} \quad (3)$$

$$f_j^k = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^{k-1}}{\lambda_j^k - \lambda_j^{k-1}}, & x \in \langle \lambda_j^{k-1}, \lambda_j^k \rangle \\ \frac{\lambda_j^{k-1} - x}{\lambda_j^{k*1} - \lambda_j^k}, & x \in \langle \lambda_j^k, \lambda_j^{k*1} \rangle \\ 0, & x \in [0, \lambda_j^{k-1}] \cup [\lambda_j^{k*1}, \infty) \end{cases} \quad (4)$$

$$f_j^3 = \begin{cases} \frac{x - \lambda_j^2}{\lambda_j^3 - \lambda_j^2}, & x \in \langle \lambda_j^2, \lambda_j^3 \rangle \\ 1, & x \in \langle \lambda_j^3, \infty \rangle \\ 0, & x \in [0, \lambda_j^2] \end{cases} \quad (5)$$

3. Establecer el peso de los criterios n_j^k

Los pesos fueron hallados sacando el promedio de las inversas de los valores de los índices. Tal como la fórmula de las ecuaciones.

$$n_j^k = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m \lambda_j^k} \quad (6)$$

$$n_j^k = \frac{1/\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m 1/\lambda_j^k} \quad (7)$$

4. Calcular el coeficiente de clusterización σ_i^k

El coeficiente de clusterización se calculó mediante multiplicando los valores de las funciones por los pesos, reflejo el grado de incidencia de la clasificación de la agrupación en la clasificación de grey.

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \cdot n_j^k \quad (8)$$

5. Determinación y evaluación del vector clusterización.

Finalmente se eligieron los mayores valores obtenidos de los coeficientes y se analizó a que clases de evaluación estándar correspondieron.

$$\sigma_i^{k'} = \max_{1 \leq k \leq s} \{\sigma_i^k\} \quad (9)$$

3.2.5. Análisis de propuesta de medidas de mejora ambiental y sistema de tratamiento para los efluentes de la técnica de curtido optimizada.

En base a los resultados obtenidos se revisó investigaciones del sector curtiembre y se propuso una lista de aportes de medidas de gestión ambiental que permiten incrementar el desempeño ambiental de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada, las medidas se precisan en el ítem 5.7 del presente estudio.

Luego se evaluó la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto por CITEccal-Lima para los efluentes de curtiembre generado en la aplicación de la técnica de curtido optimizada, mediante la comparación de la calidad de los efluentes tratados respecto a los Límites Máximos Permisibles para curtiembres.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la técnica de curtido con sales de cromo

4.1.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con sales de cromo

Los valores del análisis de entradas y salidas de la técnica de curtido con sales de cromo se muestran en el diagrama de la figura 9, cabe precisar que la **concentración del agente curtiente fue de 7% de sales de cromo** respecto a la masa de piel procesada. Este análisis de flujo de materia se realizó hasta la obtención del cuero Crust, donde se ejecutan las operaciones húmedas y operaciones de preacabado (alisado, secado y lijado), estas últimas no se detallan en el diagrama, pues fueron operaciones manuales que en las entradas no requirieron insumos y en la salida se generó una insignificante cantidad de residuos de lijado. Así mismo los valores determinados en cada etapa de las operaciones se detallan en el Anexo 2.

Se obtuvo que para procesar 16.50 kg de piel de paiche se consumió un volumen de agua total de 445.50 L, se utilizó 7.05 kg de reactivos químicos, se realizó un consumo energético de 23.70 kWh, se generó efluentes en un volumen de 423.23 litros, ya que aproximadamente en evaporación y pérdidas de agua se estimó un volumen de 22.28 litros, que en porcentaje es un 5% del agua de consumo según estudios de caracterización de curtiembres (Pezo, 2004) . También se generó 1.80 kg de residuos sólidos en la operación de descarnado y se obtuvo cuero crust con una masa de 6.19 kg. Estos valores corresponden al porcentaje total y su distribución de porcentajes por cada operación, se muestra también en el diagrama.

La generación de residuos sólidos fue en la etapa previa a la aplicación de las técnicas de curtido, en el acondicionamiento de pieles, específicamente en el descarnado que se realizó para extraer la grasa y restos de piel. En el diagrama de entradas y salidas se presentaron sus valores en la operación de desengrase (*) para tenerlos como referencia ya que también el descarnado contribuye a la disminución del contenido de grasas.

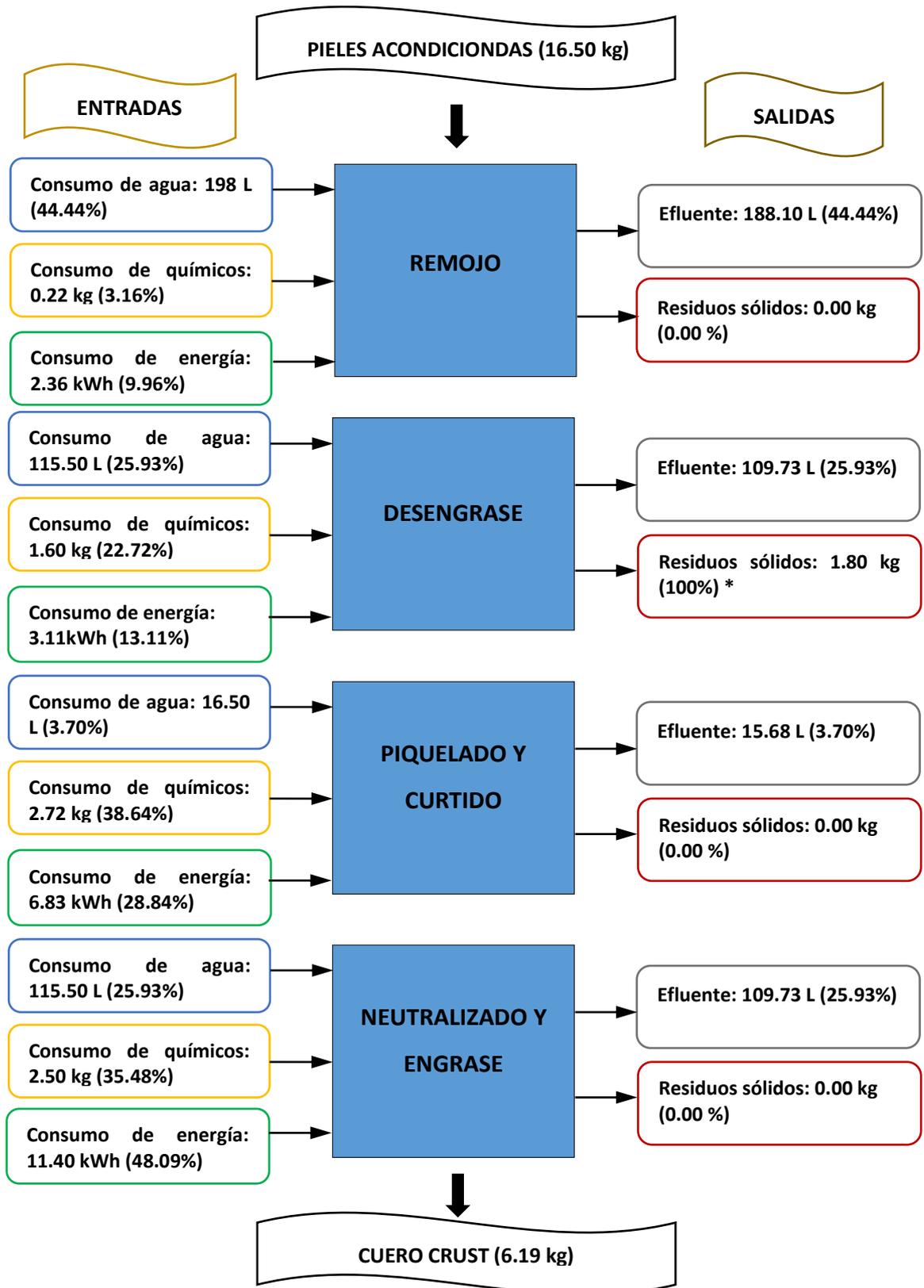


Figura 9. Entradas y salidas de la técnica de curtido con sales de cromo.

El diagrama evidencia que el mayor porcentaje de consumo de agua se realizó en la operación de remojo con un valor de 44.44%, seguido de las operaciones de desengrase y engrase, con un valor de 25.93%.

El mayor porcentaje de consumo de químicos se realizó en la operación de piquelado y curtido con un valor de 38.64%, seguido de la operación de engrase con un valor en porcentaje de 35.48 %.

En el consumo energético los 2 mayores consumos se realizaron en la operación de engrase con un valor en porcentaje de 48.09 % y en la operación de piquelado y curtido, con un valor de 28.84%, esto debido a que en estos procesos se requiere de energía para calentar el agua a temperaturas de 28°C y 35°C.

En el proceso de la técnica de curtido con sales de cromo se evidenció que las operaciones más críticas en cuanto al aspecto ambiental son:

- Engrase, porque presenta el mayor consumo energético, así como uno de los mayores consumos de químicos y agua.
- Piquelado y curtido, ya que presenta el mayor consumo de químicos y uno de los mayores valores en cuanto al consumo energético.

4.1.2. Resultados de la caracterización de efluentes de la técnica de curtido con sales de cromo

En la técnica de curtido de sales de cromo se empleó como agente curtiente sales de cromo de concentración 7% respecto a la masa de piel procesada. Los valores del análisis de los efluentes de la operación piquelado y curtido se detallan en la tabla 9 que corresponden al ensayo de los parámetros físico-químicos realizado de la muestra codificada como CCrP (ver anexo 3).

En este efluente se evidenció una carga alta de contenido de cromo con una concentración de 2888.37 mg/L y también un alto valor de la DQO de 13137.10 mg/L, que indica una contaminación por materia orgánica que puede provocar la desoxigenación de las aguas con las que entra en contacto (Mayta & Mayta, 2017).

Tabla 9: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente del baño de piquelado y curtido de la técnica de curtido con sales de cromo

Código de muestra	pH	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)	Cromo (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
CcrP	3.60	4810.00	13137.10	15.10	2888.37	2962.00

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial MA1824638 – SGS.

4.1.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con sales de cromo

Los valores se detallan en la tabla 10 y nos evidencia que para procesar 1000 kg de piel de paiche mediante la técnica de curtido con sales de cromo se consume 27.00 m³ de agua, se utiliza 427.00 kg de químicos, se consume 1184.90 kWh y se genera 109.09 kg de residuos sólidos. Y respecto a la carga contaminante de los efluentes los valores corresponden a los mismos resultados del ensayo fisicoquímico, en el que existe una concentración alta de DQO (13137.10 mg/L) y así mismo una concentración alta de cromo (2888.37 mg/L).

Tabla 10: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con sales de cromo

Dimensiones	Indicadores	Unidad	Técnica de curtido con sales de cromo
1. Análisis de flujo de proceso	Consumo de agua por piel inicial procesada	m ³ /1000 kg	27.00
	Cantidad total de químicos utilizados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	427.00

	Consumo de energía por piel inicial procesada	kWh/1000 kg	473.96
	Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	109.09
2. Parámetros de agua residual	pH	mg/L	3.60
	DBO ₅	mg/L	4810.00
	DQO	mg/L	13137.10
	Aceites y grasas	mg/L	15.10
	Cromo	mg/L	2888.37

Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de la técnica de curtido con sales de aluminio

4.2.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con sales de aluminio

Los valores del análisis de entradas y salidas se precisan en el siguiente diagrama por cada operación de la técnica de curtido con **sales de aluminio de una concentración del 20%** respecto a la masa de piel procesada. Así mismo en el Anexo 4 se detalla los valores determinados en cada etapa de las operaciones. Se obtuvo que para procesar 2.93 kg de piel de paiche se utilizó un volumen de agua total de 96.10 litros, se consumió 1.81 kg de reactivos químicos, se realizó un consumo energético de 23.51 kWh, se generó 0.30 kg de residuos sólidos y se obtuvo cuero crust (después de ponerlo a secar) con masa de 1.12 kg. La distribución de porcentajes por operación realizada de la técnica curtido con sales de aluminio se muestra también en el diagrama.

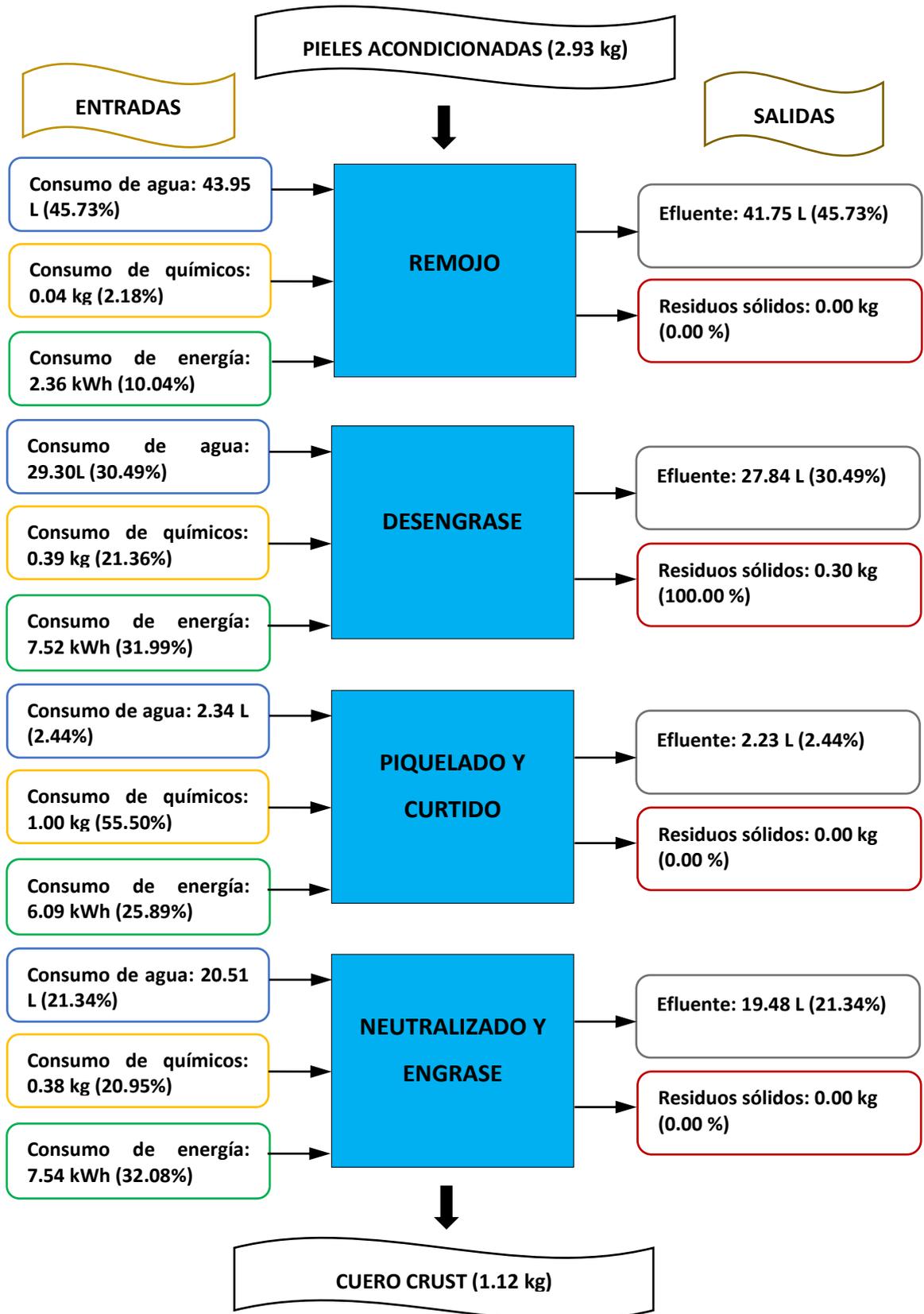


Figura 10. Entradas y salidas de la técnica de curtido con sales de aluminio.

El diagrama evidencia que el mayor porcentaje de consumo de agua se realizó en la operación de remojo con un valor de 45.73%, seguido de la operación de desengrase con un valor de 30.49%. El mayor porcentaje de consumo de químicos se realizó en la operación de piquelado y curtido con un valor de 55.50%, seguido de la operación de desengrase con un valor en porcentaje de 20.95%.

En el consumo energético los 2 mayores consumos se realizaron en la operación de engrase con un valor en porcentaje de 32.08% y en la operación de desengrase, con un valor de 31.99%.

