

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

“Diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre para reducir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC”

Línea de Investigación

Optimización de la producción

Autor(es)

Br. Mixán Rodríguez, Karla Lucía

Br. Núñez Dávila, Gisela Carolina

Asesor

Dr. Urcia Cruz, Manuel

TRUJILLO - PERÚ

2019

Fecha de sustentación 2019/12/13

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



“Diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre para reducir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC”

APROBADA EN CONTENIDO Y ESTILO POR:

Dr. ANGEL MIGUEL LOPEZ AGUILAR
PRESIDENTE
CIP: 21315

Ing. LILY MARGOT VILLAR TIRAVANTTI
SECRETARIO
CIP: 55429

Ing. JOSE MANUEL RODRIGUEZ MANTILLA
VOCAL
CIP: 139579

Dr. MANUEL URCIA CRUZ
ASESOR
CIP: 27703

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi inspirador hoy y siempre en cada paso que doy.

A mi familia Haydee, Edgard y Junior, por su apoyo incondicional. Sin ustedes esto no se hubiese logrado.

A mi papá Félix, que desde el cielo celebra conmigo este logro.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A mi pequeño gran Áyax, por ser mí amigo incondicional y por su fiel compañía en todas mis noches de desvelo.

Agradezco a mi asesor Manuel Urcia Cruz; quien con su dirección, conocimientos y enseñanzas permitió la culminación de nuestra tesis.

KARLA LUCÍA MIXÁN RODRÍGUEZ

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en toda mi etapa universitaria.

A mis padres Angelita y Santos, porque gracias a ellos soy una profesional.

A mi hermanito Renzo, por todo su apoyo.

A mi mami Chabelita, que sé que desde el cielo está orgullosa de mis logros.

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud y fortaleza.

A mis padres por su confianza, espero que la vida me alcance para retribuirles todo lo que hacen por mí.

A mi hermanito por ser siempre mi compañía.

A todos mis familiares y amigos quienes siempre me desearon lo mejor y apoyaron de manera incondicional.

A mi asesor Manuel Urcia Cruz por su compromiso en la culminación de esta tesis.

GI SELA CAROLINA NÚÑEZ DÁVILA

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo disminuir el consumo de agua en el proceso productivo de la curtiembre Cuenca SAC. La investigación es de tipo aplicada con un nivel descriptivo y presenta un diseño experimental. Se evaluaron diversas alternativas de mejora orientadas a la disminución del consumo de agua mediante la aplicación del método AHP siendo la alternativa ganadora el reciclado de agua residual. Se tomó datos del consumo de agua en m^3 del proceso de remojo y pelambre antes y después de la implementación del sistema. Del mismo modo, se emplearon técnicas e instrumentos como observación directa y fichas de registro. Entre las herramientas hicimos uso de hojas de cálculo de Excel, diagramas de bloques, AutoCad y SPPSS. Los resultados evidencian que existe una disminución del consumo de agua según producción/mensual en el proceso de remojo de $55.48 m^3$ y en el proceso de pelambre de $249.82 m^3$ en promedio, además de una reducción monetaria de S/ 1,755.50 en costos de agua. Por lo tanto, se concluye que la implementación de un sistema de reciclado de agua residual disminuye el consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre.

Palabras claves: remojo, pelambre, aguas residuales

ABSTRACT

This research aims to reduce water consumption in the Cuenca SAC tannery's productive process. This is an applied investigation with a descriptive level and an experimental design. Were evaluated some improvement alternatives aimed at reducing water consumption through the application of the AHP method, being wastewater recycling the winning alternative. Water consumption data had taken in m^3 of the soaking and peeling process before and after the implementation of the system. Similarly, techniques and instruments such as direct observation and registration forms had used. Among the tools we used are Excel spreadsheets, block diagrams, AutoCad and SPPSS. The results show that there is a decrease in water consumption according to monthly / production in the soaking process of $55.48 m^3$ and in the pelleting process of $249.82 m^3$ on average, also a monetary reduction of S/ 1,755.50 in water costs. Therefore, it's concluded that the implementation of a wastewater recycling system decreases the water consumption in the soaking and peeling process.

Key words: soak, peeling, wastewater

Señores miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, ponemos a vuestra disposición la presente tesis titulada: **“Diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre para reducir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC”** para obtener el Título Profesional de Ingeniero Industrial.

Consulta de fuentes bibliográficas e información obtenida de estudios a fines.

Br. MIXÁN RODRÍGUEZ, KARLA LUCÍA Br. NÚÑEZ DÁVILA, GISELA CAROLINA

Trujillo, 13 diciembre del 2019

ÍNDICE

| | | |
|----------|---|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. | Problema de Investigación | 1 |
| 1.2. | Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.2.1. | Objetivo General | 2 |
| 1.2.2. | Objetivos Específicos | 3 |
| 1.3. | Justificación del estudio | 3 |
| II. | MARCO DE REFERENCIA | 4 |
| 2.1. | Antecedentes del estudio | 4 |
| 2.2. | Marco Teórico | 8 |
| 2.2.1. | Piel | 8 |
| 2.2.1.1. | Definición | 8 |
| 2.2.1.2. | División superficial de la piel | 8 |
| 2.2.2. | Proceso de remojo | 9 |
| 2.2.3. | Proceso de pelambre | 9 |
| 2.2.4. | Alternativas de implementación | 10 |
| 2.2.4.1. | Lavados batch en el proceso de pelambre | 10 |
| 2.2.4.2. | Reciclado de agua residual del proceso de pelambre | 11 |
| 2.2.4.3. | Oxidación avanzada con reactivos fenton y una aireación de las aguas residuales del proceso de remojo | 13 |
| 2.2.5. | Aguas residuales | 14 |
| 2.2.6. | Modelo Multicriterio (AHP) | 15 |
| 2.3. | Marco conceptual | 17 |
| 2.4. | Hipótesis | 17 |
| 2.5. | Variables e indicadores | 18 |
| III. | METODOLOGÍA EMPLEADA | 20 |
| 3.1. | Tipo y nivel de investigación | 20 |
| 3.1.1. | Tipo de investigación | 20 |
| 3.1.2. | Nivel de investigación | 20 |
| 3.2. | Población y muestra del estudio | 20 |
| 3.2.1. | Población | 20 |
| 3.2.2. | Muestra | 20 |
| 3.3. | Diseño de investigación | 20 |

| | |
|---|----|
| 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación..... | 21 |
| 3.5. Procesamiento y análisis de datos..... | 21 |
| IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS..... | 22 |
| 4.1. Análisis e interpretación de resultados..... | 22 |
| 4.1.1. Resultados del Objetivo Específico N°01: | 22 |
| 4.1.2. Resultados del Objetivo Específico N°02: | 24 |
| 4.1.3. Resultados del Objetivo Específico N°03: | 36 |
| 4.1.4. Resultados del Objetivo Específico N°04: | 51 |
| 4.2. Prueba de hipótesis..... | 61 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 63 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Partes de la piel desollada | 9 |
| Figura 2. Lavado discontinuo con tapa cerrada..... | 11 |
| Figura 3. Proceso de reciclaje de aguas | 13 |
| Figura 4. Esquema general del proceso de oxidación fenton homogéneo..... | 13 |
| Figura 5. Árbol de Jerarquías | 16 |
| Figura 6. Volantes cargando pieles | 27 |
| Figura 7. Botal en funcionamiento..... | 27 |
| Figura 8. Escurrido del agua | 28 |
| Figura 9. Inmunización del pelo..... | 32 |
| Figura 10. Descarga de pieles apelambradas | 33 |
| Figura 11. Instrumentos para determinar el consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre..... | 35 |
| Figura 12. Poza Subterránea | 41 |
| Figura 13. LMP para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, curtiembre y papel..... | 58 |
| Figura 14. VMA para descargas al sistema de alcantarillado..... | 59 |
| Figura 15. VMA para descargas al sistema de alcantarillado..... | 59 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos..... | 21 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabla 2. Herramientas para la presentación de datos | 21 |
| Tabla 3. Expertos involucrados en la valoración de las causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre | 22 |
| Tabla 4. Escala Likert..... | 23 |
| Tabla 5. Frecuencia de causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre..... | 23 |
| Tabla 6. Frecuencias de las principales causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre | 24 |
| Tabla 7. Fulones correspondientes a cada proceso en una semana | 34 |
| Tabla 8. Consumo de agua (m ³) sep-17 a ago-18 | 35 |
| Tabla 9. Escala de valoración | 38 |
| Tabla 10. Puntaje ponderado de las alternativas a implementar..... | 39 |
| Tabla 11. Cantidad de llenados y escurridos en el proceso de remojo | 42 |
| Tabla 12. Cantidad en m ³ de llenados y escurridos en R ₁ | 42 |
| Tabla 13. Cantidad en m ³ de agua a reutilizar de R ₁ | 43 |
| Tabla 14. Cantidad en m ³ de llenados en R ₂ | 43 |
| Tabla 15. Cantidad de llenados y escurridos en el proceso de pelambre | 47 |
| Tabla 16. Cantidad en m ³ de llenados y escurridos en P ₁ | 47 |
| Tabla 17. Cantidad en m ³ de agua a reutilizar de P ₁ | 48 |
| Tabla 18. Cantidad en m ³ de llenados en P ₂ | 48 |
| Tabla 19. Consumo de agua (m ³) sep-18 a ago-19 | 51 |
| Tabla 21. Ahorro en el consumo de agua (m ³) | 53 |
| Tabla 22. Ahorro monetario (S/) | 54 |
| Tabla 23. Costo de implementación de un sistema de reciclado de agua..... | 56 |
| Tabla 24. Flujo de Caja | 57 |
| Tabla 25. Resultado de pruebas inopinadas de LMP y VMA antes y después de la mejora | 59 |
| Tabla 26. Datos de consumo de agua (m ³) antes y después de la implementación de un sistema de reciclado de agua..... | 61 |
| Tabla 27. Prueba de normalidad. | 62 |
| Tabla 28. Prueba T-Student de muestras relacionadas..... | 63 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| Anexo 1. Diagrama causa - efecto | 72 |
| Anexo 2. Formato de evaluación de causas..... | 73 |
| Anexo 3. Selección de causas críticas | 74 |
| Anexo 4. Diagrama de Pareto | 74 |
| Anexo 5. Cuadro de causas y efectos..... | 75 |
| Anexo 6. Modelo de ficha de observación de consumo de agua potable en el proceso de remojo..... | 76 |
| Anexo 8. Modelo de ficha de observación de agua residual en el proceso de remojo | 78 |
| Anexo 9. Modelo de ficha de observación de agua residual en el proceso de pelambre | 78 |
| Anexo 10. Evaluación de criterios y sub criterios para evaluar alternativas de implementación que me permitan reducir el consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre..... | 79 |
| Anexo 11. Árbol de jerarquías para determinar mejoras | 82 |
| Anexo 12. Evaluación de alternativas de implementación | 83 |
| Anexo 13. Matriz globalizada para seleccionar la alternativa de implementación | 90 |

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación:

a. Descripción de la realidad problemática.

La industria del curtido de pieles, por su tamaño, es una de las que consume mayor cantidad de agua en todo el mundo. Por ejemplo, la industria del cuero bovino consume a nivel mundial un total de 400 mil millones de litros de agua/año. (FLUENCE NEWS TEAM, 2018)

En el Perú los métodos tradicionales de producción de cueros, en comparación con las empresas globales y ecológicas que cuentan con maquinarias de alto nivel tecnológico y que aplican diversas técnicas de Producción Más Limpia, no permiten reducir la gran cantidad de agua que se consume en el proceso de curtido de pieles.

En Trujillo, específicamente en los distritos de La Esperanza, El Porvenir, Florencia de Mora, Moche y Salaverry; la industria de producción de cueros, es la industria de mayor auge. En el distrito de La Esperanza, para ser más exactos en el Parque Industrial, se encuentra operando la curtiembre Cuenca SAC, la que lleva siendo parte de la industria manufacturera por más de 11 años. En la actualidad es una empresa consolidada en la producción y comercialización de cuero vacuno logrando posicionarse en el mercado regional con productos de buena calidad los cuales permiten su distinción con las demás empresas del sector.

Actualmente; en los procesos de remojo y pelambre; se está consumiendo agua sin la aplicación de técnicas de producción que nos permitan reducir ese consumo. En el caso del proceso de remojo se está consumiendo aproximadamente 20, 000 litros de agua/por lote y en el proceso de pelambre se está consumiendo 40, 000 litros de agua/por lote.

Se conoce que las pieles se encuentren bien saladas y secas, es por ello que al momento en el que son ingresadas al fulón del proceso de remojo se necesita aproximadamente 8,000 L de agua/lote para rehidratar la

piel, eliminar la sal y otros elementos como sangre, excretas y suciedad en general; siendo este tan solo el primer llenado de agua del proceso. Con respecto al proceso de pelambre, debido a que aún la piel tiene grasas y pelos, se necesita de la misma forma consumir gran cantidad de agua para poder eliminar lo anteriormente mencionado.

Además, se pudo apreciar la existencia de un caudalímetro en el fulón de remojo/pelambre, pero la empresa no cuenta con un personal asignado para registrar y controlar la cantidad de agua utilizada en estos procesos y esto genera un consumo desmedido de agua ya que no se cumple con el estándar existente del proceso.

Ante la situación presentada en la empresa se determinó que la problemática que radica en estos momentos en el proceso productivo de cuero en la curtiembre Cuenca SAC es el consumo desmedido de agua en el proceso de remojo y pelambre.

b. Descripción del problema

Exceso de consumo de agua que genera sobrecostos y exceso de aguas residuales en el proceso de producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

c. Formulación del problema

¿En qué medida el diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre contribuirá a disminuir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre para disminuir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar y priorizar las causas que generan el exceso consumo de agua en la producción de cuero.
- Determinar y cuantificar el volumen de agua en el proceso de remojo y pelambre.
- Diseñar un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre.
- Determinar los beneficios generados a la empresa con la disminución del consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre.

1.3. Justificación del estudio

Justificación Teórica

El consumo de agua en el proceso productivo de una curtiembre, tiene como objetivo la alimentación de los fulones durante todo el proceso, es por eso que esta investigación se realiza con el propósito de desarrollar una alternativa que nos permita recircular el agua residual de la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

Justificación Metodológica

En nuestro tiempo, el desarrollo sostenible es uno de los principales enfoques de las organizaciones pues ayuda a mantener en equilibrio 3 importantes pilares que son el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente satisfaciendo las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Debido a lo expuesto anteriormente es que esta investigación pretende diseñar un sistema de reciclado de agua residual del proceso de remojo y pelambre en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC para así fomentar el acercamiento de la industria hacia prácticas ambientalmente sostenibles, las cuales permitan la consecución no sólo de beneficios ambientales sino también económicos para la empresa.

Justificación Práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de reducir el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

En la actualidad, son pocas las curtiembres trujillanas que cuentan con procedimientos para reducir el consumo de agua y reutilizar las aguas residuales, lo que las convierte en organizaciones poco competitivas.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

Internacionales.

- (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL) - Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2009) en convenio crearon una cartilla como guía práctica para la capacitación de empresarios y trabajadores de la industria denominada “*Capacitación y acompañamiento técnico en producción más limpia al subsector curtiembres en Villapinzón y Chocontá (Cundinamarca)*”, la cual nos brinda información para mejorar el desempeño ambiental del proceso de curtido de pieles, manejo de subproductos y comercialización de cueros. De acuerdo con las necesidades observadas en las curtiembres evaluadas, esta cartilla desarrolla temas relacionados con la seguridad industrial, el uso racional de materiales, control del proceso y del producto, cumplimiento de normas ambientales y el uso sostenible del medio ambiente.

Además, el trabajo plantea alternativas de producción más limpia en la industria de curtiembres. Con respecto al proceso de pelambre propone realizar el lavado en discontinuo con tapa cerrada el que consiste en reemplazar los lavados continuos en los que se gastan altos volúmenes de agua por lavados con volúmenes fijos en operación discontinua. Su objetivo principal es disminuir la cantidad de agua consumida para devolver a la piel su estado de hinchamiento natural (60-65% humedad) y eliminar la suciedad (barro, sangre, estiércol, microorganismos) así como sustancias proteicas solubles y agentes de conservación.

APORTE:

- En el proceso de pelambre nos propone un nuevo método de lavado, que es el lavado discontinuo con tapa cerrada, y también el método del pelambre por embadurnado. Estos 2 métodos nos permitirán reducir los grandes volúmenes de demanda de agua que se utilizan en dicha operación.

- Según (Carrillo & Muñoz, 2014) en su trabajo de grado titulado *“Reutilización del agua residual de la operación de pelambre en el proceso productivo del cuero”*, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. La presente investigación se orientó a disminuir agua, sulfuro de sodio y cal de: 32,2%, 5% y 56,1% respectivamente, además disminuyó la presencia de sulfuros en el agua por la retención de los mismos por la piel tratada y la disminución en la DQO y DBO, debido a la remoción previa del tejido adiposo y carnaza, cumpliendo con las normas ambientales en cuanto a vertimientos, ayudando así a la industria del cuero.

APORTE:

- Nos proporciona la alternativa de la recirculación de aguas residuales en el proceso de pelambre. Además, determinó experimentalmente el número de reúsos del efluente y calidad del producto. Dicha mejora nos asegurará una reducción del uso de agua el cual tendrá un impacto significativo en los costos de producción.

Nacionales.

- (Campos, 2013) en su tesis titulada *“Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo”* para optar el título de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. Esta investigación permitió identificar el consumo inicial de agua que utilizan los procesos de remojo y pelambre mediante el método de observación directa concluyendo que existen grandes volúmenes de agua siendo estos 16 m³ y 24 m³ respectivamente, los cuales una vez empleados no son tratados ni aprovechados al máximo, sino simplemente arrojados al alcantarillado.

En este estudio se propone la implementación de pozos subterráneos de recirculación, serían tres pozos subterráneos de recirculación de agua, en los cuales se almacenarían los baños utilizados en los procesos de remojo, pelambre y curtido. Se dispondría de una poza para cada proceso, entendiéndose que una poza será para recolectar los efluentes del remojo, otra para el pelambre y finalmente otra para el curtido. Es decir, no se pueden combinar los efluentes de cada proceso con cualquiera de los demás.

La presente tesis indica que poniendo en práctica las pozas de recirculación se tendría un ahorro mensual de agua de 156 m³ y económico de S/ 11, 713 en 30 lotes/mes.

APORTE:

- Nos permitirá utilizar hasta cuatro baños recirculados, es decir, para el sexto proceso de remojo consecutivo se empleará el proceso normal (emplear agua nueva con sus respectivos químicos en sus cantidades iniciales). Luego de concluido el quinto proceso de remojo consecutivo, se arroja los efluentes al alcantarillado (no se almacenan estos efluentes) reduciendo así el excesivo consumo de agua y la cantidad de efluentes arrojados.
- (Fondo Nacional de Ambiente Perú (FONAM) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – IICA, 2013) en convenio realizaron el siguiente proyecto donde nos presentan tres alternativas de ahorro y uso eficiente del agua en el sector curtiembre.

La primera es la instalación de un sistema experto de dosificación y control el cual consiste en instalar un sistema automático para el control de las cantidades de agua a utilizar en los distintos procesos.

La segunda es la sustitución de los productos químicos por otros más amigables y menos contaminantes. Al disminuir el volumen y la carga contaminante de los residuos industriales líquidos, se reducen los costos de tratamiento y disposición final.

Finalmente propone la disminución del número de baños del cuero, afirmando que controlando la concentración de la sal disuelta pueden

disminuirse los baños de lavado de los cueros y también puede ser reutilizada, lo que bajaría el consumo de agua en esta etapa en un 10%.

APORTE:

- Contribuirá a nuestra investigación con 3 alternativas enfocadas en el ahorro y uso eficiente del agua. Recomienda que instalemos un sistema experto de dosificación y control, que sustituyamos los productos químicos por otros más amigables y menos contaminantes y finalmente propone la disminución del número de baños del cuero.

Locales.

- (Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica de Cuero y Calzado de Trujillo (CITEccal-Trujillo), 2017) en su proyecto titulado *“Optimización, tratamiento y recirculación del agua residual generada en la etapa de remojo de la curtiembre Lizberth SAC”* Las empresas dedicadas al procesamiento de pieles para la obtención de cueros vienen atravesando un gran problema medio ambiental por la alta contaminación de sus efluentes al no cumplir lo Límites Máximos Permisibles (LMP) y Valores Máximos Admisibles (VMA), es por eso que CITEccal-Trujillo viene planteando proyectos de investigación e innovación para dar solución a este problema. El proyecto sugiere optimizar el proceso de remojo con el uso de tecnologías limpias; para esto se removerá las sales presentes en la piel que, por motivo de conservación, en los mataderos es embadurnada con cloruros presentes en el baño de remojo y es por eso que se debe adquirir una tecnología con el fin de remover la sal presente en la piel con algo de grasa y sangre. Es por ello que se debe utilizar un bombo desalador. Gracias a la aceleración centrípeta del bombo las sales se desprenden de la piel y se acumulan en una bandeja para su posterior disposición.

