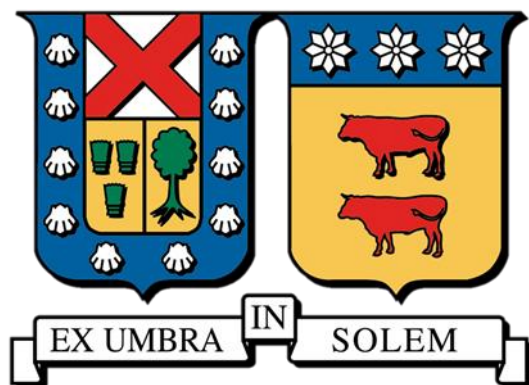


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL



“Estudio y Evaluación de la viabilidad Técnica y
Económica de la reutilización del agua de enjuague de la
Viña San Pedro Tarapacá Molina”

FELIPE IGNACIO ESPINOSA FUENTES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL QUIMICO

Profesor Guía: Patricio Núñez Muñoz
Ingeniero Correferente: Daniel Correa Méndez

Octubre 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Estudio y Evaluación de la viabilidad técnica y Económica de la reutilización de agua de enjuague de la Viña San Pedro Tarapacá Molina

Nombre del candidato(a): Felipe Ignacio Espinosa Fuentes

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Química

Campus: Casa Central Valparaíso

Departamento: Ingeniería Civil Química y Ambiental

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Patricio Núñez M., en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24-11-25

Firma:

Patricio Núñez

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 24-11-25

Firma:

[Firma]

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

A mi familia por siempre creer en mí. Que habría sido de mí sin su apoyo en los tiempos difíciles y sus incansables esfuerzos para hoy pueda estar finalizando este viaje.

A los amigos que he hecho durante mi vida universitaria, no solo aquellos que conocí el primer día que llegué a Valparaíso, sino también a aquellos que fui conociendo durante el camino. Gracias por su compañía y apoyo. En especial a mis amigos José y Gonzalo por el apoyo, las risas y los consejos.

A toda la gente de la pensión Koala que conocí, gente increíble y maravillosa que tendré siempre en mis recuerdos, porque nunca fueron solo compañeros de pensión, sino que fueron mi familia.

Al profesor Patricio por su guía y enseñanza, no solo durante el desarrollo de este trabajo sino también durante el curso de Diseño de procesos que me motivo a ser mejor un ingeniero.

A Daniel y Don Jorge de VSPT por su disposición y brindarme la oportunidad de poder realizar este trabajo.

Resumen

El presente trabajo presenta el estudio de la factibilidad técnica y económica de la reutilización del agua proveniente de los sistemas de enjuague de botellas de la Planta VSPT Molina, con el fin de optimizar el uso de recursos hídricos en sus operaciones y contribuir al cumplimiento de las metas de sustentabilidad corporativa.

Se realizó una caracterización del consumo y generación de efluentes en la Planta, identificando que el área de envasado representa un 27% del uso total de agua, con un consumo promedio de 76,6 [m³/día] de agua por las enjugadoras. También se realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica determinándose que el efluente posee una baja carga contaminante y biodegradabilidad.

En base a la caracterización del efluente, se determinó un tren de tratamiento compuesto por una filtración de lecho profundo, seguido de adsorción con carbón activado granular y desinfección por ozono. Con estos tratamientos se garantiza la reducción de sólidos y materia orgánica, junto con la eliminación de microorganismos, obteniéndose una calidad de agua superior a la esperada con reducciones teóricas del 83% para DQO, 88% para el DBO₅ y del 65% para los SST.

El análisis económico considera un horizonte de 10 años, con una tasa del 12%. Obteniéndose así valores de: VAN 78.991.660 [CLP], TIR 49% y un Payback de 2,4 años. El análisis de sensibilidad considerando una variación de ± 30 % del CAPEX, evidenció que el proyecto se mantiene rentable frente a distintos escenarios de inversión.

Por último, la implementación del sistema propuesto permitiría un ahorro anual aproximado de 23.387 [m³] y una reducción del KPI hídrico de un 9,9%, alineándose así con los compromisos y programas de sustentabilidad de VSPT.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen	3
1. Introducción	9
2. Objetivos	11
2.1 Objetivo General	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. Antecedentes	12
3.1 Uso del agua en la Industria vitivinícola	12
3.2 Antecedentes de los criterios de la Viña	14
3.3 Contexto hídrico de la planta VSPT Molina	15
3.4 Marco normativo	20
4. Análisis del suministro y demanda de agua en la viña	22
5. Análisis técnico	24
5.1 Línea base	24
5.2 Análisis de oportunidades de reutilización de aguas y propuestas de soluciones técnicas ..	24
5.3 Diseño del proceso de tratamiento	24
5.4 Caracterización de la generación de aguas de desecho	25
6. Formulación de alternativas y diseño de los procesos	34
6.1 Especificación de las oportunidades de reúso (DFP, balance de materiales y descripción del proceso)	34
6.1.1 Selección de alternativas	36
6.1.2 Diseño del proceso	37
6.1.7 Balance de materiales	40
6.1.8 Dimensionamiento de equipos	41