La generación de residuos sólidos por el descarnado tuvo un valor de 0.3 kg, considerada únicamente en la operación de desengrase.

En el proceso de la técnica de curtido con sales de aluminio de acuerdo a lo expuesto se evidencia que las operaciones más críticas en cuanto al aspecto ambiental son:

- Engrase, porque presenta el mayor consumo energético, así como uno de los mayores consumos de químicos.
- Desengrase, debido a que presenta los segundos mayores valores de consumo de agua y consumo energético.

4.2.2. Resultados de la caracterización de los efluentes de la técnica de curtido con sales de aluminio

Los valores del análisis de los efluentes de la operación curtido se detallan en la tabla 11 que corresponden al ensayo de los parámetros físico-químicos de la muestra codificada como CAP 20 (ver anexo 5). En el que se evidenció una carga alta de contenido de aluminio con una concentración de 6232.12 mg/L y una DQO de 3331.20 mg/L.

Tabla 11: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente del piquelado y curtido de la técnica de curtido con sales de aluminio

Código de muestra	pH	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)	Aluminio (mg/L)	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)
CAP20	3.86	965.00	3331.20	45.40	6232.12	1432.00

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial MA1823273– SGS.

4.2.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con sales de aluminio

Los valores de los indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con sales de aluminio se detallan en la tabla 12 y nos evidencia que para procesar 1000 kg de piel de paiche mediante la técnica de curtido con sales de aluminio se consume 30.80 m³ de agua, se utiliza 618.00 kg de químicos, se consume 1175.66 kWh de energía eléctrica y se genera 104.00 kg de residuos sólidos. Respecto a la carga contaminante de los efluentes los valores mostraron que existe una concentración de DQO de 3331.20 mg/L y así mismo una concentración alta de aluminio cuyo valor fue de 6232.12 mg/L.

Tabla 12: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con sales de aluminio

Dimensiones	Indicadores	Unidad	Valores de los indicadores obtenidos
1. Análisis de flujo de proceso	Consumo de agua por piel inicial procesada	m ³ /1000 kg	30.80
	Cantidad total de químicos utilizados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	618.00

	Consumo de energía por piel inicial procesada	kWh/1000 kg	1175.66
	Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	104.00
2. Parámetros de agua residual	pH	mg/L	3.86
	DBO ₅	mg/L	965.00
	DQO	mg/L	3331.20
	Aceites y grasas	mg/L	45.40
	Aluminio	mg/L	6232.12

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de la técnica de curtido con compuesto fenólicos

4.3.1. Resultados del análisis de flujo de materia de la técnica de curtido con compuestos fenólicos

Los valores del análisis de entradas y salidas se precisan en el diagrama de la figura 11 para cada operación de la técnica de curtido con **compuestos fenólicos de una concentración del 7.5%** respecto a la masa de piel procesada. Así mismo en el Anexo 6 se detalla los valores determinados en cada etapa de las operaciones.

Se obtuvo que para procesar 2.96 kg de piel de paiche se utiliza un volumen de agua total de 82.88 litros, se consumió 1.40 kg de reactivos químicos, se realizó un consumo energético de 33.58 kWh, se generó 0.30 kg de residuos sólidos y se obtuvo cuero crust de 1.14 kg. Siendo la distribución de porcentajes para cada entrada y salida por operación la que se detalla a continuación.

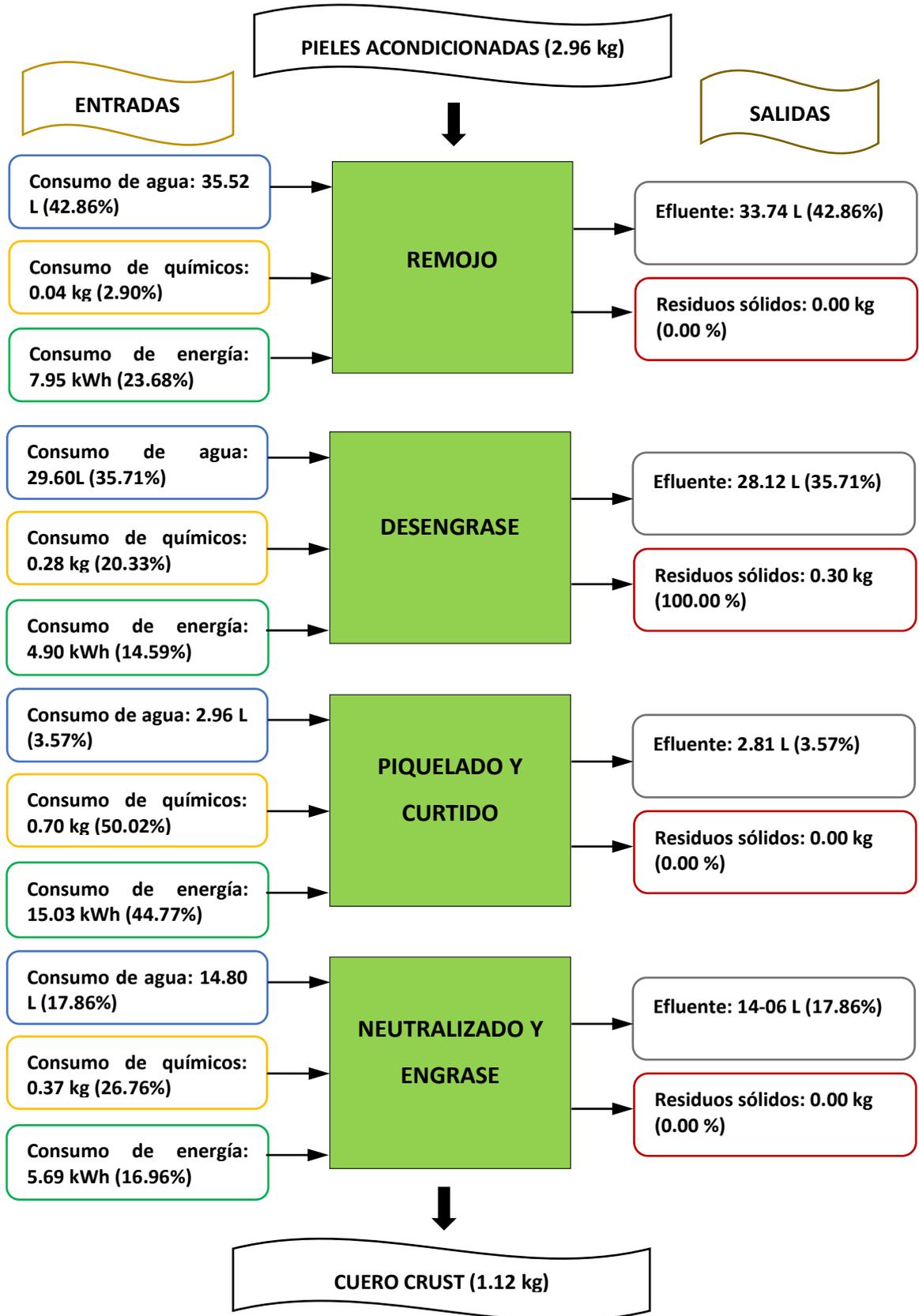


Figura 11. Entradas y salidas de la técnica de curtido con compuestos fenólicos.

El diagrama evidencia que el mayor porcentaje del consumo de agua se realizó en la operación de remojo con un valor de 42.86%, seguido de la operación de desengrase con un valor de 35.71%.

El mayor porcentaje de consumo de químicos se realizó en la operación de piquelado y curtido con un valor de 50.02%, seguido de la operación de engrase con un valor en porcentaje de 26.76%.

En el consumo energético los 2 mayores consumos se realizaron en la operación de piquelado y curtido con un valor en porcentaje de 44.77% y en la operación de remojo, con un valor de 23.68%.

La generación de residuos sólidos por el descarnado tuvo un valor de 0.30 kg, considerada únicamente en la operación de desengrase.

En el proceso de la técnica de curtido con sales de aluminio de acuerdo a lo expuesto se evidencia que las operaciones más críticas en cuanto al aspecto ambiental son:

- Piquelado y curtido, porque presenta el mayor consumo de químicos y consumo energético.
- Remojo, debido a que presenta el mayor consumo de agua y el segundo mayor valor de consumo energético.

4.3.2. Resultados de la caracterización de los efluentes de la técnica de curtido con compuestos fenólicos

Los valores del análisis de los efluentes de la operación piquelado y curtido se detallan en la tabla 13 que corresponden al ensayo de los parámetros físico-químicos de la muestra codificada como CSM7 (ver anexo 7). En el que se evidenció el más alto valor de la DQO de las técnicas estudiadas, con 18 197.50 mg/L y una DBO₅ con 4370.00 mg/L,

Tabla 13: Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente de piquelado y curtido de la técnica de curtido con compuestos fenólicos

Código de muestra	pH	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Aceites y grasas (mg/L)	Fenol (mg/L)
CSM7	3.91	4370.00	18197.50	147.50	8.81

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial MA 18822500 – SGS.

4.3.3. Indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con compuestos fenólicos

Los valores de los indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido de piel de paiche mediante la técnica de curtido con compuestos fenólicos se detallan en la tabla 14 y nos evidencia que para procesar 1000 kg se consume 28.00 m³ de agua, se utiliza 472.80 kg de químicos, se consume 1679.04 kWh y se genera 102.00 kg de residuos sólidos.

Y respecto a la carga contaminante de los efluentes, los valores evidenciaron que existe una concentración alta de DQO con un valor de 18 197.50 mg/L y así mismo una concentración alta de DBO cuyo valor fue de 4370.00 mg/L.

Tabla 14: Indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con compuestos fenólicos

Dimensiones	Indicadores	Unidad	Valores de los indicadores obtenidos
1.Análisis de flujo de proceso	Consumo de agua por piel inicial procesada	m ³ /1000 kg	28.00
	Cantidad total de químicos utilizados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	472.80
	Consumo de energía por piel inicial procesada	kWh/1000 kg	1679.04

	Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada	kg/1000 kg	102.00
2. Parámetros de agua residual	pH	mg/L	3.91
	DBO ₅	mg/L	4370.00
	DQO	mg/L	18197.50
	Aceites y grasas	mg/L	147.50
	Fenol	mg/L	8.81

Fuente: Elaboración propia

4.4. Resultados del análisis y comparación de los indicadores de desempeño ambiental de las técnicas de curtido

Los valores de los indicadores de desempeño ambiental obtenidos en esta investigación son referenciales para las técnicas de curtido en pieles de paiche, pues la gran parte de los estudios de caracterización ambiental de curtiembres han establecido valores referenciales para el curtido de pieles de vacuno, ya que las pieles que se curten en mayor cantidad son las pieles de vacunos en 50%, las pieles de ovino y caprino en un 40%, solo un 10% pieles de otras especies (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO), 2004).

Reciente desde finales del año 2018 se está promoviendo la producción de cuero de pieles de pescado como parte de la economía azul, para así aumentar los ingresos de las comunidades pesqueras de todo el mundo, teniéndose que el cuero de pescado actualmente representa menos del 1% del total de las ventas mundiales de cuero (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO), 2018). Así mismo en el Perú, recientemente desde el 2019 se promueve la producción de cueros de pieles de paiche, tal como el proyecto innovador “Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali” (Instituto Tecnológico de la Producción, 2019), del cual se desarrolló la presente investigación.

Por ello la evaluación y comparación de los indicadores de las técnicas de curtido en pieles de paiche estudiadas se realizó entre ellos mismos y de manera adicional se realizó la comparación respecto a los valores empleados por el SIRAC para el benchmarking de las empresas de la industria de curtiembre, que procesan pieles de vacuno, pues como se mencionó se carecen de valores referenciales para el curtido de pieles de pescado como el paiche.

4.4.1. Comparación de los indicadores del análisis de flujo de materia

Se apreció variabilidad en los rendimientos de cada indicador en las técnicas de curtido en estudio. En la técnica de curtido con sales de cromo se determinó el menor consumo de agua, el menor consumo de químicos y un consumo energético intermedio. En la técnica de curtido con compuestos fenólicos por su parte se determinó consumos intermedios de agua y químicos, el mayor consumo energético. En la técnica de curtido con sales de aluminio se determinó los mayores consumos de agua y químicos, el menor consumo energético.

El análisis detallado por cada indicador se muestra a continuación.

Consumo de agua por piel inicial procesada

Con respecto a este indicador se obtuvo el menor valor en la técnica de curtido con sales de cromo con un valor de 27.00 m³/1000 kg, seguido de la técnica de con compuestos fenólicos con un valor de 28.00 m³/1000 kg y finalmente la técnica de curtido con sales de aluminio con un valor de 30.80 m³/1000 kg.

Los valores obtenidos se pueden comparar con el consumo de agua asociado a actividades involucradas directamente en el proceso de curtición en una planta, que según Konrad es de 25.85 m³/1000 kg (Konrad et al., 2002), muy similar a lo estimada por Rivela de 23.00 m³/1000 kg (Rivela, Méndez, Bornhardt, & Vidal, 2004). Estos valores están dentro del rango señalado por Tünay de 21.40-29.75 m³/1000 kg (Tünay, Kabdash, Orhon, & Cansever, 1999). También se comparó respecto a los valores del SIRAC de Colombia que son de Benchmarking, orientadas a desarrollar las mejores técnicas disponibles de curtido (Aragón & Alzate, 2004). Ver figura 12.

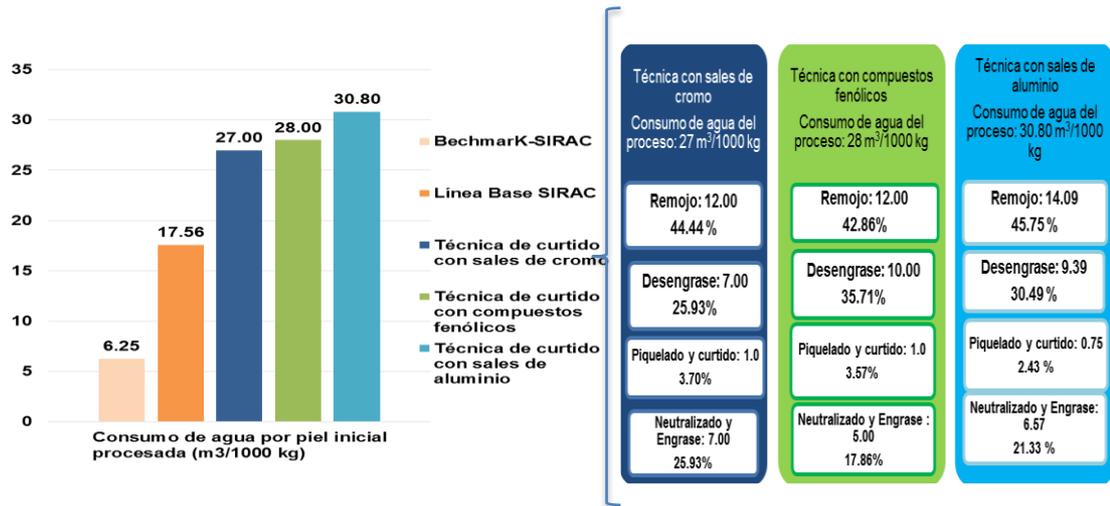


Figura 12. Comparación del consumo de agua por piel inicial procesada (m³/1000 kg) de las técnicas de curtido y porcentaje por operación

En la figura se evidencia que los consumos de agua de las técnicas estudiadas superan ampliamente a la línea base de 17.56 m³/1000 kg (valor referencial de las industrias de curtiembre) y al Bechmark de 6.25 m³/1000 kg (valor del mejor rendimiento disponible para las industrias de curtiembre); las operaciones más significativas son el remojo y el desengrase, por sus altos porcentajes de consumo de agua, la suma de los porcentajes de ambas operaciones es de 70.37% para la técnica de curtido con cromo, 70.58% para la técnica de curtido con fenoles y 76.24% para la técnica de curtido con aluminio. Esto debido que en el remojo se utilizó abundante agua para remover los cloruros de la conservación de las pieles y en el desengrase estuvo ligado al alto contenido de grasas que caracterizan a las pieles de paiche (Instituto Tecnológico de la Producción, 2019), por lo que la reutilización y ahorro de agua en los lavados de las operaciones de remojo y desengrase constituye una interesante medida de mejora ambiental (Konrad et al., 2002).

Cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada

Los químicos utilizados fueron bactericidas, tensoactivos en el remojo y desengrase; enzimas, sales curtientes (sulfato de cromo, compuestos fenólicos y sales de aluminio), ácidos en el piquelado y curtido; bases y engrasantes en la neutralización y engrase.

La técnica con mejor rendimiento en cuanto a la cantidad de químicos utilizados fue la técnica con sales de cromo con un valor de 427 kg/1000 kg, seguida de la técnica de curtido con compuestos fenólicos tuvo en un valor de 472.80 kg/1000 kg, finalmente la técnica de curtido con sales de aluminio con un valor de 618 kg/1000 kg. Estos valores superan al dado en la bibliografía como el consumo medio global de 391 kg/1000 kg (Konrad et al., 2002); con un mayor margen respecto al valor de benchmark de 154.66 kg/1000 kg y línea base de 164.46 kg/1000 kg del SIRAC. Ver Figura 13.

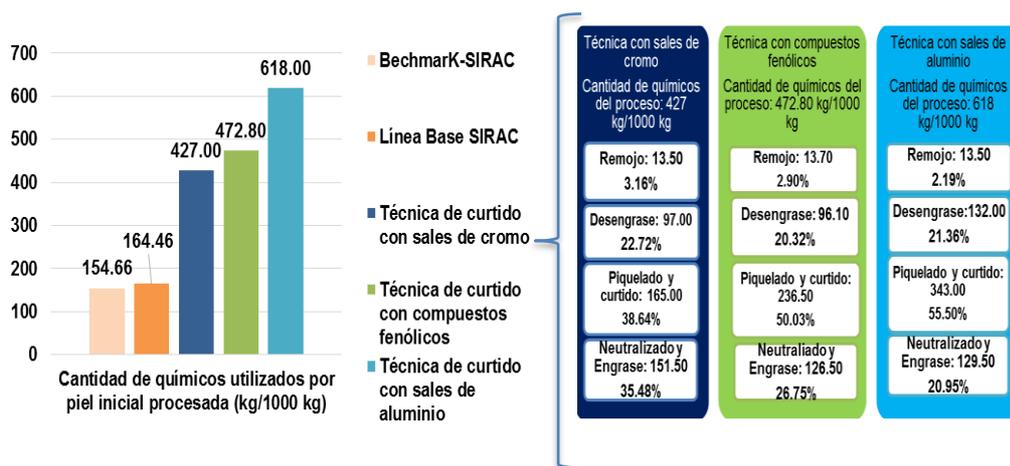


Figura 13. Comparación del indicador cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada de las técnicas de curtido y porcentaje por operación

Se evidenció que las operaciones más críticas son el piquelado y el curtido del consumo de químicos, ya que en porcentajes representan el 38.64% en la técnica de curtido con cromo, 50.03% en la técnica de curtido con fenoles y 55.50% en la técnica de curtido con aluminio. Los porcentajes de las técnicas de curtido libres de cromo del estudio se acercan al porcentaje estimado de la bibliografía para la etapa de curtido que fue de 53% (Rivela et al., 2004). Las variaciones posiblemente son debido a la técnica aplicada y tipo de piel procesada, tal como se detalla en investigaciones el margen de variación está ligado al tipo de tecnología y a las condiciones de trabajo (Tünay et al., 1999). Las medidas de mejora ambiental aplicables en este indicador, es la optimización del descarte, realizada en el acondicionamiento de las pieles, etapa previa al proceso de curtido, pues conlleva a una economía en el consumo de productos químicos y mejoras apreciables en el área y calidad del producto final (Konrad et al., 2002); así como un registro de las materias primas empleadas para evitar pérdidas.

Consumo de energía por piel inicial procesada

La técnica de curtido con sales de aluminio tuvo un mejor rendimiento respecto del consumo energético por piel inicial procesada por su valor de 1045.03 kWh/1000 kg, seguido de la técnica de curtido con sales de cromo con indicador de 1053.24 kWh/1000 kg y la técnica de curtido con compuestos fenólicos con un indicador de 1492.48 kWh/1000 kg. Evidenciándose consumos energéticos muy altos respecto a los valores del SIRAC, esto posiblemente debido a las características propias de las técnicas de curtido que implican largos períodos de tiempo y el uso de termas eléctricas en el aumento de la temperatura del agua requerida en las operaciones del desengrase y el engrase. Ver figura 14.

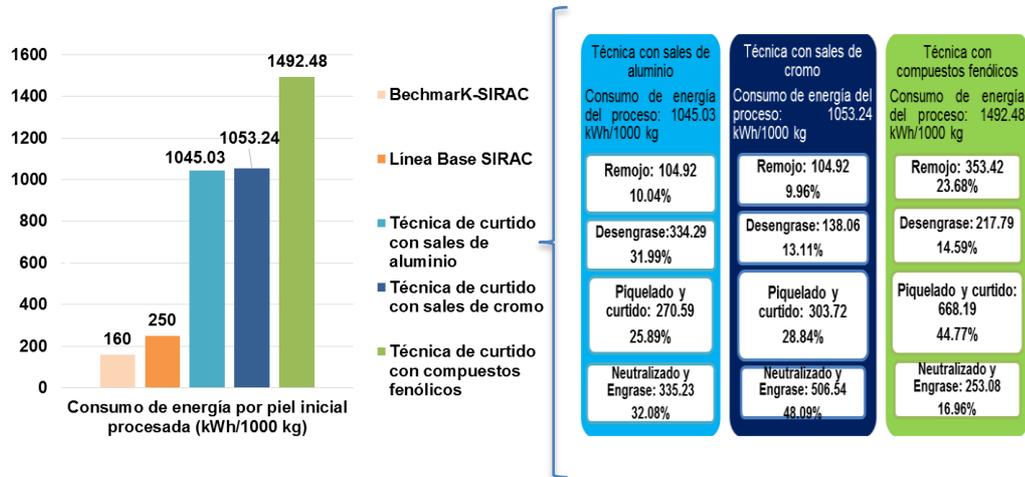


Figura 14. Comparación del indicador consumo de energía por piel inicial procesada de las técnicas de curtido y porcentaje por operación

Las operaciones más críticas en el consumo energético son el neutralizado y engrase, posiblemente debido al requerimiento adicional de agua a una temperatura de 35 °C que consumió energía por el uso de una terma eléctrica, seguido de las operaciones de piquelado y curtido debido al tiempo procesamiento en los botaes que funcionan por el suministro de energía de los motores, cuyo tiempo máximo de uso fue de aproximadamente 10 horas, mucho más que las otras operaciones que fluctúan de 2.5 horas a 5 horas. Estos consumos altos de energía requieren de medidas para mitigar su impacto tales como uso de energías

de fuentes renovables, empleo de equipos eficientes y un control y registro del rendimiento energético.

Cantidad de residuos sólidos generados por piel inicial procesada

Los residuos se generaron en la etapa previa a la aplicación de las técnicas de curtido, denominada acondicionamiento de pieles, específicamente en el descarnado. En la etapa de obtención de pieles curtidas no se generó ningún residuo sólido. En la siguiente etapa, obtención de cuero crust, el único residuo que se generó se dio en la operación de lijado, sin embargo no fue significativa pues solo se generó aproximadamente 0.009 kg por 1.80 Kg de piel procesada, que en porcentaje equivale a solo el 0.05 % de piel procesada.

Cabe precisar que no se compararon los rendimientos de este indicador, sino se determinó el promedio de residuos de descarnado de pieles de paiche para tener una referencia de la cantidad de residuos que se generan para procesar pieles de paiche independientemente de la técnica de curtido que se aplique. El valor promedio de los residuos generados fue de 105.03 kg/1000 kg, este valor respecto a los valores del SIRAC se detallan en la figura 15.

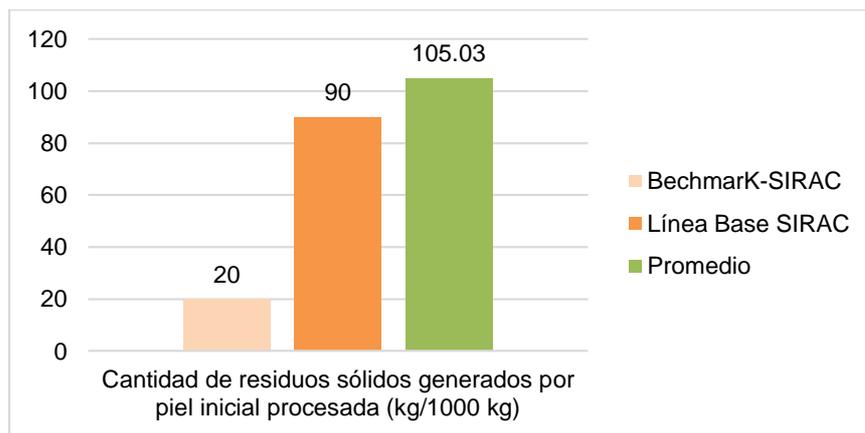


Figura 15. Análisis del indicador cantidad de residuos sólidos generados

La generación promedio de residuos varió poco respecto al valor de la línea base del SIRAC por lo que se puede inferir que en la producción de cueros de pieles de paiche se generan moderadas cantidades de residuos sólidos, con una porcentaje estimado de 10.50% del peso de las pieles paiche procesadas, estos residuos generados en el descarnado, pueden ser valorizados pues no se encuentran contaminadas porque no han tenido contacto con sustancias químicas tóxicas.

Mientras que en pieles de vacunos el porcentaje estimado hasta cuero crust es de 56.02%, según el diagnóstico de estudio de las curtiembres peruanas (Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), 2006); en otros países se encontraron porcentajes de generación de 27.30% (Rivela et al., 2004), pudiéndose inferir que el curtido de pieles de paiche tiene un mejor rendimiento en el indicador de cantidad de residuos generados por piel procesada respecto del curtido en pieles de vacuno, pues la cantidad de residuos es considerablemente menor. Además se pueden reaprovechar los residuos de descarte (constituido por grasas y restos de carne de la parte interna de la piel de paiche), las grasas pueden ser usadas como materia prima en jabonería o para la fabricación de emulsiones para engrase de cuero (Konrad et al., 2002); los restos de carne en la fabricación de alimentos balanceados para animales (Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), 2006).

4.4.2. Análisis de los indicadores de parámetros de agua residual

Según los valores detallados en la tabla 15 se evidenció que los efluentes de curtido superan los LMP de curtiembres, esto debido a que el curtido implica generación de efluentes con cierto carácter contaminante, como alto contenido de materia orgánica y sustancias tóxicas, que dependen de los productos químicos añadidos en cada operación en medio acuoso de las técnicas de curtido (Konrad et al., 2002).

Tabla 15: Comparación de los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtido de las técnicas de curtido respecto a los LMP de curtiembres

Parámetros de Agua Residual	Unidad	Efluente de la Técnica de curtido con sales de cromo	Efluente de la Técnica de curtido con sales de aluminio	Efluente de la Técnica de curtido con compuestos fenólicos	LMP-alcantarillado*	LMP- aguas superficiales*
pH	---	3.60	3.86	3.91	6.0-9.0	5.0-8.5
DBO ₅	mg/L	4810.00	965.00	4370.00	500	30
DQO	mg/L	13137.10	3331.20	18197.50	1500	50
Aceites y grasas	mg/L	15.10	45.40	147.50	50	20
Fenoles	mg/L	N.D.	N.D.	8.81	---	---
Aluminio	mg/L	N.D.	6232.12	N.D.	---	---
Cromo Total	mg/L	2888.37	N.D.	0.00	2	0.50

* Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE.

A continuación, se presenta el análisis de cada parámetro de los efluentes de las técnicas de curtido y su evaluación respecto a los valores de los LMP-aguas superficiales, que tiene los parámetros de calidad de aguas residuales más exigentes de los presentados en la tabla 15, ya que se desea asegurar una transferencia tecnológica con el mejor desempeño ambiental.

Respecto al pH se tiene que los efluentes de las 3 técnicas en estudio presentan valores similares y se encuentran en el rango de 3.50 a 4.00; que es la condición en la cual se logra curtir las pieles, sin embargo, estos efluentes con valores muy bajo de pH (medio ácido) si fueran vertidos directamente no permitirían el desarrollo de especies biológicas ya que se necesita un medio neutro con un rango de 6 a 8 de pH (Narcis Prat, 2019).

Evidenciándose así que los valores de pH no cumplen con el LMP establecido de efluentes de curtiembre para aguas superficiales, cuyo rango es de 5.0 a 8.5 de pH. Ver figura 16.

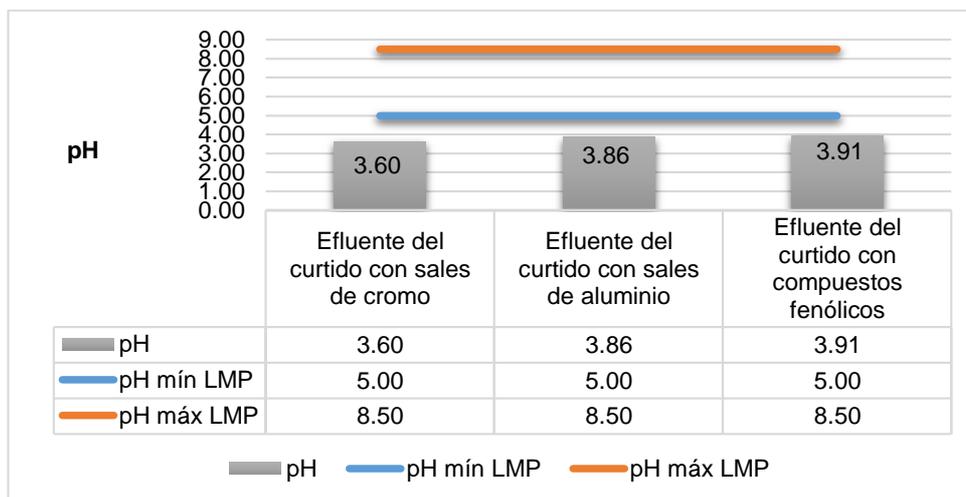


Figura 16. Comparación del parámetro de pH de los efluentes de curtido

Con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), se obtuvieron valores altos que indican alta carga orgánica. En los efluentes de las técnicas en estudio, el mayor valor de DBO_5 lo obtuvo el efluente de la técnica de curtido con sales de cromo (4810 mg/L), seguido del efluente de la técnica con compuestos fenólicos (4370 mg/L) en la que se puede observar una reducción de la DBO_5 respecto al efluente de curtido de cromo en un 9.14 %, finalmente el efluente de la técnica de curtido con sales de aluminio (965 mg/L) que redujo la DBO_5 en un 79.93 %.

Y con respecto al LMP establecido de DBO_5 los valores de los 3 efluentes lo superan por un amplio rango. Ver figura 17.

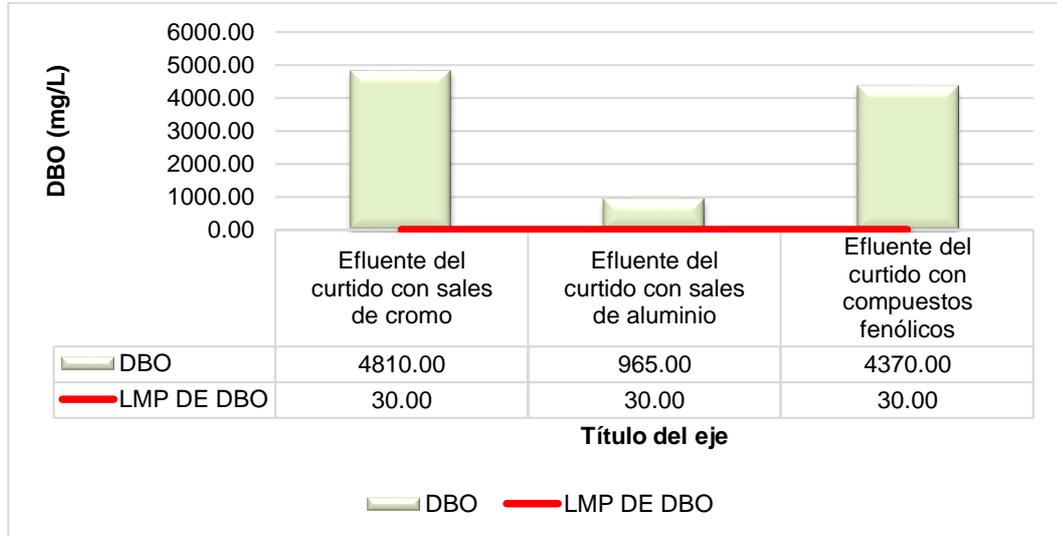


Figura 17. Comparación del parámetro de DBO_5 de los efluentes de curtido

Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), el efluente de la técnica de curtido con compuestos fenólicos obtuvo el mayor valor de este parámetro (18197.00 mg/L), seguido del efluente de la técnica con sales de cromo (13137.10 mg/L), finalmente el efluente de la técnica de curtido con sales de aluminio (3331.30 mg/L), que fue la única técnica que redujo la carga contaminante de DQO en un 74.64 % respecto al efluente de la técnica con sales de cromo. En la figura 18 se presenta la comparación de los valores de DQO de los efluentes de curtido, en los que se evidenció que superaron ampliamente el LMP por lo cual se requiere de un sistema de tratamiento para los efluentes generados.