Después de ser desaladas, serán llevadas al botal de remojo, donde se inicia el proceso con la adición de soda caustica, bactericidas y humectante. Cada efluente o baño generado será almacenado en pozos, donde se debe realizar una oxidación avanzada con reactivos fenton y una aireación. Con este proceso se logrará remover un gran porcentaje la carga orgánica

cumpliendo la legislación ambiental vigente y además se podrá recircular al proceso de remojo generando una disminución en el consumo de agua, ahorrando 30 m³ aproximadamente, en consecuencia, se tendrá una operación más sostenible y amigable con el medio ambiente.

APORTE:

- El principal aporte de este antecedente a nuestra investigación es la aplicación de 2 alternativas de mejora en el proceso de remojo, dentro de las cuales tenemos la adquisición de un bombo desalador y el tratamiento de aguas residuales mediante la oxidación fenton y una aireación para poder reducir el exceso de aguas residuales en la producción.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Piel

2.2.1.1. Definición

(Carrillo & Muñoz, 2014) Parte externa del cuerpo la cual protege, regula la temperatura y almacenas grasas necesarias para el metabolismo de animales, en su mayoría está recubierta por pelo o lana.

2.2.1.2. División superficial de la piel

(Cueronet.com, s.f.) La piel desollada se llama piel fresca o piel verde. En la piel fresca se pueden diferenciar tres grandes partes:

- Crupón: corresponde a la parte de la piel de la región dorsal y lumbar del animal.
- Cuello: corresponde a la piel del cuello y cabeza del animal.
- Faldas: corresponden a la parte de la piel que cubre el vientre y las patas del animal.

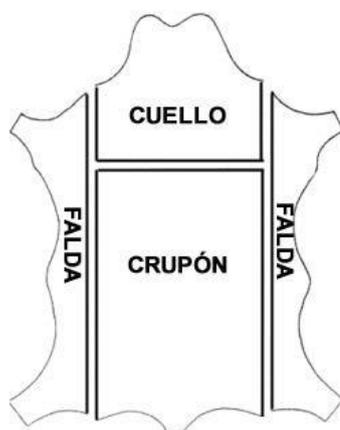


Figura 1. Partes de la piel desollada

Nota: Obtenida de (Cueronet.com, 2017)

2.2.2. Proceso de remojo

(Aquim P. , *Gestão em Curtumes: Uso Integrado e Eficiente da Água*, 2009) Es un proceso de limpieza y rehidratación de las pieles que han sido deshidratadas para su conservación. Los principales objetivos del remojo son: interrumpir la conservación de la piel y devolverla lo más posible al estado de piel fresca, rehidratar la piel uniformemente en toda su superficie y espesor, extraer las proteínas globulares, retirar los productos químicos eventualmente añadidos durante la operación, extraer materiales (como sangre, suciedad y estiércol) y preparar las pieles adecuadamente para las operaciones y procesos siguientes.

(Luna, 2011) Este proceso consiste en devolverle a la piel su estado de hinchamiento natural. Como agentes ablandadores se suelen utilizar sulfuro de sodio, polisulfuro de sodio o carbonato de sodio. El tiempo empleado en la operación de remojo es de aproximadamente 12 horas. Cuando los cueros son frescos, se elimina esta operación.

2.2.3. Proceso de pelambre

(Aquim P. , *Gestão em Curtumes: Uso Integrado e Eficiente da Água*, 2009) Este proceso tiene la finalidad de retirar el pelo de la piel, quitar la epidermis, entumecer la piel, continuar el desengrasado que comienza en el remojo y facilitar el descarte a través de la hinchazón de la piel. El sistema más usado y conocido utiliza la combinación de óxido de calcio y sulfuro de sodio. El sulfuro de sodio es empleado para destruir los pelos

y la epidermis y para que haya un entumecimiento de la piel y desdoblamiento de las fibras se emplea el óxido de calcio (Ca) que en agua se convierte a hidróxido como fuente de álcali, elevando el pH del agua, medio. La indicación de este agente de calero se basa en la baja solubilidad del mismo.

(Luna, 2011) El proceso de pelambre se puede realizar en fulones, agregando una solución de sulfuro de sodio y agitando, durante un período de 24 horas.

2.2.4. Alternativas de implementación

2.2.4.1. Lavados batch en el proceso de pelambre

(Aquim, 2004) Los lavados en batch son significativamente más eficientes que los lavados con agua corriente; la experiencia muestra que en promedio los lavados en batch utilizan un 50% menos de agua que lo lavados con agua corriente.

El objetivo es disminuir la cantidad y contaminación de agua consumida para devolver a la piel su estado de hinchamiento natural (60-65% humedad) y eliminar la suciedad (barro, sangre, estiércol, microorganismos) así como sustancias proteicas solubles y agentes de conservación.

➤ Procedimiento general:

Un lavado en batch consiste en:

1. Llenar el fulón con agua hasta que los cueros estén suficientemente cubiertos.
2. Rotar el fulón con una “puerta sellada” durante 5 a 10 minutos.
3. Drenar completamente agua de lavado del fulón.
4. Repetir esta secuencia de operaciones dos a tres veces hasta que los cueros estén suficientemente limpios.

➤ Beneficios

- Reduce el consumo de agua en la curtiembre.

- Disminuye el volumen del efluente descargado por la curtiembre y, por lo tanto, reduce el costo de cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales en el futuro. (More, 1998)



Figura 2. Lavado discontinuo con tapa cerrada

Nota: Cartilla de producción más limpia en curtiembres

2.2.4.2. Reciclado de agua residual del proceso de pelambre

(Gomez Bustamante & Echeverry Giraldo, 2010) Los baños residuales del pelambre son ricos en sulfuro y cal, por lo que son aptos para su reúso en un nuevo ciclo. Sin embargo, los sólidos suspendidos y parte de los sólidos disueltos pueden crear problemas en el reciclaje. Si bien los sólidos disueltos no son fáciles de eliminar, los sólidos suspendidos pueden separarse con mayor facilidad. Algunos sistemas productivos poseen tanques de sedimentación o centrífugas para separar sólidos en suspensión. Sin embargo, es posible lograr el mismo resultado mediante el uso de técnicas más sencillas.

El método sugerido para el reciclaje de los baños residuales es el siguiente:

- a) El primer baño se prepara utilizando la fórmula o receta rutinaria de la curtiembre.
- b) Al concluir la operación de pelambre, el agua residual debe recuperarse por filtración, haciéndola pasar por un tamiz inclinado, a fin de que los sólidos retenidos sean arrastrados hacia la base del tamiz por el líquido en movimiento, y éste pueda pasar con menor obstrucción a través de la tela usada

como filtro. El agua de pelambre filtrada se almacena en un tanque recolector. Lo óptimo es filtrar el baño durante la operación de pelambre, una vez que se ha verificado que una gran parte de los pelos han sido extraídos.

- c)** Al agua de pelambre filtrada, contenida en el tanque recolector, se le debe añadir la cantidad de agua necesaria para reponer el volumen inicial del baño de pelambre. Se estima que, en cada ciclo de pelambre, se pierde entre el 40 y 60% del agua (porcentaje basado en el peso de las pieles que ingresan al pelambre). La parte más limpia, que es la del último enjuague, puede reservarse para iniciar el lavado de la actual operación de pelambre.

- d)** En base al análisis de una muestra tomada de la mezcla final de aguas contenida en el tanque recolector, se debe calcular las cantidades de reactivos químicos necesarias para reponer las concentraciones originales del baño de pelambre. Este análisis será necesario hasta que la curtiembre haya establecido las condiciones optimizadas para realizar el reciclaje en forma rutinaria. Es recomendable realizar un control de los parámetros más importantes de la operación, como pH, sulfuro, densidad (°Baumé), temperatura y otros.

- e)** La mezcla final de aguas de pelambre, se bombea desde el tanque recolector al fulón para depilar una nueva partida de pieles. Las cantidades calculadas de sulfuro y cal, necesarias para reconstituir el baño de pelambre, se agregan directamente al fulón (y no al tanque recolector).

- f)** Al término de la operación de pelambre, se vuelve a recuperar el agua residual de pelambre, repitiéndose el ciclo tantas veces sea posible. Si la concentración de la sal aumenta en el pelambre por el reciclaje, puede inhibirse el hinchamiento.

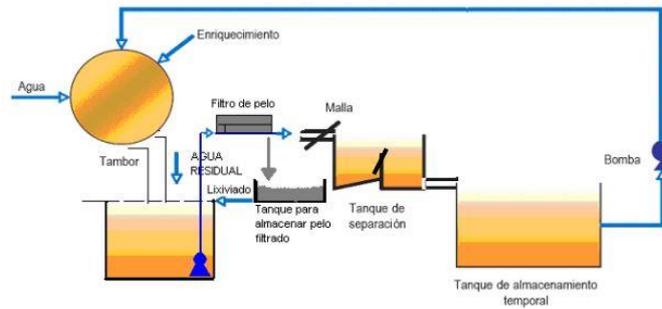


Figura 3. Proceso de reciclaje de aguas

Nota: Análisis técnico y económico en la recirculación de aguas residuales (UTP)

2.2.4.3. Oxidación avanzada con reactivos fenton y una aireación de las aguas residuales del proceso de remojo

a) Oxidación avanzada con reactivos fenton

(Salas G., 2010) Los Procesos Avanzados de Oxidación (AOX) se basan en su capacidad de generación in-situ de radicales hidroxilos ($\bullet\text{OH}$), especie con un elevado potencial de oxidación mediante la combinación de un agente oxidante (H_2O_2) con un catalizador (Fe(II)). Estos radicales $\bullet\text{OH}$ son capaces de oxidar muchos compuestos orgánicos de forma no selectiva y con altas velocidades de reacción. Esta propiedad es aprovechada para conseguir la completa mineralización (CO_2 y ácidos minerales) de los contaminantes o su degradación en sustancias más fácilmente biodegradables. Se pretende desarrollar una alternativa eficaz para la eliminación de materia orgánica de efluentes residuales mediante la aplicación de AOX, más concretamente procesos de Fenton al agua residual de la operación de remojo.

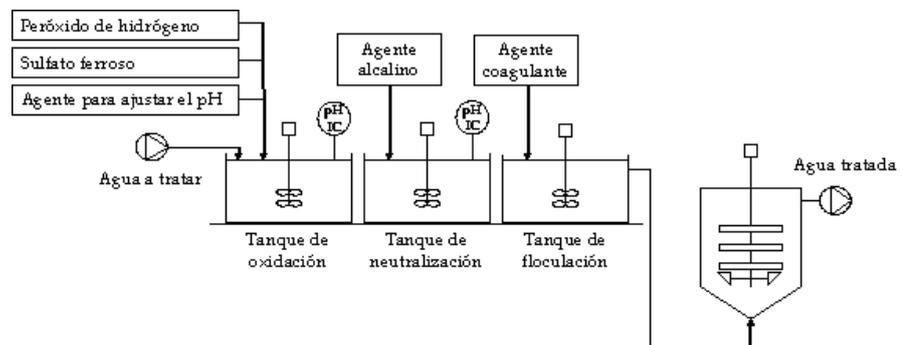


Figura 4. Esquema general del proceso de oxidación fenton homogéneo

Nota: Cartilla de producción más limpia en curtiembres

b) Aireación

(Serquimsa, 2012) La aireación de las aguas residuales es necesaria para proporcionar oxígeno al efluente que se quiere tratar. Para la selección de un equipo de aireación para aguas residuales, es necesario tomar en cuenta primero cuál es la demanda de oxígeno del proceso para poder escoger un sistema que alcance el rendimiento deseado sin exceder la demanda energética razonable, ya que si se desea, las tecnologías actuales tienen una gama amplia de equipos que permiten alcanzar valores altos de transferencia de oxígeno pero sin olvidar que dicha eficiencia viene acompañada de un consecuente aumento de la demanda energética, demanda que puede tal vez no justificar el beneficio que la unidad de tratamiento está generando en la calidad del agua, lo que lo hace poco rentable.

En segunda instancia, es necesario considerar en qué grado es necesaria la mezcla, la suspensión de sólidos y/o transferencia de calor entre las corrientes, condiciones que dependen de manera muy específica de la unidad de tratamiento y de las características del diseño hidráulico. Incluso el efecto de la mezcla en las características de la biomasa en el caso de lagunas y lodos activados, el uso de equipos que la sometan a esfuerzos cortantes altos, pueden causar problemas en la sedimentabilidad de la biomasa.

2.2.5. Aguas residuales

(Otiniano, Tuesta, Robles, Luján, & Chavez, 2007) Las aguas residuales son materiales derivados de la actividad industrial y de los residuos domésticos, los cuales por razones de salud pública no pueden ser vertidos a los cursos de aguas corrientes o lagos. A pesar de las recomendaciones y ordenanzas en los últimos años los ambientes naturales han recibido un creciente aporte de efluentes industriales y domésticos que han llevado al deterioro de muchos cursos de agua haciéndolos incompatibles con la vida.

(Salas G., C., 2010) Vale ratificar que cerca de 65 a 70% del volumen de los residuos líquidos son provenientes de las operaciones de ribera hasta la etapa de purga, y los otros 30% o 35% corresponde al proceso restante. Las aguas de las operaciones de ribera son fuertemente alcalinas y blanquecinas (cal en exceso) y contienen sebo, vello, tejido muscular, grasa y sangre, en suspensión. En solución, sales (principales aniones - sulfuro, sulfato, cloruro, principales cationes - sodio, calcio, amonio), proteínas y aminoácidos diversos; en menor cantidad, tensoactivos (detergentes), aminos y eventualmente algunos conservantes o biocidas e insecticidas (productos orgánicos).

2.2.6. Modelo Multicriterio (AHP)

(ELINEEMA, 2002) En la Evaluación Multicriterio, es el decisor quien debe tomar la decisión de escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos. Cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo o decisiones multicriterio, respectivamente.

(BARREDO, 1996) Dentro de este contexto, la Toma de Decisión Multicriterio, se puede entender como un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos con base en una evaluación expresada por puntuaciones, pesos o intensidades de preferencia de acuerdo a varios criterios.

(ÁVILA, M., 2002) El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty, y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo

jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

A. Estructuración del modelo jerárquico

(ELINEEMA, 2002) Consiste en elaborar una representación gráfica del problema en términos de la meta global, los criterios y las alternativas de decisión.

El método AHP consiste en hacer que el decisor especifique sus opiniones con respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios en términos de su contribución al logro de la meta global.

Cuando se construye la Jerarquía, se puede hacer de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba.

La construcción de arriba hacia abajo se inicia con la identificación de los criterios más globales, es decir desde lo más general hasta lo más particular. De esta manera, todos los aspectos generales recopilados en la definición del problema están presentes en ese primer nivel a manera de criterios.

Cada criterio identificado debe ir acompañado de una descripción de lo que significa. Si se requiere, de los criterios pueden desprenderse subcriterios. Estos últimos deben guardar una relación jerárquica con el criterio del que se desprenden.

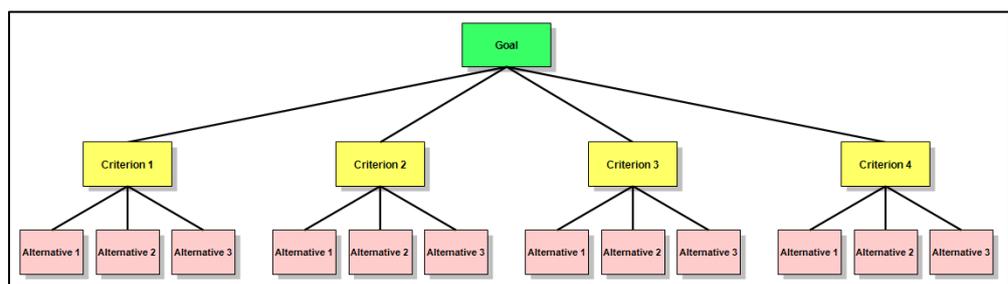


Figura 5. Árbol de Jerarquías

Nota: https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process

B. Evaluación del modelo

(SAATY, 1980) En la evaluación se examinan los elementos del problema aisladamente por medio de comparaciones de a pares. Las evaluaciones o juicios son emitidos por cada analista o grupo de

interés.

De esta forma, el éxito en esta etapa dependerá de la inclusión de los grupos de interés o decisores que se verán representados en el modelo construido y podrán evaluar el modelo consensuado de acuerdo con sus intereses y necesidades propios.

C. Resultado final

(SAATY, 1980) Una vez realizada la totalidad de comparaciones se obtiene el resultado final consensuado: ordenamiento de las alternativas. Este resultado está basado entonces, en las prioridades, en la emisión de juicios y evaluación hecha a través de las comparaciones de los componentes del modelo jerárquico, llevada a cabo por los actores.

2.3. Marco conceptual

- **Producción más limpia (PML):** es la aplicación continua de una estrategia ambiental, integrada y preventiva en los procesos, productos y servicios, reduciendo los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente. (Centro de Producción más Limpia (CPML), s.f.)
- **Curtido:** consiste en transformar la piel verde o salada en cuero. (Aquim, Gutterres, Trierweiler, & Nascimento, 2006)
- **Efluente:** líquido residual que fluye de una instalación.
- **Coagulación y floculación:** son procesos cuya misión es aumentar la eficacia de un tratamiento de sedimentación o decantación de fluidos residuales en los que las partículas sólidas en suspensión son de muy pequeño tamaño que impiden su sedimentación natural o se trata de disoluciones coloidales que habrá que inestabilizar para que sea efectiva la separación de fases. (Aguilar, Sáez, Lloréns, Soler , & Ortuño , 2002)

2.4. Hipótesis

El diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre, disminuirá significativamente el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

2.5. Variables e indicadores

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Escala |
|--|---|--|-------------------------------|--|----------------|
| Independiente: Sistema de reciclado de agua | Describe una acción que implica la manipulación de un proceso para convertirla en otra distinta o mejorada. | Diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre que generan el exceso consumo de agua considerando el análisis de alternativas. | Proceso de remojo y pelambre. | $\frac{\text{eficiencia del proceso antes} - \text{eficiencia del proceso mejorado}}{\text{eficiencia del proceso mejorado}} \times 100$ | Razón continua |
| | | | Costos de producción. | $\frac{Q_{\text{costos antes}} - Q_{\text{costos después de mejora}}}{Q_{\text{costos después de mejora}}} \times 100$ | Razón continua |

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Escala |
|-------------------------------------|---|---|------------------|--|----------------|
| Dependiente: Consumo de agua | Cuerpo compuesto de oxígeno e hidrógeno, líquido transparente, incoloro, en pequeñas cantidades y verdoso en grandes masas y sin olor ni sabor. | Cantidad de agua que utilizan el proceso de remojo y pelambre en la producción de cuero en la curtiembre CUENCA SAC | Consumo de agua | $\frac{Q_{agua\ antes} - Q_{agua\ después\ de\ mejora}}{Q_{agua\ después\ de\ mejora}} \times 100$ | Razón continua |
| | | | Aguas residuales | $\frac{Q_{agua\ residual\ antes} - Q_{agua\ residual\ después\ de\ mejora}}{Q_{agua\ residual\ después\ de\ mejora}} \times 100$ | Razón continua |

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

(Murillo Hernández, 2008) Esta investigación es de tipo aplicada, ya que se trata de investigar las maneras en que el saber científico producido por la investigación pura puede implementarse o aplicarse en la realidad para obtener un resultado práctico, empírico o tecnológico en beneficio de los sectores productivos.

3.1.2. Nivel de investigación

(Bunge, 1969) Esta investigación es de nivel descriptiva ya que tiene como objetivo determinar las características de un fenómeno, así como establecer relaciones entre algunas variables, en un determinado lugar o momento.

3.2. Población y muestra del estudio

3.2.1. Población

Los 4 procesos que consumen agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC que son Remojo, Pelambre, Curtido y Recurtido.

3.2.2. Muestra

Los 2 procesos que consumen mayor cantidad de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC que son Remojo y Pelambre.

3.3. Diseño de investigación

El tipo de diseño que se utilizó es experimental:

$$\text{G.E: } O_1 \xrightarrow{X} O_2$$

Donde:

G. E : Grupo experimental

O₁: La observación que se hace antes de cada muestra.

O₂: La observación que se hace después de cada muestra.