7. Evaluación Económica.....	44
7.1 Bases de evaluación	44
7.2 Estimación de CAPEX.....	46
7.3 Estimación de OPEX	47
7.4 Flujo de caja y evaluación de indicadores	48
7.5 Resultados de la evaluación	52
8. Conclusiones y recomendaciones.....	53
Anexos	58
Anexo A: Definiciones, clasificación y tratamientos de aguas residuales	58
Anexo B: Detalle de la generación del efluente de enjugadoras.	68
Anexo C: Detalle del dimensionamiento de los equipos.	70
Anexo D: Producción de ozono y ozonización.	80
Anexo E: Indicadores económicos.....	83

Índice de Figuras

Figura 1:Pilares del desarrollo sostenible (Girosalut, 2024)	9
Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2019)	10
Figura 3 Principales países productores de vino. Porcentaje de producción de vino (2021-2022) y niveles de estrés hídrico (2017–2020) por país.(Matos et al., 2024).....	13
Figura 4 Mapa de estrés hídrico en Chile (Aqueduct Water Risk Atlas, 2025).....	13
Figura 5 Ubicación de la planta VSPT Molina.....	15
Figura 6 Diagrama de uso de aguas de la planta	17
Figura 7 Consumo mensual de agua del año 2024	18
Figura 8 Diagrama de Pareto usos de agua por cada área de la planta (VSPT suministros y servicios)	19
Figura 9 Descarga Línea 1	26
Figura 10 Descarga Línea 3	26

Figura 11 Descarga Línea 5	27
Figura 12 Bolsa estéril.....	28
Figura 13 Frasco de toma de muestras	28
Figura 14 Distribución de la generación durante la semana del año 2024.....	31
Figura 15 Distribución de la generación por línea durante la semana del año 2024.....	31
Figura 16 Generación diaria durante el año 2024.....	32
Figura 17 Nuevo diagrama de uso de agua en envasado	38
Figura 18 Diagrama de bloques del proceso	39
Figura 19 Diagrama de flujo del tratamiento propuesto.....	40
Figura 20 Layout del proceso integrado	40
Figura 21 Comparación de rangos de tamaño de contaminantes y métodos de filtración (Gheraout, 2018).....	66
Figura 22 Configuración básica de un ozonizador (American Water Works Association, 2005) .	80
Figura 23 Componentes de la ozonización (Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con ozono, 1999)	81
Figura 24 Diagrama del inyector Venturi	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Matriz de objetivos estratégicos VSPT – 2024 (VSPT Wine Group, 2025).....	14
Tabla 2 Normativas pertinentes a aguas residuales en Chile.....	20
Tabla 3 Consumos de agua por áreas de la Planta durante el año 2024	22
Tabla 4 Valores promedio de parámetros medidos de caracterización de agua.....	28
Tabla 5 Criterios de biodegradabilidad (Arias et al., 2012).....	29
Tabla 6 Resultados del índice de biodegradabilidad	30
Tabla 7 Caudal nominal reportado del consumo de agua por líneas de envasado en base a las horas producidas.....	30
Tabla 8 Caudal nominal ajustado de consumo de agua de líneas de envasado	32
Tabla 9 Criterios de formulación de alternativas.....	33
Tabla 10 Alternativas de reutilización	34
Tabla 11 Evaluación de alternativas	36

Tabla 12 Balance de materiales del proceso. Primera parte	41
Tabla 13 Balance de materiales del proceso. Continuación	41
Tabla 14 Dimensionamiento de estanques.....	42
Tabla 15 Dimensionamiento de filtros.....	42
Tabla 16 Dimensionamiento reactor contactor	43
Tabla 17 Evaluación diferencial	45
Tabla 18 CAPEX del proyecto	46
Tabla 19 Comparativa del OPEX	47
Tabla 20 Costos asociados al tratamiento.....	48
Tabla 21 Flujo de caja caso base	49
Tabla 22 Flujo de caja -30% de CAPEX	50
Tabla 23 Flujo de caja +30% CAPEX.....	51
Tabla 24 Resultados de los indicadores económicos.....	52
Tabla 25 Análisis comunes para evaluar los componentes contaminantes en aguas residuales, primera parte. (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).....	62
Tabla 26 Análisis comunes para evaluar los componentes contaminantes en aguas residuales, segunda parte	63
Tabla 27 Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover componentes encontrados en aguas residuales (METCALF & EDDY, INC., 1995)	65
Tabla 28 Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover componentes encontrados en aguas residuales (METCALF & EDDY, INC., 1995)	65
Tabla 29 Comparación de las características ideales y prácticas de los desinfectantes químicos más utilizados (METCALF & EDDY, INC., 1995).....	67
Tabla 30 Generación semanal de efluentes de enjugadoras durante todo el año 2024.....	68
Tabla 31 Generación mensual de efluente de las enjugadoras durante el año 2024.....	68
Tabla 32 Horas operativas promedio de las líneas de envasado año 2024	69
Tabla 33 Datos de diseño típicos para filtros de lecho profundo de un medio (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)	74
Tabla 34 Datos de diseño típicos para filtros de lecho profundo duales y multimedia (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).....	75
Tabla 35 Dosis químicas típicas para la oxidación de orgánicos en aguas residuales (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).....	77

Tabla 36 Dosis recomendada para la reducción de DBO ₅ y COD	77
Tabla 37 Medidas del diámetro de descarga de las enjugadoras	79
Tabla 38 Tipos de contactores para diferentes objetivos de tratamiento (American Water Works Association, 2005).....	82

1. Introducción

En el marco del desarrollo sostenible muchos de los retos a los que se enfrenta el ser humano, tales como: el cambio climático, la escasez de agua, las desigualdades o el hambre, solo se pueden abordar desde una perspectiva global y que promueva el desarrollo sostenible, donde este término de sostenibilidad nace en el año 1987 debido a la publicación del “Informe Brundtland”, donde se definió textualmente como: “La capacidad de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 2012). Teniendo como pilares: el progreso social, el equilibrio medioambiental y el crecimiento económico (Figura 1).