Figura 18. Comparación del parámetro de DQO de los efluentes de curtido

Con los valores de la DBO_5 y la DQO se determinó la razón de DBO_5/DQO , en cuyos rangos de valores de $DBO_5/DQO < 0.2$, los efluentes son considerados inorgánicos, poco biodegradables, y necesitan de tratamientos fisicoquímicos; en un rango de DBO_5/DQO entre 0.2 y 0.5: los efluentes son considerados biodegradables y su valor permite cuestionar la selección de un tratamiento biológico y/o fisicoquímico, y en un rango de $DBO_5/DQO > 0.5$: los efluentes se consideran orgánicos, muy biodegradables y que es aplicable un tratamiento biológico (Metcalf & Eddy, 1995).

La razón de DBO_5/DQO del efluente de curtido con sales de cromo fue de 0.37, el del efluente de curtido con sales de aluminio fue de 0.29 y el del efluente de curtido con compuestos fenólicos fue de 0.24. Los 3 efluentes en estudio tuvieron valores que se encuentran en el rango de 0.2 a 0.5 lo que nos indica que las aguas presentan naturaleza biodegradable y que se puede optar por el tratamiento biológico o físico- químico. Sin embargo, para una mejor evaluación de la biodegradabilidad de los efluentes se recomienda determinar la biodegradabilidad a través de la determinación de la fracción de biodegradabilidad de la DQO ya que según estudios de las diferentes fracciones de agua residual de tenerías, esta prueba permite determinar a mayor precisión la fracción de materia orgánica biodegradable en comparación al índice de biodegradabilidad DBO_5/DQO (Pire et al., 2011), además que evitan interferencias causadas por su compleja matriz

de compuestos tóxicos y no tóxicos inhibitorios (Covington & Wise, 2019; Rivela et al., 2004).

Respecto al parámetro de aceites y grasas se tiene que la concentración del efluente de curtido con sales de cromo presenta el menor valor con 15.10 mg/L, seguido de la concentración del efluente de curtido con sales de aluminio con 45.40 mg/L, finalmente el efluente de curtido con compuestos fenólicos tuvo un valor de 147.50 mg/L. El único valor que cumple con el LMP de aceites y grasas para efluentes del subsector curtiembre es el del efluente de curtido con sales de cromo. Ver figura 19.

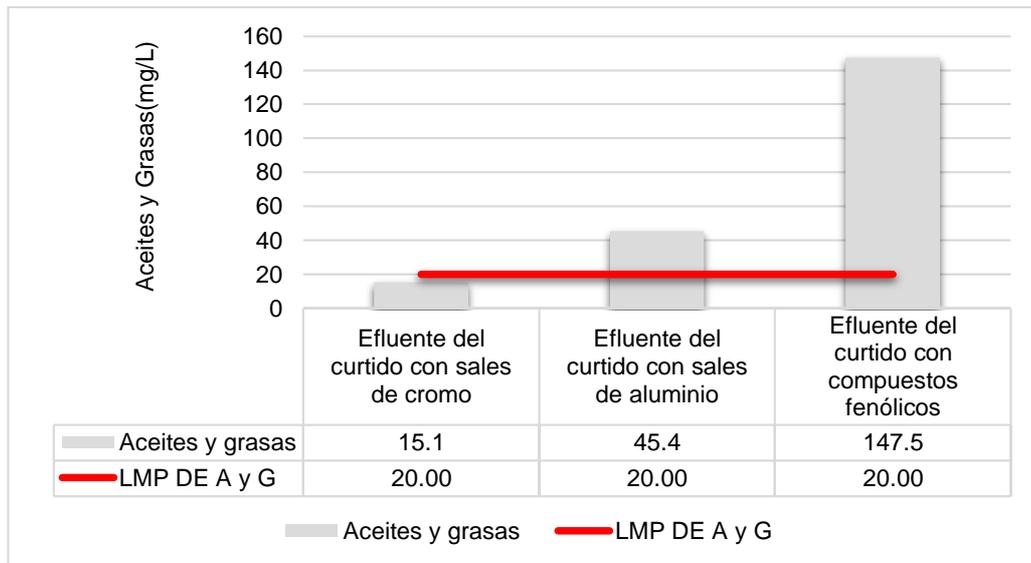


Figura 19. Comparación del parámetro de Aceites y grasas de los efluentes de curtido

Respecto a la concentración de sustancias tóxicas, tales como los metales (cromo y aluminio) y compuestos orgánicos (fenoles) presentes en cada efluente de las técnicas de curtido en estudio se obtuvo lo siguiente:

La concentración de cromo total en el efluente de curtido con sales de cromo tuvo un valor de 2888.37 mg/L, que supera al Límite Máximo Permisible (LMP) definido de 0.5 mg/L. Además, es el único parámetro de los agentes curtientes analizados que tiene establecido su LMP para curtiembres.

La concentración aluminio del efluente de curtido con sales de aluminio tuvo un valor 6232.12 mg/L, cabe precisar que no se tuvo referencias de LMP para

efluentes industriales, sin embargo se evidenció alta concentración que supera al valor más alto del ECA para aguas superficiales de 5 mg/L (Ministerio del Ambiente, 2017).

Del análisis de los parámetros detallados se puede inferir que el efluente más contaminante corresponde al curtido con sales de cromo ya que presenta alta concentración de cromo y una alta carga orgánica. Por su parte el efluente de curtido con sales de aluminio presentó una alta concentración de aluminio y una disminución de la carga orgánica. Esta disminución de la carga orgánica del efluente de curtido con aluminio respecto del efluente del curtido con cromo, se evidencia en la disminución de la DBO y DQO, con porcentajes de disminución de 79.9% y 74.6% respectivamente, que coincide con los reportes de estudios de nuevas técnicas de curtido libres de cromo, que emplean combinaciones de sales de aluminio, tales como el desarrollo del sistema de curtido basado en los compuestos de aluminio-silicio de Tanfor TTM con una disminución de la DQO de 60% (Bacardit et al., 2014) y el sistema de curtido basado en aluminio-sílice-fosfonium con una disminución de la DQO de 41% (Fathima et al., 2006). Respecto a la concentración de aluminio no se tuvo referencias de LMP, sin embargo se evidenció alta concentración de 6232.12 mg/L, que supera al valor más alto del ECA para aguas superficiales de 5 mg/L (Ministerio del Ambiente, 2017).

Los efluentes de las técnicas de curtido con sales de cromo y la técnica de curtido con sales de aluminio al contener altas concentraciones de cromo y aluminio respectivamente, requieren de tratamientos específicos y costosos (denominados tratamientos avanzados) para la remoción de estos metales presentes. La remoción de cromo se puede realizar por electrocoagulación con eficiencia de 97%, fotocatalisis con eficiencia de 91%-98%, adsorción de metales por materiales agrícolas e industriales con eficiencia de 93%-99%. La remoción de aluminio se puede realizar por: nanofiltración con eficiencia de 96%-98.5% y precipitación química por galvanoplastia con eficiencia de 80%-90% (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, & Sandoval, 2015). Se tiene referencia de un costo de tratamiento para curtiembres que incluyen tratamientos avanzados de 0.72 US\$/m³ (Pal, 2020).

Mientras que el efluente de curtido con compuestos fenólicos, presentó principalmente una alta carga orgánica y una concentración de compuestos fenólicos que superó el LMP de 0.5 mg/L (PCM, 2008). Su carga orgánica se incrementó respecto al curtido con cromo, con un porcentaje de aumento de la DQO en 38.5%. Este aumento de carga orgánica puede atribuirse a los compuestos orgánicos que se emplea en el curtido con compuestos fenólicos, ya que los compuestos orgánicos son bien conocidos por su contribución significativa a las altas cargas de DBO y DQO en los efluentes (China et al., 2020), su tratamiento puede implicar tratamientos de oxidación avanzada para la remoción de sus contaminantes con costos de tratamiento que oscilan de 0.22 a 0.45 US\$/m³ (Bes, Silva, & Bengoa, 2016).

4.5. Determinación de la técnica de curtido con mejor desempeño ambiental

1° Determinación de los criterios de evaluación y los estándares de evaluación de las clases.

En el estudio se estableció como objetos de observación a las técnicas de curtido, los criterios fueron los indicadores de desempeño ambiental y los estándares de evaluación se determinaron en base a los valores mínimos y máximos de cada indicador de desempeño ambiental (Liu & Lin, 2010). Esto debido a que se carece de estándares de evaluación específicos para el desempeño ambiental de procesos de curtición aplicados a piel de paiche, pues los índices o estándares de la mayoría de los estudios de curtiembres corresponden a procesos de pieles de vacuno tales como los índices de Benchmarking de curtiembres del SIRAC (Aragón & Alzate, 2004). Los estándares de evaluación se calcularon como los puntos medios de los rangos detallados en la tabla 16 y sus valores adimensionales en la tabla 17. Los indicadores evaluados y sus valores adimensionales en la tabla 18.

Tabla 16: Rangos y estándares de evaluación

Criterios	Clases		
	$\lambda 1$:Buen desempeño	$\lambda 2$: Regular desempeño	$\lambda 3$: Deficiente desempeño
Consumo de agua por piel inicial procesada (m ³ /1000 kg)	< 27.0	27.0 – 30.8	>30.8
	13.5	28.9	44.3
Cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada (kg/ 1000 kg)	< 427.0	427.0- 618.0	>618.0
	213.5	522.5	831.5
Consumo de energía por piel inicial procesada (kWh/1000 kg)	<1045.0	1045.0-1492.5	>1492.5
	522.5	1268.7	2014.9
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	<965.0	965.0-4810.0	>4810.0
	482.5	2887.5	5292.5
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	<3331.200	331.2-18 197.5	>18197.500
	1665.6	10764.4	19863.1
Concentración de cromo (mg/L)	< 3.4366	3.4 - 2888.4	> 2888.4
	1.7	1445.9	2890.1

Tabla 17: Valores adimensionales de los estándares de evaluación

	Símbolo	$\lambda 1$:Buen desempeño	$\lambda 2$: Regular desempeño	$\lambda 3$:Deficiente desempeño
Consumo de agua por piel inicial procesada (m ³ /1000 kg)	C-a	0.47	1.00	1.53
Cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada (kg/1000 kg)	C-q	0.41	1.00	1.59
Consumo de energía por piel inicial procesada (kWh/1000 kg)	C-e	0.41	1.00	1.59
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	DBO	0.17	1.00	1.83
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	DQO	0.16	1.00	1.85
Concentración de cromo (mg/L)	Cr	0.00	1.00	2.00

Tabla 18: Valores de los criterios evaluados y sus valores adimensionales

Técnicas de curtido	Criterios: Indicadores de desempeño ambiental					
	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr
T-Cr	27.00	427.00	1053.24	4810.00	13137.10	2888.37
T-AI	30.80	618.00	1045.03	965.00	3331.20	0.00
T-Fenol	28.00	472.80	1492.48	4370.00	18197.50	0.00
Técnicas de curtido	Valores adimensionales de los criterios					
	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr
T-Cr	0.93	0.82	0.83	1.67	1.22	2.00
T-AI	1.07	1.18	0.82	0.33	0.31	0.00
T-Fenol	0.97	0.91	1.18	1.51	1.69	0.00

Siendo T-Cr: Técnica de curtido con sales de cromo, T-Al: Técnica de curtido con sales de aluminio y T-Fenol: Técnica de curtido con compuestos fenólicos.

2° Determinación de las funciones de Whitenización

Las funciones de Whitenización se calcularon por cada criterio de evaluación, así tenemos 6 grupos de funciones para cada técnica de curtido. A continuación, se presenta las funciones correspondientes al indicador consumo de agua, los demás criterios tienen una estructura similar.

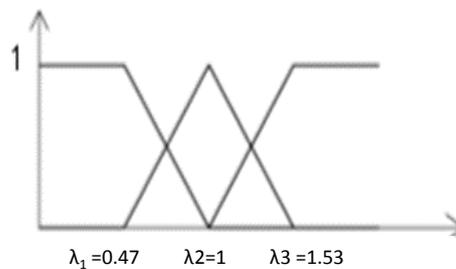


Figura 20. Función de Whitenización

$$f_j^1 = \begin{cases} 1, & x \in [0, 0.47] \\ \frac{1-x}{1-0.47}, & x \in (0.47, 1) \\ 0, & x \in [1, \infty) \end{cases}$$

$$f_j^k = \begin{cases} \frac{x-0.47}{1-0.47}, & x \in (0.47, 1] \\ \frac{1.53-x}{1.53-1}, & x \in (1, 1.53) \\ 0, & x \in [0, 0.47] \cup [1.53, \infty) \end{cases}$$

$$f_j^3 = \begin{cases} \frac{x-1}{1.53-1}, & x \in (1, 1.53) \\ 1, & x \in (1.53, \infty) \\ 0, & x \in [0, 1] \end{cases}$$

A continuación los valores de las funciones de Whitenización calculadas en cada técnica de curtido:

Técnica de curtido con sales de cromo

	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr
f1	0.12	0.31	0.29	0.00	0.00	0.00
f2	0.88	0.69	0.71	0.20	0.74	0.00
f3	0.00	0.00	0.00	0.80	0.26	1.00

Técnica de curtido con sales de aluminio

	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr
f1	0.00	0.00	0.30	0.80	0.82	1.00
f2	0.88	0.69	0.70	0.20	0.18	0.00
f3	0.12	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00

Técnica de curtido con compuestos fenólicos

	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr
f1	0.06	0.16	0.00	0.00	0.00	1.00
f2	0.94	0.84	0.70	0.38	0.18	0.00
f3	0.00	0.00	0.30	0.62	0.82	0.00

3° Determinación del peso de los criterios n_j^k

Los pesos fueron hallados para cada indicador en base a los datos de los estándares de evaluación empleando la fórmula especificada en la metodología y los resultados se detallan en la tabla 19.

Tabla 19: Pesos de clusterización

Indicador criterio	λ_1	λ_2	λ_3
C-a	0.002	0.167	0.186
C-q	0.003	0.167	0.180
C-e	0.003	0.167	0.180
DBO	0.007	0.167	0.156
DQO	0.008	0.167	0.155
Cr	0.977	0.167	0.143

4° Cálculo del coeficiente de clusterización σ_i^k

Se calcularon empleando la ecuación 8 y sus valores se presentan en la tabla 20.

Tabla 20: Coeficientes de clusterización

Técnicas de curtido	$\lambda 1$:Buen desempeño	$\lambda 2$:Regular desempeño	$\lambda 3$:Deficiente desempeño
T-Cr	0.002	0.536	0.308
T-Al	0.990	0.442	0.079
T-Fenol	0.978	0.508	0.277

Siendo T-Cr: Técnica de curtido con sales de cromo, T-Al: Técnica de curtido con sales de aluminio y T-Fenol: Técnica de curtido con compuestos fenólicos.

5° Determinación y evaluación del vector clusterización.