X: Tratamiento

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 1

Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

| Técnica | Instrumento | Fuente |
|--|--------------------------------------|---|
| Observación directa | Guía de observación | Área de producción curtiembre Cuenca SAC |
| Registro de cantidad de consumo de agua | Hoja de registro | Área de producción curtiembre Cuenca SAC |
| Análisis documentario | Registro de diagrama de procesos. | Curtiembre Cuenca SAC |

Nota: Elaboración propia

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Tabla 2

Herramientas para la presentación de datos

| Herramienta | Uso |
|---|--|
| Ishikawa | Identificación de causas que generan el exceso consumo de agua. |
| Pareto | Priorización de causas. |
| Diagrama de bloques | Representación del diagrama de boques de remojo y pelambre. |
| Muestreo de cantidad de agua | Determinación del consumo de agua en los procesos de remojo y pelambre. |
| Proceso de análisis jerárquico (AHP) | Facilitación en la toma de decisiones en problemas en los cuales se involucran múltiples criterios. |
| Planos | Representación del área de producción. |

Nota: Elaboración propia

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Resultados del Objetivo Específico N°01:

Identificar y priorizar las causas que generan el exceso consumo de agua en la producción de cuero.

Para el cumplimiento del presente objetivo se desarrolló el diagrama de causa-efecto mediante el procedimiento propuesto por Kaoru Ishikawa. Se identificó las principales causas que generan el exceso consumo de agua en la producción de cuero. (Ver Anexo 01).

Luego, se priorizó las causas críticas que generaban la problemática mediante la aplicación del diagrama de Pareto. Para tal efecto, se solicitó a unos expertos en el rubro que mediante una escala valorativa asignen los pesos para cada causa. (Ver anexo 02)

Tabla 3

Expertos involucrados en la valoración de las causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre

| Expertos involucrados en la valoración de causas | |
|--|---|
| 1 | Jefa de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente en la curtiembre Cuenca SAC |
| 2 | Operador de ribera - botalero en la curtiembre Cuenca SAC |
| 3 | Ingeniero Químico |
| 4 | Ingeniera Ambiental |
| 5 | Ingeniero Industrial |

Nota: Elaboración propia

Tabla 4

Escala Likert

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| Muy importante | 5 |
| Importante | 4 |
| Moderadamente importante | 3 |
| De poca importancia | 2 |
| Sin importancia | 1 |

Nota: Elaboración propia

Es así que, se procede a realizar la calificación respectiva para determinar las principales causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo, pelambre y curtido, teniendo como resultado lo descrito en la siguiente tabla.

Tabla 5

Frecuencia de causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre

| N° | CAUSAS | FRECUENCIA |
|----|--|------------|
| 1 | Utilización empírica del agua en función del volumen de pieles. | 5 |
| 2 | Falta de recirculación de aguas. | 5 |
| 3 | Tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua. | 4.8 |
| 4 | Falta de inspección de materia prima. | 4.4 |
| 5 | Falta de control del caudalímetro. | 3.8 |
| 6 | Falta de automatización. | 3.2 |
| 7 | Exceso de sal en las pieles. | 2.6 |
| 8 | Poco personal capacitado. | 1.4 |
| 9 | Personal con múltiples tareas. | 1.2 |
| 10 | No existe una máquina desaladora de pieles. | 1 |

Nota: Elaboración propia

A continuación, procederemos a elegir las causas priorizadas considerándolas en adelante como las principales causas que generan el

exceso consumo de agua, las cuales presentamos a continuación con sus respectivas frecuencias. (Ver Anexo 03 y 04)

Tabla 6

Frecuencias de las principales causas que generan el exceso consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre

| N° | CAUSAS | FRECUENCIA |
|----|--|------------|
| 1 | Utilización empírica del agua en función del volumen de pieles. | 5 |
| 2 | Falta de recirculación de aguas. | 5 |
| 3 | Tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua. | 4.8 |
| 4 | Falta de inspección de materia prima. | 4.4 |
| 5 | Falta de control del caudalímetro. | 3.8 |
| 6 | Falta de atomización | 3.2 |

Nota: Elaboración propia

Finalmente, se realiza un cuadro de análisis Causa-Efecto para determinar los principales efectos negativos de esta problemática y verificar que estén directamente relacionadas con el exceso consumo de agua en la producción de cuero, y de esa manera tratar de contrarrestarlos desarrollando mejoras en el proceso. (Ver Anexo 05)

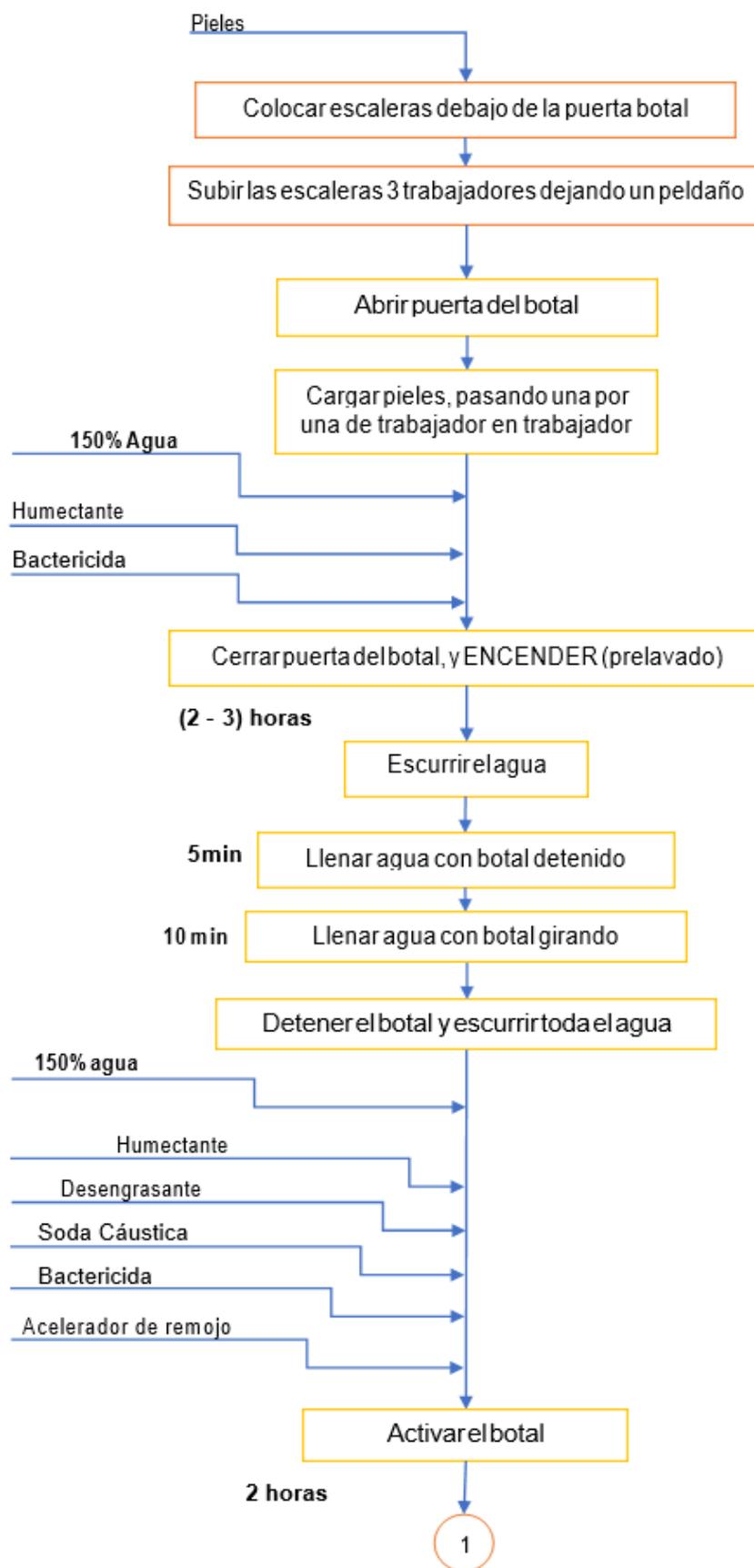
4.1.2. Resultados del Objetivo Específico N°02:

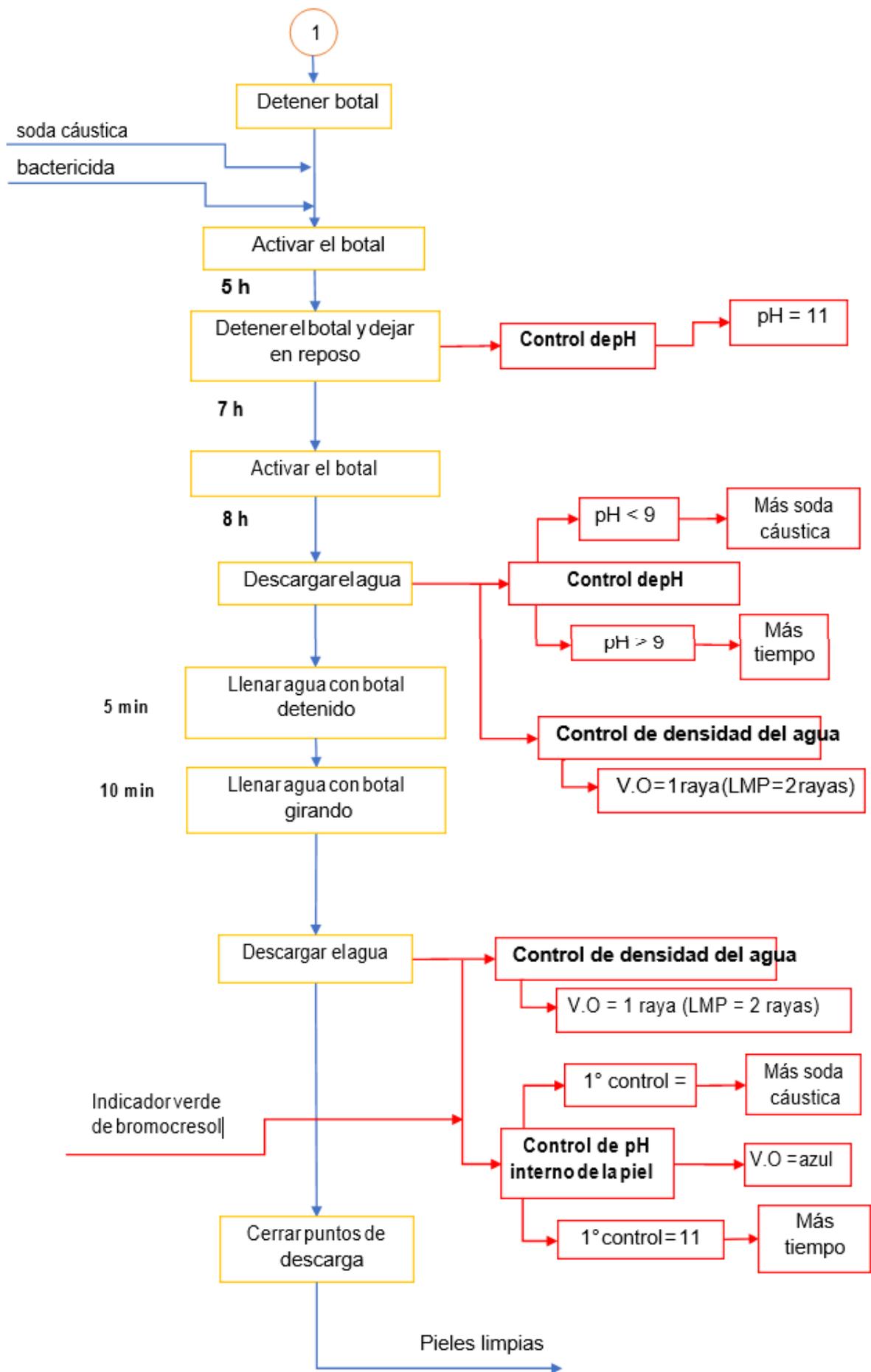
Determinar y cuantificar el volumen de agua en el proceso de remojo y pelambre.

Para el logro de este objetivo observamos el proceso de remojo y pelambre durante el periodo de septiembre 2017 a agosto 2018.

Sin embargo, es importante conocer cómo se llevan a cabo estos procesos y es por eso que serán descritos a continuación.

Diagrama de bloques del proceso de remojo





El proceso de remojo comienza con un volante (operario de ribera) abriendo la puerta del botal. Luego, 4 volantes cargan las pieles pasando estas una por una de trabajador en trabajador y para eso necesitan tener ayuda de una escalera. Las pieles son introducidas en el botal.



Figura 6. Volantes cargando pieles

Fuente: Observación directa al área de ribera.

Se llena el botal en un 150% de agua, dependiendo del volumen ocupado por las pieles para el pre-remojo y se le adiciona humectante y bactericida. Luego, se cierra la puerta del botal asegurando los travesaños y se pone en funcionamiento el botal para iniciar prelavado por un tiempo de 60 minutos. Luego se escurre el agua del prelavado.



Figura 7. Botal en funcionamiento

Fuente: Observación directa al área de ribera.



Figura 8. Escurrido del agua

Fuente: Observación directa al área de ribera.

Luego, por aproximadamente 5 minutos se llena agua con el botal detenido y por 10 minutos con el botal girando. Se detiene el botal y se escurre toda el agua.

Se vuelve a llenar el botal hasta en un 150% de agua y se le adiciona humectante, desengrasante, soda cáustica, bactericida y un acelerador de remojo. Se activa el botal y se deja funcionando por 2 horas.

Se detiene el botal y nuevamente se procede a agregar soda cáustica y bactericida, se deja funcionando por 5 horas. Aquí se realiza control de calidad:

1° control: pH del agua de remojo

Aquí para medir el pH se debe utilizar tiras de pH cuyo **valor óptimo** debe ser de 11.

Se deja en reposo por 7 horas y seguidamente se activa el botal durante 8 horas, transcurrido este tiempo se descarga el agua. Se realiza un segundo y tercer control de calidad:

2° control: pH del agua final de remojo

Valor óptimo: 9

Si pH del agua fide remojo es < que 9, se le adiciona más soda caustica, y si es > que 9 se debe continuar con el remojo)

3° control: Densidad del agua de remojo

Permite saber la cantidad aproximada de agua necesaria para el lavado.

Para llevar a cabo este control se debe utilizar un densímetro.

Valor óptimo: 1 raya (máx. aceptado: 2) si esto sucede, está libre para pelambre.

Se procede a llenar el botal con 100% de agua y se realiza un lavado por un tiempo de 15 minutos.

Finalmente se realiza una última descarga de agua del proceso de remojo y se realiza el cuarto y quinto control de calidad.

4° control: Densidad del agua de remojo después del lavado

Para llevar a cabo este control se debe utilizar un densímetro.

Valor óptimo: 1 raya (máx. aceptado: 2) si esto sucede, está libre para pelambre.

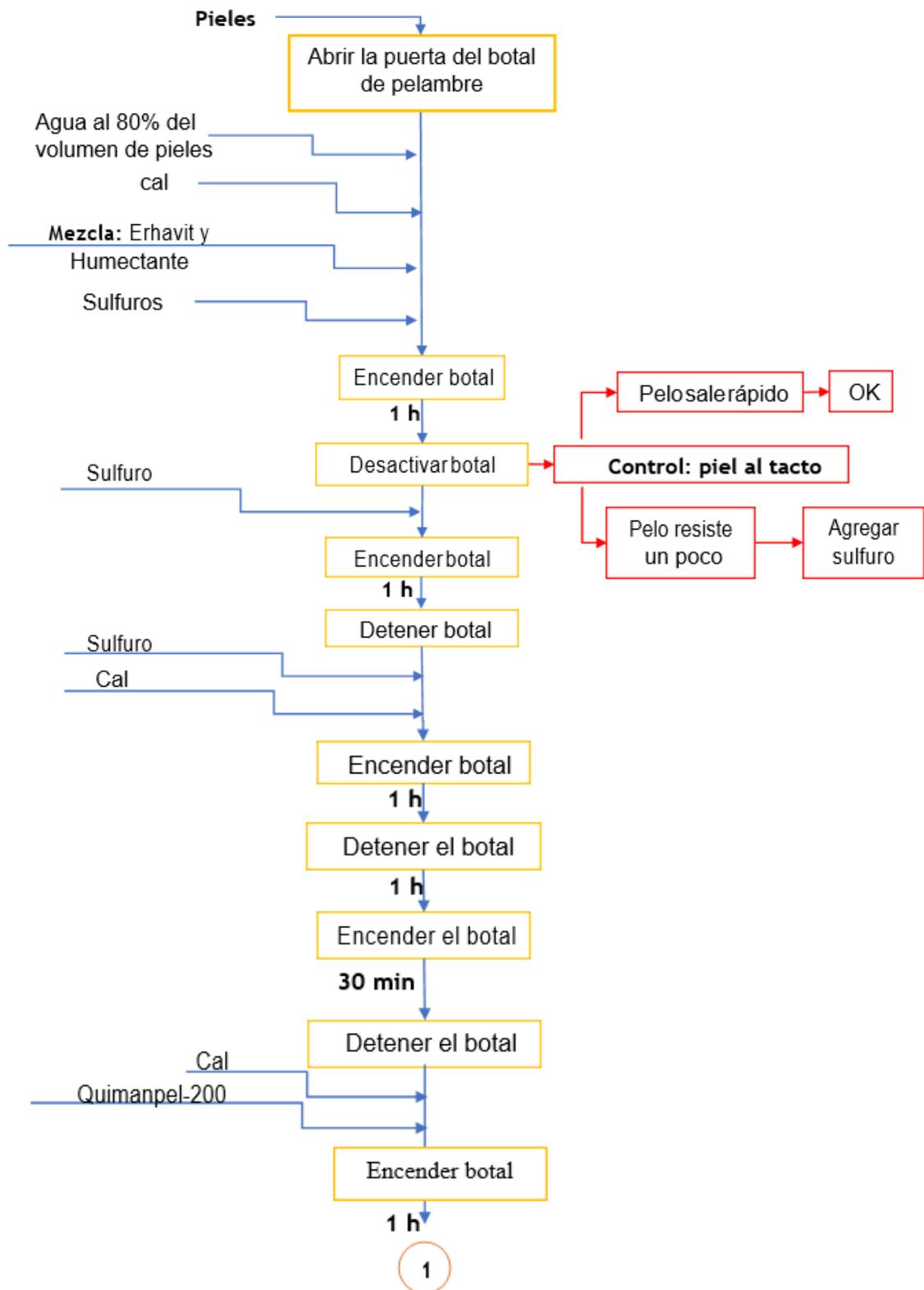
5° control: pH interno de la piel

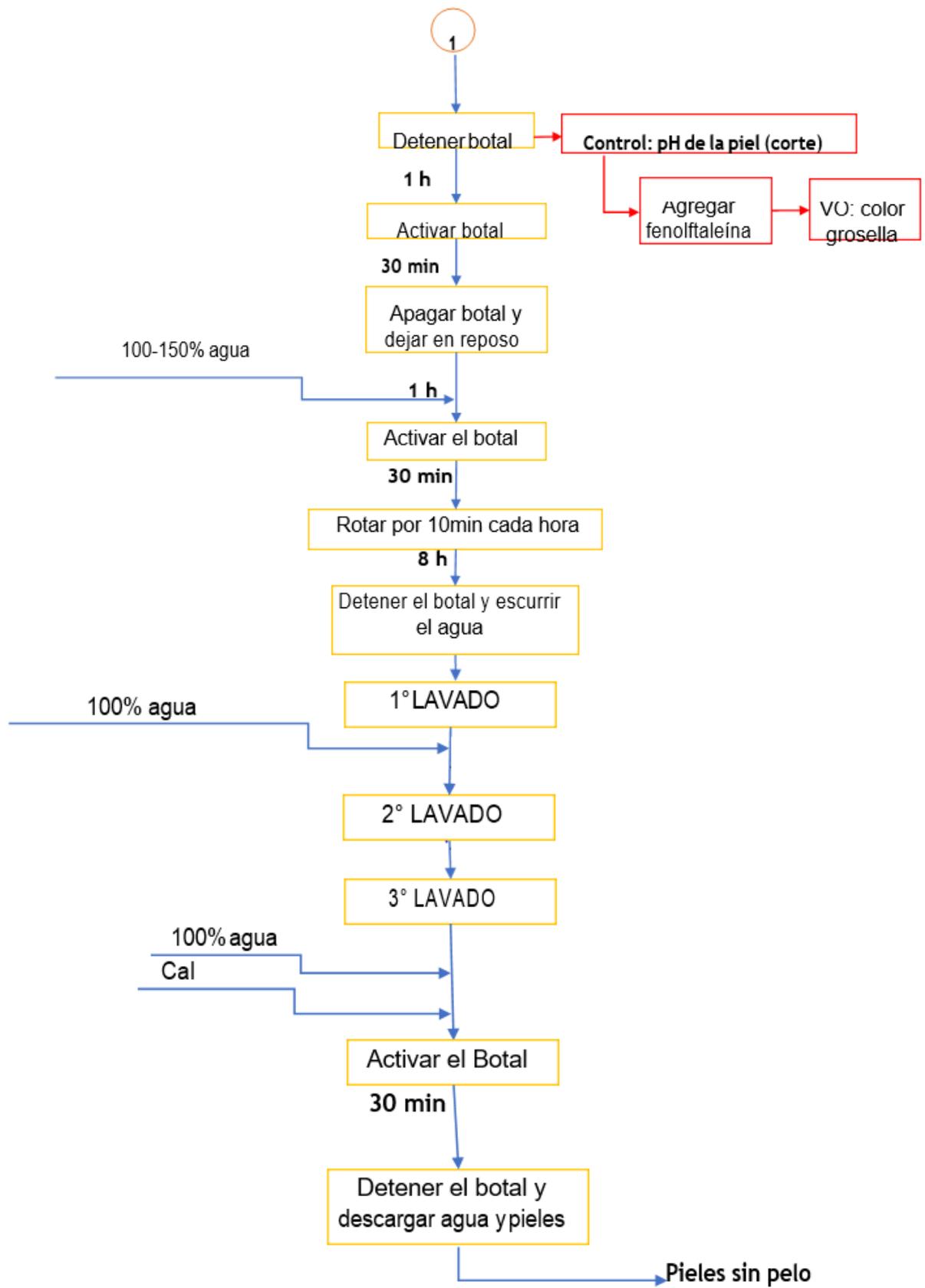
Se observa que la piel no está rosada o rojiza (blanquecina) y al añadir indicador verde de bromocresol a la piel interna, esta debe tornarse azul.

