

Improvement of Environmental Management for the Reduction of Environmental Costs in a Tannery in Trujillo, Peru (2025)

Miguel Angel Rodríguez-Alza, Doctor en Ciencias e Ingeniería¹, Silvia Lizeth Cabel-De La Cruz¹, Keren Nayely De La Cruz-Mendoza¹, Franklin Junior Polo-Rodríguez¹, Emilio Augusto Römer-Vigo¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú; miguel.rodriguez@upn.edu.pe, N00319197@upn.pe, N00274096@upn.pe, N00322862@upn.pe, N00329907@upn.pe

Abstract– *The present study aims to improve environmental management at Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. in Trujillo - La Libertad to reduce its environmental impacts and operating costs. Four main causes of environmental problems were identified: environmental regulatory non-compliance, industrial effluent contamination, inadequate management of hazardous waste, and lack of control of environmental parameters. These problems affected production processes, the environment, and the company's profitability. To address this, an Environmental Management Plan, a Contingency Plan, and a Monitoring and Control Plan were proposed as improvement measures. The implementation of these plans reduced economic loss from S/. 22,500.00 to S/. 4,200.00, resulting in a significant economic benefit for the tannery. The economic-financial evaluation of the proposal showed an NPV of S/. 29,184.39, an IRR of 95.16%, a payback period of 6.90 months, and a Benefit-Cost ratio of 1.6, supporting the economic viability of the proposed improvements.*

Keywords–*Environmental Management, Tannery, Cost Reduction, Hazardous Waste, Environmental Regulations.*

Mejora de la Gestión Ambiental para la Reducción de Costos Ambientales en una Curtiembre de Trujillo, Perú (2025)

Miguel Angel Rodríguez-Alza, Doctor en Ciencias e Ingeniería¹, Silvia Lizeth Cabel-De La Cruz¹, Keren Nayely De La Cruz-Mendoza¹, Franklin Junior Polo-Rodríguez¹, Emilio Augusto Römer-Vigo¹

¹Universidad Privada del Norte, Perú; miguel.rodriguez@upn.edu.pe, N00319197@upn.pe, N00274096@upn.pe, N00322862@upn.pe, N00329907@upn.pe

Resumen– El presente estudio tiene como objetivo la mejora de la gestión ambiental en la empresa Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. de Trujillo - La Libertad para reducir sus impactos ambientales y costos operativos. Se identificaron cuatro causas principales de problemas ambientales: incumplimiento normativo ambiental, contaminación de efluentes industriales, gestión inadecuada de residuos peligrosos y falta de control de parámetros ambientales. Estos problemas afectaron los procesos productivos, el medio ambiente y la rentabilidad de la empresa. Para ello, se propusieron un Plan de Manejo Ambiental, un Plan de Contingencias y un Plan de Monitoreo y Control como propuesta de mejora. La implementación de estos planes redujo la pérdida económica de S/. 22,500.00 a S/. 4,200.00, lo que resultó en un beneficio económico significativo para la curtiembre. La evaluación económico-financiera de la propuesta mostró un VAN de S/. 29,184.39, una TIR del 95.16%, un PRI de 6.90 meses y una relación Beneficio-Costo de 1.6, respaldando la viabilidad económica de las mejoras propuestas.

Palabras clave– Gestión Ambiental, Curtiembre, Reducción de Costos, Residuos Peligrosos, Normativa Ambiental.

I. INTRODUCCIÓN

La industria curtidora mundial se ha consolidado como un sector económico importante dentro de la manufactura global. Esta actividad se caracteriza por su alta demanda de recursos naturales y significativo impacto ambiental. Los procesos de curtido requieren uso intensivo de químicos y grandes volúmenes de agua. Las descargas generadas contienen contaminantes que afectan recursos hídricos y suelos. La industria enfrenta crecientes presiones para adoptar tecnologías más limpias y cumplir estándares ambientales estrictos. En cifras específicas, está dominada por Asia con el 59% de las exportaciones globales, seguido por Europa con el 36%. Para producir una tonelada de cuero terminado se utilizan aproximadamente 500 kilogramos de productos químicos, de los cuales el 85% termina como desecho contaminante.

Asimismo, los procesos requieren hasta 1,000 litros de agua por cada piel procesada, generando efluentes con altas concentraciones de contaminantes. Los principales contaminantes incluyen cromo hexavalente con concentraciones de hasta 392.9 mg/L cuando la normativa permite únicamente 0.5 mg/L. Esta problemática se

intensifica en países en desarrollo donde la informalidad del sector resulta en vertimientos sin tratamiento apropiado. [1]

En Perú, la industria curtidora forma parte importante de la cadena productiva nacional, pero presenta deficiencias significativas en modernización tecnológica y gestión ambiental. Las empresas del sector enfrentan dificultades para cumplir con las normativas ambientales establecidas por el MINAM debido a limitaciones técnicas y económicas. La falta de personal especializado en gestión ambiental limita la capacidad de implementar prácticas sostenibles efectivas en los procesos productivos. Los efluentes generados frecuentemente superan los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente. La alta informalidad del sector agrava la problemática ambiental nacional y representa un riesgo económico creciente para las empresas. [2]

La región La Libertad concentra empresas curtidoras que contribuyen a la economía local, pero carecen de sistemas integrados de tratamiento de efluentes industriales. Las empresas operan con tecnologías obsoletas que incrementan el consumo de recursos naturales y la generación de residuos peligrosos sin control adecuado. La gestión inadecuada de residuos sólidos y líquidos afecta la calidad ambiental del entorno y las comunidades circundantes del territorio regional. Las autoridades locales implementan controles más estrictos sobre las descargas industriales para proteger los recursos hídricos, pero muchas empresas no logran cumplir. El distrito de La Esperanza en Trujillo alberga curtiembres que enfrentan fallas recurrentes en maquinaria y deficiencias en gestión ambiental sistemática.

La normativa peruana establece un marco legal que exige a las empresas curtidoras implementar medidas de prevención y mitigación de impactos ambientales. La Ley General del Ambiente N° 28611 define principios fundamentales para el ejercicio del derecho a un ambiente saludable. El Decreto Supremo N° 003-2013-MINAM regula los Estándares de Calidad Ambiental para agua, mientras que el Decreto Supremo N° 010-2023-MINAM establece Límites Máximos Permisibles más estrictos para curtido y adobo de cuero [2]. Las empresas que no cumplan estos estándares enfrentan

sanciones económicas fiscalizadas por el OEFA. La implementación de sistemas de gestión ambiental efectivos se vuelve prioritaria para la sostenibilidad del sector y el cumplimiento normativo.[3]

Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. es una empresa peruana dedicada al curtido y adobo de cueros y a la venta mayorista de productos del sector cuero y calzado, ubicada en el Parque Industrial del distrito de La Esperanza, Trujillo. La empresa presenta cuatro problemas ambientales críticos que comprometen su sostenibilidad: (P1) incumplimiento normativo ambiental por falta de personal capacitado según el D.S. N° 010-2023-MINAM [4]; (P2) contaminación de efluentes industriales con concentraciones de cromo entre 15-30 mg/L que superan el LMP de 0.5 mg/L; (P3) gestión inadecuada de residuos peligrosos que genera 200-300 kg mensuales sin segregación apropiada; y (P4) falta de control de parámetros ambientales por ausencia de monitoreo regular. Estos problemas incrementan significativamente los costos operativos por multas, sobreconsumo de recursos y pérdidas de eficiencia productiva. [5]