Se eligieron los mayores valores obtenidos de los coeficientes y se verifico su pertenencia a una clase de evaluación. Los resultados se encuentran resaltados en la tabla 20. Los máximos valores de los coeficientes de clusterización de las técnicas de curtido libres de cromo pertenecieron a la clase $\lambda 1$: Buen desempeño; correspondiéndole a la técnica de curtido con sales de aluminio el valor de 0.990 y a la técnica de curtido con compuestos fenólicos el valor de 0.978. Por otra parte la técnica de curtido con sales de cromo presentó un valor de 0.536 que perteneció a la clase $\lambda 2$: Regular desempeño. La determinación de la técnica de curtido con mejor desempeño se realizó según el fundamento del Análisis de Grey Clustering, en el que los mayores valores pertenecientes a una clase indican mayor grado de correspondencia. Por ello al comparar los valores obtenidos de las técnicas de curtido se obtuvo el siguiente orden de menor a mayor desempeño ambiental.

$$\begin{aligned} & \text{Técnica - cromo (0.536, clase } \lambda 2) < \text{Técnica - fenol (0.978, clase } \lambda 1) \\ & < \text{Técnica - cluminio (0.990, clase } \lambda 1) \end{aligned}$$

Así se determinó que la técnica de curtido con sales de aluminio presentó el mejor desempeño ambiental, en segundo orden la técnica de curtido con compuestos fenólicos y en último orden la técnica de curtido con sales de cromo. Estos resultados nos mostraron que las técnicas de curtido libres de cromo estudiadas

presentan un mejor desempeño ambiental que la técnica de curtido con sales de cromo en pieles de paiche.

Cabe precisar que esta evaluación del desempeño ambiental de las técnicas de curtido en pieles de paiche, se realizó en las técnicas aplicadas a escala piloto en marco del proyecto “Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región Ucayali” desarrollado por CITEccal-Lima, con el objetivo de identificar de la técnica que generaba una producción con mejor desempeño ambiental para su posterior transferencia tecnológica a escala de producción. Por lo cual se pudo haber recomendado la aplicación de la técnica de curtido con sales de aluminio en pieles de paiche ya que permitió la producción de un cuero que cumplió con las NTP de calidad para cuero y calzado (Ver Anexo 8: Cuadro de comparación de la calidad de cuero producido por las técnicas de curtido estudiadas).

Sin embargo, en el transcurso de la ejecución del proyecto se generó un afloramiento de olor característico a pescado en los cueros producidos por las técnicas de curtido y una coloración amarillenta intensa en el cuero producido por la técnica de curtido aluminio, como se evidencia en el siguiente registro fotográfico. Es importante señalar que el proceso de coloración amarillenta se da cuando las grasas no se eliminan suficientemente, esto debido a la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, que tienen dos o más dobles enlaces que fácilmente se oxidan y se convierten en hidroperóxidos, este proceso se genera por calor, luz y humedad, y se ve favorecido por la acción de bacterias de degradación, responsable de emitir el olor a pescado (Segundo Espada, Marrufo Saldaña, Barra Hinojosa, & Contreras Panizo, 2020).



Figura 21: Registro fotográfico de la comparación de pieles de paiche. A la izquierda cuero Crust de la técnica con sales de aluminio. A la derecha cuero Crust de la técnica con compuestos fenólicos

Decidiéndose así optimizar el desengrase de la técnica de curtido con compuestos fenólicos. Corroborando su eficiencia por medio de la comparación de los análisis de los efluentes de desengrase inicial y optimizado; de esta forma se evitó poner en riesgo las propiedades sensoriales de las pieles.

4.6. Evaluación del desempeño ambiental de la técnica de curtido optimizada

El proceso de la técnica de curtido optimizada se presenta en la figura 22, se aprecia las entradas y salidas por operación estimadas para procesar 1000 kg de piel de paiche, cabe precisar que los residuos generados en la operación de descarnado es de aproximadamente 105 kg/1000 kg. Así mismo en el anexo 9, se presenta a más detalle el análisis de flujo de entradas y salidas de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada.

Con los valores de los indicadores se determinó que para procesar 1000 kg de piel se consume 30.00 m³, se utiliza 815.00 kg de químicos, se consume 2022.681 kWh y se genera 105.00 kg de residuos sólidos, y se evidenció una concentración alta de DQO con un valor de 11 682.00 mg/L, una concentración alta de DBO cuyo valor fue de 2870.00 mg/L.

En la tabla 21 se comparó los indicadores de desempeño ambiental de la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial y la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada. Donde el consumo de agua por piel inicial procesada, se incrementó en 2.00 m³/1000 kg; la cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada se incrementó en 342.20 kg/1000 kg y el consumo de energía por piel inicial procesada aumentó en 530.20 kWh/1000 kg. Los indicadores de DBO y DQO disminuyeron, esto posiblemente se originó por la optimización del desengrase previa al curtido y una mayor dilución de los compuestos químicos ya que se empleó mayor cantidad de agua. Sin embargo se mantuvo una alta carga orgánica que requiere tratamiento.



Figura 22. Entradas y salidas de la técnica de cutidos con compuestos fenólicos optimizada

Tabla 21: Comparación de los indicadores de desempeño ambiental operacional de la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial y la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada

Indicadores	Técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial	Técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada
Consumo de agua por piel inicial procesada (m ³ /1000 kg)	28.00	30.00
Cantidad total de químicos utilizados por piel inicial procesada (kg/1000 kg)	472.80	815.00
Consumo de energía por piel inicial procesada (kWh/1000 kg)	1492.48	2022.68
DBO ₅ (mg/L)	4370.00	2870.000
DQO (mg/L)	18197.50	11682.000
Cromo (mg/L)	N.D.	N.D.

Fuente: Informe de la muestra codificada como CF-22/04/19 (ver anexo 10).

De los valores presentados se evidencia que los rendimientos de los indicadores de desempeño ambiental respecto del consumo de agua por piel inicial procesada, se incrementó en 2.00 m³/1000 kg; la cantidad de químicos utilizados por piel inicial procesada, se incrementó en 342.20 kg/1000 kg y el consumo de energía por piel inicial procesada aumentó en 530.20 kWh/1000 kg. Mientras que los indicadores de DBO y DQO disminuyeron, mostrando que en el efluente generado del curtido de la técnica optimizada presentó menor carga orgánica, esto posiblemente se originó una mayor dilución de los compuestos químicos al emplearse mayor cantidad de agua. Otro factor que pudo haber influido en esta mejora fue que en su ejecución se procuró una mejor calidad de pieles de paiche, más frescas y mejor descarnadas. Sin embargo se notó también que al optimizar

la técnica se incrementó en los consumos de materia prima (químicos y agua) y energía.

Por ello para calificar su desempeño ambiental, también se aplicó el análisis Grey Clustering. Los resultados de las funciones de whitenization de la técnica optimizada se muestran en la tabla 22 y la comparación de los coeficientes de clusterización de las técnicas de curtido en la tabla 23, en donde la técnica de curtido optimizada presentó un ligera disminución de su desempeño ambiental respecto a la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial (0.978, clase λ_1 : Buen desempeño) con un valor de de 0.977, clase λ_1 .

Tabla 22: Funciones de whitenización y Coeficientes de clusterización de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada

T-fenol optimizada	C-a	C-q	C-e	DBO	DQO	Cr	Resultado
f1	0	0	0	0.007	0	1	0.977
f2	0.929	0.053	0	0.993	0.899	0	0.479
f3	0.071	0.947	1	0	0.101	0	0.379

Tabla 23: Comparación de los resultados del vector de clusterización que incluye la técnica de curtido optimizada

Técnicas de curtido	λ_1 :Mejor desempeño	λ_2 :Regular desempeño	λ_3 :Deficiente desempeño
T-Cr	0.002	0.536	0.308
T-fenol	0.978	0.508	0.277
T-fenol optimizada	0.977	0.479	0.379

Siendo T-Cr: Técnica de curtido con sales de cromo, T-fenol: Técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial y T-fenol optimizada: Técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada.

Se evidenció que la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada presenta un menor desempeño ambiental respecto a la técnica de curtido con

compuestos fenólicos inicial, sin embargo mantiene un mejor desempeño respecto de la técnica de curtido con sales de cromo.

Es importante precisar que en la evaluación del desempeño ambiental de la técnica optimizada se analizó el efluente del baño de piquelado y curtido, pues en las técnicas de curtido evaluadas inicialmente la operación que varió significativamente fue el curtido (empleándose diferentes agentes curtientes y en diferente concentración para cada técnica en estudio). Para mantener así la uniformidad de la evaluación.

Además en esta técnica se analizó el efluente correspondiente a su desengrase para verificar si se logró optimizar la operación de desengrase en base a los resultados de la caracterización de las operaciones de desengrase que se muestran en la tabla 24.

Tabla 24: Caracterización de los efluentes de desengrase

Parámetro	B Desengrase con 3% de FU-100 4% de hidrocarburos. (Efluente de desengrase de la técnica inicial)	DP-8 Desengrase con 8% hidrocarburos, 18% FU-100, 1,2 % enzimas, 3% UD 800, 2.3% HE Desengrase post piquelado: 6% FU-100, 0.4 % enzimas, 0.2% UD- 800, 0.4 % HE (Efluente de desengrase de la técnica optimizada)
Aceites y grasas (mg/L)	3 737.700	11 167.700
DBO (mg/L)	7 270.000	11 270.000
DQO (mg/L)	35 356.100	33 617.600

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial MA1822288 y MA1916043.

Los resultados de la caracterización de los efluentes de desengrase corresponden al efluente de desengrase de la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial, cuya muestra fue codificada como B (ver anexo 11) y al efluente de la

operación de desengrase correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada, muestra codificada como DP-8 (ver anexo12).

En la caracterización se evidenció un incremento en la carga orgánica esto debido a que la DBO aumento de 7270.000 mg/L a 11270.000 mg/L y se pudo inferir que mejoró la biodegradabilidad debido a que el valor de la correlación de DBO/DQO se incrementó de 0.20 a 0.33 ; también se evidenció un alto incremento del contenido de aceites y grasas ya que aumentó a 11 167.700 mg/L, que es casi 3 veces el valor de aceites y grasas del efluente de desengrase de la técnica de curtido inicial que fue de 3737.700 mg/L, esta variación significativa de la concentración de aceites refleja que se optimizó la operación de desengrase de la técnica de curtido ya que los aceites y grasas extraídos de la piel procesada por el desengrase se descargaron en sus efluentes.

La alta concentración de aceites y grasas se dio debido a que las pieles de paiche tienen un alto contenido de grasa, aproximadamente 45% (Instituto Tecnológico de la Producción, 2019), mayor concentración en pieles como las de ovejas con valores de 30% - 40% (Afsar & Cetinkaya, 2008), una de las especies con mayor concentración de grasa en comparación con otros que tradicionalmente se curten, por ejemplo, ganado vacuno (2-4%) y cabras (12-15%) (Choudhary, Jana, & Jha, 2004).

Sin embargo, como se observa de los resultados mostrados, al optimizar la técnica para asegurar las propiedades sensoriales de la piel como el olor y color se ha generado efluentes con altas cargas orgánicas y contenido de aceites y grasas requieren de un sistema de tratamiento; caracterizándose así el efluente de la muestra compuesta correspondiente a todo el proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos para la propuesta de un sistema de tratamiento, sus valores se presenta en la tabla 44, muestra codificada como CP-8 (Ver también anexo 12).

Tabla 25: Resultados de la caracterización del efluente del proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada

Parámetro	CP-8 Muestra compuesta: Desengrase con 8% hidrocarburos, 18% FU-100 y 1,2 % enzimas. Desengrase post piquelado: 6% FU-100, 0.4 % enzimas, 0.2% UD- 800, 0.4 % HE Curtido 2.5% GT-50, y 7,5% compuestos fenólicos
DBO (mg/L)	9 120.00
DQO (mg/L)	27 365.90
Aceites y grasas (mg/L)	8 318.20
Sólidos)totales en suspensión (mg/L)	2 500.00
pH	4.19
Fenoles (mg/L)	5.02
Hidrocarburos totales de petróleo (C10-C40) (mg/L)	2698.80

Fuente: Informe de Ensayo con valor oficial MA1916043.

El efluente de la muestra compuesta correspondiente a todo el proceso de la técnica de curtido optimizada presentó una alta carga orgánica, siendo sus valores de DBO de 9 120.00 mg/L, DQO de 27 365.90 mg/L; un alto contenido de aceites y grasas aceites, con un valor de 8 318.20 mg/L; una concentración alta de hidrocarburos de 2698.80 mg/L y una baja concentración de fenoles con solo 5.02 mg/L.

Los valores de los parámetros caracterizados del efluente compuesto de la aplicación de la técnica optimizada sirven de referencia para determinar su sistema de tratamiento y por las características mostradas se puede inferir que se requerirá de tratamientos primarios y secundarios, para remover la alta carga orgánica.

4.7. Medidas de mejora del desempeño ambiental y propuesta de sistema de tratamiento para el efluente de la técnica optimizada

Medidas de mejora del desempeño ambiental

En el análisis del desempeño ambiental de la técnica de compuestos fenólicos se identificó en base a los indicadores, que en este proceso se requiere aplicar medidas de mejora de su rendimiento, principalmente en el consumo de agua, en la cantidad de químicos empleados y la cantidad del consumo energético ya que se incrementaron respecto a la técnica de curtidos con compuestos fenólicos inicial, que además superan en márgenes amplios a los valores de benchmarking de las curtiembres del SIRAC.

Las medidas para la mejora del desempeño ambiental se detallan a continuación, en base a información bibliográfica de investigaciones del sector curtiembre.

Medidas para minimizar el impacto por el alto consumo de agua:

- Recirculación de los baños de piquelado y curtido, que consiste en filtrarlos para su clarificación y reutilización como piquel de una nueva curtición, a través del ajuste de densidad, pH, contenido del agente curtiente. Determinándose los productos que hay que adicionar para la nueva curtición (CONAMA, 1999).
- Reúso de los efluentes tratados en el proceso productivo (Loayza & Silva, 2013).
- Separación de la sal de la piel de manera mecánica ya que así se puede consumir menos agua para el lavado y remojo inicial de las pieles (Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), 1999).
- Mantenimiento preventivo para evitar fugas y pérdidas en tuberías o maquinaria (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2003)

Medidas para minimizar el impacto por el alto consumo de químicos:

- Conservación adecuada de las pieles, empleando la menor cantidad posible de sal para su acondicionamiento, ya que con esta práctica se puede reducir en un 18-24 % el peso de piel a tratar y por ende una menor cantidad de químicos a emplear en el curtido (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2003).

- Realizar un óptimo descarnado de las pieles ya que influye en un menor consumo de químicos en el proceso de curtido, específicamente en la operación de desengrase, que es la operación con el mayor % de consumo de químicos de la técnica estudiada, con un valor de 51% equivalente a 414 Kg de químicos para procesar 1000 kg de piel de paiche.
- Control y registro de las materias primas empleadas para evitar pérdidas (Loayza & Silva, 2013).

Medidas para minimizar el impacto por el consumo energético:

- Uso de equipos eficientes energéticamente (tales como los motores de los botales, termas eléctricas, etc.), ya que permite ahorros en el consumo energético (FONAM, 2013).
- Uso de fuentes de energías renovables tales como la energía solar, eólica (Loayza & Silva, 2013).
- Control del consumo energético de electricidad, calor (vapor y calefacción) y aire a presión. Para ello será útil realizar un registro de la energía consumida y realizar informes del rendimiento energético (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2003).

Propuesta de sistema de tratamiento para el efluente de la técnica optimizada

Con la finalidad de que los parámetros se encuentren dentro de los LMP de la normativa ambiental, se desarrolló el prototipo del sistema de tratamiento desarrollada para los efluentes del proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada. Los efluentes a ser tratados, se caracterizan por elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos totales y de aceites y grasas.

El prototipo permite la remoción de contaminantes descritos aplicando los procesos de sedimentación, tamizado, flotación y coagulación- floculación.

En la figura 23 se muestra un esquema de los componentes del sistema y en el anexo 13, se presenta un registro fotográfico de estos componentes en funcionamiento.