- Si es amarillo-verdoso y 1° Control = 9, entonces se agrede soda caustica.
- Si es amarillo-verdoso y 1° Control = 11, entonces falta aún tiempo

Finalmente, antes de pasar a pelambre se procede a cerrar los puntos de descarga.

Diagrama de bloques del proceso de pelambre





El proceso de pelambre empieza cuando el operario retira la puerta del botal quitando los travesaños que la aseguran.

Luego se agrega agua al 80% del volumen de pieles (no cubre todo)

Se añade Cal y la mezcla de Erhavit con Humectante.

Nota: Si inicialmente observamos que las pieles tiene pelo duro debemos agregar sulfuros.

Procedemos a activar el botal por 1 hr para que se dé la inmunización del pelo y luego se desactiva el botal para realizar el sexto control que consiste en lo siguiente:

6° control: Revisar la piel al tacto

- Si sale rápido el pelo (flojo) entonces está OK.
- Si se resiste un poco entonces se agrega sulfuro.



Figura 9. Inmunización del pelo

Fuente: Observación directa al área de ribera.

Se agrega sulfuro nuevamente y se vuelve a encender el botal por 1 hr, luego se detiene el botal y se agrega más sulfuro y cal. Se vuelve a encender el botal durante 1 hr, se apaga y se deja reposar por una 1 hr. Se añade cal junto al antiarrugas (QUIMANPEL-200). Se activa el botal 1 hr y se desactiva.

Se toma muestra de piel totalmente pelada, y en el corte se realiza el séptimo control:

7° control: pH de la piel

Se utiliza como indicador a la **Fenolftaleína**, al dejar caer unas gotas sobre el corte de la piel, esta debe tornarse *color grosella* casi en su totalidad, indicando que la cal ha ingresado a la piel correctamente y terminará de actuar en el tiempo restante.

Se deja en reposo por 1 hr y se activa el botal para que rote por 30 min. Se apaga el botal por 1 hr.

Luego, se llena agua al 100-150% en volumen y se deja rotar el botal durante 30 min.

Concluida la media hora el botal rotará por un tiempo de 10 min cada hora, durante 8 hrs, transcurridas estas horas el botal se detendrá y se realizará el escurrido a la canaleta.

Se procede a lavar el pelambre y se descarga el agua a la canaleta.

Se continúa lavando dos veces más.

Finalmente se abre la puerta del botal, y se descarga las pieles en el piso.



Figura 10. Descarga de pieles apelmbradas

Nota: Observación directa al área de ribera.

Por otro lado, es preciso conocer que existen 2 botales, uno de remojo y uno de pelambre; además de que los procesos se realizan bajo el siguiente escenario:

Tabla 7

Fulones correspondientes a cada proceso en una semana

| | FULÓN REMOJO | FULÓN PELAMBRE |
|-----------|-----------------|-------------------|
| Lunes | R ₁ | |
| Martes | R ₂ | P ₁ |
| Miércoles | R ₃ | P ₂ |
| Jueves | R ₄ | P ₃ |
| Viernes | R ₅ | P ₄ |
| Sábado | R ₆ | P ₅ |
| Lunes* | | P ₆ |

Nota: Elaboración propia

Conociendo el proceso de remojo y pelambre a detalle y habiendo identificado las etapas de cada proceso en las que se utiliza agua, explicaremos como se realizó la toma de datos.

Primero, para obtener los datos iniciales hicimos uso de un reloj de pared que te brinda la hora y los minutos en los que el botal se encuentra consumiendo agua, ya que es así la única manera de como el botalero se guía para abrir y cerrar la llave del fulón.

Luego, para obtener la cantidad de m³ hicimos uso de un caudalímetro ubicado al costado izquierdo del fulón.

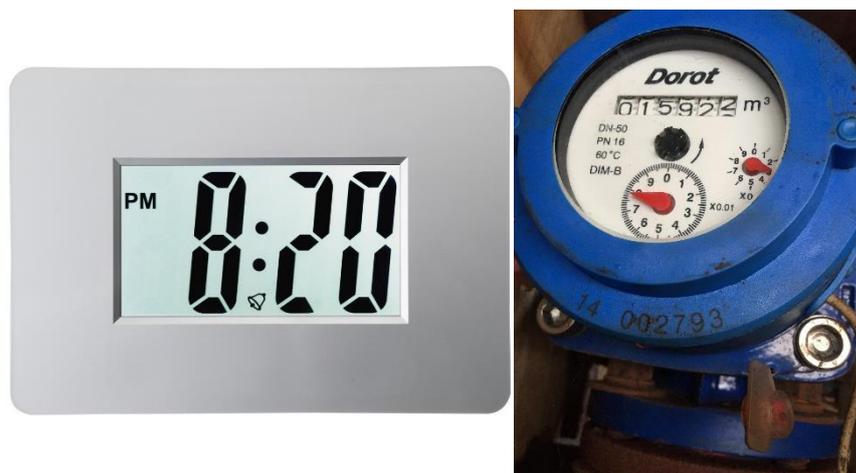


Figura 11. Instrumentos para determinar el consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre

Fuente: Fotografías tomadas en Cuenca SAC

Finalmente, para registrar los datos se hizo uso de fichas de observación elaboradas por los autores. (Ver Anexo 07 y 08)

A continuación, se presentará un cuadro resumen con el consumo de agua en (m^3) del proceso de remojo y pelambre según producción mensual.

Tabla 8

Consumo de agua (m^3) sep-17 a ago-18

| | Consumo (m^3) Remojo | Consumo (m^3) Pelambre | Q de pieles producidas |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|
| sep-17 | 501.36 | 854.10 | 3,787.00 |
| oct-17 | 499.51 | 850.94 | 3,773.00 |
| nov-17 | 502.02 | 855.23 | 3,792.00 |
| dic-17 | 495.40 | 843.95 | 3,742.00 |
| ene-18 | 503.61 | 857.93 | 3,804.00 |
| feb-18 | 504.67 | 859.74 | 3,812.00 |
| mar-18 | 505.60 | 861.32 | 3,819.00 |
| abr-18 | 493.81 | 841.24 | 3,730.00 |
| may-18 | 500.57 | 852.75 | 3,781.00 |
| jun-18 | 502.29 | 855.68 | 3,794.00 |
| jul-18 | 498.98 | 850.04 | 3,769.00 |
| ago-18 | 501.76 | 854.78 | 3,790.00 |
| TOTAL | 6,009.58 | 10,237.39 | 45,393.00 |

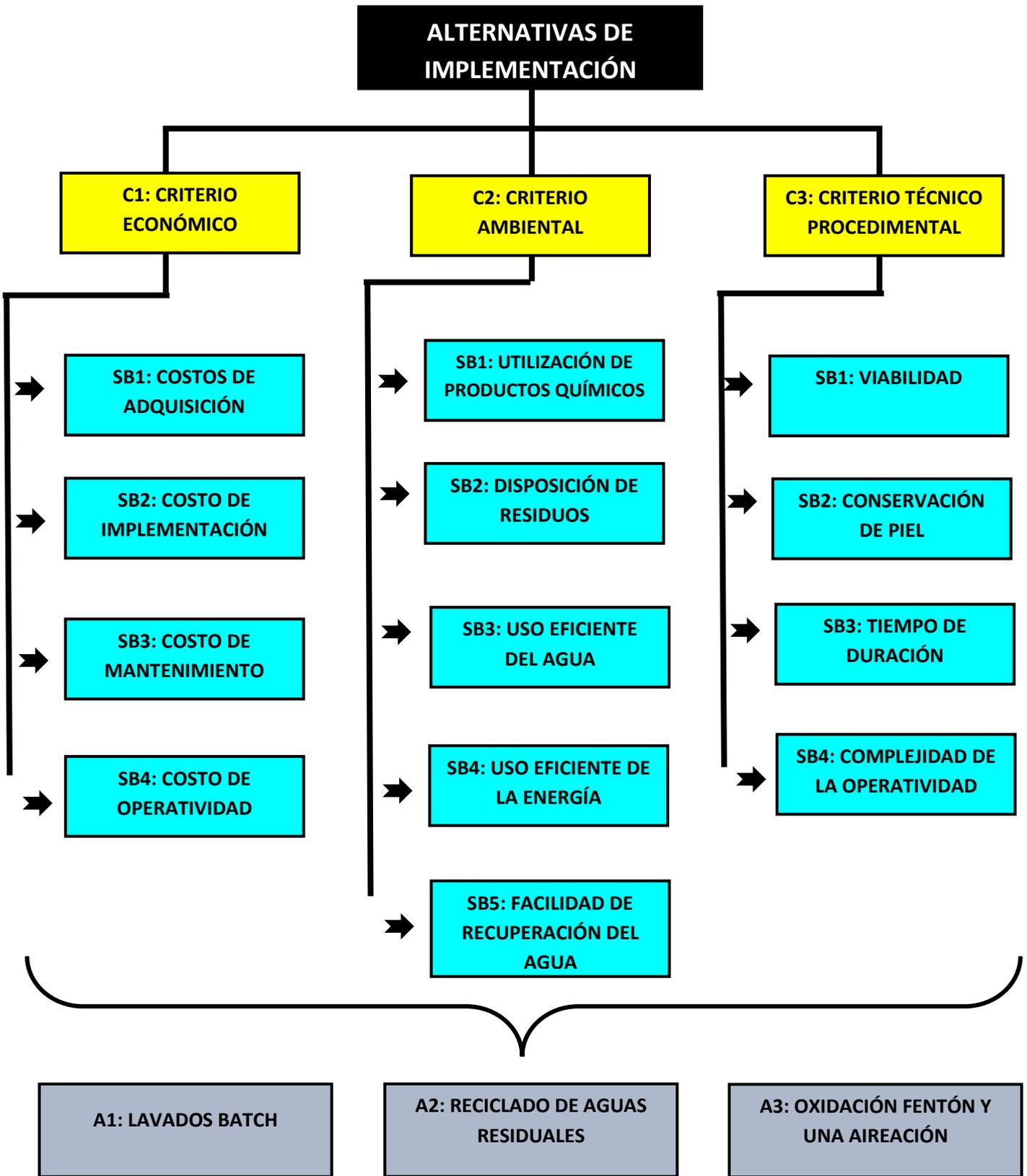
Nota: Base de datos histórica de la empresa del año 2017-2018

4.1.3. Resultados del Objetivo Específico N°03:

Diseñar un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre.

Para el cumplimiento de este objetivo, fue necesario someter a nuestras alternativas de mejora proporcionadas por los antecedentes a una evaluación mediante el método AHP para así determinar aquellas que con su implementación permitan reducir el consumo de agua.

Primero, se debe estructurar el árbol de jerarquías determinando los criterios y sub-criterios de evaluación a las que serán sometidas las alternativas de mejora propuestas.



Luego, ya definidos los criterios y sub-criterios, se procede a realizar la comparación a pares. Para ello necesitamos conocer la siguiente escala de valoración.

Tabla 9

Escala de valoración

| ESCALA | DEFINICIÓN | EXPLICACIÓN |
|--------|---------------------------|--|
| 1 | IGUALMENTE PREFERIDA | Los 2 criterios contribuyen igual al objetivo. |
| 2 | MODERADAMENTE PREFERIDA | Las experiencias y el juicio favorecen a un criterio frente al otro. |
| 3 | FUERTEMENTE PREFERIDA | Las experiencias y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro. |
| 4 | MUY FUERTEMENTE PREFERIDA | Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio. |
| 5 | EXTREMADAMENTE PREFERIDA | La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro. |

Nota: Elaboración propia

Sabemos que, el AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de consistencia. Es por eso que para que la matriz de comparaciones sea aceptada debe cumplir con lo siguiente.

$$\text{Proporción de Consistencia} = \text{Índice de Consistencia} / \text{Índice Aleatorio}$$

$$\text{Proporción de Consistencia} < 10\%$$

- Índice de consistencia: mide la consistencia de la matriz de comparaciones.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

- Índice aleatorio: es un índice de consistencia de una matriz aleatoria.

| | | | | | | | | | |
|---------------------|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Tamaño de la matriz | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Índice aleatorio | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 |

Finalmente, para determinar la alternativa a implementar se evaluaron todas las matrices y los datos de cada autovector se trasladaron al árbol de decisiones (Ver Anexo 11), posteriormente se solicitó la evaluación de expertos para encontrar los puntajes finales de cada alternativa con respecto a cada sub criterio (Ver anexo 12) para proceder a la globalización final de la matriz. (Ver anexo 13)

Finalmente, podemos resumir los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 10

Puntaje ponderado de las alternativas a implementar

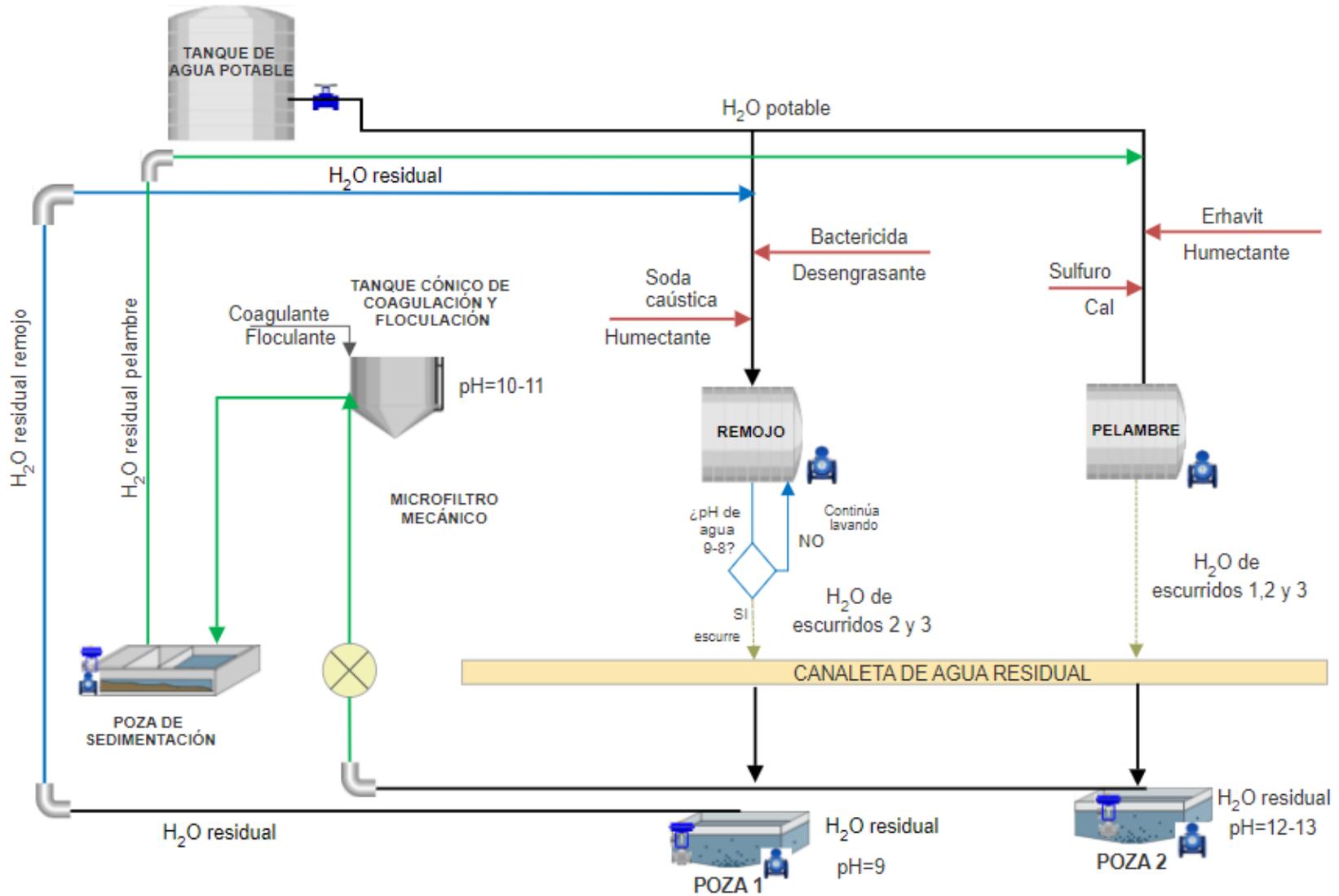
| ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR | | | |
|----------------------------|---------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | LAVADOS BATCH | RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | OXIDACIÓN FENTÓN Y UNA AEREACIÓN |
| PUNTUACIÓN | 56.93 | 64.23 | 63.90 |

Nota: Elaboración propia

Siendo la alternativa ganadora *Reciclaje de Aguas* con un puntaje de 64.23 procederemos a diseñar un sistema de reciclado de agua basándonos en las características de nuestro proceso productivo.

Se propone el siguiente esquema de recirculación de agua residual.

SISTEMA DE RECICLADO DE AGUA RESIDUAL DEL PROCESO DE REMOJO Y PELAMBRE



Como se mencionó anteriormente, en los procesos de remojo y pelambre existe gran consumo de agua. Los efluentes generados en el proceso de remojo y pelambre no se están aprovechando pues terminan siendo arrojados a la canaleta sin ser recirculados.

A. Reciclado de agua residual del proceso de remojo

El agua residual a recircular será almacenada en una poza de almacenamiento de 2mx2mx2m la cuál fue construida en la parte delantera del fulón de remojo.

Descripción:

- Esta poza debe tener dos sistemas de tuberías, el primero será utilizado para conducir los efluentes hacia la poza y el segundo para transportar el efluente total almacenado mediante bombeo hacia su respectivo fulón para su nueva utilización.



Figura 12. Poza Subterránea

Fuente: Curtiembre CUENCA SAC

- El pH del efluente a almacenar debe ser verificado antes de su recirculación. Este debe ser 9 y por tener estas condiciones es que es ideal recircularlo en el *tercer llenado* de remojo el cual requiere un medio básico aproximadamente (pH=9) motivo por el cual como parte de la etapa de adición de insumos en el este llenado tan solo adicionamos soda cáustica.
- Solo se recirculará este efluente una vez para que así contribuya con los estándares de calidad y con las características organolépticas del cuero.

Ejemplificaremos el reciclado con R₁ y R₂

1) Identificar la cantidad de escurridos en el proceso de remojo.

Tabla 11

Cantidad de llenados y escurridos en el proceso de remojo

| Llenados | Escurreidos |
|-----------|--------------|
| Llenado 1 | Escurreido 1 |
| Llenado 2 | Escurreido 2 |
| Llenado 3 | |
| Llenado 4 | Escurreido 3 |

Nota: Elaboración propia

2) Calcular el volumen del efluente de cada escurrido en R₁.

Para un R₁ de 21.63 m³

Tabla 12

Cantidad en m³ de llenados y escurridos en R₁

| Llenados | m ³ | Escurreidos | m ³ |
|--------------|----------------|--------------|----------------|
| Llenado 1 | 7.65 | Escurreido 1 | 1.53 |
| Llenado 2 | 4.02 | Escurreido 2 | 2.39 |
| Llenado 3 | 3.96 | | |
| Llenado 4 | 6.00 | Escurreido 3 | 1.80 |
| TOTAL | 21.63 | TOTAL | 5.72 |

Nota: Elaboración propia

3) Seleccionar los efluentes que se pueden reutilizar en R₁.

Según la información brindada por la empresa y nuestro criterio como investigadores, decidimos excluir la opción de reciclado del primer efluente del remojo ya que contiene una carga orgánica muy elevada, es decir; DBO y DBQ alta, sangre, residuos de estiércol y sal.

Entonces, solo serán recirculados el efluente del escurrido 2 y 3.