Para abordar adecuadamente esta problemática, es fundamental comprender los conceptos teóricos que sustentan la presente investigación. La gestión ambiental se define como un proceso permanente y continuo, orientado a administrar los intereses y recursos relacionados con los objetivos de la Política Nacional Ambiental a fin de alcanzar una mejor calidad de vida para la población y la conservación del patrimonio natural del país. En el Perú, el Ministerio del Ambiente es el ente rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental encargado de liderar las acciones ambientales en los tres niveles de gobierno. [6]

Dentro de este marco de gestión ambiental, resulta esencial comprender qué constituye un impacto ambiental, el cual se refiere a las consecuencias de las acciones humanas sobre el medio ambiente, entendido como la modificación del entorno marítimo, terrestre e incluso atmosférico como resultado de diferentes actividades productivas. Existen diversos tipos de impactos ambientales clasificados como positivo, negativo, temporal, permanente, directo, indirecto, acumulativo, sinérgico, reversible e irreversible, siendo las actividades industriales como el curtido una de las que genera mayores alteraciones ambientales debido al uso intensivo de químicos y agua. [7]

Para implementar efectivamente esta gestión ambiental, es necesario contar con herramientas técnicas de análisis y evaluación. En primera instancia, los diagramas constituyen representaciones gráficas que simplifican información compleja y facilitan la comprensión de procesos y relaciones. Estudios recientes muestran que los diagramas aplicados a procesos y a mapeo de actividades aumentan la eficacia de intervenciones de mejora porque permiten identificar cuellos de botella, lo cual es especialmente relevante en contextos de ingeniería y gestión de procesos. [8]

Complementariamente, la Matriz de Leopold es una

técnica de evaluación ambiental que establece una relación entre actividades de un proyecto y los factores del entorno que podrían verse afectados. Este método permite clasificar los impactos según su magnitud e importancia, ofreciendo una visión estructurada que apoya la planificación y el control de los efectos ambientales. [9]

Asimismo, para situaciones imprevistas que puedan comprometer el ambiente, un plan de contingencia ambiental es un instrumento formal que incorpora medidas organizadas para responder rápidamente ante incidentes que puedan afectar el ambiente [10]. Se formula considerando escenarios específicos del proyecto y se ajusta mediante metodologías actualizadas que tienen en cuenta la sensibilidad ambiental local y propuestas de riesgo en sectores vulnerables. [11]

En términos de planificación preventiva, el Programa de Prevención, Reducción y Minimización (PPRyM) implica diseñar un plan de acción eficaz que es clave para proteger el ambiente, las comunidades y la economía. La prevención y mitigación de riesgos resultan fundamentales en este proceso. Un enfoque integral combina medidas educativas, operativas y preventivas. Una buena preparación ante emergencias permite actuar rápido y usar los recursos de forma eficiente. [12]

Por otra parte, el Plan de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) es una herramienta de gestión que define medidas para prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales derivados de proyectos de construcción. Constituye un instrumento técnico que, tras una evaluación ambiental, detalla medidas concretas para evitar efectos negativos de actividades. [13]

Finalmente, todos estos elementos de gestión ambiental tienen una implicancia directa en los costos operativos, los cuales son clave para la producción, ya que influyen directamente en la actividad económica; su mal manejo y falta de control contable pueden generar una administración ineficiente y baja rentabilidad. Es el costo asociado a la rotación y almacenamiento de materiales desde los proveedores hasta el cliente final. [14]

Existen trabajos que anteceden al nuestro, en el primer antecedente, los autores tienen como objetivo determinar el impacto de la propuesta de mejora en el área de Gestión Ambiental para reducir los costos por la acumulación de residuos sólidos generados durante los procesos de la empresa Inversiones Harod en la ciudad de Trujillo. El procedimiento que siguieron fue basarse en la teoría de una Producción Más Limpia (PML), direccionándose sistemáticamente en la reducción de residuos sólidos contaminantes en todos los aspectos del proceso de producción. Los resultados que obtuvieron fueron un VAN de S/. 92,939.39, lo que significa que el estudio de la propuesta es económicamente rentable, además de mejorar los estándares de calidad del bien y establecer parámetros de producción en base a una metodología limpia en pro del cuidado del medio ambiente. [15]

Luego en el segundo antecedente, los autores plantean como objetivo el diseño de un sistema de gestión ambiental

para el correcto manejo de residuos y reducir los costos que inciden en los procesos de la curtiembre Saago S.A.C. La metodología que usaron fue aplicativa a nivel descriptiva con diseño preexperimental, empleando técnicas de entrevista y observación de campo. Los resultados que alcanzaron con la aplicación de la matriz de Leopold fueron la identificación de impactos de valor moderado en el proceso de cachimbado, estableciendo puntos críticos que requerían solución eficaz mediante técnicas de mejora para el manejo de residuos y mejor conocimiento de los procesos por parte de los colaboradores. [16]

Finalmente, en el tercer antecedente los autores plantean como objetivo realizar un estudio de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales para la industria de curtiembres en Ecuador. Desarrollaron un análisis de balance de materia identificando como contaminantes predominantes la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, sulfuros y cromo. Las conclusiones que obtuvieron fueron que de cuatro tecnologías de tratamiento evaluadas (lodos activados + ozonización, lodos activados + electrólisis, reactor anaerobio UASB + ozonización y reactor anaerobio UASB + electrólisis), la combinación de tratamiento anaerobio UASB + electrólisis resulta la opción con mayores ventajas considerando flexibilidad, facilidad operacional y costos. [17]

Se plantea como problema de investigación: ¿En qué medida la propuesta de mejora en la gestión ambiental reduce los impactos ambientales y los costos operativos de una curtiembre en Trujillo - La Libertad, 2025? Se define como hipótesis que la implementación de dicha propuesta permitirá una reducción significativa de los impactos ambientales y de los costos operativos. Finalmente, se establece como objetivo general determinar en qué medida la gestión ambiental contribuye a disminuir los impactos ambientales y costos en la curtiembre en estudio.

II. METODOLOGIA

La investigación es de tipo aplicada con nivel descriptivo-propositivo y diseño no experimental de corte transversal, dado que no se manipulan variables, sino que se analiza la situación actual de la empresa. en su contexto natural durante el período 2025. La metodología utilizada es cuantitativa. [18]

Se desarrolla en tres etapas: Diagnóstico empleando Diagramas de Ishikawa, Pareto y Matriz de Leopold, monetizando las causas identificadas; Propuesta de mejora con Programa de Prevención, Reducción y Minimización (PPRyM), Plan de Contingencia Ambiental, Plan de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y Programa de Capacitación; y Evaluación económica mediante indicadores VAN, TIR y B/C.

2.1. Diagnóstico

Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C., fundada en 2010, es una empresa peruana dedicada al curtido y adobo de cueros y a la venta mayorista de productos del sector cuero y calzado. La empresa ha consolidado su presencia en el mercado regional mediante procesos de transformación de pieles en cuero terminado, abasteciendo tanto al mercado nacional como a clientes del sector manufacturero. Su actividad productiva es fundamental para la cadena de valor del calzado y marroquinería en la región.

Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C., identificada con RUC 20482650491, está ubicada en Mza. C1 Lote. 01, Parque Industrial (a Media Cda. Agencia Telefónica del Bcp), distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad. Se presenta un mapa con capas en la Figura 1 para visualizar la ubicación de la empresa.



Figura 1. Mapa en capas.

A continuación, se emplea un diagrama de Ishikawa en la Figura 2 para identificar y examinar las causas de la gestión ambiental inadecuada en Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C

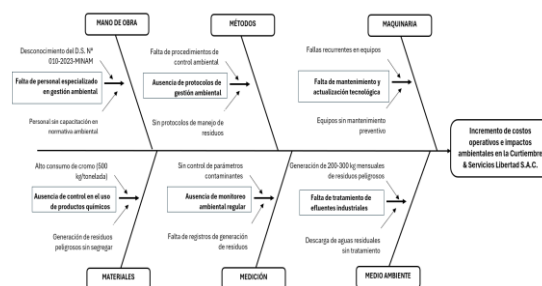


Figura 2. Diagrama Ishikawa.

Este análisis permite identificar las causas raíz de los problemas ambientales en la empresa: incumplimiento normativo ambiental, contaminación de efluentes industriales, gestión inadecuada de residuos peligrosos y falta de control de parámetros ambientales. Una gestión adecuada mejorará la sostenibilidad y reducirá los costos operativos de la empresa.

Posteriormente se elabora un diagrama de Pareto (Figura 3) considerando el impacto económico mensual de cada problema identificado, siendo P1 (Incumplimiento normativo ambiental), P2 (Contaminación de efluentes industriales),

P3 (Gestión inadecuada de residuos peligrosos) y P4 (Falta de control de parámetros ambientales) aquellos que representan el 80.36% de los costos totales (S/ 22,500/mes), priorizándose para la propuesta de mejora.

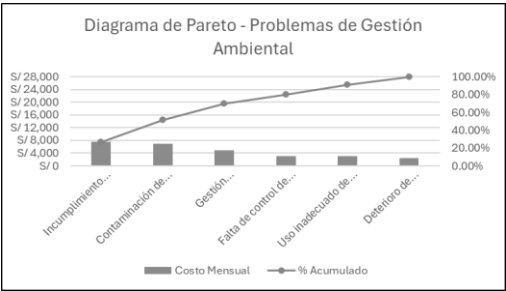


Figura 3. Diagrama de Pareto.

Estos problemas, junto a sus causas raíz, descripción y monetización, se detallan en la Tabla 1.

TABLA 1.
 PROBLEMAS, CAUSAS RAÍZ Y MONETIZACIÓN

Problema	Causa Raíz	Descripción	Monetización										
P1: Incumplimiento normativo ambiental	Falta de personal especializado o en gestión ambiental	La empresa no cuenta con personal capacitado en normativa ambiental D.S. N° 010-2023-MINAM, lo que genera incumplimiento o normativo y riesgo de sanciones del OEFA.	Se consideran las multas potenciales por incumplimiento normativo según tipificación del OEFA y los sobrecostos operativos asociados. <table><thead><tr><th>Descripción</th><th>Valor</th></tr></thead><tbody><tr><td>Multas potenciales OEFA por incumplimiento</td><td>S/ 4,000/mes</td></tr><tr><td>Costo de ineficiencia operativa (procesos)</td><td>S/ 2,000/mes</td></tr><tr><td>Sobrecosto por falta de optimización</td><td>S/ 1,500/mes</td></tr><tr><td>TOTAL</td><td>S/ 7,500/mes</td></tr></tbody></table>	Descripción	Valor	Multas potenciales OEFA por incumplimiento	S/ 4,000/mes	Costo de ineficiencia operativa (procesos)	S/ 2,000/mes	Sobrecosto por falta de optimización	S/ 1,500/mes	TOTAL	S/ 7,500/mes
Descripción	Valor												
Multas potenciales OEFA por incumplimiento	S/ 4,000/mes												
Costo de ineficiencia operativa (procesos)	S/ 2,000/mes												
Sobrecosto por falta de optimización	S/ 1,500/mes												
TOTAL	S/ 7,500/mes												
P2: Contaminación de efluentes industriales	Falta de tratamiento de efluentes industriales	Los efluentes con concentraciones de cromo entre 15-30 mg/L superan el LMP de 0.5 mg/L establecido en el D.S. N° 010-2023-MINAM, generando sanciones y riesgo de cierre temporal.	Se considera las sanciones por superación de LMP establecidos en el D.S. N° 010-2023-MINAM y los costos de disposición inadecuada. <table><thead><tr><th>Descripción</th><th>Valor</th></tr></thead><tbody><tr><td>Multas por superación de LMP</td><td>S/ 5,000/mes</td></tr><tr><td>Costo de disposición inadecuada</td><td>S/ 1,500/mes</td></tr><tr><td>Riesgo de paralización temporal</td><td>S/ 500/mes</td></tr><tr><td>TOTAL</td><td>S/ 7,000/mes</td></tr></tbody></table>	Descripción	Valor	Multas por superación de LMP	S/ 5,000/mes	Costo de disposición inadecuada	S/ 1,500/mes	Riesgo de paralización temporal	S/ 500/mes	TOTAL	S/ 7,000/mes
Descripción	Valor												
Multas por superación de LMP	S/ 5,000/mes												
Costo de disposición inadecuada	S/ 1,500/mes												
Riesgo de paralización temporal	S/ 500/mes												
TOTAL	S/ 7,000/mes												
P3: Gestión inadecuada de residuos peligrosos	Ausencia de protocolos de gestión ambiental	Sin protocolos para manejo de residuos se generan 200-300 kg mensuales de residuos orgánicos y químicos	Se considera la generación promedio de 250 kg/mes de residuos peligrosos y el costo de disposición inadecuada.										

		peligrosos sin segregación apropiada, incrementando costos de disposición.	<table><tr><th>Descripción</th><th>Valor</th></tr><tr><td>Costo de disposición inadecuada de residuos</td><td>S/ 2,500/mes</td></tr><tr><td>Multas por gestión inadecuada</td><td>S/ 1,500/mes</td></tr><tr><td>Sobrecosto en consumo de materiales</td><td>S/ 1,000/mes</td></tr><tr><td>TOTAL</td><td>S/ 5,000/mes</td></tr></table>	Descripción	Valor	Costo de disposición inadecuada de residuos	S/ 2,500/mes	Multas por gestión inadecuada	S/ 1,500/mes	Sobrecosto en consumo de materiales	S/ 1,000/mes	TOTAL	S/ 5,000/mes
Descripción	Valor												
Costo de disposición inadecuada de residuos	S/ 2,500/mes												
Multas por gestión inadecuada	S/ 1,500/mes												
Sobrecosto en consumo de materiales	S/ 1,000/mes												
TOTAL	S/ 5,000/mes												
P4: Falta de control de parámetros ambientales	Ausencia de monitoreo ambiental regular	No se realizan controles periódicos de parámetros contaminantes (cromo, DBO, DQO) ni consumo de recursos (agua, químicos), impidiendo la detección oportuna de desviaciones normativas.	La monetización incluye multas por falta de reportes al OEFA y sobrecostos por consumo no controlado de recursos. <table><tr><th>Descripción</th><th>Valor</th></tr><tr><td>Multas por falta de reportes</td><td>S/ 1,500/mes</td></tr><tr><td>Sobrecosto por consumo no controlado</td><td>S/ 1,000/mes</td></tr><tr><td>Riesgo de sanciones futuras</td><td>S/ 500/mes</td></tr><tr><td>TOTAL</td><td>S/ 3,000/mes</td></tr></table>	Descripción	Valor	Multas por falta de reportes	S/ 1,500/mes	Sobrecosto por consumo no controlado	S/ 1,000/mes	Riesgo de sanciones futuras	S/ 500/mes	TOTAL	S/ 3,000/mes
Descripción	Valor												
Multas por falta de reportes	S/ 1,500/mes												
Sobrecosto por consumo no controlado	S/ 1,000/mes												
Riesgo de sanciones futuras	S/ 500/mes												
TOTAL	S/ 3,000/mes												