Figura 1: Pilares del desarrollo sostenible (Girosalut, 2024)

A partir de esto en el año 2015 los estados miembros de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), en conjunto con ONGs generaron una propuesta para este desarrollo donde se proponen los diecisiete ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)(Figura 2), los cuales desembocaron en una agenda internacional proyectada hasta el año 2030, donde los ODS sirven de marco de referencia para el desarrollo, ya que buscan: Proteger el planeta, Erradicar la pobreza, Mejorar la vida de las personas, Construir un mundo más justo y próspero.



Figura 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2019)

En Chile, como es una constante en el mundo, el mayor consumidor de agua es el sector agrícola, utilizando alrededor de un 73% del recurso que permiten regar 902.158 hectáreas (ODEPA, 2021), por este motivo el tratamiento y reutilización de aguas es una prioridad en industrias como la vitivinícola, donde el consumo intensivo de agua y la generación de efluentes requieren estrategias sostenibles con énfasis en su alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En el contexto de sustentabilidad de las empresas productoras vitivinícolas la huella de agua, CO₂ y la energía eléctrica, son parámetros claves para el monitoreo y seguimiento de proyectos asociados a la mejora en la sustentabilidad. Siendo VSPT Wine group es uno de los mayores productores de vino en Chile, la cual cuenta con aproximadamente 1.200 hectáreas en el valle principal y más de 4.254 hectáreas en total distribuidas en varios valles vitivinícolas de Chile. Fundada en el año 1865 y ubicada en Molina, en el valle de Curicó, a unos 200 km al sur de Santiago (VSPT Wine Group, 2024), esta viña es conocida por su amplia gama de vinos y su compromiso con la calidad y la sostenibilidad, ya que para VSPT Wine Group, la sustentabilidad es un pilar estratégico y de valor corporativo que define su manera de producir y hacer negocios.

VSPT Wine Group Planta Molina ha establecido las siguientes series de metas asociadas a sus KPIs industriales:

- Energía eléctrica, llegar a 8,3 [kWh/hl vino].
- Energía térmica, llegar a 3,9 [MJ/hl vino].
- Agua, llegar a 1 [hl agua/ hl vino].

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la reutilización del agua de enjuague en los procesos de la Viña San Pedro de Tarapacá Molina, mediante el uso de tratamientos de purificación que cumplan con los estándares de calidad requeridos.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar y seleccionar tecnologías de tratamiento adecuadas para la eliminación de contaminantes en el agua de enjuague de la viña.

Analizar el cumplimiento de normativas de calidad de agua para su reutilización en el proceso de lavado de botellas.

Realizar un análisis económico comparativo entre el uso de agua tratada y agua fresca en la viña, evaluando los costos de implementación del tratamiento y el ahorro potencial en el proceso.

3. Antecedentes

3.1 Uso del agua en la Industria vitivinícola

El agua es un recurso esencial para la producción vitivinícola, y garantizar su disponibilidad y seguridad es una prioridad para la operación de esta industria. Actualmente en la industria vitivinícola el uso del agua es un recurso de alta demanda, ya que desempeña funciones críticas en distintas etapas a lo largo del proceso de vinificación, entre las que se incluyen:

- Irrigación de viñedos: Para el crecimiento de las vides y el desarrollo de las uvas.
- Limpieza y desinfección: Mantener la limpieza y la desinfección en la vinificación para prevenir la contaminación y el deterioro. Se utiliza extensamente para limpiar equipos, tanques, barricas e instalaciones para asegurar que se cumplan los estándares de higiene.
- Enfriamiento y calentamiento: Se emplean sistemas de enfriamiento para regular las temperaturas de fermentación, mientras que el agua caliente se utiliza para limpieza y propósitos de esterilización.
- Gestión de Aguas Residuales: Las operaciones de las bodegas generan aguas residuales que contienen materia orgánica, agentes de limpieza y otros contaminantes. Una adecuada gestión de aguas residuales es esencial para minimizar el impacto ambiental.

Con la creciente preocupación por la escasez de agua y la sostenibilidad ambiental, muchas bodegas están adoptando prácticas de sostenibilidad como aquellas de ahorro de agua. Esto incluye la implementación de sistemas de riego eficientes en el uso de agua, el reciclaje y la reutilización del agua cuando sea posible, y el empleo de tecnologías para minimizar el uso de agua en todo el proceso de vinificación (Matos et al., 2024).