Tabla 13

Cantidad en m³ de agua a reutilizar de R₁

| Efluente | m ³ |
|-------------------------|----------------|
| Efluente de escurrido 2 | 2.39 |
| Efluente de escurrido 3 | 1.80 |
| TOTAL | 4.19 |

Nota: Elaboración propia

4) Iniciar el reciclaje en R₂

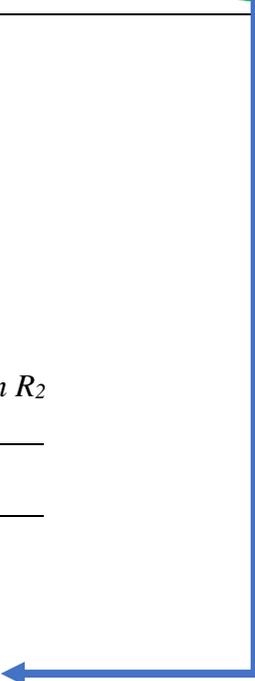
Para un R₂ de 23.19 m³

Tabla 144

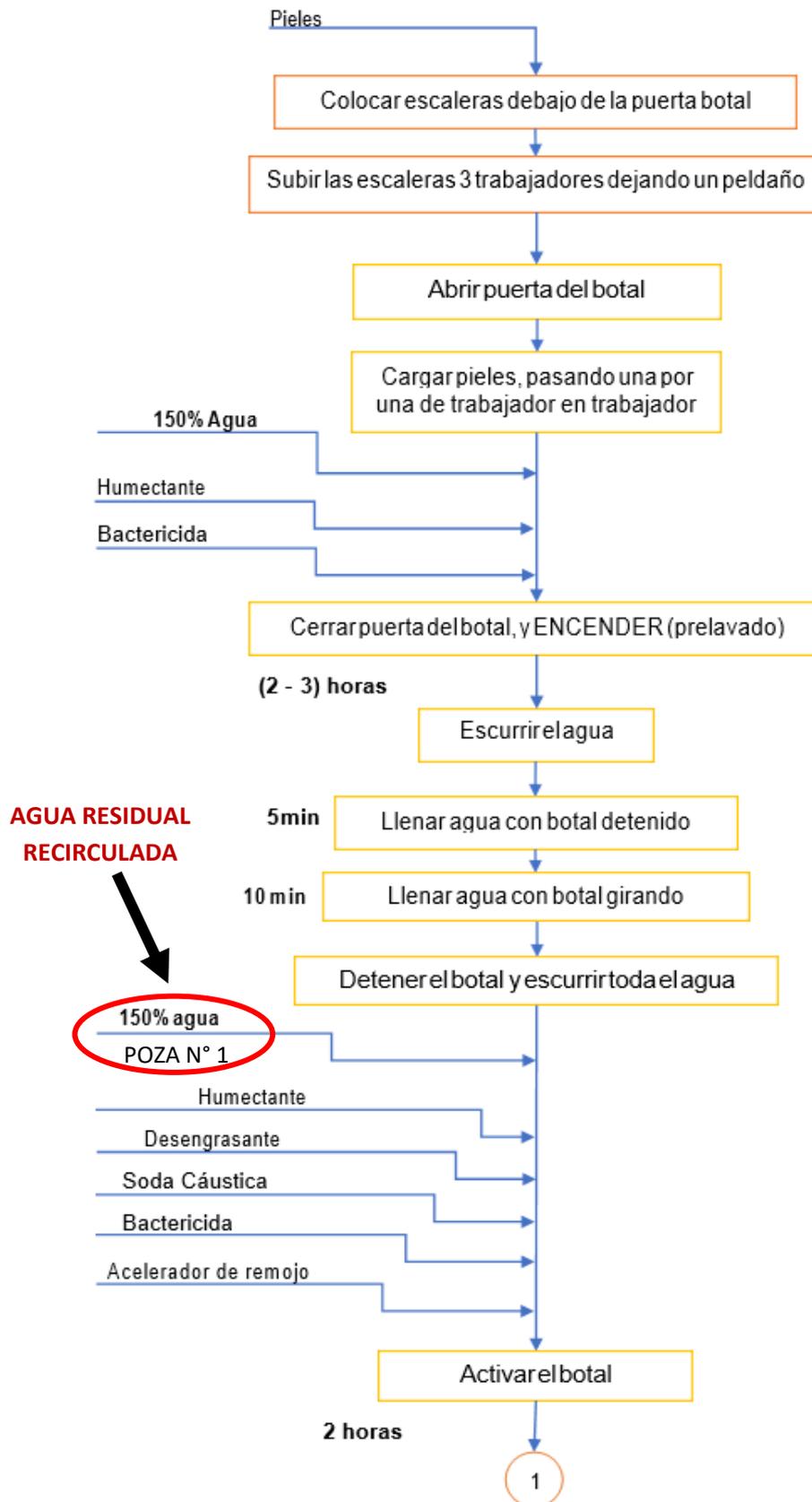
Cantidad en m³ de llenados en R₂

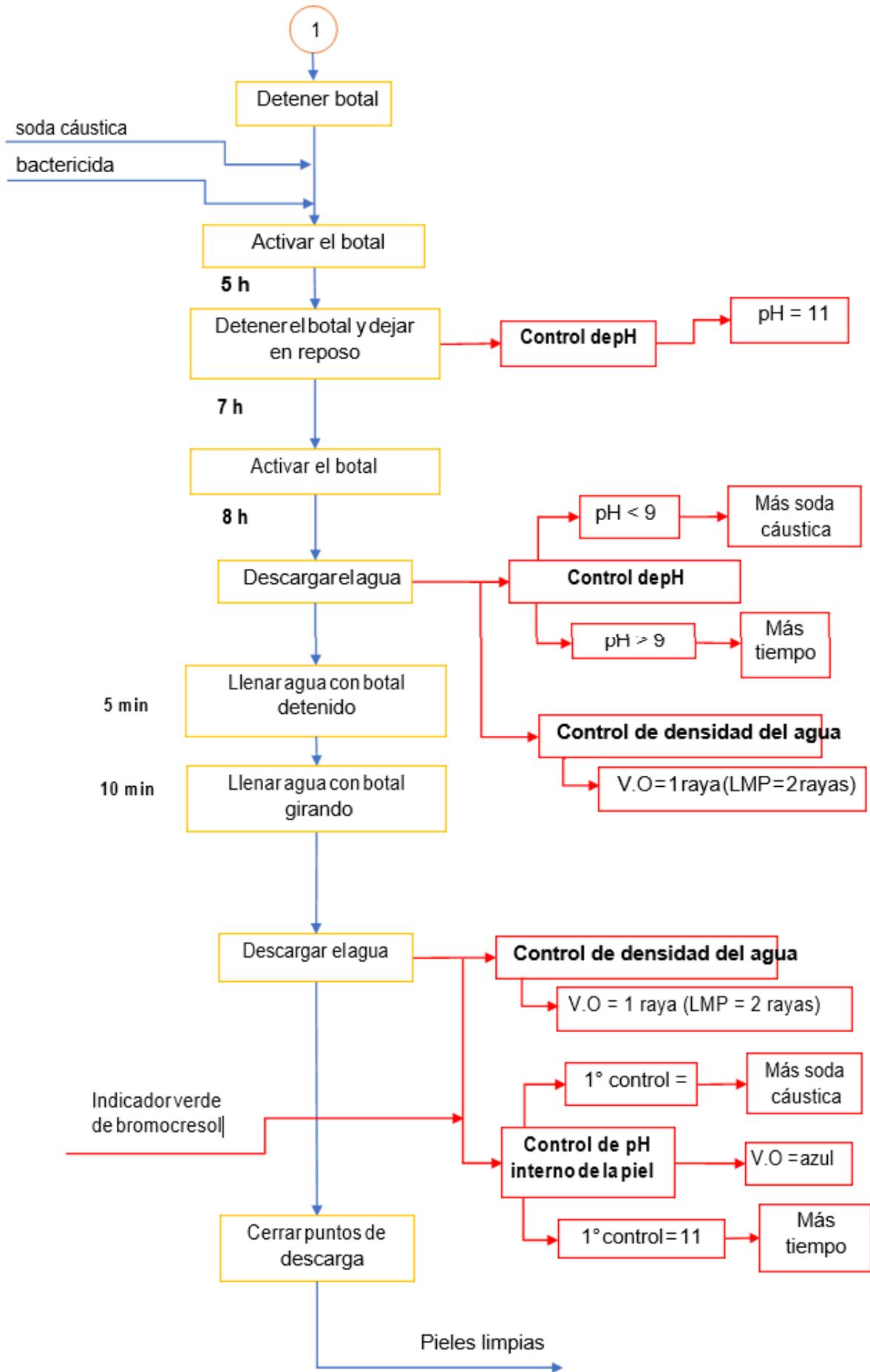
| Llenados | m ³ |
|-----------|----------------|
| Llenado 1 | 9.12 |
| Llenado 2 | 3.99 |
| Llenado 3 | 4.10 |
| Llenado 4 | 6.32 |

Nota: Elaboración propia



Nuevo diagrama de bloques del proceso de remojo





B. Reciclado de agua residual del proceso de pelambre

Los efluentes a recircular ya no irían a la canaleta sino a una poza de almacenamiento de 2mx2mx2m la cuál fue construida en la parte delantera del fulón de pelambre.

Descripción:

- Esta poza debe tener dos sistemas de tuberías, el primero será utilizado para conducir los efluentes hacia la poza y el segundo para transportar el efluente almacenado mediante bombeo hacia un microfiltro mecánico.
- El efluente de pelambre por ser alto en sulfuro debe ser tratado.
- Mediante tuberías el efluente es conducido hacia un microfiltro mecánico cuya función principal es filtrar el pelo y sólidos finos.
- Esta agua filtrada, pasa a un tanque cónico de coagulación y floculación que permite bajar el DBO, DQO, sólidos suspendidos y sólidos sedimentados.
- El efluente después de haber sido sometido al proceso físico-químico de coagulación y floculación es enviado a una poza de sedimentación de 2mx2mx2m para separar los lodos. Finalmente se regula el pH>9 de acuerdo a los requerimientos necesarios.
- Finalmente se procede a reutilizar en el *tercer llenado* de pelambre.

El agua a reciclar por partida de pelambre, sólo debe reutilizarse en dos partidas más de pelambre, es decir todos los llenados de la cuarta partida son con agua potable.

Ejemplificaremos el reciclado con P₁ y P₂

1) Identificar la cantidad de escurridos en el proceso de pelambre

Tabla 155

Cantidad de llenados y escurridos en el proceso de pelambre

| Llenados | Escurreidos |
|-----------|------------------|
| Llenado 1 | NO HAY ESCURRIDO |
| Llenado 2 | Escurreido 1 |
| Llenado 3 | Escurreido 2 |
| Llenado 4 | Escurreido 3 |

Nota: Elaboración propia

2) Calcular el volumen del efluente de cada escurrido en P₁.

Para un P₁ de 32.14 m³

Tabla 166

Cantidad en m³ de llenados y escurridos en P₁

| Llenados | m ³ | Escurreidos | m ³ |
|--------------|----------------|---------------------|----------------|
| Llenado 1 | 1.42 | NO HAY ESCURRIDO | 0 |
| Llenado 2 | 3.59 | Escurreido 1 | 1.26 |
| Llenado 3 | 15.70 | Escurreido 2 | 4.40 |
| Llenado 4 | 11.70 | Escurreido 3 | 2.53 |
| TOTAL | 32.41 | TOTAL | 8.19 |

Nota: Elaboración propia

3) Seleccionar los efluentes que se pueden reutilizar en P₁.

Recircularemos todos los efluentes de pelambre.

Tabla 177

Cantidad en m³ de agua a reutilizar de P₁

| Efluente | m ³ |
|-------------------------|----------------|
| Efluente de escurrido 1 | 1.26 |
| Efluente de escurrido 2 | 4.40 |
| Efluente de escurrido 3 | 2.53 |
| TOTAL | 8.19 |

Nota: Elaboración propia

4) Iniciar el reciclaje en P₂

Para un P₂ de 31.26 m³

Tabla 188

Cantidad en m³ de llenados en P₂

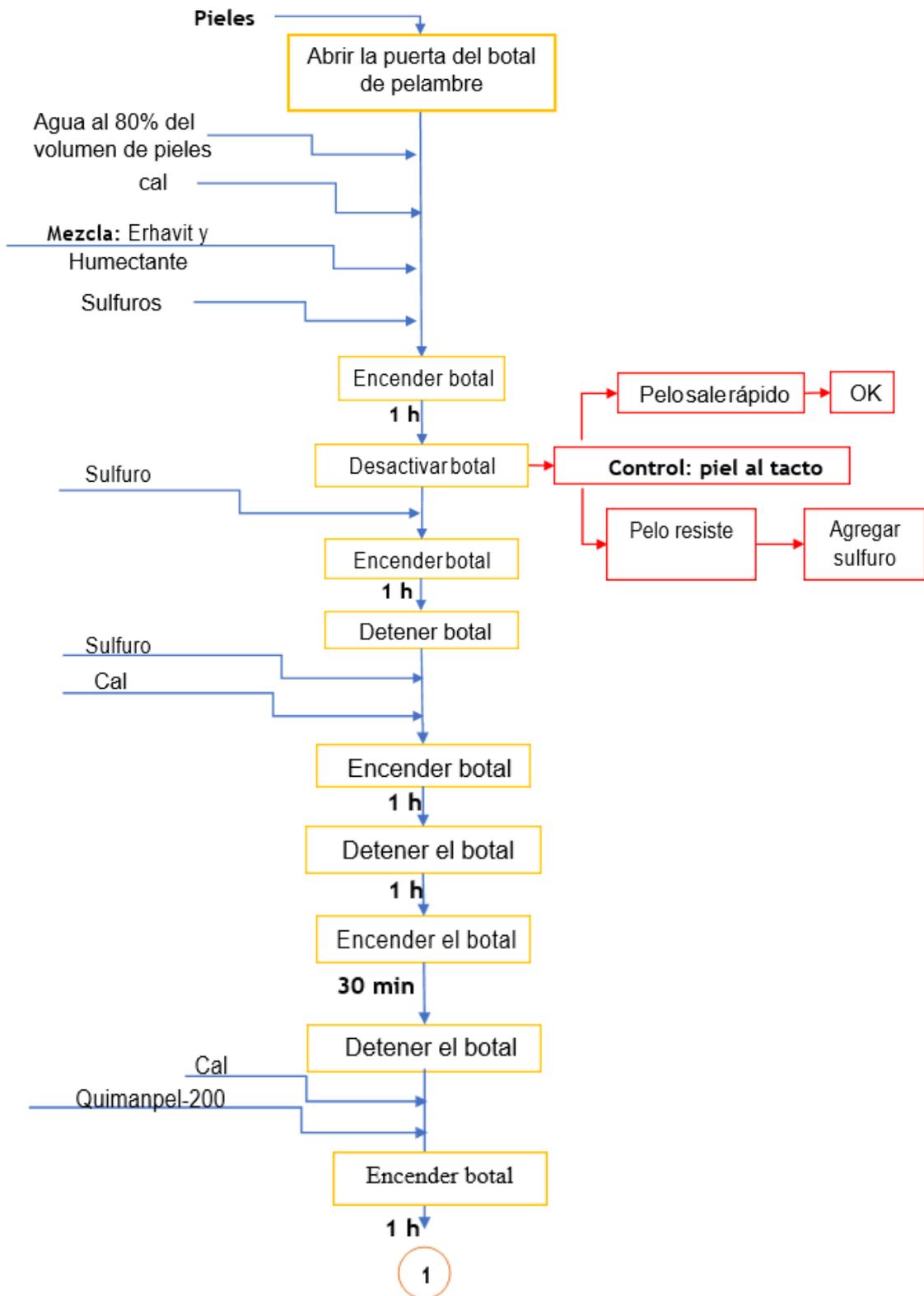
| Llenados | m ³ |
|-----------|----------------|
| Llenado 1 | 8.81 |
| Llenado 2 | 4.03 |
| Llenado 3 | 16.30 |
| Llenado 4 | 12.45 |

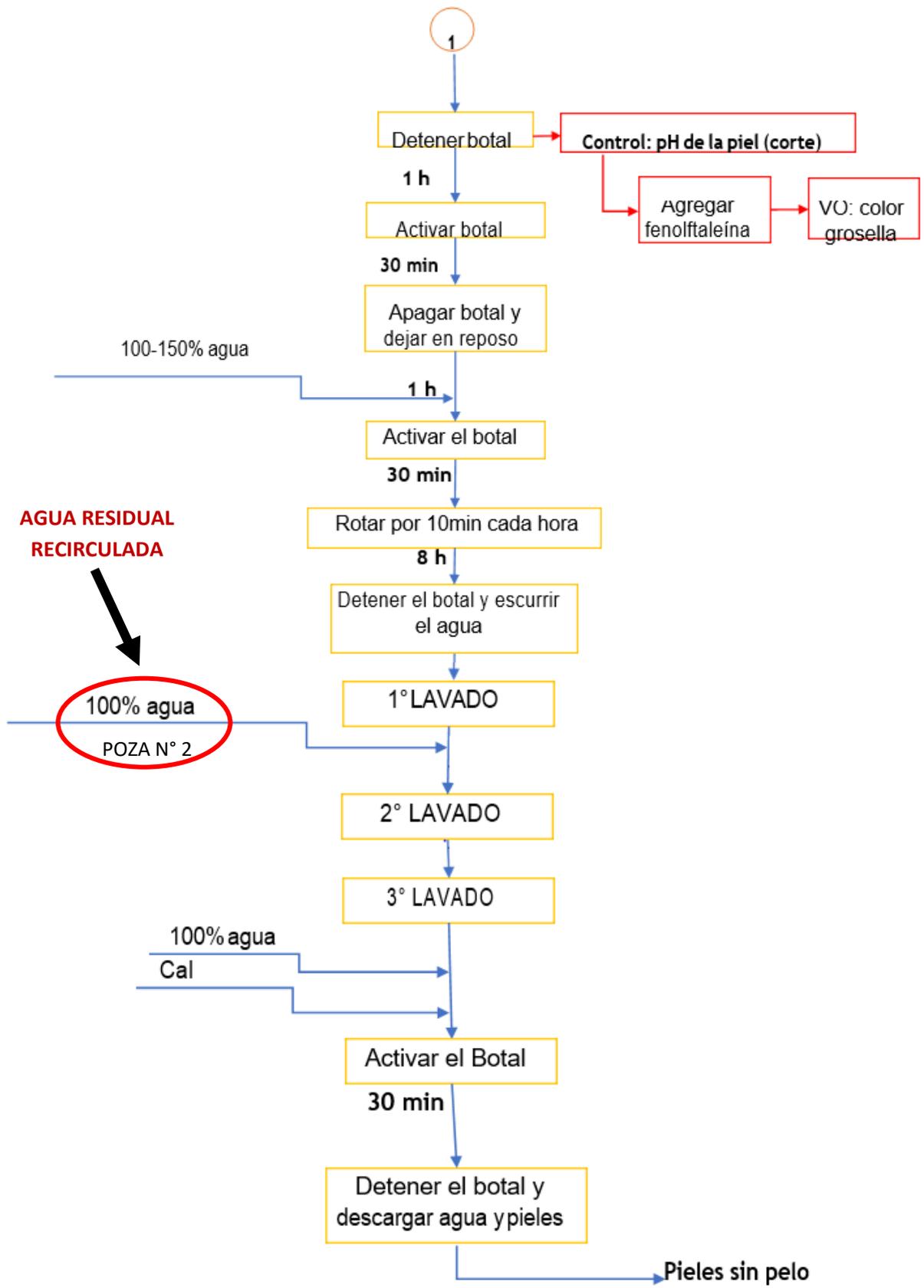
Nota: Elaboración propia

8.19

16.30

Nuevo diagrama de bloques del proceso de pelambre





4.1.4. Resultados del Objetivo Específico N°04:

Determinar los beneficios generados a la empresa con la disminución del consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre.

a) Beneficio hídrico

Después de haber implementado la mejora observamos el proceso de remojo y pelambre durante el periodo de septiembre 2018 a agosto 2019.

A continuación, se presentará un cuadro resumen con el consumo de agua en (m³) del proceso de remojo y pelambre según producción mensual.

Tabla 199

Consumo de agua (m³) sep-18 a ago-19

| | Consumo (m ³) Remojo | Consumo (m ³) Pelambre | Q de pieles producidas |
|--------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| sep-18 | 445.50 | 603.57 | 3,791.00 |
| oct-18 | 443.97 | 601.50 | 3,778.00 |
| nov-18 | 446.68 | 605.17 | 3,801.00 |
| dic-18 | 440.92 | 597.36 | 3,752.00 |
| ene-19 | 447.85 | 606.76 | 3,811.00 |
| feb-19 | 448.56 | 607.71 | 3,817.00 |
| mar-19 | 449.26 | 608.67 | 3,823.00 |
| abr-19 | 438.92 | 594.66 | 3,735.00 |
| may-19 | 445.26 | 603.25 | 3,789.00 |
| jun-19 | 446.32 | 604.69 | 3,798.00 |
| jul-19 | 443.85 | 601.34 | 3,777.00 |
| ago-19 | 446.68 | 605.17 | 3,801.00 |
| TOTAL | 5,343.76 | 7,239.85 | 4,5473 |

Nota: Base de datos histórica de la empresa del año 2017-2018

En la tabla 20, se demuestra que implementando un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre se logra disminuir el consumo de agua en el proceso productivo de cuero en la Curtiembre Cuenca SAC. Se logró un ahorro anual de 3,663.65 m³.