Por otra parte, se realiza la matriz de Leopold que se aprecia en la Figura 4, para evaluar los impactos ambientales de las etapas del proceso de curtido. Cada celda presenta la magnitud (numerador, escala 1-10)

e importancia (denominador, escala 1-10) del impacto generado por cada actividad sobre los factores ambientales.

ACTIVIDADES		Recepción y Ribera		Proceso de Curtido		Proceso de acabado		Almacenamiento y Gestión		Σ
		Recepción de Piel	Remojo y Plancha	Desenrollado	Curtido con Cromo	Recuento	Teñido/ Acabado	Secado Final	Envolaje	
FÍSICO	Ecosistema terrestre	6	5	5	8	6	9	5	5	56
	Ecosistema aéreo	4	5	6	7	4	5	9	6	38
	Ecosistema marítimo	4	5	7	7	4	6	7		48
BIOLÓGICO	Flora	3	5	3	6	7	4	7		28
	Fauna	3	5	3	6	7	4	7		36
	Microorganismos	5	7	6	7	6	8	4	3	40
Socioeconómico/ Humanos		7	7	5	6	6	9	5	6	63
Σ		28	37	21	26	37	31	20	14	217

Figura 4. Matriz de Leopold.

Como se observa en la Matriz de Leopold, las actividades con mayor impacto son el teñido/acabado ($\Sigma=53/59$) y el factor socioeconómico/humanos ($\Sigma=57/72$), reflejando principalmente dos problemas críticos: la falta de personal capacitado en normativa ambiental (P1) y la ausencia de monitoreo de parámetros ambientales (P4). Estos problemas, junto con la contaminación de efluentes (P2) y gestión inadecuada de residuos (P3), generan altos costos operativos mensuales.

Continuando con el análisis, se elabora un diagrama de flujo (Figura 5) para analizar la contaminación de efluentes industriales (P2), identificada como principal problema por cromo en el proceso de curtido, generado por la falta de tratamiento adecuado.

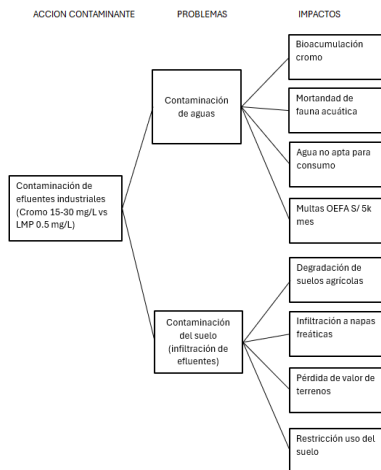


Figura 5. Diagrama de Flujo.

Como se observa, la contaminación de efluentes con cromo 15-30 mg/L (30-60 veces el LMP de 0.5 mg/L) provoca contaminación de aguas y suelo, bioacumulación de metales, degradación de suelos agrícolas, infiltración a napas freáticas y multas OEFA de S/ 5,000/mes, comprometiendo la sostenibilidad ambiental, económica y la salud pública.

Posteriormente, se elabora un diagrama de red (Figura 6) para analizar la gestión inadecuada de residuos peligrosos (P3), identificando sus impactos en el medio ambiente, la empresa y el cumplimiento normativo.

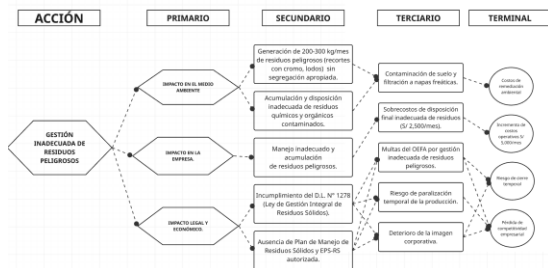


Figura 6. Diagrama de Red.

El diagrama muestra cuatro niveles de impacto. El Primario aborda medio ambiente, empresa y aspectos legales. El Secundario detalla generación de 200-300 kg/mes sin segregación e incumplimiento del D.L. N° 1278. El Terciario incluye contaminación de suelo, sobrecostos (S/ 2,500/mes) y multas del OEFA. El Terminal agrupa costos de remediación, incremento operativo (S/ 5,000/mes), riesgo de cierre y pérdida de competitividad empresarial.

2.2. Solución Propuesta

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) de Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. busca identificar, evaluar y gestionar los impactos ambientales mediante un diagnóstico exhaustivo, caracterización de los cuatro problemas priorizados (P1-P4), establecimiento de la línea base de costos ambientales actuales (S/ 22,500 mensuales) y diseño de procedimientos operacionales según el D.S. N° 010-2023-MINAM.

TABLA 2.
PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

PLAN DE MANEJO AMBIENTAL							
NOMBRE DE LA EMPRESA	Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C.				FECHA	18/11/2025	
NOMBRE DEL PROYECTO	Propuesta de mejoría en la gestión ambiental para la reducción de impactos ambientales y costos operativos				CÓDIGO	N803-29907-PMA	
UBICACION	Parque Industrial - La Esperanza, Trujillo, La Libertad						
OBJETIVO GENERAL	Reducir los impactos ambientales y los costos operativos mediante la implementación de un Plan de Manejo Ambiental en Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C.						
RESULTADO GENERAL	Disminución de incumplimientos ambientales, reducción de contaminación por efluentes, manejo adecuado de residuos peligrosos y establecimiento de un monitoreo ambiental efectivo.						
CONCEPTO	INDICADOR	DESCRIPCION	RESPONSABLES	RECURSOS	IMPUESTOS	DURACION	COSTO
OBJETIVO 1: Realizar un diagnóstico ambiental integral de los procesos en la curtiembre							
Resultado 1: Diagnóstico ambiental realizado y documentado.							
A1: Observación	N° de actividades inspeccionadas	Inspección de áreas con riesgo ambiental (efluentes, residuos, químicos)	Supervisor Ambiental	Checklist, EPP	Quitar se permita acceso total a áreas críticas	2 semanas	\$300.00
A2: Identificación	N° de impactos detectados	Identificación de impactos según Leyseid, librería y normativa.		Matriz de Leyseid	Falta de información histórica	1 semana	\$400.00
A3: Registro	Informe de registro	Registro de impactos en Punto y Leyseid con muestreo.	Equipo Ambiental	Software básico	Enteros de registro	1 semana	\$400.00
A4: Diagnóstico	Diagnóstico final	Diagnóstico consolidado priorizando P1-P4.	Jefe Ambiental	Informes técnicos	Retrasos del equipo	1 semana	\$200.00
OBJETIVO 2: Identificar y caracterizar los principales problemas ambientales de la curtiembre							
Resultado 2: Problemas ambientales identificados según P1-P4.							
A1: Observación	N° problemas detectados	Identificación en campo de incumplimientos ambientales.	Supervisor Ambiental	Fichas de campo	Falta de registros	1 semana	\$300.00
A2: Identificación	N° problemas críticos	Análisis P1-P4 (normas, residuos, monitoreo, normativa).		Normativa MINAM	Datos incompletos	1 semana	\$500.00
A3: Registro	Matriz elaborada	Registro mediante Matriz de Leyseid y diagrama de flujo.	Equipo Ambiental	Leyseid, diagramas	Problemas en software	1 semana	\$300.00
A4: Análisis	Informe técnico	Análisis detallado del impacto en efluentes y residuos.	Jefe Ambiental	Equipos básicos	Demoras	1 semana	\$200.00