Como se observa en la Figura 3 los principales países productores de vino son Italia, Francia y España, superando la mitad de la producción mundial. Sin embargo, el nivel medio de estrés hídrico en estos países es del 31,23 %, superando las cifras de las demás naciones productoras de vino relevantes. Chile por su parte se posiciona como el sexto país productor a nivel mundial y no está exento de problemas, ya que la evidencia climática indica que las

principales zonas productivas de los valles en Chile enfrentan crecientes amenazas de estrés hídrico como se observa en la Figura 4. Esto confirma la importancia de aumentar la eficiencia en el uso del agua y mejorar la gestión de los recursos hídricos y el tratamiento de aguas residuales en la industria del vino.

Considerando lo anterior es que resulta crítico para las viñas del mundo el buen manejo del recurso del agua en sus actividades, por lo que como menciona el gobierno de Australia en su informe “Winery Wastewater Management & Recycling Key principles for wineries” la gestión de las aguas residuales de una bodega es importante para el desempeño comercial y ambiental de la bodega, y puede tener repercusiones en los viñedos y la producción de uvas. Un enfoque sólido para la gestión de aguas residuales implicará: producción más limpia, menos desechos y más ganancias dentro de la bodega (Wine Australia, 2025).

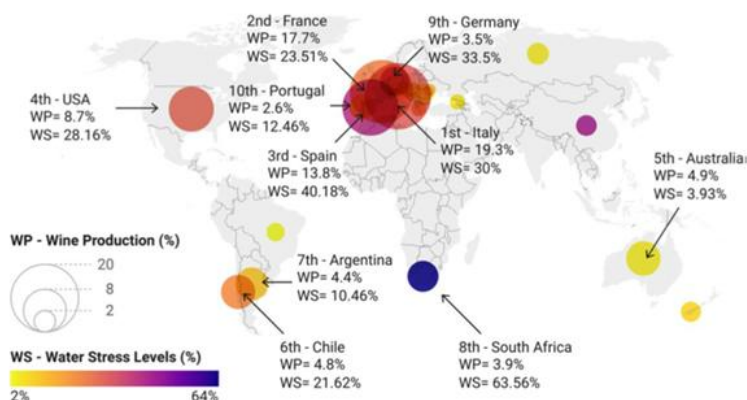


Figura 3 Principales países productores de vino. Porcentaje de producción de vino (2021-2022) y niveles de estrés hídrico (2017-2020) por país. (Matos et al., 2024)

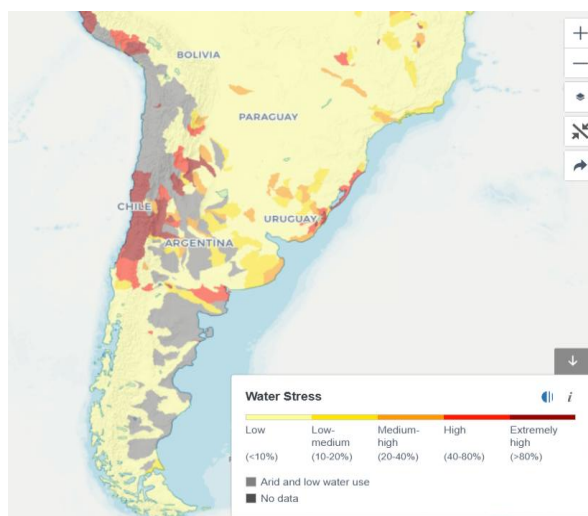


Figura 4 Mapa de estrés hídrico en Chile (Aqueduct Water Risk Atlas, 2025)

3.2 Antecedentes de los criterios de la Viña

Para VSPT Wine Group, la sustentabilidad es un pilar estratégico y valor corporativo que define la manera de producir y hacer negocios. VSPT lanzó durante el año 2024, el nombre de su estrategia de sustentabilidad: “Nuestra esencia en cada copa” (“Our nature in every glass”), esta estrategia va alineada con doce Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Tabla 1) y cuyos ámbitos prioritarios de acción y metas concretas al 2030 son los siguientes:

- Reducir la huella de CO2, Alcance 1,2,3 en un 40% al 2030 para ser Net Zero al 2050
- Viticultura Climate Smart o Resiliente al 2030
- 100% conciencia hídrica
- Cero residuos al 2030 (industrial y agrícola)
- 100% Energía renovables (EERR) en bodegas y viñedos (+30% autogeneración EERR)
- Innovación y 100% Ecodiseño para una lógica circular

Tabla 1 Matriz de objetivos estratégicos VSPT – 2024 (VSPT Wine Group, 2025)