Tabla 20

Ahorro en el consumo de agua (m³)

| Mes | Consumo (m ³) Remojo - Pelambre ANTES | Consumo (m ³) Remojo - Pelambre DESPUÉS | Ahorro en Consumo Agua (m ³) |
|--------------|---|---|--|
| setiembre | 1,355.46 | 1,049.07 | 306.39 |
| octubre | 1,350.45 | 1,045.48 | 304.97 |
| noviembre | 1,357.25 | 1,051.84 | 305.41 |
| diciembre | 1,339.35 | 1,038.28 | 301.07 |
| enero | 1,361.54 | 1,054.61 | 306.94 |
| febrero | 1,364.41 | 1,056.27 | 308.14 |
| marzo | 1,366.91 | 1,057.93 | 308.99 |
| abril | 1,335.06 | 1,033.58 | 301.48 |
| mayo | 1,353.31 | 1,048.52 | 304.79 |
| junio | 1,357.97 | 1,051.01 | 306.96 |
| jul | 1,349.02 | 1,045.20 | 303.82 |
| agosto | 1,356.53 | 1,051.84 | 304.69 |
| TOTAL | 16,247.26 | 12,583.61 | 3,663.65 |

Nota: Elaboración propia

b) Beneficio económico

En la tabla 21, se demuestra que implementando un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre se logró un ahorro anual de S/ 21,065.98.

Tabla 220

Ahorro monetario (S/)

| Mes | Costo (S/) Remojo - Pelambre ANTES | Costo (S/) Remojo - Pelambre DESPUÉS | Ahorro monetario (S/) |
|--------------|---|---|-----------------------------|
| setiembre | 7,793.90 | 6,032.17 | 1,761.73 |
| octubre | 7,765.08 | 6,011.48 | 1,753.60 |
| noviembre | 7,804.19 | 6,048.08 | 1,756.10 |
| diciembre | 7,701.28 | 5,970.11 | 1,731.17 |
| enero | 7,828.88 | 6,063.99 | 1,764.89 |
| febrero | 7,845.35 | 6,073.54 | 1,771.81 |
| marzo | 7,859.75 | 6,083.09 | 1,776.67 |
| abril | 7,676.59 | 5,943.06 | 1,733.52 |
| mayo | 7,781.55 | 6,028.99 | 1,752.56 |
| junio | 7,808.30 | 6,043.31 | 1,764.99 |
| jul | 7,756.85 | 6,009.89 | 1,746.96 |
| agosto | 7,800.07 | 6,048.08 | 1,751.99 |
| TOTAL | 93,421.80 | 72,355.81 | 21,065.98 |

Nota: Elaboración propia

Curtiembre Cuenca SAC se abastece de agua potable de dos maneras, por SEDALIB y por tancadas de agua que compra a terceros. A SEDALIB se paga S/ 5.75 / m³ y a terceros (S/ 90 / 20 m³ = tancada de agua)

Antes de la mejora en el proceso de remojo, pelambre, curtido y recurtido se consumía al mes un promedio de 500 m³, 850 m³, 300 m³ y 150 m³ respectivamente siendo un total de **1,800 m³**. El gasto mensual promedio en agua destinado al sistema productivo era de **S/ 10,000**.

Después de la implementación de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre se consume al mes un promedio **1,498m³** incurriendo en un costo promedio mensual en agua de **S/8,600**.

❖ **Costos de implementación del sistema de reciclado de agua**

La implementación de un sistema de reciclado de agua demandó una inversión monetaria de S/ 7,000

En la tabla 22, se presenta un resumen de los costos que implicaron esta implementación.

Tabla 212

Costo de implementación de un sistema de reciclado de agua

| Naturaleza de Gasto | Recurso | Nombre del recurso | Cant | Und de Medida | Precio Unt (S/) | Monto (S/) |
|---|----------------|---|-------------|----------------------|------------------------|-------------------|
| Implementación de un sistema de reciclado de agua. | Mano de obra | Personal para picado del suelo. | 2 | serv. | 170.00 | 340.00 |
| | | Personal para tarrajeo de pozas. | 2 | serv. | 100.00 | 200.00 |
| | | Personal para instalación de tuberías y conexiones. | 1 | serv. | 430.00 | 430.00 |
| | | Supervisor de obra. | 1 | serv. | 200.00 | 200.00 |
| | | Electricista para instalar llaves bomba. | 1 | serv. | 450.00 | 450.00 |
| | | Capacitador de operarios. | 1 | serv. | 350.00 | 350.00 |

| | | | | | |
|--------------|---|---|-------|----------|-----------------|
| | Tuberías, conexiones, llaves, cemento | 1 | serv. | 630.00 | 630.00 |
| Materiales | Tapas de madera | 2 | ud. | 60.00 | 120.00 |
| | Caudalimetro | 2 | ud. | 270.00 | 540.00 |
| | Bomba de 2 Hp | 2 | ud. | 1,300.00 | 2,600.00 |
| | Tanque cónico de coagulación | 1 | ud. | 770.00 | 770.00 |
| | Coagulantes y floculantes | 2 | uds. | 140.00 | 280.00 |
| Transporte | Compra y traslado de materiales | 1 | serv. | 90.00 | 90.00 |
| TOTAL | | | | | 7,000.00 |

Fuente: Elaboración propia

❖ **Viabilidad económica de la implementación del sistema de reciclado de agua**

De la tabla 22 se observa que la inversión total para la implementación de la mejora asciende a S/ 7,000. Definiremos los términos de esta viabilidad:

- El espacio ocupado de las pozas será en el subsuelo por lo que no ocupará espacio en la superficie.
- Se manejará la opción de un crédito bancario para pagar en 2 años y el horizonte del flujo de caja será de 5 años.
- Las pozas tienen una vida útil de 15 años, este dato nos servirá para calcular la depreciación anual, en la cual no existe valor residual.
- Datos:

- Tasa Mensual: 1.25%
- Meses: 24
- Prestamos: S/ 7,000.00

Tabla 223

Cronograma de pago por préstamo

| Meses | Saldo Inicial (Nuevos Soles) | Intereses (Nuevos Soles) | Amortización (Nuevos Soles) | Cuota Anual (Nuevos Soles) | Saldo Final (Nuevos Soles) |
|--------------|---|-------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 7,000.00 | 87.50 | 251.91 | 339.41 | 6,748.09 |
| 2 | 6,748.09 | 84.35 | 255.06 | 339.41 | 6,493.04 |
| 3 | 6,493.04 | 81.16 | 258.24 | 339.41 | 6,234.79 |
| 4 | 6,234.79 | 77.93 | 261.47 | 339.41 | 5,973.32 |
| 5 | 5,973.32 | 74.67 | 264.74 | 339.41 | 5,708.58 |
| 6 | 5,708.58 | 71.36 | 268.05 | 339.41 | 5,440.53 |
| 7 | 5,440.53 | 68.01 | 271.40 | 339.41 | 5,169.13 |
| 8 | 5,169.13 | 64.61 | 274.79 | 339.41 | 4,894.34 |
| 9 | 4,894.34 | 61.18 | 278.23 | 339.41 | 4,616.11 |
| 10 | 4,616.11 | 57.70 | 281.71 | 339.41 | 4,334.41 |
| 11 | 4,334.41 | 54.18 | 285.23 | 339.41 | 4,049.18 |
| 12 | 4,049.18 | 50.61 | 288.79 | 339.41 | 3,760.39 |
| 13 | 3,760.39 | 47.00 | 292.40 | 339.41 | 3,467.99 |
| 14 | 3,467.99 | 43.35 | 296.06 | 339.41 | 3,171.93 |
| 15 | 3,171.93 | 39.65 | 299.76 | 339.41 | 2,872.18 |
| 16 | 2,872.18 | 35.90 | 303.50 | 339.41 | 2,568.67 |

| | | | | | |
|------------------------|----------|---------------------|---------------------|--------|----------|
| 17 | 2,568.67 | 32.11 | 307.30 | 339.41 | 2,261.37 |
| 18 | 2,261.37 | 28.27 | 311.14 | 339.41 | 1,950.23 |
| 19 | 1,950.23 | 24.38 | 315.03 | 339.41 | 1,635.20 |
| 20 | 1,635.20 | 20.44 | 318.97 | 339.41 | 1,316.24 |
| 21 | 1,316.24 | 16.45 | 322.95 | 339.41 | 993.28 |
| 22 | 993.28 | 12.42 | 326.99 | 339.41 | 666.29 |
| 23 | 666.29 | 8.33 | 331.08 | 339.41 | 335.22 |
| 24 | 335.22 | 4.19 | 335.22 | 339.41 | 0.00 |
| Total Intereses | | S/. 1,145.76 | S/. 7,000.00 | | |

Nota: Elaboración Propia

Se tomará el 30% del ahorro de agua anual como ingreso, y como egreso el compromiso de pago con el banco en un periodo de dos años más la depreciación.

Se asumirá un COK de 13% hallado de la siguiente manera:

- Inversión: S/ 7,000.00
- Capital Propio: S/ 2,800.00 (5%)
- Capital de deuda: S/ 4,200.00 (19%)
- COK: 13%

Tabla 234

Flujo de Caja

| RUBRO | AÑOS | | | | | |
|-----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Año 0 (S/) | Año 1 (S/) | Año 2 (S/) | Año 3 (S/) | Año 4 (S/) | Año 5 (S/) |
| Total | | | | | | |
| Ingresos | | 6,319.79 | 6,319.79 | 6,319.79 | 6,319.79 | 6,319.79 |
| Depreciación | | 466.67 | 466.67 | 466.67 | 466.67 | 466.67 |
| Pago Banco | | 4,072.88 | 4,072.88 | | | |

| | | | | | | |
|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Total | | | | | | |
| Egresos | | 4,539.55 | 4,539.55 | 466.67 | 466.67 | 466.67 |
| Flujo Neto | | | | | | |
| (Soles) | -7,000.00 | 1,780.25 | 1,780.25 | 5,853.13 | 5,853.13 | 5,853.13 |

Fuente: Elaboración Propia

Tasa Interna de Retorno (TIR)

TIR= 39.50 %

Se acepta el proyecto, porque la TIR es mayor que el costo de oportunidad (13%).

c) Beneficio legal y ambiental

El Ministerio del Ambiente del Gobierno del Perú tiene como Norma Legal el Decreto Supremo N° 003-2002 – PRODUCE el cuál aprueba Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

En la figura 13 se muestra los LMP de efluentes para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

| PARÁMETROS | CEMENTO | | CERVEZA | | PAPEL | | CURTIEMBRE | |
|-------------------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|------------|-----------|
| | ENCURSO | NUEVA | ENCURSO | NUEVA | ENCURSO | NUEVA | ENCURSO | NUEVA |
| PH | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | 6 - 9 | | 6.0 - 9.0 |
| Temperatura (°C) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Sólidos Susp. Tot. (mg/l) | 100 | 50 | 500 | 350 | 1000 | 500 | | 500 |
| Aceites y Grasas (mg/l) | | | 20 | 15 | 100 | 50 | 100 | 50 |
| DBO ₅ (mg/l) | | | 1000 | 500 | | 500 | | 500 |
| DQO (mg/l) | | | 1500 | 1000 | | 1000 | | 1500 |
| Sulfuros (mg/l) | | | | | | | | 3 |
| Cromo VI (mg/l) | | | | | | | | 0.4 |
| Cromo Total (mg/l) | | | | | | | | 2 |
| N - NH ₃ (mg/l) | | | | | | | | 30 |
| Coliformes Fecales, NMP/100ml | | | | | | | * | * |

Figura 13. LMP para alcantarillado de las actividades de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

Nota. Decreto Supremo N° 003-2002-PRODUCE

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del gobierno del Perú tiene como Norma Legal el Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA el cual aprueba el Reglamento de Valores Máximos

Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

En la figura 14 se muestra los VMA para descargas al sistema de alcantarillado.

| PARÁMETRO | UNIDAD | SIMBOLOGÍA | VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO |
|-------------------------------|--------|------------------|---|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno | mg/l | DBO ₅ | 500 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg/l | DQO | 1000 |
| Sólidos Suspendidos Totales | mg/l | S.S.T. | 500 |
| Aceites y Grasas | mg/l | A y G | 100 |

Figura 14. VMA para descargas al sistema de alcantarillado

Nota: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA – Anexo 1

| PARÁMETRO | UNIDAD | SIMBOLOGÍA | VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO |
|-----------------------|--------|-------------------------------|---|
| Aluminio | mg/l | Al | 10 |
| Arsénico | mg/l | As | 0.5 |
| Boro | mg/l | B | 4 |
| Cadmio | mg/l | Cd | 0.2 |
| Cianuro | mg/l | CN- | 1 |
| Cobre | mg/l | Cu | 3 |
| Cromo hexavalente | mg/l | Cr ⁺⁶ | 0.5 |
| Cromo total | mg/l | Cr | 10 |
| Manganeso | mg/l | Mn | 4 |
| Mercurio | mg/l | Hg | 0.02 |
| Níquel | mg/l | Ni | 4 |
| Plomo | mg/l | Pb | 0.5 |
| Sulfatos | mg/l | SO ₄ ⁻² | 1000 |
| Sulfuros | mg/l | S ⁻² | 5 |
| Zinc | mg/l | Zn | 10 |
| Nitrógeno Amoniacal | mg/l | NH ⁺⁴ | 80 |
| Potencial Hidrógeno | unidad | pH | 6-9 |
| Sólidos Sedimentables | ml/l/h | S.S. | 8.5 |
| Temperatura | °C | T | <35 |

Figura 15. VMA para descargas al sistema de alcantarillado

Nota: Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA – Anexo 2

La implementación de un sistema de reciclado de agua le permitió a la empresa cumplir con:

Tabla 25

Resultado de pruebas inopinadas de LMP y VMA antes y después de la mejora.

| PARÁMETRO | 2018-I | 2018-II | 2019-I | 2019-II | LMP | VMA |
|---|--------|---------|--------|---------|---------------|---------------|
| Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO ₃ (mg/L) | 1566 | 734 | 483 | 681.3 | 500 | 500 |
| Demanda Química de Oxígeno – DQO (O ₂ mg/L) | 2880 | 923 | 752.3 | 694.9 | 1500 | 1000 |
| Sólidos suspendidos totales – SST (mg/L) | 1005.7 | 192 | 224.1 | 233 | 500 | 500 |
| Aceites y grasas (mg/l) | 141 | 8.1 | 13.4 | 52 | 50 | 100 |
| pH (unidades) | 7.95 | 7 | 7.57 | 7.85 | 6-9 | 6-9 |
| Temperatura (°C) | 25.8 | 21 | 26.6 | 26.5 | <35 | <35 |
| Sulfuros (mg/L) | 3.86 | 9.96 | 0.126 | 0.112 | 3 | 5 |
| Cromo hexavalente (mg/L) | <0.007 | <0.005 | <0.007 | <0.007 | 0.4 | 0.5 |
| Nitrógeno amoniacal mg/L) | 40.84 | 47.3 | 10.57 | 5.26 | 30 | 80 |
| Cromo total – Cr (mg/L) | 52.36 | 22.4 | 5.89 | 1.25 | 2 | 10 |

Nota: Base de datos histórica de la empresa del año 2018-2019

Cumpliendo en lo posible con los LMP y VMA contribuimos con la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas

residuales; así como también la disminución del riesgo sobre el personal del prestador de los servicios de saneamiento que tenga contacto con las descargas de aguas residuales no domésticas.

Además de evitarse pagos adicionales por el no cumplimiento o la suspensión del servicio de agua potable y alcantarillado sanitario.

4.2. Prueba de hipótesis

Para contrastar la hipótesis en la presente investigación se consideró la procedencia de los datos, que son numéricos expresados en metros cúbicos (m^3). La investigación se enmarcó en la comparación de dos medidas (antes y después de la implementación de la mejora), siendo estas muestras relacionadas, es decir, se hicieron uso de las mismas máquinas.

Por ello se eligió el estadístico T-Student para muestras relacionadas, siempre y cuando se cumpla la prueba de normalidad.

Tabla 246

Datos de consumo de agua (m^3) antes y después de la implementación de un sistema de reciclado de agua.

| | Antes de la mejora (m^3) | Después de la mejora (m^3) |
|----|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 1,355.46 | 1,049.07 |
| 2 | 1,350.45 | 1,045.48 |
| 3 | 1,357.25 | 1,051.84 |
| 4 | 1,339.35 | 1,038.28 |
| 5 | 1,361.54 | 1,054.61 |
| 6 | 1,364.41 | 1,056.27 |
| 7 | 1,366.91 | 1,057.93 |
| 8 | 1,335.06 | 1,033.58 |
| 9 | 1,353.31 | 1,048.52 |
| 10 | 1,357.97 | 1,051.01 |
| 11 | 1,349.02 | 1,045.20 |
| 12 | 1,356.53 | 1,051.84 |

Nota. Elaboración propia

Lo primero que se tiene que realizar es la prueba de normalidad, para lo cual los datos de la tabla 28 se procesaron en el programa estadístico SPSS V25.

Para esta prueba como el número de ítems a comparar es menor que 30, entonces se procedió a utilizar Shapiro Wilk, en donde el P-valor tiene que ser mayor a 0.05, para cumplir la prueba de normalidad.

Tabla 257

Prueba de normalidad

| | Shapiro-Wilk | | |
|----------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| ANTES DE LA MEJORA | 0.939 | 12 | 0,490 |
| DESPUES DE LA MEJORA | 0.930 | 12 | 0,384 |

Nota: Elaboración Propia

P-valor (antes de la mejora) = 0.490 > 0.05

P-valor (después de la mejora) = 0.384 > 0.05

1. Formulación de hipótesis

Ho. El diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre, no disminuirá significativamente el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

H1. El diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre, disminuirá significativamente el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

2. Nivel de significancia

5%

3. Elección de la prueba estadística

Se eligió la prueba T-Student para muestras relacionadas, para comparar un grupo antes y después de aplicar la mejora.

Tabla 28

Prueba T-Student de muestras relacionadas

| Diferencias emparejadas | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------------|---------|---------------------|-------------------------|--|----------|---------|----|------------------|
| | | Media | Desviación Estándar | Media de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | | T | gl | Sig. (bilateral) |
| | | | | | Inferior | Superior | | | |
| | Antes de la mejora | | | | | | | | |
| Par 1 | - después de la mejora | 305.167 | 2.480 | 0.716 | 303.591 | 306.743 | 426.223 | 11 | 0.000 |

Fuente: Elaboración Propia

4. Estimación del p-valor

$p = 0.000$, tomado de la tabla 30 (Sig. (bilateral))

5. Toma de decisión

Según regla estadística:

- si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula
- si $p > 0.05$ se acepta la hipótesis nula

En nuestro estudio se observa que ($p = 0.000$) < 0.05 , entonces rechazamos la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis alterna. Se concluye que el diseño de un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre, disminuirá significativamente el consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación logró identificar 2 procesos críticos en el proceso de producción de cuero en la curtiembre CUENCA SAC, estas fueron remojo y pelambre, donde se logró identificar como el problema principal el exceso consumo de agua.

Identificar y priorizar las causas que generan el exceso consumo de agua en la producción de cuero.

Gracias a la evaluación de expertos podemos afirmar que el exceso consumo de agua era producido principalmente por la utilización empírica del agua en función del volumen de pieles, la falta de recirculación de aguas, los tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua, falta de inspección de materia prima, falta de control de caudalímetro y falta de automatización.

Estas causas se presentaron en las curtiembres observadas para la realización una cartilla como guía práctica para la capacitación de empresarios y trabajadores de la industria denominada “*Capacitación y acompañamiento técnico en producción más limpia al subsector curtiembres en Villapinzón y Chocontá (Cundinamarca)*”, realizada por la (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y Universidad Nacional de Colombia (UNAL) - Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), 2009) la cual desarrolla temas relacionados con la seguridad industrial, el uso racional de materiales, control del proceso y del producto, cumplimiento de normas ambientales y el uso sostenible del medio ambiente.

Determinar y cuantificar el volumen de agua en el proceso de remojo y pelambre.

Después de haber tomado las muestras de consumo de agua en cada proceso durante el periodo de septiembre 2017 a agosto 2018, podemos afirmar que por lote en promedio la operación de remojo consumió 20 m³ y en pelambre 33 m³ siendo estos datos importantes ya que serán comparados con los nuevos obtenidos después de la implementación de la mejora.