OBJETIVO 3: Establecer la línea base de costos ambientales operativos actuales.							
Resultado 3: Costos ambientales actuales cuantificados y documentados.							
A1: Análisis	N° de costos analizados	Análisis detallado del costo mensual actual de impactos ambientales (S/ 22,500).	Supervisor Financiero	Contador externo, Excel	Datos incompletos o desactualizados	2 semanas	\$1,000.00
A2: Validación	Informe validado	Validación de costos de rubros, disposición de residuos y tratamiento de efluentes con datos reales.	Equipo Financiero	Auditor ambiental, Facturas	Falta de registros históricos	1 semana	\$800.00
A3: Benchmarking	Informe comparativo	Comparación con costos ambientales promedio del sector curtiembre en Trujillo.	Jefe Financiero	Consultor, Base de datos sectorial	Información limitada del sector	2 semanas	\$700.00
A4: Informe	Informe final de costos	Informe consolidado de costos operativos ambientales actuales para línea base.	Jefe Financiero	Equipo interno, Software	Demoras en consolidación	1 semana	\$500.00
OBJETIVO 4: Diseñar e implementar procedimientos para un sistema de gestión ambiental							
Resultado 4: Procedimientos ambientales elaborados y listos para implementación.							
A1: Diagnóstico	N° procedimientos requeridos	Identificación de brechas frente al D.S. 010-2023-MINAM.	Jefe Ambiental	Auditoría	Falta de evidencia	1 semana	\$600.00
A2: Validación	Procedimientos validados	Validación piloto antes de la implementación total.		Supervisión	Falta de equipos	1 semana	\$400.00
A3: Capacitación	N° trabajadores capacitados	Capacitación en manejo de residuos, EPP y reportes OEFA.	Supervisor Ambiental	Materiales, típicos	Asistencia	1 semana	\$800.00
A4: Diseño	Procedimientos elaborados	Diseño de protocolos: residuos, efluentes, químicos y monitoreo	Equipo Ambiental	Normativa	Enteros técnicos	2 semanas	\$1,000.00

Asimismo, la inversión requerida para la implementación del PMA se resume en la Tabla 3, contemplando los costos de diagnóstico, análisis de problemas, línea base de costos y diseño de procedimientos ambientales.

TABLA 3.
COSTO DE INVERSIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Implementación de la herramienta	
Identificación y diagnóstico de impactos	S/3,500.00
Identificación y análisis de problemas ambientales	S/2,500.00
Evaluación económico - financiera	S/5,000.00
Elaboración de procedimientos ambientales	S/4,000.00
TOTAL PMA	S/15,000.00

Posteriormente, el Plan de Contingencia Ambiental establece protocolos de respuesta inmediata ante emergencias como derrames de cromo durante el curtido, incendios en almacén de químicos, fallas en el sistema de tratamiento de efluentes y desastres naturales, garantizando la continuidad operativa y la protección del personal y medio ambiente.

TABLA 4.
PLAN DE CONTINGENCIAS

Objetivo	Garantizar operaciones continuas y en condiciones seguras, reduciendo al máximo los riesgos e impactos ambientales, cumpliendo con la normativa vigente y buscando mitigar contingencias.				
Empresa Responsable	Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C.				
Aspecto ambiental	Impacto identificado	Medidas propuestas	Indicador	Medios de verificación	Plazo
Incendio en almacén de químicos	Daño estructural, pérdida de materiales, riesgo vital	Instalación de rociadores automáticos	Porcentaje de área cubierta	Certificado de instalación	Mensual
		Mantenimiento de extintores	Número de extintores operativos	Reporte de mantenimiento	Trimestral
		Señalización de rutas de evacuación	Rutas señalizadas	Inspección de señalización	Mensual
		Capacitación en uso de extintores	Número de personal capacitado	Lista de asistencia	Mensual
Falla en sistema de tratamiento de aguas	Vertido no tratado, contaminación ambiental	Implementación de mantenimiento preventivo	Cumplimiento de cronograma	Reportes de mantenimiento	Semestral
		Almacenamiento de repuestos	Existencia de repuestos críticos	CARDEX actualizado	Mensual
		Capacitación en operación manual y servicio técnico	Personal capacitado	Lista de asistencia	Semestral
Exposición ocupacional a químicos	Enfermedades, ausentismo laboral	Entrega de EPP completo	Porcentaje de dotación completa	Registro de entrega	Mensual
		Capacitación en manejo seguro	Personal certificado	Certificados de capacitación	Mensual
		Evaluaciones médicas periódicas	Porcentaje de evaluaciones realizadas	Informes médicos	Semestral
		Hojas de seguridad accesibles	Hojas disponibles en áreas	Verificación física	Mensual
Derrame de cromo durante currido	Contaminación de suelo, agua y exposición del personal por derrame de soluciones con cromo hexavalente (>15 mg/L)	1. Diques de contención en zona de currido	Tiempo de respuesta ante derrame / Número de derrames contenidos exitosamente	Registro de incidentes, Reportes de acciones correctivas, Actas de capacitación	Mensual / Semestral
		2. Kits de emergencia para derrames			
		3. Neutralizantes químicos			
		4. Capacitación en protocolo de derrame			
		5. Contenedores impermeables			
Sismos o desastres naturales	Daño infraestructura, interrupción operativa	Refuerzo estructural de áreas críticas	Áreas reforzadas	Informe de ingeniería civil	Anual
		Simulacro de evacuación	Número de simulacros	Reportes de simulacros	Semestral
		Plan de comunicación de emergencia	Plan implementado	Documento del plan	Mensual

Asimismo, se elabora el costo correspondiente a la ejecución de dicho plan, según lo especificado en la Tabla 5.