Indicador ODS	Objetivo Estratégico	Descripción	Iniciativas Impulsadas
	NUESTRA GENTE	Poner a las personas al centro, promoviendo su bienestar y empoderamiento, con un equipo motivado que impulse los objetivos estratégicos de negocio y construya la organización de una forma sostenible en el tiempo, siendo capaces de adaptarse a los desafíos de un entorno en constante cambio.	Consolidación Política Diversidad, Equidad e Inclusión con foco en el relacionamiento con instituciones educacionales; Cuarto año del Programa Mentorías para el liderazgo femenino; Tercer año del Programa Sisterhood para Subgerentes y Gerentes; Séptima versión Programa de Capacitación Escuela Agrícola; Implementación Programa Interno Wine School a nivel transversal de toda VSPT; Celebración Feria del Vino; Procesos de Evaluación y Gestión de Desempeño 360° y 180°.
	NUESTRAS MARCAS	Lograr mediante las marcas el desarrollo rentable de la actividad vitivinícola impulsando mediante éstas el crecimiento de la compañía.	VSPT continuó profundizando en la agenda de Marcas con Propósito, y promoviendo la innovación a través del lanzamiento de la nueva marca Donnaluna, así como con lanzamientos de nuevas variedades para marcas existentes como Castillo de Molina, Santa Helena, y Gato Selección Dulce.
	NUESTRO CRECIMIENTO	A través de socios globales, y el Route-to-Market de CCU (en Chile y Argentina), VSPT busca crecer rentablemente y explorar oportunidades inorgánicas que le permitan complementar el portafolio local y global para crecer en valor.	VSPT celebró los 150 años de Viña Tarapacá, celebrando junto a sus clientes en Isla de Maipo, Chile, así como visitando a otros grandes importadores y distribuidores para conmemorar el importante hito.
	NUESTRO FUTURO	Generar valor a través de proyectos focalizados, que abran oportunidades de nuevos negocios en las categorías y formatos más rentables de la industria, promoviendo además una cultura de innovación.	Por sexto año consecutivo, VSPT Wine Group fue reconocido como la viña más innovadora de Chile, en el ranking "Most Innovative Company" del ESE Business School de la Universidad de los Andes.
	NUESTRAS EFICIENCIAS	Hacer de la eficiencia una fuerte ventaja competitiva para reducir los gastos operacionales, mejorar la calidad de los productos, y aumentar el nivel de servicio a los socios.	Finalizó la primera fase de especialización y automatización de la bodega Premium en Isla de Maipo, y se comenzó con la segunda fase, que estará 100% operativa en 2025. Se ejecutó además el plan de repintes anual, para dar continuidad y eficiencia a los campos.
	NUESTRO PLANETA	Ir a la vanguardia en materia de sustentabilidad, promoviendo el progreso sostenible de las personas y comunidades, enfrentando el cambio climático para anticipar amenazas y proyectar a VSPT al futuro.	En el ámbito medioambiental, VSPT continuó trabajando para alcanzar el objetivo de ser carbono neutral al 2050, siendo ratificados como Gold Members del International Wineries for Climate Action (IWCA).

Por lo tanto, buscar opciones en línea con la estrategia de sustentabilidad para el cuidado de los recursos hídricos, se vuelve una labor primordial para VSPT Wine Group. Una forma de cuantificar esto es con la disminución del indicador hídrico de la planta (KPI) [hl agua/hl vino producido]. En este contexto, la reutilización del agua industrial generada por el lavado de botellas, actualmente descargada directamente al drenaje como residuo industrial líquido (ril), representa una oportunidad de mejora. Su reaprovechamiento en otros procesos de la planta permitiría disminuir el consumo de agua fresca y el volumen de ril generado, consolidándose, como una alternativa eficiente y sustentable.

3.3 Contexto hídrico de la planta VSPT Molina

VSPT Wine Group planta Molina se ubica geográficamente en la Longitudinal Sur (Ruta 5), kilómetro 205, Salida Molina, región del Maule (Figura 5).



Figura 5 Ubicación de la planta VSPT Molina

El uso de la planta de VSPT molina presenta el siguiente mapeo de uso de agua presentado en la Figura 6, donde se reconocen que la fuente de generación del agua proviene de dos pozos profundos (pozo 1 y 2) y previo a la disposición final se tiene una planta de Riles y de aguas servidas. Del uso se reconocen las siguientes grandes zonas:

- Varietal: uso de agua para lavado de cubas en bodegas tanto varietal como de reserva, adicionalmente por la ubicación del medidor también se cuantifica el uso en casas de visitas, el casino de alimentación y lavado de camiones.

- Envasado: uso de agua para lavado de pisos, limpieza CIP y lavado de botellas.
- Suministros: uso de agua para suministro de caldera, LEC, torres de enfriamiento, condensadores, lavado de pisos y enfriamiento de culatas.
- Administración y taller agrícola: uso de agua de baños, limpieza y riego de jardines.
- Bodega producto terminado (BPT) y portería: uso de agua de baños y limpieza general.