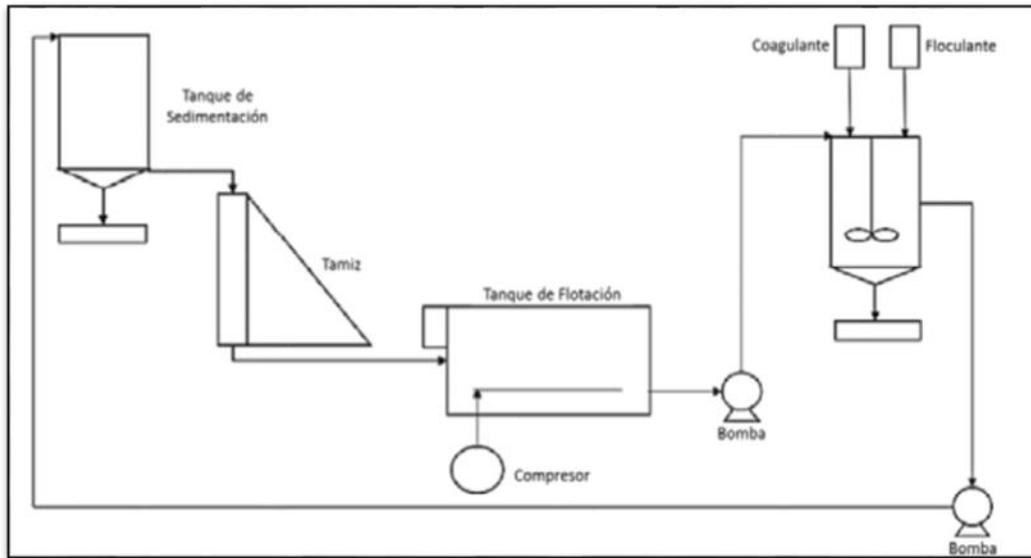


Figura 23. Diagrama de los componentes del prototipo del sistema de tratamiento

Se evaluó el sistema de tratamiento comparando la calidad de la muestra de efluente tratado respecto a los LMP del sector curtiembre. La comparación se muestran en la tabla 26 y corresponden a la muestra codificada como CP-TF (Ver anexo 14).

Tabla 26: Comparación de los parámetros del efluente tratado respecto a los LMP

Parámetro evaluados	LMP – alcantarillado *	LMP – agua superficial *	Efluente tratado
pH	6.0-9.0	5.0 – 8.5	4.72
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	500	35	12
Aceites y grasas (mg/L)	50	30	19.6
DBO ₅ (mg/L)	500	20	68.6
DQO (mg/L)	1500	30	682.7
Fenoles (mg/L)	0.5**		0.1458
Hidrocarburos (mg/L)	20**		8.76

*LMP de curtiembres, **LMP de refinerías, Decreto Supremo N° 037-2008-PCM.

Los valores de los parámetros evaluados de la muestra efluente tratado respecto a los LMP-alcantarillado cumplen en casi la totalidad de los parámetros ya todos los valores de los parámetros no fueron excedidos con la excepción del pH que presentó una naturaleza ligeramente ácida con un valor de 4.72 que no se encuentra dentro del rango establecido de 6 a 9. Por ello para lograr que el tratamiento cumpla con todos los valores del LMP-alcantarillado será propicio adicionar una operación de tratamiento de neutralización. Por ello al aplicar la aplicación de la técnica de curtido optimizada a escala de producción por empresas en la región de Ucayali, en zonas como la ciudad de Pucallpa que cuenta con sistema de alcantarillado se lograría cumplir con los LMP - alcantarillado.

Respecto a los valores del Límite máximo permitido – agua superficial se cumplió con 4 de los 7 parámetros evaluados, por lo que faltaría mejorar la remoción de la concentración de DBO cuyo valor fue de 68.6 mg/L, DQO cuyo valor fue de 682.8 y neutralizar el efluente para que el pH se encuentre el rango de 5 a 8.5. Por ello las empresas que apliquen la técnica de curtido optimizada en zonas donde no se cuente con sistema de alcantarillado y vierten sus aguas residuales directamente a cuerpos de agua superficiales tendrán que mejorar el tratamiento de sus efluentes para lograr cumplir no sobrepasar todos los parámetros de LMP - agua superficial, pues si se desarrollan en la región de la Amazonía peruana los parámetros de calidad ambiental de las aguas superficiales son más exigentes ya que la región hidrográfica del Amazonas se caracteriza por que la mayoría de sus ríos, el 79% (31 665 km) han sido categorizados como Categoría 4, Conservación del ambiente Acuático, siendo cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, por lo que requieren ser protegidas (Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2018). Finalmente se puede mencionar que se evidencia la viabilidad de este sistema de tratamiento para los efluentes generados, pues se obtuvo valores que se encuentran en su mayoría dentro de lo establecido por los LMP, con un costo aproximado de tratamiento según la bibliografía de 0.33 US\$/m³ (Hani Rodriguez, 2009), así mismo se puede profundizar en el estudio del sistema de tratamiento para este tipo de efluentes de altas cargas orgánicas mediante la oxidación avanzada que permite una mejor remoción.

CONCLUSIONES

- La investigación permitió identificar la técnica con mejor desempeño ambiental para su transferencia a escala de producción. Determinándose que la técnica de curtido con sales de aluminio presentó el mejor desempeño ambiental, en segundo orden la técnica de curtido con compuestos fenólicos y en último orden la técnica de curtido con sales de cromo.
- En los cueros producidos se evidenció una afectación de sus propiedades sensoriales de olor y color, originadas por el alto contenido de grasas de la piel de paiche. Fue más intenso en la técnica con sales de aluminio y por ello se optimizó la técnica de curtido compuestos fenólicos, principalmente la operación de desengrase.
- La técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada, obtuvo un σ : 0.98 perteneciente a la clase $\lambda 1$, con un menor desempeño ambiental que la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial, y mantuvo un mejor desempeño ambiental respecto de la técnica de curtido con sales de cromo. Los valores de sus indicadores de desempeño ambiental son 30.00 m³ de agua consumida/1000 kg de piel inicial procesada, 815.00 kg de químicos utilizados /1000 kg de piel inicial procesada, 2022.68 kWh de consumo de energía/1000 kg de piel inicial procesada, 105.00 kg de residuos sólidos generados/1000 kg de piel inicial procesada, 2870.90 mg/L de Demanda Bioquímica de Oxígeno, 11682.90 mg/L Demanda Química de Oxígeno y Cromo total no detectable.
- En las técnicas de curtido en pieles de paiche se evidenció un alto consumo de agua, consumo de sustancias químicas y consumo energético, con valores que superaron por amplios márgenes a los valores de benchmarking disponibles para curtiembres.
- En el análisis de comparación de los indicadores se identificó que se carece de estándares de evaluación del desempeño ambiental de las curtiembres peruanas o valores de benchmarking, por lo que los valores en la investigación hallados sirven de referencia para las técnicas de curtido en pieles de paiche.

- La aplicación del método Grey Clustering permitió cuantificar y evaluar el desempeño ambiental de las técnicas de curtido integrando los valores de los indicadores ambientales en un coeficiente global de fácil comparación.
- La principal carga contaminante de los efluentes de las técnicas de curtido en pieles de paiche son su alta carga orgánica y la alta concentración de aceites y grasas.
- El sistema tratamiento conformado por los procesos de sedimentación, tamizado, flotación y coagulación- floculación, demostró eficacia pues se removieron la mayoría de los parámetros de los LMP para curtiembres, tales como la DBO₅, DQO, SST, Aceites y grasas, Fenoles, Hidrocarburos, solo quedando pendiente neutralizar el efluente para estar dentro del rango de pH de los LMP de curtiembres.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el desempeño ambiental de las nuevas técnicas alternativas de curtido, así como las que se utilizan en el sector para asegurar procesos productivos sostenibles, pudiendo aplicar la metodología desarrollada del presente estudio y complementándose con estudios de análisis de ciclo de vida, análisis costo beneficio por emergencia.
- Realizar estudios de Benchmarking de la industria de curtiembre peruana que permitan contar con estándares de evaluación de desempeño ambiental, identificación de oportunidades de mejora ambiental e integración de la gestión ambiental en las empresas del sector mediante una comparación rápida de indicadores de desempeño ambiental.
- Aplicar medidas de producción más limpia para la mejora del rendimiento ambiental de los indicadores como el consumo de agua, cantidad de químicos y consumo energético.
- En la transferencia a escala de producción de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada en pieles de paiche, se debe contar con un sistema de tratamiento de sus efluentes que permita la remoción de su alta carga orgánica y la de sus aceites y grasas.
- Investigar la sustitución de los hidrocarburos por otros desengrasantes menos contaminantes, como enzimas en la aplicación de las técnicas de curtido en pieles de paiche.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afsar, A., & Cetinkaya, F. (2008). Studies on the degreasing of skin by using enzyme in liming process. *Indian Journal of Chemical Technology*, 15(5), 507-510.
- Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). (1990). *Monografías de la IARC sobre la evaluación de riesgos carcinógenos para humanos: Cromo, Níquel y Soldadura* (Vol. 49). Lyon, Francia.
- Apte, A. D., Tare, V., & Bose, P. (2006). Extent of oxidation of Cr(III) to Cr(VI) under various conditions pertaining to natural environment. *Journal of Hazardous Materials*, 128(2-3), 164-174. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.057>
- Aragón, M., & Alzate, A. (2004). *Sistema de referenciación ambiental (SIRAC) para el sector curtiembre en Colombia. Proyecto gestión ambiental en la industria de curtiembres*.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2018). *Cuerpos de agua continentales superficiales*. Lima.
- Bacardit, A., Armengol, J., Burgh, S., & Ollé, L. (2014). New challenges in chrome-free leathers: Development of wet-bright process. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 109(4), 117-124.
- Barrenechea, E. (2019). *Aprovechamiento de la piel de paiche (Arapaima gigas) para la obtención de colágeno*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Belay, A. A. (2010). Impacts of Chromium from Tannery Effluent and Evaluation of Alternative Treatment Options. *Journal of Environmental Protection*, 01(01), 53-58. <https://doi.org/10.4236/jep.2010.11007>
- Bes, S., Silva, A., & Bengoa, C. (2016). *Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. (Tritón-316Rt0506)*.
- Black, M., Canova, M., Rydin, S., Maria Scalet, B., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2013). *Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) para el curtido de cueros y pieles*. <https://doi.org/10.2788/13548>
- Buljan, J., Reich, G., & Ludvik, J. (2000). *Mass balance in leather processing*.

Regional Programme for Pollution Control in the Tanning Industry in South-East Asia.

Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, I. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73. <https://doi.org/10.25054/22161325.710>

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC). (2006). *Situación Actual de la Industria Curtidora en Perú y su Generación de Residuos.*

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CTPS). (2003). *Guía Técnica de Producción más Limpia para Curtiembres.* La Paz.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (1997). *Guía para el tratamiento, almacenamiento y disposición de residuos de curtiembres.* Lima.

China, C. R., Maguta, M. M., Nyandoro, S. S., Hilonga, A., Kanth, S. V., & Njau, K. N. (2020). Alternative tanning technologies and their suitability in curbing environmental pollution from the leather industry: A comprehensive review. *Chemosphere*, 254, 126804. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126804>

Choudhary, R. B., Jana, A. K., & Jha, M. K. (2004). Enzyme technology applications in leather processing. *Indian Journal of Chemical Technology*, 11(5), 659-671.

Chu-Koo, F., Fernández-Mendez, C., Rebaza-Alfaro, C., Arias, M. J., García-Dávila, C., & García-Vasquez, A. (2017). *El cultivo del paiche: biología, procesos productivos, tecnologías y estadísticas.* (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Ed.).

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (1999). *Guía para el control y la prevención de la contaminación industrial: curtiembre.* Región metropolitana de Chile.

Covington, A. D., & Wise, W. R. (2019). *Tanning Chemistry: The Science of Leather.* Royal Society of Chemistry.

- da Silva, L. I. D., Pontes, F. V. M., Carneiro, M. C., Monteiro, M. I. C., de Almeida, M. D., & Neto, A. A. (2011). Evaluation of the chromium bioavailability in tanned leather shavings using the SM&T sequential extractions scheme. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 23(3), 183-187. <https://doi.org/10.3184/095422911X13027118597382>
- Delgado, A., & Romero, I. (2016). Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method: A case study of a mining project in Peru. *Environmental Modelling and Software*, 77, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.12.011>
- Doménech Antúnez, X. (2014). *Fundamentos de química ambiental*. Madrid.
- Eppers, O., Gonzales, S., García, L., & Luque, K. (2020). *Buenas Prácticas de Producción para la reducción de contaminantes en descargas líquidas aplicables a Curtiembres MYPEs en el Parque Industrial Río Seco de Arequipa*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17904.07684>
- Fathima, N., Kumar, T., Kumar, D., Rao, J., & Nair, B. (2006). Wet white leather processing: A new combination tanning system. *Journal of the American Leather Chemist Association*, 101, 58-65.
- Fei, Y., & Liu, C. (2016). *Detoxification and Resource Recovery of Chromium-Containing Wastes*. *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00012-3>
- FONAM. (2013). *Guía de buenas prácticas de ahorro y eficiencia energética en el sector curtiembre*. Lima.
- Grupo AFIRM. (2018). *Documento informativo sobre sustancias químicas Cromo VI*.
- Hani Rodriguez, M. A. (2009). *Utilización de un sistema híbrido basado en filtración con membranas y electrooxidación avanzada para depurar efluentes complejo*. Universidad de Concepción.
- Instituto Tecnológico de la Producción. (2019). Proyecto DIBIO-1-P-021-17: Curtición de pieles de pescado conservando el color y patrón y su aplicación en artículos de calzado, marroquinería y prendas de vestir en la Región

Ucayali.

- ISO. (2013). *ISO 14031:2013, Gestión ambiental — Evaluación del desempeño ambiental — Directrices*.
- ISO. (2015). *ISO 14001:2015, Sistemas de gestión ambiental — Requisitos con orientación para su uso*.
- Kanagaraj, J., Chandra Babu, N. K., & Mandal, A. B. (2008). Recovery and reuse of chromium from chrome tanning waste water aiming towards zero discharge of pollution. *Journal of Cleaner Production*, 16(16), 1807-1813. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.12.005>
- Kleeberg, F. (2019). *Productividad y competitividad del sector acuícola en el Perú*. (CIEPLAN, Ed.).
- Konrad, C., Lorber, K. E., Méndez, R., Lopez, J., Muñoz, M., Hidalgo, D., ... Rivelca, B. (2002). Systematic analysis of material fluxes at tanneries. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 86(1), 18-25.
- Kotás, J., & Stasicka, Z. (2000). Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environmental Pollution*, (107), 263-283. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S02697491\(99\)00168-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S02697491(99)00168-2)
- Liu, S., & Lin, Y. (2010). *Grey Systems: Theory and Applications*. Springer. Berlín. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16158-2>
- Loayza, J., & Silva, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Industrial Data*, 16(1), 108-117. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/idata.v16i1.6425>
- Martínez, S., & Romero, J. (2018). Revisión Del Estado Actual De La Industria De Las Curtiembres En Sus Procesos Y Productos: Un Análisis De Su Competitividad* Current State Review of the Industry of Tanneries in Its Processes and Products: a Competitiveness Analysis. *Rev.Fac.Cienc.Econ*, 1, 113-124. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rfce.2357> REVISIÓN
- Mayta, R., & Mayta, J. (2017). Remoción de Cromo y Demanda Química de Oxígeno de Aguas residuales de curtiembre por Electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 331-340. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i3.117>

- Mendez, R., Vidal, G., Lorber, K. E., & Márquez, F. (2007). *Producción limpia en la industria de curtiembre*. (U. S. de Compostela, Ed.), *Producción limpia en la Industria Curtiembre* (Vol. 1). Santiago.
- Metcalf, & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. (McGraw-Hill, Ed.). Estados Unidos.
- Ministerio de Medio Ambiente de España. (2003). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector de curtidos*.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua - Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. El Peruano*.
- Narcis Prat. (2019). Calidad de Agua, contaminación y toxicidad: Algunas ideas y conceptos básicos. En *Andanzas y Desventuras de un ecólogo en los juzgados del Reyno* (Editorial, p. 14).
- Navarro, Y. (2015). *Contenido químico - bromatológico del músculo de Pseudoplatystoma sp. "Doncella" procedente del río Apurímac - Ayacucho 2011*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- OEFA. (2019). Mapa de Fiscalización Ambiental. Recuperado 12 de abril de 2019, de <https://pifa.oefa.gob.pe>
- ONUDI. (2017). *La Cadena de Valor Acuícola Amazónica en Perú Un diagnóstico de cadena de valor*.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO). (2004). *Perspectivas a Plazo Medio de los Productos Básicos Agrícolas*. Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO). (2018). La "moda azul": del lago Turkana a la pasarela El fomento de una economía azul sostenible apoya los medios de vida en Kenya. Recuperado 26 de enero de 2021, de <http://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1171782/>
- Pal, P. (2020). Membrane-based technology for wastewater. En *Membrane-Based Technologies for Environmental Pollution Control* (pp. 461-512). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819455-3.00011-x>
- PCM. (2008). *Límites Máximos permisibles de efluentes líquidos para el*

subsector hidrocarburos Decreto Supremo 037-2008-PCM (No. Decreto Supremo 037-2008-PCM). Lima.