TABLA 5.
COSTO DE INVERSIÓN DEL PROGRAMA DE CONTINGENCIAS

Implementación de la herramienta	S/ 8,000.00
Capacitación a los trabajadores (Trimestral y mes inicial)	S/ 2,000.00
Equipamiento de emergencia (Kits)	S/ 3,000.00
Subtotal Inversión Inicial	S/ 13,000.00
Costo Anual	S/ 7,200.00
Mantenimiento mensual	S/ 900.00
Costo Anual (Mantenimiento)	S/ 10,800.00
TOTAL PROGRAMA	S/ 31,000.00

El Programa de Prevención y Mitigación Ambiental desarrolla estrategias operativas para atender los cuatro problemas críticos (P1-P4) identificados en Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C., enfocándose en reducir impactos negativos y optimizar costos mediante acciones correctivas, preventivas y de control continuo.

Marco de implementación:

- Base legal: Se fundamenta en la Ley N° 28611 (Ley General del Ambiente), D.S. N° 010-2023-MINAM para gestión ambiental empresarial y D.L. N° 1278 para manejo de residuos peligrosos.
- Formación del personal: Programa de capacitación técnica en manejo seguro de cromo hexavalente, operación del sistema de tratamiento de efluentes y protocolos de segregación de residuos.
- Sistema de registro: Implementación de formatos estandarizados para documentar monitoreos, manifiestos de residuos peligrosos, análisis de laboratorio y no conformidades detectadas.
- Control y evaluación: El asesor ambiental supervisará mensualmente el cumplimiento de indicadores, generando reportes de desempeño para la toma de decisiones gerenciales.

La Tabla 6 presenta el programa detallado con medidas específicas, indicadores cuantificables y mecanismos de verificación para cada aspecto ambiental prioritario, asegurando conformidad con la normativa sectorial vigente.

TABLA 6.
PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN AMBIENTAL

Aspecto Ambiental	Impacto Identificado	Medidas Propuestas	Indicadores	Medios de Verificación	Plan de Prioridad
Incumplimiento normativo ambiental	Riesgo de sanciones por OEA y pérdida de competitividad empresarial	Controlación de capacidad en gestión ambiental, capacitación del personal según D.S. N° 010-2023-MINAM. Implementación de programas de cumplimiento normativo.	Personal Capacitado	Personal Capacitado	Trimestral
			Cumplimiento = Personal Capacitado	Cumplimiento = Personal Capacitado	
Contaminación de efluentes industriales	Contaminación del agua por exceso de sólidos, exceso de cromo. Control operativo del currido y generación de residuos sólidos al D.S. N° 010-2023-MINAM.	Implementación de sistema de generación de efluentes para control de cromo. Control operativo del currido y generación de residuos sólidos al D.S. N° 010-2023-MINAM.	Monitoreo	Monitoreo realizado	Mensual
			Registros Completados	Registros programados	
Cargas excesivas de residuos peligrosos	Contaminación del suelo por residuos peligrosos de 200-500 kg por lote, con riesgo de liberación a la atmósfera.	Implementación de programa de segregación, almacenamiento, etiquetado y control de residuos peligrosos al D.S. N° 010-2023-MINAM.	Segregación	Segregación realizada	Mensual
			Cumplimiento = Residuos programados	Cumplimiento = Residuos programados	
Falta de control de parámetros ambientales	Exceso de cromo en agua utilizada (AOI). Cantidad de efluentes utilizados (kg).	Implementación de programa de monitoreo ambiental periódico de efluentes, monitoreo de agua y efluentes, monitoreo ambiental. Control operativo en instalaciones de segregación.	Monitoreo	Monitoreo realizado	Mensual
			Registros Completados	Registros programados	

Los costos de implementación del Programa de Prevención y Mitigación Ambiental se detallan en la Tabla 7.

TABLA 7.
COSTO DE INVERSIÓN DEL PROGRAMA DE PREVENCIÓN, REMEDIACIÓN Y MITIGACIÓN

Implementación del sistema de pretratamiento de efluentes :	S/ 12,000.00
Capacitación trabajadores (trimestral y mes inicial)	S/ 1,500.00
Contenedores/gestión de residuos (Anual)	S/ 5,000.00
Contenedores (Mensual Inicial)	S/ 3,500.00
Subtotal Inversión Inicial	S/ 22,000.00
Costo Anual Contenedores	S/ 15,600.00
Monitoreo Ambiental Mensual	S/ 800.00
Monitoreo Ambiental Anual	S/ 9,600.00
Asesoría especializada Mensual	S/ 700.00
Asesoría especializada Anual	S/ 8,400.00
TOTAL PROGRAMA	S/ 55,600.00

Por último, el flujo de caja evalúa la viabilidad económica de la propuesta durante un periodo proyectado de 12 meses. La Tabla 8 muestra los beneficios mensuales derivados de la eliminación de multas por incumplimiento normativo (P1), sanciones por efluentes contaminados (P2), optimización de gestión de residuos (P3) y control de parámetros ambientales (P4), frente a los egresos por implementación del sistema de tratamiento, gestión de residuos, monitoreo y asesoría especializada.

Los indicadores económicos de la Tabla 9 confirman la rentabilidad del proyecto en Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. Con una TIR del 95.16%, VAN positivo de S/ 29,184.39 y Relación B/C de 1.6, se demuestra que los beneficios superan significativamente los costos de inversión, consolidando la propuesta como estratégicamente viable y sostenible.

evidenciando la reducción significativa en cada uno de los cuatro problemas ambientales identificados.

TABLA 8.
FLUJO DE CAJA POR 12 MESES PROYECTADO DESPUÉS DE
LA IMPLEMENTACIÓN DE PROPUESTA DE MEJORA

EVALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA												
Inversión total		S/ 8.000,00										
Costo mensual (C/M)		1.200										
Principal constante												
MESES	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Recepción		S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00
Costo operativo		S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00	S/ 1.200,00
Depreciación		S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00	S/ 600,00
Salv.		S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00
Utilidad antes de impuestos		S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00	S/ 450,00
Impuesto (20%)		S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00	S/ 90,00
Utilidad después de impuestos		S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00	S/ 360,00

TABLA 9.
INDICADORES ECONÓMICOS

VAN	S/ 29.184.39
TIR	95.16%
PRI	6.90 meses
VAN Ingresos	S/ 239.413.63
VAN Egresos	S/ 152.548.48
B/C	1.6

III. RESULTADOS

Los resultados de implementar las herramientas de mejora propuestas en la curtiembre se muestran mediante la reducción en la pérdida económica por cada problema identificado, el cual se presenta en la Tabla 10. También, se encuentra que según la Tabla 9, se obtiene un VAN positivo de S/. 29,184.39, una TIR de 95.16% y una relación Beneficio-Costo de 1.6, lo cual en conjunto indica que es viable la implementación de los planes desarrollados anteriormente, así como que se genera ganancias económicas y que, por cada 1 sol invertido, se genera 1.6 soles. Las variaciones en los porcentajes de reducción responden a la naturaleza de cada problema: el incumplimiento normativo se reduce casi completamente al eliminar multas, mientras que la gestión de residuos peligrosos mantiene costos operativos de disposición final, y el control de parámetros logra alta reducción mediante monitoreo continuo de bajo costo.