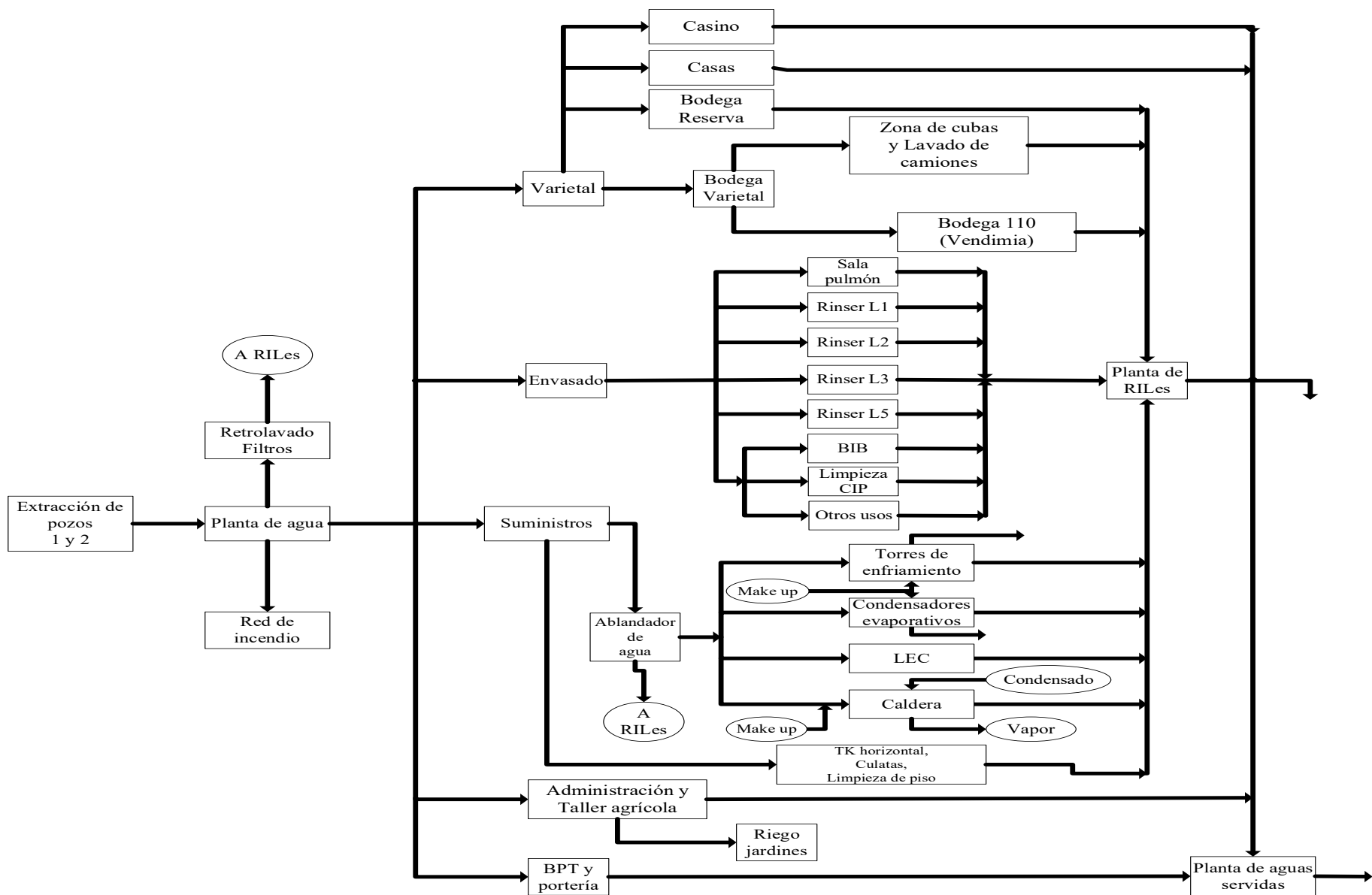


Figura 6 Diagrama de uso de aguas de la planta

Al graficar el consumo de agua de la planta del año 2024 se obtiene el Figura 7, donde se visualiza un mayor consumo en los meses de febrero a abril que corresponden a los meses de vendimia, el consumo máximo se registra en el mes de marzo con 29.731 [m³], durante los meses de mayo a septiembre, época de otoño e invierno, el consumo se reduce drásticamente dado que se concluye la época de vendimia y las bajas temperaturas favorecen la refrigeración en los procesos de fermentación disminuyendo el consumo de agua. El mes de agosto se registra un aumento dado que es un periodo de aumento en la producción y venta de vino debido al aumento de la demanda previo a fiestas patrias con un consumo de 19.061 [m³]. Llegados los meses de primavera verano, septiembre a enero, las altas temperaturas generan una mayor demanda de consumo de agua para refrigeración lo que se refleja en el aumento sostenido del consumo de agua mensual. Por último, el promedio anual es de 22.259 [m³] y se totaliza un consumo anual de 267.109 [m³].