Pezo, Í. (2004). *Tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales mediante el software Starples V 1.0 caso estudiado : aplicación a la industria de curtiembres de la ciudad de Arequipa. Universidad Nacional de Ingeniería. Universidad Nacional de Ingeniería.*

Pire, M., Rodríguez, K., Fuenmayor, M., Fuenmayor, Y., Acevedo, H., Carrasquero, S., & Díaz, A. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producidas en una tenería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5. <https://doi.org/10.18359/rcin.257>

PRODUCE. (2002). *Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE* (No. Decreto Supremo N° 003-2002). Lima.

PRODUCE. (2019). Resoluciones de la Dirección General de Asuntos Ambientales sobre Diagnósticos Ambientales preliminares de Curtiembres. Recuperado 10 de abril de 2019, de <https://www.gob.pe/produce>

Quisca, A. (2002). *Medidas y tratamientos preventivos aplicables a la industria del cuero para reducir el consumo de insumos químicos y la carga de contaminantes de sus efluentes.* Lima.

Rathnayaka, R. M. K. T., Seneviratna, D. M. K. N., & Jianguo, W. (2015). Grey evaluation empirical study based on center-point triangular whitenization weight function of Jiangsu Province industrial technology innovation strategy alliance. *Grey Systems: Theory and Application*, 5(2), 178-193.

Rivela, B., Méndez, R., Bornhardt, C., & Vidal, G. (2004). Towards a cleaner production in developing countries: A case study in a Chilean tannery. *Waste Management and Research*, 22(3), 131-141. <https://doi.org/10.1177/0734242X04044322>

Roig, M., Segarra, V., Bertazzo, M., Martinez, M. A., Ferrer, J., & Raspi, C. (2011). Chrome-free leather, tanned with oxazolidine. *31st IULTCS Congress*, (October).

- Segundo, A., Marrufo, L. del R., & Contreras, R. (2019). *Manual de curtido de pieles de paiche y doncella conservando su patrón y color natural*. Lima.
- Segundo Espada, A., Marrufo Saldaña, L., Barra Hinojosa, J., & Contreras Panizo, R. (2020). Development of a degreasing process for paiche skins (*Arapaima gigas*) for tanning preserving the natural pattern and color. *Leather and Footwear Journal*, 20(2), 119-132. <https://doi.org/10.24264/lfj.20.2.3>
- Tünay, O., Kabdash, I., Orhon, D., & Cansever, G. (1999). Use and minimization of water in leather tanning processes. *Water Science and Technology*, 40(1), 237-244. <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0051>
- Zasoski, R. J., & Fendorf, S. E. (1992). Chromium(III) Oxidation by Δ -Manganese Oxide (MnO_2). 1. Characterization. *Environmental Science and Technology*, 26(1), 79-85. <https://doi.org/10.1021/es00025a006>
- Zhou, L., & Xu, S. (2006). Application of Grey Clustering Method in Eutrophication Assessment of Wetland. *The Journal of American Science*, 2(4), 53-58.

ANEXOS

Anexo 1: Formato de registro del proceso de las técnicas de curtido desarrollado por CITEccal-Lima.

FICHA DE PROCESO DE CURTIDO DE PAICHE-DONCELLA-PROYECTO RETO- BIO									
Material			Paiche			Procedencia		Pucallpa	
Cantidad						Ingreso de piel		Fresco Salado	
Operario						Peso (Kg)			
Botal						Fecha			
Operación	Producto	% w/w	Cantidad	Unidad	Tiempo (min.)	pH	Indicador	Controles	Observaciones
Remojo	Reposa 40 min. Y gira 10 min. Y duerme en la noche								
	Día siguiente gira 30 min. Y escurrir baño							Be ^o <2	
Desengrase								T=28°C	
	Reposo 10 min y luego se escurre								
								T=28°C	
	Reposo 10 min y luego se escurre								
								T=28°C	
	Ecurrir								
								T=28°C	
	Ecurrir								
Piquelado								Be ^o = 6	
	Reposa 2 dias								
	Se escurre y se descarga las pieles , acomoda en el caballete y reposa 4 dias								
Curtido	Mismo baño de la etapa del piquelado se usa para la etapa del curtido.								
								Control de atravesado	
	Ecurrir el botal y dejar reposar las pieles toda la noche.								
Lavado	Lavar bien con aproximadamente 200% de agua hasta obtener .agua clara								
								T=30°C	
	Ecurrir								
Neutralizado								T=35°C	
	Ecurrir y lavar bien con 200% de agua hasta obtener agua clara								
Engrase								T=50°C	
	Ecurrir y retirar las pieles del botal, dejar reposar en un caballete por una noche								

Fuente: CITEccal-Lima.

Anexo 2: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con sales de cromo.

ENTRADAS		REMOJO	SALIDAS	
1.1 Masa de piel procesada(kg)	16.50	1°) Lavado	1.4 Volumen de efluente(l)	62.70
1.2 Volumen de agua(l)	66.00		1.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
1.3 Consumo de energía (kWh)	0.249			
2.1 Volumen de agua(l)	66.00	2°) Pre-remojo	2.4 Volumen de efluente(l)	62.70
2.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.050		2.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
UD-800	0.033			
Tensocide 85	0.017			
2.3 Consumo de energía (kWh)	1.243			
3.1 Volumen de agua(l)	66.00	3°) Remojo	3.4 Volumen de efluente(l)	62.70
3.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.173		3.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
UD-800	0.033			
FU-100	0.033			
Tensocide 85	0.025			
Formol	0.083			
3.3 Consumo de energía (kWh)	0.870			
ENTRADAS		DESENGRASE	SALIDAS	
4.1 Masa de reactivos químicos(kg)	1.073	4 °) Desengrase 1	4.4 Volumen de efluente(l)	15.68
Petróleo	0.990		4.5 Residuos sólidos de la operación de descarte(*) (kg)	1.80

UD-800	0.083			
4.2 Volumen de agua(l)	16.50			
4.3 Consumo de energía (kWh)	1.367			
5.1 Volumen de agua(l)	16.50	5 °) Desengrase 2	5.4 Volumen de efluente(l)	16.50
5.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.528		5.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.495			
7703	0.017			
7707	0.007			
215	0.010			
5.3 Consumo de energía (kWh)	1.118			
6.1 Volumen de agua(l)	82.50		6°) Lavado	6.3 Volumen de efluente(l)
6.2 Consumo de energía (kWh)	0.621	6.4 Residuos sólidos(kg)		0.00
ENTRADAS		PIQUELADO Y CURTIDO	SALIDAS	
7.1 Volumen de agua(l)	16.50	7°) Piquelado y curtido	7.4 Volumen de efluente(l)	15.68
7.2 Masa de reactivos químicos(kg)	2.723		7.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
Sal industrial	1.155			
Ácido fórmico	0.330			
Cromo	1.155			
Formiato	0.083			
7.3 Consumo de energía (kWh)	6.834			
ENTRADAS		NEUTRALIZADO Y ENGRASE	SALIDAS	
8.1 Volumen de agua(l)	16.50	8 °) Engrase 1	8.4 Volumen de efluente(l)	15.68

8.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.099		8.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Ácido Oxálico	0.0495			
FU-100	0.0495			
8.3Consumo de energía (kWh)	0.621			
9.1Volumen de agua(l)	49.50	9 °) Engrase 2 y lavado	9.4Volumen de efluente(l)	47.03
9.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.363		9.5Residuos sólidos(kg)	0.00
NC	0.083			
Formiato de sodio	0.198			
Bicarbonato de sodio	0.083			
9.3Consumo de energía (kWh)	1.864			
10.1Volumen de agua(l)	49.50	10 °) Engrase 3 y lavado	10.4Volumen de efluente(l)	47.03
10.2Masa de reactivos químicos(kg)	2.038		10.5Residuos sólidos (kg)	0.00
6146	1.650			
Likert Napa	0.330			
ED	0.025			
Ácido Fórmico	0.033			
10.3Consumo de energía (kWh)	8.912			10.6Masa de cuero Crust (después del secado en kg)

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con sales de cromo (muestra codificada como CCrP).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1824638

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CFdTO	CCrP	CCrdTO
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO					19/11/2018	19/11/2018	19/11/2018
CATEGORIA SUBCATEGORIA					14:00:00	14:00:00	14:00:00
					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00053	0.00062	0.00057
Molibdeno Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.01258	0.03022	0.01457
Niobio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	0.0054	<0.0015
Niquel Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0314	0.1236	0.0304
Plata Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010	<0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0225	0.0382	0.0135
Potasio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	11.16	39.41	13.51
Rubidio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0003	0.0009	0.0229	0.0554	0.0252
Selenio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	0.0053	0.0131	0.0037
Silice Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.09	0.27	17.31 *	60.45 *	21.89 *
Silicio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.04	0.13	8.09	28.25	10.23
Sodio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.006	0.019	7,881.040	25,458.009	5,205.617
Talio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00007	0.00023	<0.00006
Tantalio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0007	0.0021	0.0151	0.0048	0.0025
Teluro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Thorio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019	<0.00019	<0.00019
Titanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0398	0.0915	0.0395
Uranio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.000003	0.000010	0.003245	0.002105	0.001471
Vanadio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0112	0.2729	0.0575
Wolframio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	0.0009	<0.0006	<0.0006
Yterbio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00041	0.00010
Zinc Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0008	0.0026	0.7127	2.6275	0.7913
Zirconio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00015	0.00045	0.00096	0.00708	0.00134

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CFdTO	CCrP	CCrdTO
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO					19/11/2018	19/11/2018	19/11/2018
CATEGORIA SUBCATEGORIA					14:00:00	14:00:00	14:00:00
					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos							
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg/L	1	3	1,327	2,962	1,757
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	--	4.03 *	3.60 *	3.90 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	8,060.0	4,810.0	7,200.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mg/L	1.8	4.5	32,138.9	13,137.1	28,586.5
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	19.5	15.1	8.6
Fenoles	EW_EPA420_2_4	mg/L	0.0002	0.0005	2.9664		
Metales Totales							
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	10.183	2.064	1.544
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013	0.00117	<0.00013
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00264	0.00565	0.00251
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0729	0.2806	0.0799
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00011	0.00014	<0.00006
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003	<0.00003
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	0.317	0.011	0.293
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00046	0.00991	0.00034
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	269.094	645.982	254.661
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.00311	0.01514	0.00384
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0146	0.0254	0.0126
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.00193	0.01183	0.00281
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.15606	0.18180	0.08619
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.9311	2,888.3694	602.3347
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.00288	<0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	1.6907	2.8299	1.3327
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	13.403	14.739	11.504
Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.00030	<0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	1.7127	2.1221	0.7722
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015	0.0087	0.0021
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.1363	0.0871	0.1063
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	22.229	1,116.252	224.979
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.06682	1.56703	0.36666

Anexo 4: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con sales de aluminio.

ENTRADAS		REMOJO	SALIDAS	
1.1Masa de piel procesada(kg)	2.93	1°) Lavado	1.4Volumen de efluente(l)	11.13
1.2Volumen de agua(l)	11.72		1.5Residuos sólidos(kg)	0.00
1.3Consumo de energía (kWh)	0.25			
2.1Volumen de agua(l)	11.72	2°)Pre-remojo	2.4Volumen de efluente(l)	11.13
2.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.009		2.5Residuos sólidos	0.00
UD-800	0.006			
Tensocide 85	0.003			
2.3Consumo de energía (kWh)	1.24			
3.1Volumen de agua(l)	20.51	3°) Remojo	3.4Volumen de efluente(l)	19.48
3.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.031		3.5Residuos sólidos(kg)	0.00
UD-800	0.006			
FU-100	0.006			
Tensocide 85	0.004			
Formol	0.015			
3.3Consumo de energía (kWh)	0.870			
ENTRADAS		DESENGRASE	SALIDAS	
4.1Masa de reactivos químicos(kg)	0.28	4 °) Desengrase 1	4.4Volumen de efluente(l)	2.78
Hidrocarburo	0.234		4.5Residuos sólidos(kg)	0.30

FU-100	0.029			
UD-800	0.015			
4.2 Volumen de agua(l)	2.93			
4.3Consumo de energía (kWh)	1.37			
5.1Volumen de agua(l)	2.93	5 °) Desengrase 2	5.4Volumen de efluente(l)	2.78
5.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.029		5.5Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.029			
5.3Consumo de energía (kWh)	0.621			
6.1Volumen de agua(l)	2.93	6 °) Desengrase 3	6.4Volumen de efluente(l)	2.78
6.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.0293		6.5Residuos sólidos(g)	0.00
FU-100	0.0293			
6.3Consumo de energía (kWh)	0.621			
7.1Volumen de agua(l)	2.93	7 °) Desengrase 4	7.4Volumen de efluente(l)	2.78
7.2Masa de reactivos químicos(Kg)	0.044		7.5Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.029			
UD-800	0.015			
7.3Consumo de energía (kWh)	0.621			
8.1Volumen de agua(l)	2.93	8°)Desengrase 5	8.4Volumen de efluente(l)	2.78

8.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.006			8.5Residuos sólidos(kg)	0.00
7703	0.003				
7707	0.001				
215	0.002				
8.3Consumo de energía (kWh)	3.67				
9.1Volumen de agua(l)	14.65	9°)Lavado		9.3Volumen de efluente(l)	13.92
9.2Consumo de energía (kWh)	0.62			9.4Residuos sólidos(kg)	0.00
ENTRADAS		PIQUELADO Y CURTIDO		SALIDAS	
10.1Volumen de agua(l)	2.34	10°)Piquelado y curtido		10.4Volumen de efluente(l)	2.23
10.2Masa de reactivos químicos(kg)	1.00			10.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Sal industrial	0.293				
Ácido fórmico	0.059				
Aluminio	0.586				
Bicarbonato de sodio	0.044				
Bicarbonato de sodio	0.009				
Bicarbonato de sodio	0.015				
10.3Consumo de energía (kWh)	6.09				
ENTRADAS		NEUTRALIZADO Y ENGRASE		SALIDAS	
11.1Volumen de agua(l)	2.93	11 °) Engrase 1		11.4Volumen de efluente(l)	2.78

11.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.018		11.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Ácido oxálico	0.009			
FU-100	0.009			
11.3Consumo de energía (kWh)	0.870			
12.1Volumen de agua(l)	8.79	12 °) Engrase 2 y lavado	12.4Volumen de efluente(l)	8.35
12.2Masa de reactivos químicos(Kg)	0.059		12.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Formiato de sodio	0.044			
Bicarbonato de sodio	0.015			
12.3Consumo de energía	1.86			
13.1Volumen de agua(l)	2.93	13 °) Engrase 3	13.4Volumen de efluente(l)	2.78
13.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.303		13.5Residuos sólidos(kg)	0.00
6146	0.293			
Tensocide EB	0.004			
Ácido fórmico	0.006			
13.3Consumo de energía (kWh)	4.81		13.6Masa de cuero crust (después del secado en kg)	1.12

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con sales de aluminio (muestra codificada como Cap. 20).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1823273**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					Cap 15	Cap 20	Cap 25
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO					05/11/2018	06/11/2018	06/11/2018
CATEGORIA SUBCATEGORIA					16:08:00	13:00:00	13:00:00
					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos							
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg/L	1	3	1,516	1,432	832
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	--	3.65 *	3.86 *	3.90 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	1,091.3	965.0	780.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mg/L	1.8	4.5	4,386.8	3,331.2	2,664.3
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	80.5	45.4	37.2
Metales Totales							
Aluminio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	4,667.138	6,232.123	4,342.294
Antimonio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013	<0.00013	0.01752
Arsénico Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.01633	0.02143	0.02336
Bario Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.1103	0.0536	0.0538
Berilio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.02073	0.03197	0.02661
Bismuto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003	<0.00003	0.00025
Boro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.002	0.006	<0.006	0.055	0.213
Cadmio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.02944	0.01680	0.01723
Calcio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.003	0.009	944.128	690.740	587.487
Cerio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00008	0.00024	0.79090	0.36745	0.23339
Cesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	0.0379	0.0295	0.0265
Cobalto Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00001	0.00003	0.01925	0.01213	0.00941
Cobre Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.55012	0.85799	40.85983
Cromo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	5.1605	3.4366	0.4042
Estaño Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	<0.00010	<0.00010	0.20437
Estroncio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	8.1706	4.8790	4.0132
Fósforo Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.015	0.047	3.300	3.527	3.501

Galio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00004	0.00012	0.03657	0.09589	0.03983
Germanio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00005	0.00015	0.00051	<0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0004	0.0013	6.2560	5.2954	10.5052
Lantano Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0005	0.0015	0.4225	0.1530	0.1188
Litio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.0001	0.0003	2.2664	3.3968	2.6787
Lutecio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00002	0.00006	0.00017	0.00021	0.00015
Magnesio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.001	0.003	104.989	78.158	69.561
Manganeso Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00010	0.47656	0.38914	0.62484
Mercurio Total	EW_EPA200_8	mg/L	0.00003	0.00009	0.00153	0.00329	0.00162

Anexo 6: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtido con compuestos fenólicos.