Esta cuantificación fue fundamental para el desarrollo de la tesis de (Campos, 2013) titulada “*Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo*” para optar el título de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú la cual permitió identificar el consumo inicial de agua que utilizan los procesos de remojo y pelambre mediante el método de observación directa concluyendo que existen grandes volúmenes de agua siendo estos 16 m³ y 24 m³ por lote respectivamente, los cuales una vez

empleados no son tratados ni aprovechados al máximo, sino simplemente arrojados al alcantarillado.

Diseñar un sistema de reciclado de agua del proceso de remojo y pelambre.

Una vez definidas los procesos críticos se sometieron las 3 alternativas de mejora a una evaluación mediante el método AHP, siendo el reciclado de aguas residuales la propuesta ganadora.

Este sistema consiste en la construcción de dos pozas subterráneas, en las cuáles se almacenen los baños utilizados en los procesos de remojo y pelambre, para luego proceder a recircular el agua y usarla en el proceso de remojo y pelambre.

Un diseño similar llevó a cabo (Campos, 2013) en su tesis titulada *“Análisis y mejora de procesos de una curtiembre ubicada en la ciudad de Trujillo”* para optar el título de Ingeniero Industrial, Pontificia Universidad Católica Del Perú, Lima, Perú. En este estudio se propone la implementación de pozos subterráneos de recirculación, serían tres pozos subterráneos de recirculación de agua, en los cuales se almacenarían los baños utilizados en los procesos de remojo, pelambre y curtido. Se dispondría de una poza para cada proceso, entendiéndose que una poza será para recolectar los efluentes del remojo, otra para el pelambre y finalmente otra para el curtido. Es decir, no se pueden combinar los efluentes de cada proceso con cualquiera de los demás.

La implementación de este diseño de reciclado de aguas residuales fue de gran utilidad puesto que volvió a los procesos más eficientes ya que generó menos consumo de agua potable y a su vez redujo las aguas residuales. Además, se establecieron nuevos procedimientos para las actividades básicas a desarrollar en cada operación, lo cual fue beneficioso para la empresa puesto que el tener procesos estándares garantiza el eficiente uso el agua.

Determinar los beneficios generados a la empresa con la disminución del consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre.

Los beneficios generados a la empresa permitieron la comparación de una realidad descrita antes del desarrollo de la presente tesis, y la notable diferencia de la realidad resultante después del desarrollo de la mejora implementada. Analizando el objetivo principal de la presente tesis, se logró reducir la cantidad de consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre en un 29.11%, consumiendo ahora 445.30 m³/mes y de 603.30 m³/mes respectivamente generando un ahorro de S/1,755.50/mes.

Además, se tuvo una reducción en las aguas residuales de 33% reduciendo además los DBO Y DBQ en 8% y 20% respectivamente.

La reducción de consumo de agua se sustenta también con la información obtenida en otras investigaciones como el trabajado de grado titulado *“Reutilización del agua residual de la operación de pelambre en el proceso productivo del cuero”*, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia; desarrollado por (Carrillo & Muñoz, 2014) cuya investigación logró una disminución de agua 32,2%. Además, la presente tesis indica que poniendo en práctica las pozas de recirculación se tendría un ahorro mensual de agua de 156 m³ y económico de S/ 897 al mes.

CONCLUSIONES

- Cuenca SAC es una curtiembre líder en el sector, pero sin embargo no ha tenido un enfoque sostenible ya que no se preocupaba por el exceso consumo de agua potable que demandaba su proceso productivo. Esto se debía principalmente a la falta de recirculación de agua, sumado al uso empírico del insumo hídrico y a los tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua.
- La toma de datos de consumo de agua potable por producción/mensual nos relevan que en el proceso de remojo se utilizan en promedio 500.80 m³ y en el proceso de pelambre 853.14 m³, que implicaba un costo promedio por producción/mensual de S/ 7,785.15. Debido a los resultados obtenidos decidimos proponer diferentes mejoras que puedan reducir el consumo de agua potable en estos procesos.
- Para poder determinar las mejoras a desarrollar sometimos nuestras alternativas de mejora propuestas inicialmente a una evaluación mediante el método AHP. Después de la evaluación de expertos, se decidió por implementar un sistema de reciclado de aguas residuales mediante la construcción de pozas subterráneas con un mecanismo de tuberías que permitan recircular agua.
- El sistema de reciclado de agua logró una reducción de 56 m³/mes en el proceso de remojo y 249 m³/mes en el proceso de pelambre generando un ahorro de S/1,755.50 por producción/mensual.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe establecer una guía de procedimientos para el monitoreo de las válvulas tanto en su apertura como en su cierre, para así evitar fugas innecesarias de agua.
- ✓ Por otro lado, se recomienda considerar la posibilidad de automatizar la apertura y cierre de las válvulas con sensores que faciliten el trabajo y que cumplan con los estándares de tiempo establecidos.
- ✓ Además, es muy importante que se implementen planes de capacitación, dirigidos principalmente a los colaboradores del área de ribera, para que adquieran una cultura de cumplimiento de los estándares ya que su cumplimiento asegura el uso eficiente de un recurso de suma importancia como es el agua.
- ✓ También, se debe fomentar una cultura de calidad y conservación del medio ambiente ya que así se contribuye con el desarrollo sostenible del planeta.
- ✓ Finalmente, se propone utilizar los datos obtenidos en esta investigación para un futuro estudio técnico económico.

REFERENCIAS

Bibliografía

- Aquim, P. (2009). *Gestão em Curtumes: Uso Integrado e Eficiente da Água*. Tesis doctoral, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre.
- Aquim, P. M. (2004). *Balanço de Massa: uma ferramenta para otimizar os processos de ribeira e Curtimento*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação, UFRGS, Departamento de Engenharia Química, Porto Alegre.
- Aquim, P., Gutterres, M., Trierweiler, J., & Nascimento, L. (2006). *A demanda de água e o impacto ambiental em curtumes*. V Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental: Gestão Integrada do Ambiente., Porto Alegre.
- Ávila, M. (2002). *Proyecto regional: Informacion sobre tierras y aguas para un desarrollo agricola sostenible*. Informe tecnico, Chile.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de informacion geografica y evaluacion multicriterio en la ordenacion del territorio*. Madrid: Editorial Ra-Ma.
- Bocco, M., S. Sayazo y E. Tártara. (2002). *Modelos multicriterio: Una aplicacion a la seleccion de alternativas productivas*. Agricultura Tecnica Chile. 450 - 462.
- Bunge, M. (1969). *La Investigación científica*. Barcelona: Editorial Ariel S.A.
- Elineema, R. (2002). *Analisis del metodo AHP para la toma de decisiones multicriterio*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico D.F.
- Font, C., Adzet, A., Masanella, G., & Escudero, R. (1985). *Aguas residuales de Teneria*. Química - Técnica de Teneria, Barcelona.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (1997). *Metología de la Investigación* (Quinta ed.). México: Editorial Mc Graw Hill.
- Hurtado, T. (2008). *El proceso de Analisis Jerarquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la seleccion de proveedores*. UNMSM.
- INETI. (2010). *Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial*.
- Namakforoosh, M. (2005). *Metodología de la Investigación Científica* (Segunda ed.). Limusa, México: Editorial Limusa SA.
- Otiniano, M., Tuesta, L., Robles, H., Luján, M., & Chavez, M. (2007). *Biorremediación de cromo VI de aguas residuales de curtiembres por Pseudomonas sp y su efecto sobre*. Revista Médica de la Escuela de Medicina de la Universidad César Vallejo, 33.

- Saaty, T. L. (1980). *The analytical hierarchical process*. New York.
- Salas G., C. (2010). Tratamiento por oxidación avanzada (reacción fenton) de aguas residuales de la industria textil. *Ingeniería Química*, 13(1), 30-38.
- Salkind, N. J. (1999). *Métodos de Investigación* (Tercera ed.). México: Editorial Prentice Hall
- Toskano, H. (2005). El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Trewatha, R. y Newport, M. (1979). *Management. Functions and behavior*. Texas.

Linkografía

- Cámara Nacional de Industrias Bolivia - Centro de Programación de Tecnologías Sostenibles (CPTS). (2011). *Estudio de caso: Curtiembre y Manufactura Curma S.R.L.* Estudio de caso, Cochabamba.
- Recuperado el 28 de octubre de 2017, de:
<http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/2fc864f215d63300a449da864018b383.pdf>
- Campos, V. (2013). *Análisis y mejora de procesos de una curtiembre*. Tesis, Lima.
- Recuperado el 28 de octubre de 2017, de:
http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/4898/campos_victor_mejora_procesos_curtiembre_ciudad_trujillo.pdf;sequence=1
- Centro de Producción más Limpia (CPML). (s.f.).
- Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de:
<http://www.pml.org.ni/index.php/produccion-limpia>
- CPTS, C. D. (2011). *Estudio de caso: curtiembre y manufactura "CURMA" S.R.L.* Cochabamba, Bolivia.
- Recuperado el 28 de octubre de 2017, de:
<http://latinamericacaribbean.recpnet.org/uploads/resource/2fc864f215d63300a449da864018b383.pdf>

Gomez, J., & Echeverry, A. (2010). *Análisis técnico y económico en la recirculación de aguas residuales de pelambre y curtido en una curtiembre*. Monografía de grado, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Pereira.

Recuperado el 8 de octubre de 2017, de:

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1857/6283G633.pdf?sequence=1>

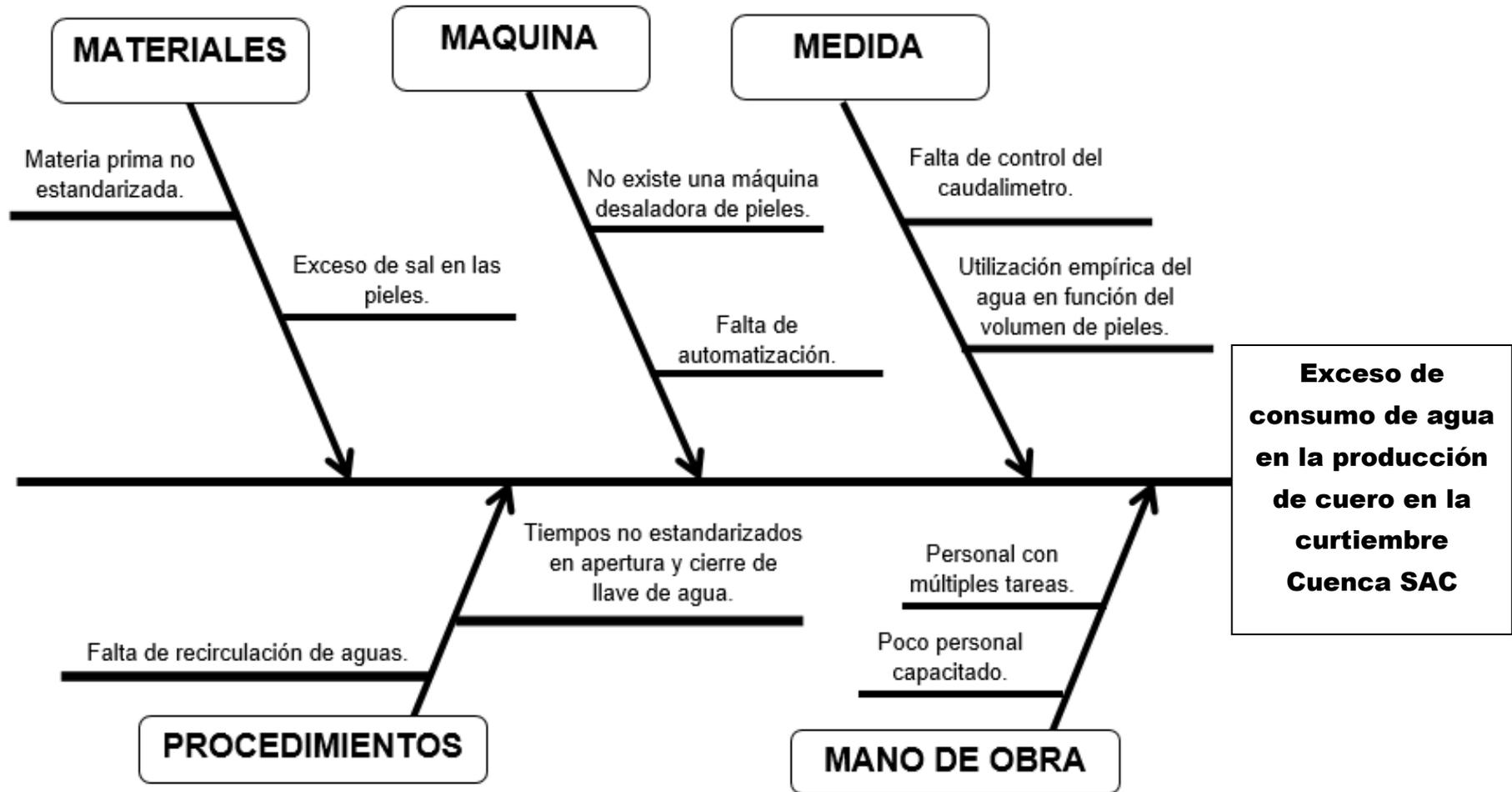
Lorenzo, M. (Octubre de 2010). *Ideas fora da caixa*.

Recuperado el 14 de Noviembre de 2017, de

<https://marianaplorenzo.com/2010/10/09/curtume-e-impactos-ambientais>

ANEXOS

Anexo 1. Diagrama causa - efecto



Anexo 2. Formato de evaluación de causas

CALIFICACIÓN DE LAS CAUSAS CRÍICAS QUE OCASIONAN EL EXCESO DE CONSUMO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE CUERO EN LA CURTIEMBRE CUENCA SAC



EVALUADOR(A):

CARGO:

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

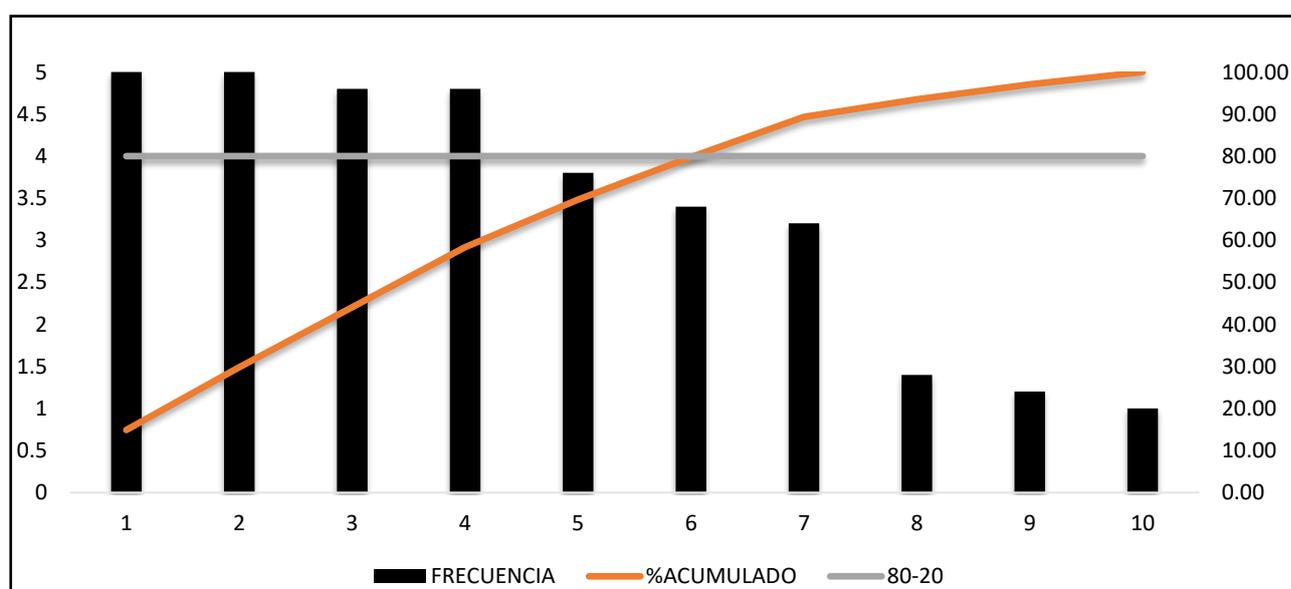
INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| CAUSAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|--|---|---|---|---|---|
| 1.1 | Falta de inspección de materia prima. | | | | | |
| 1.2 | No existe una máquina desaladora de pieles. | | | | | |
| 1.3 | Exceso de sal en las pieles. | | | | | |
| 1.4 | Falta de automatización. | | | | | |
| 1.5 | Falta de control del caudalímetro. | | | | | |
| 1.6 | Utilización empírica del agua en función del volumen de pieles. | | | | | |
| 1.7 | Tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua. | | | | | |
| 1.8 | Falta de recirculación de aguas. | | | | | |
| 1.9 | Personal con múltiples tareas. | | | | | |
| 1.10 | Poco personal capacitado. | | | | | |

Anexo 3. Selección de causas críticas

| N° | CAUSAS | FRECUENCIA | %ACUMULADO | % | 80-20 |
|--------------|--|-------------|------------|-------|-------|
| 1 | Utilización empírica del agua en función del volumen de pieles. | 5 | 15.43 | 15.43 | 80 |
| 2 | Falta de recirculación de aguas. | 5 | 30.86 | 15.43 | 80 |
| 3 | Tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua. | 4.8 | 45.68 | 14.81 | 80 |
| 4 | Falta de inspección de materia prima. | 4.4 | 59.26 | 13.58 | 80 |
| 5 | Falta de control del caudalímetro. | 3.8 | 70.99 | 11.73 | 80 |
| 6 | Falta de automatización. | 3.2 | 80.86 | 9.88 | 80 |
| 7 | Exceso de sal en las pieles. | 2.6 | 88.89 | 8.02 | 80 |
| 8 | Poco personal capacitado. | 1.4 | 93.21 | 4.32 | 80 |
| 9 | Personal con múltiples tareas. | 1.2 | 96.91 | 3.70 | 80 |
| 10 | No existe una máquina desaladora de pieles. | 1 | 100.00 | 3.09 | 80 |
| Total | | 32.4 | | | |

Anexo 4. Diagrama de Pareto



Interpretación: Existen diez causas contribuyentes relacionadas con el exceso consumo de agua en la producción de cuero en la curtiembre Cuenca SAC pero solo seis de ellas corresponden al 80.86% del total de este exceso. Debemos solucionar estas causas pocos vitales, ya que representan el 80.86% de nuestros problemas.