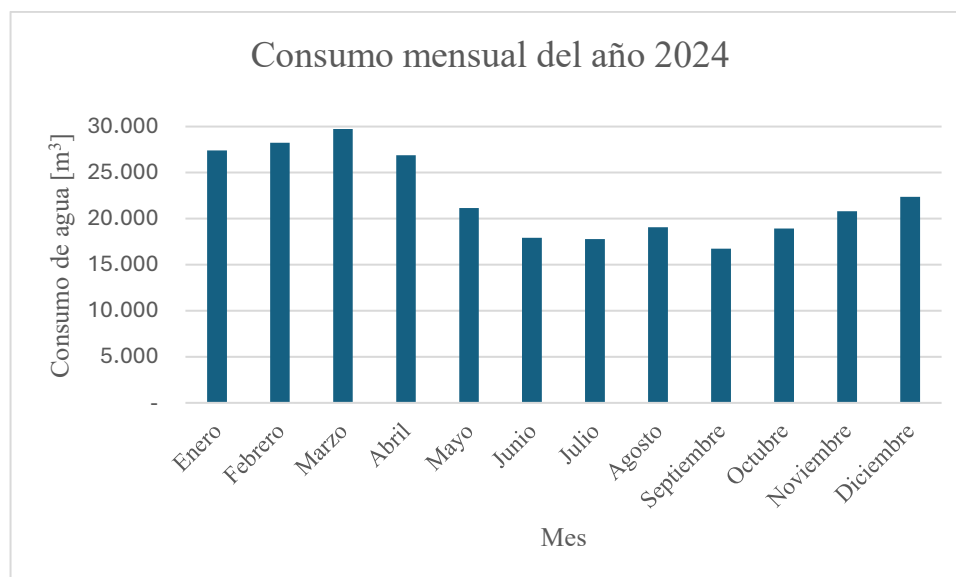


Figura 7 Consumo mensual de agua del año 2024

Al representar los consumos por cada área de la planta durante el año 2024 mediante un gráfico de Pareto se tiene la Figura 8, se observa que las áreas Varietal y Envasado son aquellas con el mayor consumo de agua, con un 28 y 27 % respectivamente, lo que equivale a un total aproximado de 145.000 [m³], siendo entonces los mayores consumos de agua fresca de la planta.

El consumo de Varietal está asociado principalmente al lavado de cubas con un consumo de aproximado de 34,7 [m³] por cuba, mientras que el área de envasado se destaca por los

consumos de lavado de botellas y limpieza CIP de las diferentes líneas de embotellado: **Línea 1, Línea 2, Línea 3, Bag in Box (BIB) y Línea 5**, de las anteriormente mencionadas el estudio solo se centrará en aquellas líneas que posean enjugadoras de botellas (rinsers) lo que equivale a un consumo 65 [m³] diarios.

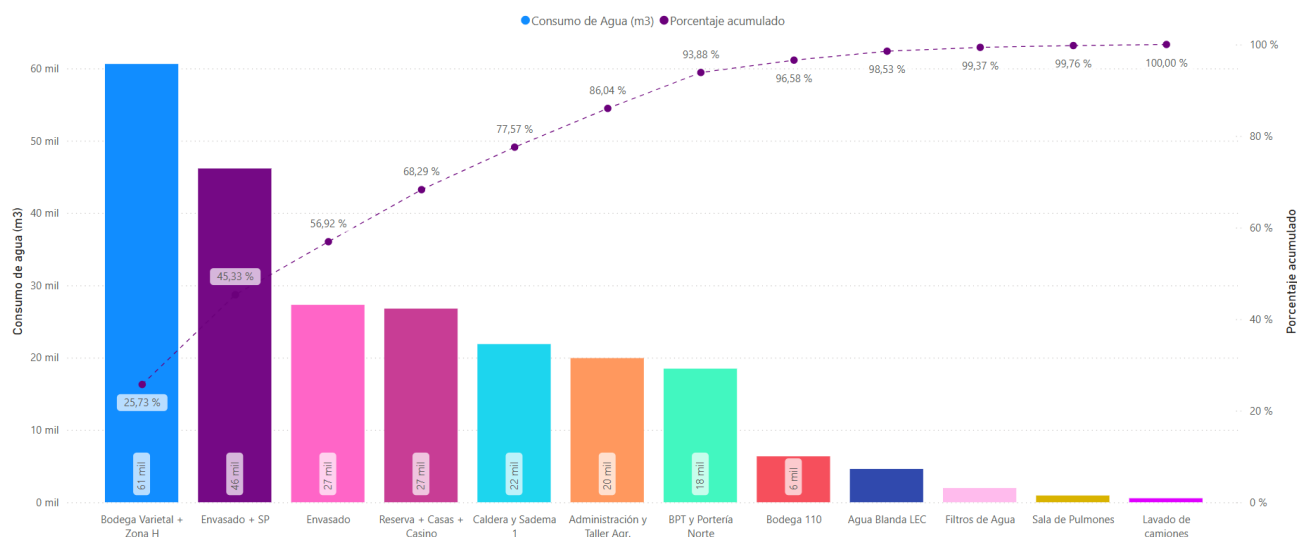


Figura 8 Diagrama de Pareto usos de agua por cada área de la planta (VSPT suministros y servicios)

El consumo de agua en las líneas de embotellado está asociado directamente con el uso de enjugadoras de botellas lo que, a su vez, está relacionado con la cantidad de botellas que se producen por cada línea y la cantidad de horas de operación de las líneas. Actualmente, en la bodega varietal y reserva, la disposición de las aguas de lavado de cubas y barricas es a piso, es decir a las cámaras de acumulación de drenaje hacia riles. Asimismo, ocurre en las líneas de enjuague de envasado, pero con la diferencia de que la descarga no es directa a las cámaras sino a un desagüe por lo que se reconoce una posible oportunidad de aprovechamiento del agua sin requerir intervenciones invasivas.

En base a lo anteriormente expuesto, se concluye que las áreas de mayor consumo presentan un importante potencial de ahorro y optimización en el uso de agua, ya que representarían un ahorro combinado máximo de un 55% del consumo total de agua de la planta. Sin embargo, la amplia extensión y dispersión de los puntos de uso en el área Varietal, es que Envasado resulta un área más atractiva, al tratarse de una zona más acotada y de operación controlada, lo que facilita tanto la captación como el tratamiento del agua generada.