ENTRADAS		REMOJO	SALIDAS	
1.1Masa de piel procesada(kg)	2.96	1°) Lavado	1.4Volumen de efluente(l)	11.25
1.2Volumen de agua(l)	11.84		1.5Residuos sólidos(kg)	0.00
1.3Consumo de energía (kWh)	0.124			
2.1Volumen de agua(l)	11.84	2°)Pre-remojo	2.4Volumen de efluente(l)	11.25
2.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.009		2.5Residuos sólidos(kg)	0.00
UD-800	0.006			
Tensocide 85	0.003			
2.3Consumo de energía (kWh)	1.864			
3.1Volumen de agua(l)	11.84	3°) Remojo	3.4Volumen de efluente(l)	11.25
3.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.032		3.5Residuos sólidos(kg)	0.00
UD-800	0.006			
FU-100	0.006			
Tensocide 85	0.004			
Formol	0.015			
Bzma 7703	0.0003			
Bzma 7707	0.0003			
3.3Consumo de energía (kWh)	5.964			
ENTRADAS		DESENGRASE	SALIDAS	

4.1 Masa de reactivos químicos(kg)	0.178	4 °) Desengrase 1	4.4 Volumen de efluente(l)	2.81
Petróleo	0.148		4.5 Residuos sólidos(kg)	0.30
FU-100	0.015			
UD-800	0.015			
4.2 Volumen de agua(l)	2.96			
4.3 Consumo de energía (kWh)	1.243			
5.1 Volumen de agua(l)	2.96	5 °) Desengrase 2	5.4 Volumen de efluente(l)	2.81
5.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.030		5.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.030			
5.3 Consumo de energía (kWh)	0.497			
6.1 Volumen de agua(l)	2.96	6 °) Desengrase 3	6.4 Volumen de efluente(l)	2.81
6.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.030		6.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.030			
6.3 Consumo de energía (kWh)	0.497			
7.1 Volumen de agua(l)	2.96	7 °) Desengrase 4	Volumen de efluente(l)	2.81
7.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.044		7.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
FU-100	0.030			
UD-800	0.015			

7.3Consumo de energía (kWh)	0.497			
8.1Volumen de agua(l)	2.96	8 °) Desengrase 5	8.4Volumen de efluente(l)	2.81
8.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.003		8.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Bzma 7703	0.0003			
Bzma 7707	0.0012			
Bzma 215	0.0018			
8.3Consumo de energía (kWh)	1.546			
9.1Volumen de agua(l)	14.8	9°)Lavado	9.3Volumen de efluente(l)	14.8
9.2Consumo de energía (kWh)	0.621		9.4Residuos sólidos(kg)	0.00
ENTRADAS		PIQUELADO Y CURTIDO	SALIDAS	
10.1Volumen de agua(l)	2.96	10°) Piquelado y curtido	10.4Volumen de efluente(l)	2.96
10.2Masa de reactivos químicos(kg)	0.700		10.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Sal industrial	0.296			
Ácido fórmico	0.059			
GT-50	0.066			
Formiato de sodio	0.029			
Alfoniltop (Ácido catiónico)	0.014			
Bicarbonato de sodio	0.012			
SF extra	0.222			
10.3Consumo de energía (kWh)	15.034			

ENTRADAS		NEUTRALIZADO Y ENGRASE	SALIDAS	
11.1 Volumen de agua(l)	2.96	11 °) Engrase 1	11.4 Volumen de efluente(l)	2.81
11.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.018		11.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
Ácido oxálico	0.009			
FU-100	0.009			
11.3 Consumo de energía (kWh)	0.746			
12.1 Volumen de agua(l)	8.88	12 °) Engrase 2 y lavado	12.4 Volumen de efluente(l)	8.44
12.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.05032		12.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
Formiato de sodio	0.03552			
Bicarbonato de sodio	0.0148			
12.3 Consumo de energía (kWh)	1.864			
13.1 Volumen de agua(l)	2.96	13°) Engrase 3	13.4 Volumen de efluente(l)	2.81
13.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.306		13.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
6146	0.296			
Tensocide EB	0.004			
Ácido fórmico	0.006			
13.3 Consumo de energía (kWh)	3.085		13.6 Masa de cuero crust (después del secado en kg)	1.14

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos (muestra codificada como CSM7).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822500**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					BR	BP
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO					CSM7 26/10/2018 09:10:00	CSM10 26/10/2018 09:10:00
CATEGORIA SUBCATEGORIA					AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos						
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	--	3.91 *	4.29 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	4,370.0	4,950.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mg/L	1.8	4.5	18,197.5	21,079.6
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	147.5	153.7
Fenoles	EW_EPA420_2_4	mg/L	0.0002	0.0005	8.8168	18.6166

Anexo 8: Cuadro de comparación de la calidad de cuero producido por las técnicas de curtido estudiadas.

PARAMETROS	Codificación de la piel procesada por la técnica de curtido con compuestos fenólicos	Codificación de la piel procesada por la técnica de curtido con sales de aluminio	Codificación de la piel procesada por la técnica de curtido con sales de cromo	Calzado de Casual (NTP 241.023:2014. CALZADO. Calzado casual. Requisitos y métodos de ensayo)	Calzado de Caballero (NTP 241.021:2015 CALZADO. Calzado de caballero. Requisitos y métodos de ensayo)	Calzado Dama (NTP 241.022:2015 CALZADO. Calzado de dama. Requisitos y métodos de ensayo)	Prendas de vestir	Artículos de marroquinería (Gerhard, J. (1996). Possible defects in leather production)
	E3e1p paiche	CAP 20 paiche	CCrP1 paiche	Valor recomendado	Valor recomendado	Valor recomendado	Valor recomendado	Valor recomendado
Resistencia al desgarro	188 N (830,12 N/cm)	159 N (1238,80 N/cm)	305 N (937,79 N/cm)	Sin forro: Mayor o igual a 100 N. Con forro: Mayor o igual a 70 N	Mayor o igual a 40 N	Mayor o igual a 40 N.	Mayor de 20 N, y las pieles con resistencia al desgarro mayor de 10 N se pueden utilizar siempre y cuando se preste atención al diseño y construcción de la prenda.	Mínimo 400 N/cm
Resistencia a la tracción	11,08 N/mm ² (1108,7 N/cm ²)	14,03 N/mm ² (1402,8 N/cm ²)	15,17 N/mm ² (1517,3 N/cm ²)	Mayor o igual a 10 N/mm ²	Mayor o igual a 15.0 N/mm ² en serrajes.	Mayor o igual a 15.0 N/mm ² en serrajes.		Mínimo 2250 N/cm ²
Porcentaje de elongación	48,13%	87,53%	98,30 %	Mayor o igual a 15% (dirección transversal) y mayor o igual a 7% (dirección longitudinal).				Máximo 50%
Temperatura de contracción	73,54°C (2,00%)	73,80°C (2,00%)	82,98 (0,00%) °C	Como mínimo 70°C a 75°C con un encogimiento no mayor al 5%				

Fuente: CITEccal-Lima.

Anexo 9: Análisis de flujo detallado de la técnica de curtidos con compuestos fenólicos optimizada.

ENTRADAS		REMOJO	SALIDAS	
1.1 Masa de piel procesada(kg)	26.4	1°)Pre-Remojo y Remojo principal	1.5Volumen efluente(l)	de 87.78
1.2Volumen de agua(l)	92.4		1.6Residuos sólidos(kg)	0.00
1.3Masa de reactivos químicos(kg)	0.911			
Humectante(UD-800)	0.106			
Bactericida	0.092			
Desengrasante FU-100	0.396			
Formol	0.396			
7707	0.011			
215	0.016			
1.4Consumo de energía (kWh)	4.225			
ENTRADAS		DESENGRASE	SALIDAS	
2.1Masa de reactivos químicos(kg)	1.214	2°)Desengrase 1	2.4Volumen efluente(l)	de 50.16
Petroleo	1.056		2.5Residuos sólidos(kg)	2.28
Humectante(UD-800)	0.132			
Enzimas (HE)	0.026			
2.2 Volumen de agua(l)	52.8			
2.3Consumo de energía (kWh)	1.791			
3.1Volumen de agua(l)	52.8	3°)Desengrase 2	3.4Volumen efluente(l)	de 50.16
3.2Masa de reactivos químicos(kg)	1.19		3.5Residuos sólidos(kg)	0.00

Petróleo	1.056			
Humectante(UD-800)	0.132			
Enzimas (HE)	0.053			
3.3Consumo de energía (kWh)	1.791			
4.1Volumen de agua(l)	52.8	4°)Desengrase 3 (repetido 2 veces)	4.4Volumen efluente(l) de	50.16
4.2Masa de reactivos químicos(kg)	1.8		4.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Desengrasante FU-100	1.58			
7707	0.05			
215	0.05			
HE	0.11			
4.3Consumo de energía (kWh)	2.588			
5.1Volumen de agua(l)	79.2		5°)Desengrase 4 (repetido 3 veces)	5.4Volumen efluente(l) de
5.2Masa de reactivos químicos(kg)	2.93	5.5Residuos sólidos(kg)		0
Desengrasante FU-100	2.38			
7707	0.08			
215	0.08			
HE	0.4			
5.3Consumo de energía (kWh)	3.882			
6.1Masa de reactivos químicos(kg)	0.871	6°)Desengrase 5	6.4Volumen efluente(l) de	25.08
Desengrasante FU-100	0.792		6.5Residuos sólidos(kg)	0.56
7707	0.026			
215	0.026			
HE	0.026			
6.2 Volumen de agua(l)	26.4			

6.3 Consumo de energía (kWh)	1.294			
7.1 Masa de reactivos químicos(kg)	0.528	7°)Desengrase 6	7.4 Volumen efluente(l)	de 25.08
Humectante(UD-800)	0.528		7.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
7.2 Volumen de agua(l)	26.4			
7.3 Consumo de energía (kWh)	1.294			
ENTRADAS			PIQUELADO	SALIDAS
8.1 Masa de reactivos químicos(kg)	2.64	8°)Piquelado	8.4 Volumen efluente(l)	de 25.08
Sal molida	2.64		8.5 Residuos sólidos(kg)	0
TC-400	0.53			
8.2 Volumen de agua(l)	26.4			
8.3 Consumo de energía (kWh)	2.361			
ENTRADAS		DESENGRASE (POST - PIQUELADO)	SALIDAS	
9.1 Masa de reactivos químicos(kg)	1.584	9°)Desengrase post-piquelado 1	9.4 Volumen efluente(l)	de 25.08
Sal Molida	1.32		9.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
Bicarbonato de sodio	0.264			
9.2 Volumen de agua(l)	26.4			
9.3 Consumo de energía (kWh)	1.615			
10.1 Volumen de agua(l)	79.2	10°)Desengrase post-piquelado 2 y lavado	10.4 Volumen efluente(l)	de 75.24
10.2 Masa de reactivos químicos(kg)	0.818		10.5 Residuos sólidos(kg)	0.00

Desengrasante FU-100	0.79		
7707	0.026		
HE	0.05		
10.3Consumo energía (kWh) de	2.734		
ENTRADAS		PIQUELADO Y CURTIDO	SALIDAS
11.1Volumen agua(l) de	26.4	11°)Piquelado y Curtido	11.4Volumen efluente(l) de 25.08
11.2Masa de reactivos químicos(kg)	3.168		11.5Residuos sólidos(kg) 0.00
Sal molida	2.64		
TC-400	0.528		
GT-50	0.66		
SF-extra	1.98		
Formiato de Sodio	0.132		
Bicarbonato de Sodio	0.158		
Fungicida	0.04		
11.3Consumo energía (kWh) de	11.54		
ENTRADAS			LAVADO
12.1Masa de reactivos químicos(kg)	0.13	12°)Lavado	12.4Volumen efluente(l) de 87.78
Humectante FU-100	0.13		12.5Residuos sólidos(kg) 0.00
12.2 Volumen de agua(l) de	92.4		
12.3Consumo energía (kWh) de	0.797		
ENTRADAS		RECURTIDO	SALIDAS
13.1Masa de reactivos químicos(kg)	0.66	13°)Recurtido	13.4Volumen efluente(l) de 37.62

Cromaltan	0.4		13.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Formiato de Sodio	0.26			
13.2 Volumen de agua(l)	39.6			
13.3Consumo energía (kWh)	4.028			
ENTRADAS		NEUTRALIZADO	SALIDAS	
14.1Masa de reactivos químicos(kg)	0.475	14°)Neutralizado	14.4Volumen de efluente(l)	87.78
Neutralizante	0.132		14.5 Residuos sólidos(kg)	0.00
Formiato de sodio	0.264			
Bicarbonato de sodio	0.079			
14.2 Volumen de agua(l)	92.4			
14.3Consumo energía (kWh)	2.537			
ENTRADAS			ENGRASE	SALIDAS
10.1Volumen de agua(l)	26.4	15°)Engrase	10.4Volumen de efluente(l)	25.08
10.2Masa de reactivos químicos(kg)	2.6		10.5Residuos sólidos(kg)	0.00
Aceite sintético	1.32		10.6Masa crust(kg) Cuero	9.58
Trupan DB80	0.4			
Compacto rellenanante	0.792			
Fungicida	0.04			
Acido orgánico	0.05			
15.3Consumo energía (kWh)	3.034			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación curtido correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como CF 22/04/19).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1909575**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					CF-22/04/19:
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA					Curtición
SUB CATEGORIA					22/04/2019
					14:31:00
					AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL
					INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	1,184
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	2,870.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	11,682.9
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	708.7
Fenoles	EW_EPA420_2_4	mg/L	0.0002	0.0005	69.7545

Anexo 11: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación de desengrase correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos inicial (muestra codificada como B).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1822288**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					B
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO					24/10/2018
CATEGORIA SUBCATEGORIA					09:00:00
					AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	7,270.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mg/L	1.8	4.5	35,356.1
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	8,737.7

Anexo 12: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente de la operación de desengrase correspondiente a la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como DP8) y del efluente de la muestra compuesta correspondiente al proceso de la técnica de curtido con compuestos fenólicos optimizada (muestra codificada como CP8).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1916043 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					DP-8	CP-8
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA					03/07/2019	03/07/2019
SUB CATEGORIA					08:00:00	08:00:00
					AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL	AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Análisis Físicoquímicos						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	2,135	2,500
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	--	5.30 *	4.19 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	11,270.0	9,120.0
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	33,617.6	27,365.9
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	11,167.7 (**)	8,318.2 (**)
Fenoles	EW_EPA420_2_4	mg/L	0.0002	0.0005		5.0223
Hidrocarburos Totales de Petróleo						
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	EW_EPA8015_TPH	mg/L	0.05	0.15	2,622.06 (**)	2,698.75 (**)

Anexo 13: Registro fotográfico del sistema de tratamiento y sus componentes en funcionamiento.



Sistema instalado en CITEccal-Lima

Fuente: Registro fotográfico propio.

Anexo 14: Ensayo de los parámetros físico-químicos del efluente tratado (muestra codificada como CP-TF).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL
MA1923399 Rev. 0**

IDENTIFICACION DE MUESTRA					CP-TF
FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO CATEGORIA					17/09/2019
SUB CATEGORIA					11:40:00
					AGUA RESIDUAL
					AGUA RESIDUAL
					INDUSTRIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado
Análisis Físicoquímicos					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	12
Potencial de Hidrógeno	EW_APHA4500HB	pH	--	--	4.72 *
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APHA5210B	mg/L	1.0	2.6	68.6
Demanda Química de Oxígeno	EW_APHA5220D	mgO ₂ /L	1.8	4.5	682.7
Aceites y Grasas	EW_ASTMD3921	mg/L	0.2	0.4	19.6
Fenoles	EW_EPA420_2_4	mg/L	0.0002	0.0005	0.1458
Hidrocarburos Totales de Petróleo					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10-C40)	EW_EPA8015_TPH	mg/L	0.05	0.15	8.76