Anexo 5. Cuadro de causas y efectos

| CAUSAS | EFECTOS |
|--|--|
| Utilización empírica del agua en función del volumen de pieles. | Exceso de agua en cada operación, ya que todo depende de la cantidad de pieles/partida. |
| Falta de recirculación de aguas. | No se aprovecha el efluente de las operaciones, siendo este enviado de frente a la canaleta. |
| Tiempos no estandarizados en apertura y cierre de llave de agua. | Uso de más agua cuando no se cierra la llave en el tiempo adecuado. Se debe considerar que por cada 3 minutos se consume 1 m ³ de agua. |
| Falta de inspección de materia prima. | Consumo excesivo de agua debido a que no se desalan las pieles. |
| Falta de control del caudalímetro. | No existe data exacta de la cantidad de uso de agua. |
| Falta de automatización. | Consumo excesivo de agua ya que el botalero se olvida de cerrar la llave a tiempo o se encuentra realizando otras funciones. |

Anexo 6. Modelo de ficha de observación de consumo de agua potable en el proceso de remojo

|  | | FICHA DE OBSERVACIÓN | | |
|---|------------------------------|-----------------------------|--------------------|--|
| FICHA N° 01 | | | | |
| Registra | Mixán Rodríguez, Karla Lucía | | | |
| Lugar | Curtiembre Cuenca SAC | | | |
| Proceso de remojo | | | | |
| REGISTRO | | | | |
| Fecha | | | | |
| Cantidad de pieles | | | | |
| Kg/lote | | | | |
| Llenado de agua 1 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua 2 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua 3 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua 4 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |

Anexo 7. Modelo de ficha de observación de consumo de agua potable en el proceso de pelambre



FICHA DE OBSERVACIÓN

| FICHA N° 02 | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------|--------------------|--|
| Registra | Núñez Dávila, Gisela Carolina | | | |
| Lugar | Curtiembre Cuenca SAC | | | |
| Proceso de pelambre | | | | |
| REGISTRO | | | | |
| Fecha | | | | |
| Cantidad de pieles | | | | |
| Kg/lote | | | | |
| Llenado de agua 1 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua 2 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua final 1 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |
| Llenado de agua final 2 | DURACIÓN | INICIO | Se abre la llave | |
| | | | m ³ | |
| | | FINAL | Se cierra la llave | |
| | | | m ³ | |

Anexo 7. Modelo de ficha de observación de agua residual en el proceso de remojo

| | | | |
|---|------------------------------|-----------------------------|-------|
|  | | FICHA DE OBSERVACIÓN | |
| FICHA N° 03 | | | |
| Registra | Mixán Rodríguez, Karla Lucía | | |
| Lugar | Curtiembre Cuenca SAC | | |
| Proceso de remojo | | | |
| REGISTRO | | | |
| Fecha | | | |
| Cantidad de pieles | | | |
| Kg/lote | | | |
| Ecurrido 1 | | | m^3 |
| Ecurrido 2 | | | m^3 |
| Ecurrido 3 | | | m^3 |
| Ecurrido 4 | | | m^3 |

Anexo 8. Modelo de ficha de observación de agua residual en el proceso de pelambre

| | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-------|
|  | | FICHA DE OBSERVACIÓN | |
| FICHA N° 04 | | | |
| Registra | Núñez Dávila, Gisela Carolina | | |
| Lugar | Curtiembre Cuenca SAC | | |
| Proceso de pelambre | | | |
| REGISTRO | | | |
| Fecha | | | |
| Cantidad de pieles | | | |
| Kg/lote | | | |
| Ecurrido 1 | | | m^3 |
| Ecurrido 2 | | | m^3 |
| Ecurrido 3 | | | m^3 |

Anexo 9. Evaluación de criterios y sub criterios para evaluar alternativas de implementación que me permitan reducir el consumo de agua en el proceso de remojo y pelambre.

| MATRIZ 3X3 PARA CRITERIOS | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | C1 | C2 | C3 |
| C1 | 1.0000 | 3.0000 | 4.0000 |
| C2 | 0.3333 | 1.0000 | 3.0000 |
| C3 | 0.2500 | 0.3333 | 1.0000 |
| | 1.7500 | 3.3333 | 8.0000 |

| MATRIZ NORMALIZADA | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| | C1 | C2 | C3 |
| C1 | 0.5714 | 0.6000 | 0.5000 |
| C2 | 0.2857 | 0.3000 | 0.3750 |
| C3 | 0.1429 | 0.1000 | 0.1250 |

| AUTOVECTOR 1 | |
|---------------------|----|
| 0.557143 | C1 |
| 0.320238 | C2 |
| 0.122619 | C3 |

| AUTOVECTOR 1 | AUTOVECTOR 2 | Dividir vector II/I |
|------------------------|-------------------|------------------------|
| 0.557142857 | 1.688095238 | 3.02991453 |
| 0.320238095 | 0.966666667 | 3.018587361 |
| 0.122619048 | 0.368650794 | 3.006472492 |
| | | 9.054974382 |
| | | 3.018324794 |
| Índice de consistencia | lambda max | 0.009162397 |
| Ratio de consistencia | $L_{max} - n/n-1$ | 1.5797% |
| | RC= IC/CA | |

C1: CRITERIO ECONÓMICO

MATRIZ 4X4 PARA "C1"

| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| SB1 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 2.0000 |
| SB2 | 0.5000 | 1.0000 | 3.0000 | 3.0000 |
| SB3 | 0.5000 | 0.3333 | 1.0000 | 2.0000 |
| SB4 | 0.5000 | 0.3333 | 0.5000 | 1.0000 |
| | 2.5000 | 3.6667 | 6.5000 | 8.0000 |

| MATRIZ NORMALIZADA | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 |
| SB1 | 0.4000 | 0.5455 | 0.3077 | 0.2500 |
| SB2 | 0.2000 | 0.2727 | 0.4615 | 0.3750 |
| SB3 | 0.2000 | 0.0909 | 0.1538 | 0.2500 |
| SB4 | 0.2000 | 0.0909 | 0.0769 | 0.1250 |

| AUTOVECTOR 1 | |
|--------------|-----|
| 0.375787 | SB1 |
| 0.327316 | SB2 |
| 0.173689 | SB3 |
| 0.123208 | SB4 |

| AUTOVECTOR 1 | AUTOVECTOR 2 |
|--------------|--------------|
| 0.375786713 | 1.624213287 |
| 0.327316434 | 1.40590035 |
| 0.173688811 | 0.71710373 |
| 0.123208042 | 0.507051282 |

| Dividir vector II/I |
|---------------------|
| 4.322167946 |
| 4.295233008 |
| 4.128669686 |
| 4.115407355 |
| 16.861478 |
| 4.215369499 |
| 0.071789833 |
| 7.9766% |

Índice de consistencia
Ratio de consistencia

lambda max
 $L_{max} = n/n-1$
RC= IC/CA

C2: CRITERIO AMBIENTAL

| MATRIZ 4X4 PARA "C2" | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 | SB5 |
| SB1 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 3.0000 | 1.0000 |
| SB2 | 0.5000 | 1.0000 | 2.0000 | 3.0000 | 2.0000 |
| SB3 | 0.5000 | 0.5000 | 1.0000 | 3.0000 | 2.0000 |
| SB4 | 0.3333 | 0.3333 | 0.3333 | 1.0000 | 1.0000 |
| SB5 | 1.0000 | 0.5000 | 0.5000 | 1.0000 | 1.0000 |
| | 3.3333 | 4.3333 | 5.8333 | 11.0000 | 7.0000 |

| MATRIZ NORMALIZADA | | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 | SB5 |
| SB1 | 0.3000 | 0.4615 | 0.3429 | 0.2727 | 0.1429 |
| SB2 | 0.1500 | 0.2308 | 0.3429 | 0.2727 | 0.2857 |
| SB3 | 0.1500 | 0.1154 | 0.1714 | 0.2727 | 0.2857 |
| SB4 | 0.1000 | 0.0769 | 0.0571 | 0.0909 | 0.1429 |
| SB5 | 0.3000 | 0.1154 | 0.0857 | 0.0909 | 0.1429 |

| AUTOVECTOR 1 | |
|--------------|-----|
| 0.303996 | SB1 |
| 0.256414 | SB2 |
| 0.199051 | SB3 |
| 0.093566 | SB4 |
| 0.146973 | SB5 |

| AUTOVECTOR 1 | AUTOVECTOR 2 | | Dividir vector II/I |
|------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| 0.303996004 | 1.642597403 | | 5.403351955 |
| 0.256413586 | 1.381158841 | | 5.386449527 |
| 0.199050949 | 1.053901099 | | 5.294629862 |
| 0.093566434 | 0.493692974 | | 5.276389779 |
| 0.146973027 | 0.772267732 | | 5.254486134 |
| 0.303996004 | 1.642597403 | | 26.61530726 |
| | | lambda max | 5.323061451 |
| Índice de consistencia | | Lmax - n/n-1 | 0.080765363 |
| Ratio de consistencia | | RC= IC/CA | 7.2112% |

C3: CRITERIO PROCEDIMENTAL

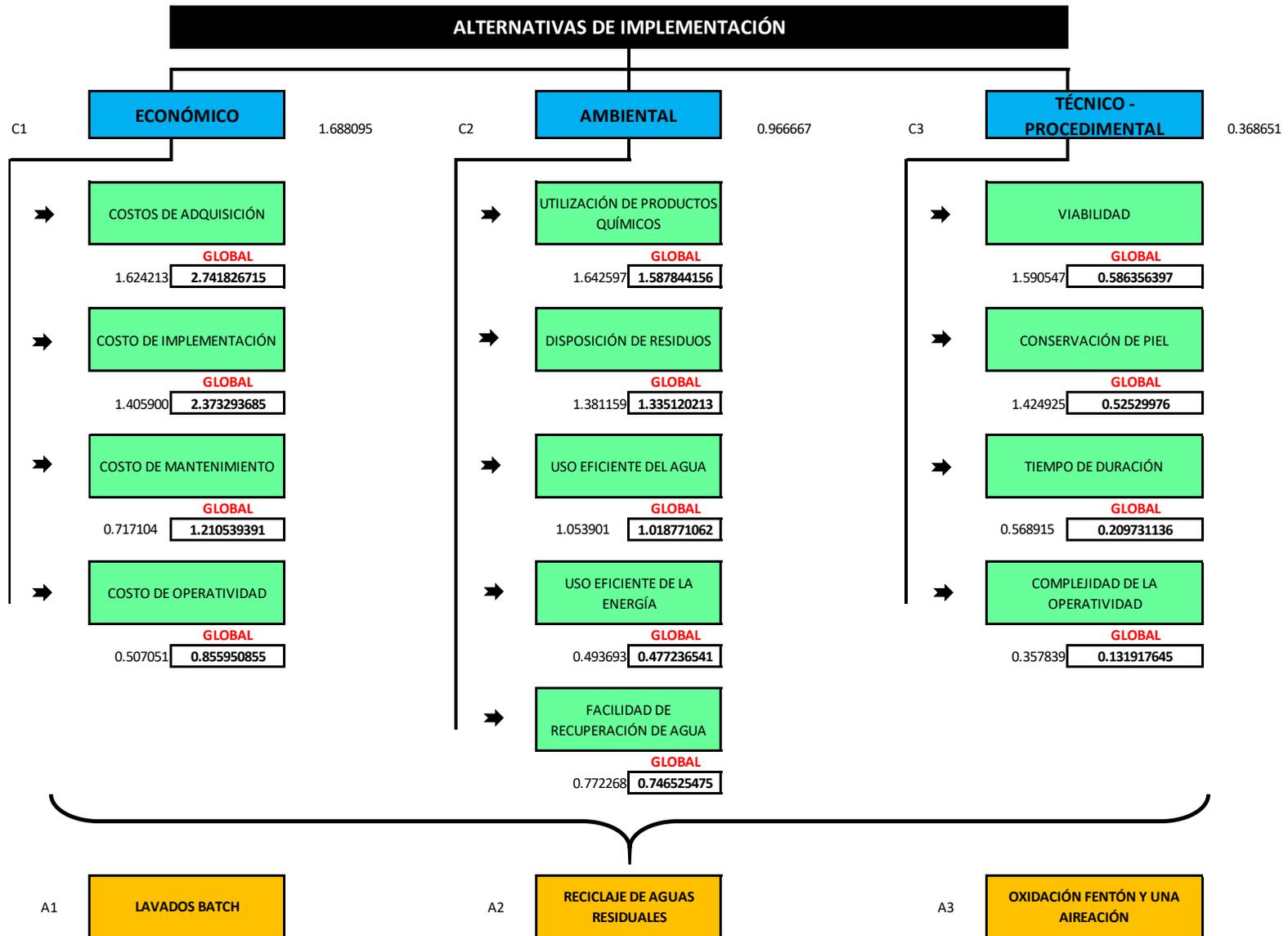
| MATRIZ 4X4 PARA "C3" | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|---------|
| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 |
| SB1 | 1.0000 | 2.0000 | 2.0000 | 3.0000 |
| SB2 | 0.5000 | 1.0000 | 4.0000 | 4.0000 |
| SB3 | 0.5000 | 0.2500 | 1.0000 | 2.0000 |
| SB4 | 0.3333 | 0.2500 | 0.5000 | 1.0000 |
| | 2.3333 | 3.5000 | 7.5000 | 10.0000 |

| MATRIZ NORMALIZADA | | | | |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|
| | SB1 | SB2 | SB3 | SB4 |
| SB1 | 0.3000 | 0.4615 | 0.3429 | 0.2727 |
| SB2 | 0.1500 | 0.2308 | 0.6857 | 0.3636 |
| SB3 | 0.1500 | 0.0577 | 0.1714 | 0.1818 |
| SB4 | 0.1000 | 0.0577 | 0.0857 | 0.0909 |

| AUTOVECTOR 1 | |
|--------------|-----|
| 0.344281 | SB1 |
| 0.35753 | SB2 |
| 0.140235 | SB3 |
| 0.083579 | SB4 |

| AUTOVECTOR 1 | AUTOVECTOR 2 | | Dividir vector II/I |
|------------------------|--------------|--------------|---------------------|
| 0.344280719 | 1.590546953 | | 4.619912949 |
| 0.35752997 | 1.424925075 | | 3.985470294 |
| 0.140234765 | 0.56891546 | | 4.056878896 |
| 0.083578921 | 0.357839036 | | 4.281450769 |
| | | | 16.94371291 |
| | | lambda max | 4.235928227 |
| Índice de consistencia | | Lmax - n/n-1 | 0.078642742 |
| Ratio de consistencia | | RC= IC/CA | 8.7381% |

Anexo 10. Árbol de jerarquías para determinar mejoras



Anexo 11. Evaluación de alternativas de implementación

Se procede a realizar una evaluación de las alternativas de mejora para la operación de Remojo con respecto a los sub-criterios establecidos. Dicha evaluación será realizada por 5 expertos que conocen sobre el desarrollo operativo de las curtiembres. Se emplea una escala Likert.

CALIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LAS OPERACIONES DE REMOJO



EVALUADOR(A): DIANA ARMAS

CARGO: JEFA DE SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE EN LA CURTIEMBRE CUENCA SAC

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| I. | LAVADOS BATCH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 1.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 1.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | 3 | | |
| 1.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | 2 | | | |
| 1.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 1.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 1.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 1.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 1.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | 3 | | |
| 1.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 1.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | 4 | |
| 1.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 1.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |

| II. | RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|-----------------------------------|---|---|---|---|---|
| 2.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 2.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 2.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 2.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 2.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 2.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | 3 | | |
| 2.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |

| | | | | | | |
|------|------------------------------------|--|--|--|---|---|
| 2.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 2.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 2.10 | VIABILIDAD | | | | | 5 |
| 2.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 2.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 2.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |

| III. OXIDACIÓN FENTON Y UNA AIREACIÓN | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 3.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 3.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 3.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 3.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 3.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 3.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | 3 | | |
| 3.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 3.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 3.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 3.10 | VIABILIDAD | | | | | 5 |
| 3.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 3.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 3.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | | 4 |

CALIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LAS OPERACIONES DE REMOJO



EVALUADOR(A): BENEDICTO RAMIREZ MENDOZA

CARGO: OPERADOR DE RIBERA - BOTALERO EN LA CURTIEMBRE CUENCA SAC

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| I. LAVADOS BATCH | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 1.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 1.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | 3 | | |
| 1.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | 3 | | |
| 1.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |

| | | | | | | |
|------|------------------------------------|--|--|---|---|---|
| 1.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | | 5 |
| 1.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 1.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | 4 | |
| 1.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 1.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 1.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 1.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 1.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

| II. RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | | 5 |
| 2.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 2.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 2.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 2.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 2.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 2.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 2.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 2.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | | 5 |
| 2.10 | VIABILIDAD | | | | | 5 |
| 2.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 2.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 2.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

| III. OXIDACIÓN FENTON Y UNA AIREACIÓN | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | | 5 |
| 3.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 3.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 3.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 3.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 3.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 3.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 3.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 3.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 3.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 3.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 3.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 3.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

**CALIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN
LAS OPERACIONES DE REMOJO**



EVALUADOR(A): AMILCAR DIEGO

CARGO: INGENIERO QUÍMICO

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| I. | LAVADOS BATCH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 1.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 1.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | 3 | | |
| 1.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | 3 | | |
| 1.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 1.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | | 5 |
| 1.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 1.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | 4 | |
| 1.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 1.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 1.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 1.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 1.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

| II. | RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 2.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 2.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 2.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 2.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 2.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | | 5 |
| 2.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 2.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 2.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 2.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 2.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 2.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 2.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

| III. | OXIDACIÓN FENTON Y UNA AIREACIÓN | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 3.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 3.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 3.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 3.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 3.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 3.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | | 5 |
| 3.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 3.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 3.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 3.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 3.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 3.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 3.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

CALIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LAS OPERACIONES DE REMOJO



EVALUADOR(A): MAGALY VEGA

CARGO: INGENIERA AMBIENTAL

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| I. | LAVADOS BATCH | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 1.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 1.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 1.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | 3 | | |
| 1.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | 2 | | | |
| 1.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 1.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 1.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 1.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 1.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | 3 | | |
| 1.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 1.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | 4 | |
| 1.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |

| | | | | | | |
|------|--------------------------------|--|--|--|---|--|
| 1.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
|------|--------------------------------|--|--|--|---|--|

| II. RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 2.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | | 5 |
| 2.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 2.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 2.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 2.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 2.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 2.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 2.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 2.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 2.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 2.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 2.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 2.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

| III. OXIDACIÓN FENTON Y UNA AIREACIÓN | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|---|---|
| 3.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | | 5 |
| 3.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | | 4 | |
| 3.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 3.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 3.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 3.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 3.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 3.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 3.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 3.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 3.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 3.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | 3 | | |
| 3.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | 3 | | |

CALIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MEJORA EN LAS OPERACIONES DE REMOJO



EVALUADOR(A): MANUEL URCIA CRUZ

CARGO: INGENIERO INDUSTRIAL

| ESCALA LIKERT | |
|--------------------------|---|
| MUY IMPORTANTE | 5 |
| IMPORTANTE | 4 |
| MODERADAMENTE IMPORTANTE | 3 |

| | |
|---------------------|---|
| DE POCA IMPORTANCIA | 2 |
| SIN IMPORTANCIA | 1 |

INSTRUCCIÓN: Evaluar las siguientes alternativas colocando una (X) según la escala likert (1-5)

| I. LAVADOS BATCH | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 1.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 1.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | 3 | | |
| 1.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | 2 | | | |
| 1.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | 4 | |
| 1.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | | 4 | |
| 1.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 1.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 1.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | 3 | | |
| 1.10 | VIABILIDAD | | | | 4 | |
| 1.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | 4 | |
| 1.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 1.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |

| II. RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 2.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 2.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 2.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 2.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 2.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 2.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | 3 | | |
| 2.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 2.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 2.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 2.10 | VIABILIDAD | | | | | 5 |
| 2.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 2.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 2.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |

| III. OXIDACIÓN FENTON Y UNA AIREACIÓN | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 3.1 | COSTOS DE ADQUISICIÓN | | | | 4 | |
| 3.2 | COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | | | 3 | | |
| 3.3 | COSTO DE MANTENIMIENTO | | | | 4 | |
| 3.4 | COSTO DE OPERATIVIDAD | | | | 4 | |
| 3.5 | UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | | | | | 5 |
| 3.6 | DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | | | 3 | | |
| 3.7 | USO EFICIENTE DEL AGUA | | | | | 5 |
| 3.8 | USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | | | | | 5 |
| 3.9 | FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DEL AGUA | | | | 4 | |
| 3.10 | VIABILIDAD | | | | | 5 |
| 3.11 | CONSERVACIÓN DE PIEL | | | | | 5 |
| 3.12 | TIEMPO DE DURACIÓN | | | | 4 | |
| 3.13 | COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | | | | 4 | |

Anexo 12. Matriz globalizada para seleccionar la alternativa de implementación

| SUB-CRITERIOS | PONDERACIÓN GLOBAL | PUNTAJE O INDICADORES NORMALIZADOS | | | PUNTAJE PONDERADO | | |
|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | | LAVADOS BATCH | RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | OXIDACIÓN FENTÓN Y UNA AIREACIÓN | LAVADOS BATCH | RECICLAJE DE AGUAS RESIDUALES | OXIDACIÓN FENTÓN Y UNA AIREACIÓN |
| COSTOS DE ADQUISICIÓN | 2.741826715 | 4 | 4 | 4 | 10.9673069 | 12.06403755 | 12.06403755 |
| COSTO DE IMPLEMENTACIÓN | 2.373293685 | 3 | 4 | 4 | 7.11988106 | 8.543857268 | 8.543857268 |
| COSTO DE MANTENIMIENTO | 1.210539391 | 3 | 4 | 4 | 3.63161817 | 4.842157565 | 4.842157565 |
| COSTO DE OPERATIVIDAD | 0.855950855 | 2 | 4 | 4 | 2.05428205 | 3.423803419 | 3.423803419 |
| UTILIZACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS | 1.587844156 | 4 | 5 | 5 | 6.35137662 | 7.621651948 | 7.621651948 |
| DISPOSICIÓN DE RESIDUOS | 1.335120213 | 4 | 4 | 4 | 5.87452894 | 5.07345681 | 5.07345681 |
| USO EFICIENTE DEL AGUA | 1.018771062 | 5 | 5 | 5 | 5.09385531 | 5.093855311 | 5.093855311 |
| USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA | 0.477236541 | 5 | 5 | 5 | 2.19528809 | 2.386182706 | 2.386182706 |
| FACILIDAD DE RECUPERACIÓN DE AGUA | 0.746525475 | 3 | 4 | 4 | 2.53818661 | 3.135406993 | 2.986101898 |
| VIABILIDAD | 0.586356397 | 4 | 5 | 4 | 2.34542559 | 2.697239424 | 2.579968145 |
| CONSERVACIÓN DE PIEL | 0.52529976 | 4 | 5 | 5 | 2.31131894 | 2.626498799 | 2.626498799 |
| TIEMPO DE DURACIÓN | 0.209731136 | 4 | 3 | 3 | 0.75503209 | 0.713085861 | 0.713085861 |
| COMPLEJIDAD DE LA OPERATIVIDAD | 0.131917645 | 4 | 3 | 3 | 0.47490352 | 0.448519992 | 0.448519992 |
| | | | | | 51.7130039 | 58.66975364 | 58.40317727 |