TABLA 10.
COSTO DE INVERSIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

PROBLEMAS IDENTIFICADOS	COSTO ACTUAL	COSTO PROYECTADO	BENEFICIO	REDUCCIÓN (%)
Incumplimiento normativo ambiental	S/ 7,500.00	S/ 600.00	S/ 6,900.00	92%
Contaminación de efluentes industriales	S/ 7,000.00	S/ 1,600.00	S/ 5,400.00	77%
Gestión inadecuada de residuos peligrosos	S/ 5,000.00	S/ 1,600.00	S/ 3,400.00	68%
Falta de control de parámetros ambientales	S/ 3,000.00	S/ 400.00	S/ 2,600.00	87%

Nota. Los costos proyectados corresponden a los gastos operativos mensuales de las soluciones implementadas (Tablas 5 y 7), considerando: P1 - auditorías y reportes normativos (S/. 600); P2 - operación de sistema de pretratamiento (S/. 1,600); P3 - gestión de contenedores y disposición final (S/. 1,600); P4 - monitoreo y calibración (S/. 400).

Asimismo, la Figura 7 presenta de manera visual la diferencia entre los costos mensuales actuales y los costos proyectados después de implementar las mejoras,

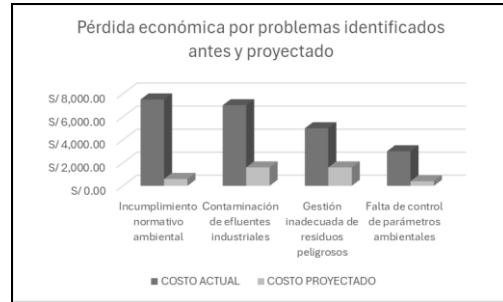


Figura 7. Pérdida económica por problemas identificados antes y proyectado.

Del mismo modo, la Figura 8 ilustra los beneficios económicos mensuales generados por la implementación de cada herramienta propuesta, valores que sustentan la rentabilidad del proyecto reflejada en la Tabla 10 y los indicadores económicos obtenidos.

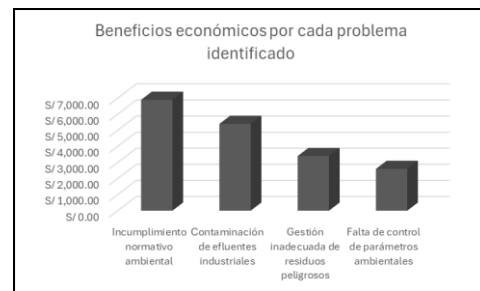


Figura 8. Beneficios económicos por cada problema identificado.

Finalmente, la Figura 9 presenta los porcentajes de reducción alcanzados en cada problema ambiental, donde se observan mejoras de 68% en gestión de residuos peligrosos, 77% en contaminación de efluentes industriales, 87% en control de parámetros ambientales y 92% en incumplimiento normativo ambiental.

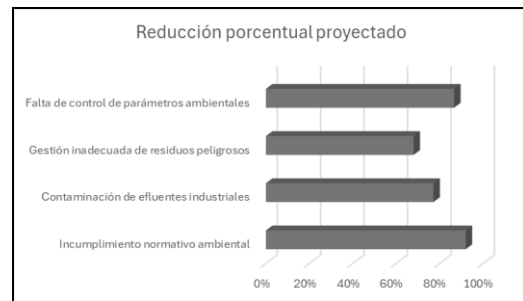


Figura 9. Reducción porcentual proyectado.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

La implementación de herramientas de gestión ambiental en Curtiembre & Servicios Libertad S.A.C. implica una transformación que trasciende el cumplimiento regulatorio y

se orienta hacia la sostenibilidad operativa y económica del sector curtiembre. La integración de planes de manejo ambiental, monitoreo y contingencia evidencia que la gestión ambiental puede convertirse en un mecanismo estratégico para reducir contingencias operativas, optimizar recursos y disminuir costos asociados a sanciones, pérdidas productivas y manejo inadecuado de residuos. En este sentido, la gestión ambiental deja de percibirse únicamente como una exigencia normativa y adquiere un rol vinculante con la competitividad empresarial y la permanencia de las organizaciones dentro de un entorno regulatorio cada vez más estricto.

Al contrastar estos hallazgos con estudios previos, como el desarrollado en la curtiembre Saago S.A.C. [16], se observa que la adopción de herramientas estructuradas de gestión ambiental genera mejoras operativas que impactan directamente sobre la eficiencia de los procesos productivos. En ambos casos, la identificación de puntos críticos relacionados con residuos y efluentes permitió establecer medidas correctivas que reducen riesgos ambientales y costos asociados. Sin embargo, más allá de la mitigación de multas o sanciones administrativas, el principal aporte radica en demostrar que las curtiembres pueden incorporar prácticas ambientalmente responsables sin comprometer necesariamente su viabilidad económica.

No obstante, los indicadores financieros proyectados en la presente investigación deben analizarse dentro del contexto real del sector curtiembre peruano. Aunque valores como el VAN positivo, la TIR favorable y la relación Beneficio/Costo superior a la unidad sugieren una alta rentabilidad teórica, esto no garantiza la adopción inmediata de las mejoras propuestas. Muchas curtiembres locales operan con tecnologías obsoletas, baja capacidad financiera y limitada disposición para invertir en gestión ambiental debido a que estas inversiones continúan percibiéndose como gastos adicionales y no como mecanismos de sostenibilidad empresarial. Esta situación coincide con lo señalado en el estudio de Inversiones Harod [15], donde fue necesario proyectar la rentabilidad de las mejoras ambientales a un horizonte de largo plazo para justificar su implementación frente a la gerencia. Por tanto, existe una brecha importante entre la viabilidad financiera proyectada y la capacidad real de implementación dentro de pequeñas y medianas empresas del sector.

Desde una perspectiva ambiental, la relevancia de este tipo de intervenciones no se limita únicamente a la reducción de impactos dentro de una sola instalación industrial. La disminución progresiva de contaminantes como cromo, DBO, DQO y sulfuros podría representar un beneficio acumulativo para los sistemas de alcantarillado industrial y los cuerpos hídricos receptores de la región, especialmente en zonas donde existe concentración de actividades de curtido. Sin embargo, la presente investigación no evalúa directamente el impacto ambiental regional derivado de la adopción masiva de estas medidas, por lo que no es posible afirmar cuantitativamente el alcance ecológico total de su

implementación. Aun así, el estudio permite inferir que la incorporación progresiva de prácticas de control ambiental en múltiples curtiembres podría contribuir a reducir la carga contaminante descargada al entorno y fortalecer los mecanismos de cumplimiento ambiental dentro del sector.

Asimismo, los resultados obtenidos reflejan una problemática estructural asociada a la informalidad y limitada modernización tecnológica que caracteriza a gran parte de las curtiembres en el contexto peruano. Tal como señala el estudio realizado en Ecuador [17], el tratamiento eficiente de efluentes contaminados requiere tecnologías complejas y de elevado costo, como sistemas anaerobios UASB combinados con electrolisis, cuya implementación resulta poco accesible para pequeñas empresas. En ese contexto, el valor de la presente investigación radica en proponer una alternativa de gestión ambiental técnicamente viable y económicamente más accesible, enfocada en la reducción progresiva de impactos mediante herramientas de control, monitoreo y prevención adaptadas a las condiciones reales del sector.

Finalmente, la investigación permite discutir la necesidad de fortalecer mecanismos de apoyo institucional orientados a facilitar la transición ambiental de las curtiembres. La implementación efectiva de mejoras ambientales requiere no solo voluntad empresarial, sino también acceso a asistencia técnica, financiamiento e incentivos que permitan superar las limitaciones económicas existentes. En consecuencia, el estudio aporta evidencia que podría servir como referencia para futuras estrategias de formalización y sostenibilidad ambiental en industrias curtidoras de características similares, promoviendo una visión de gestión ambiental orientada no únicamente al cumplimiento normativo, sino también a la reducción progresiva de impactos ambientales y riesgos operativos a nivel sectorial.

4.2 Conclusiones

Se consiguió establecer el grado en que la optimización de la gestión ambiental disminuye los impactos ambientales y costos operativos en la curtiembre de Trujillo - La Libertad, dando cumplimiento al propósito central de la investigación, con un ahorro económico total de S/. 18,300.00.

El análisis situacional de la curtiembre brindó los fundamentos requeridos para desarrollar una propuesta integral de optimización ambiental, la cual está conformada por un Plan de Manejo Ambiental, un Plan de Contingencias y un Plan de Monitoreo y Control, atendiendo de manera conjunta los retos ambientales detectados.

La aplicación de las estrategias planteadas generó una disminución considerable de las pérdidas económicas vinculadas a problemáticas ambientales particulares en la curtiembre de Trujillo. Los parámetros financieros obtenidos, tales como el VAN favorable de S/. 29,184.39, la TIR del 95.16%, el PRI de 6.90 meses y el índice Beneficio-Costo de 1.6, confirman la factibilidad económica de ejecutar las mejoras propuestas.

La representación gráfica de los cambios porcentuales

proyectados en los costos evidencia disminuciones considerables, resaltando avances significativos como la reducción del 92% en incumplimiento normativo ambiental, el 77% en contaminación de efluentes industriales, el 68% en gestión inadecuada de residuos peligrosos y el 87% en falta de control de parámetros ambientales.

Finalmente, teniendo en cuenta la rentabilidad del proyecto, sería posible explorar alternativas para implementar estrategias equivalentes en otras curtiembres del rubro o inclusive en distintos sectores industriales. Posterior a la ejecución, se sugiere realizar un seguimiento constante y evaluaciones periódicas que garanticen la flexibilidad de los planes frente a las transformaciones futuras del contexto operativo.

REFERENCIAS

- [1] LederPiel. (2024, 7 de marzo). El comercio mundial del sector del cuero en 2022. *LederPiel*. <https://lederpiel.com/comercio-mundial-cuero-2022/>
- [2] Congreso de la República del Perú. (2005). Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/351090-28611>
- [3] Ministerio del Ambiente. (2013). Decreto Supremo N.º 003-2013-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/273070-003-2013-minam>
- [4] Ministerio del Ambiente - MINAM. (2023). Gobierno aprueba los Límites Máximos Permisibles en actividades de curtido y adobo de cuero y teñido de pieles. *Plataforma digital única del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/823647-gobierno-aprueba-los-limites-maximos-permisibles-en-actividades-de-curtido-y-adobo-de-cuero-y-tenido-de-pieles>
- [5] Ministerio del Ambiente - MINAM. (2022, 22 de marzo). Resolución Ministerial N.º 071-2022-MINAM. *Plataforma digital única del Estado Peruano*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2839941-071-2022-minam>
- [6] Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2014). Gestión Ambiental. En *Anuario de Estadísticas Ambientales 2014* (Capítulo VIII). https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1197/cap08.pdf
- [7] ESNECA Business School. (2022, 9 de mayo). ¿Qué es el impacto ambiental y cómo se clasifica? *Blog ESNECA*. <https://www.esneca.lat/blog/impacto-ambiental-tipos-causas/>
- [8] J. Kononowech et al., "Visual process maps to support implementation efforts: a case example", *Implement Sci Commun*, vol. 1, no 1, p. 105, nov. 2020, doi: 10.1186/s43058-020-00094-6.
- [9] M. H. Arani, M. Mohammadzadeh, R. R. Kalantary, S. H. Rad, M. Moslemzadeh, y N. Jaafarzadeh, "Environmental impact assessment of a steel industry development plan using combined method involving Leopold matrix and RIAM", *J Environ Health Sci Eng*, vol. 19, no 2, pp. 1997–2011, dic. 2021, doi: 10.1007/s40201-021-00752-4.
- [10] P. W. Flores-Medina, A. A. Sepp-Neves, G. Coppini, y C. Morales-Caselles, "Strategic environmental sensitivity mapping for oil spill contingency planning in the Peruvian marine-coastal zone", *Science of The Total Environment*, vol. 852, p. 158356, dic. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158356>.
- [11] K. S. Gallardo-Jiménez y G. C. Herrera-Morales, "Plan de manejo ambiental y contingencia en la Empresa Pública Terminal Terrestre y Comunicación Social 'Coca'", *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar*, vol. 4, no 7, p. 4, jul. 2022, doi: 10.35381/a.g.v4i7.1866.
- [12] M. A. . Perea Moreira y W. F. García Castro, « mitigación y control de incendios forestales», *ReSoFro*, vol. 4, n.º 1, p. e41183, feb. 2024. <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/183>
- [13] D. Tiña Tacca, "Diseño e implementación de un plan de manejo ambiental en obras de saneamiento rural para empresa INGECOP EIRL. y núcleos ejecutores en la Región Puno", Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2023. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20954>
- [14] Y. A. Pincay Mendoza, J. V. Gutiérrez Bravo, S. E. Chichande Zambrano y W. A. Del Peso Chilan, "Costos operativos y rentabilidad de la Asociación 'ASESAGRA' del cantón Jipijapa, periodo 2018 2021", *Polo del Conocimiento*, vol. 8, no. 2, pp. 1254 1271, Febrero 2023. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9152136>
- [15] Araujo Castañeda, Y. R. (2017). *Propuesta de mejora en el área de gestión ambiental para reducir los costos por la acumulación de residuos sólidos en la empresa Inversiones Harod* [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Privada del Norte]. Repositorio UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/12859/Araujo%20Casta%20Castaneda%20Yofre%20Roberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [16] Saavedra Timaná, B. F., & Flores Hernández, K. K. (2021). *Diseño de un sistema de evaluación del impacto ambiental mediante la matriz de Leopold para reducir los costos ecológicos en el proceso de cachimbado de la curtiembre Saago SAC de Trujillo* [Tesis de Ingeniería Industrial, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/32dae319-cdd7-463b-a3f7-c262a17fdc89/content>
- [17] Parada, M., Manobanda, P., Tapia, Z., Zambrano, M., Rennola, L., & Castillo, Y. (2019). Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes generados por una planta de curtiembres en Ecuador. *Ciencia e Ingeniería*, 40(2), 507567825003. <https://www.redalyc.org/journal/5075/507567825003/507567825003.pdf>
- [18] Veiga de Cabo, J., de la Fuente Díez, E., & Zimmermann Verdejo, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 54(210), 76-88. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2008000100011