3.4 Marco normativo

En la Tabla 2, se presenta la normativa vigente en Chile pertinente al tema de estudio.

Tabla 2 Normativas pertinentes a aguas residuales en Chile

Norma	Regula
NCh 1333/1978 - Norma chilena sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos.	Fija criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos, referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado.
D.S. N°90/2000 - Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.	Regula la descarga de contaminantes hacia cursos de aguas marinas y continentales superficiales mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, previniendo así de la contaminación de dichos cuerpos de agua.
D.S. N° 46/2002 - Norma de Emisión de Residuos Líquidos Industriales a Aguas Subterráneas.	Regula la descarga de contaminantes hacia aguas subterráneas, mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, con el objeto de prevenir la contaminación de los acuíferos.
D.S. N° 609/1998. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado.	Regula la descarga máxima de contaminantes permitidos para los residuos industriales líquidos que son descargados en los alcantarillados.
NCh 410 Of.96. - Agua para fines industriales. Terminología.	Proporcionar una terminología normalizada para la caracterización de la calidad del agua.

La normativa vigente no regula específicamente el reúso de aguas residuales tratadas, considerando que el Decreto 90 es una norma de emisión y no de reúso de aguas residuales, por lo que actualmente en Chile no se tiene una normativa legal concreta sobre requisitos de calidad del agua para la reutilización de este tipo de consumo, sino que varía y se ajusta

según sean las necesidades del sector productivo, pero aun así la normativa ambiental exige que todas las empresas implementen sistemas adecuados para tratar estos residuos antes de su descarga al medio ambiente por lo que el tratamiento y manejo de los riles si están estrictamente regulados en Chile.

En este contexto, la ausencia de una norma directa de reúso plantea un desafío técnico y regulatorio que radica en que el diseño, selección de criterios y tecnologías de tratamiento sean adecuados y que aseguren estándares de seguridad ambiental y sanitaria, es decir que el agua tratada se apta para su reutilización sin comprometer la inocuidad del producto final y sea alineada con los principios de la sustentabilidad del sector industrial.

4. Análisis del suministro y demanda de agua en la viña

En el capítulo anterior se dio a conocer un diagrama de uso de aguas y a continuación, en la Tabla 3, se da a conocer los valores respectivos de las áreas de la planta que lo componen.

Tabla 3 Consumos de agua por áreas de la Planta durante el año 2024

Áreas	Distribución	Caudal [m ³ /día]
Potabilización de agua	Planta de agua	727
	Retro lavado de filtros	5
Varietal	Casino y casas	62
	Bodega de reserva	13
	Bodega varietal	207
Envasado	Línea 1	23
	Línea 2	10
	Línea 3	21
	Línea 5	11
	Sala pulmón	8
	BIB, CIP y otros	130
	Suministros	165
Suministros	Ablandador de agua	39
	Torres de enfriamiento	6
	Condensadores	15
	LEC	13
	Caldera	16
	TK horizontal,	7
	Culatas y	

Limpieza de pisos		
Administración y taller agrícola	Admin. y taller agrícola	55
	Riego jardines	s.d
BPT y portería	BPT y portería	17

Como se observa en la Tabla 3, el suministro de agua potable extraída de pozos esta dado por 727 [m³] diarios para el año 2024 y de este los mayores consumos ocurren en las áreas de: Varietal, Envasado, Suministros y Administración y taller agrícola. Esto en conjunto al grafico de Pareto se llega a la conclusión de que no solo son áreas de gran consumo, sino que también son aquellas relevantes no solo por su potencial reúso, sino que también poseen un impacto relevante dentro de la planta y el proceso, ya que también corresponden al 80% de la regla 80/20 de Pareto.

En primera instancia se destaca el reúso directo trabajando con un ciclo cerrado de uso de agua en las enjuagadoras de envasado, reduciendo así el consumo de agua fresca en al menos 66 [m³] diarios. Seguido se encuentra la reutilización del agua para riego de las áreas verdes de la planta, ya que no solo contribuiría a la cuantificación de su uso, sino que también un mayor control de su consumo, dado que actualmente su uso es dado bajo los arranques más cercano a las áreas verdes, que no son necesariamente los de las áreas de Administración y Taller agrícola. Asimismo, otros consumos relevantes son aquellos que se dan en la zona Varietal, donde el principal uso de agua está dado por el lavado de cubas y la refrigeración y cuyo consumo es de 220 [m³], de estos el mayor uso está dado por el lavado de cubas el cual se estimó en un consumo de 172 [m³] diario durante el año 2024. Por último, otros posibles usos se dan en las torres de enfriamiento y el retro lavado de filtros cuyos consumos no son de gran impacto, siendo de 5 y 6 [m³] al año registrado, pero que podrían ser un proyecto de menor riesgo y/o complementar alguna de las otras posibilidades expuestas en este capítulo.

5. Análisis técnico

5.1 Línea base

Con el propósito de determinar la calidad de agua generada por las enjuagadoras se realiza lo siguiente:

1. Identificación del área de generación y pérdidas asociadas.
2. Cuantificación del caudal
3. Toma de muestras, cuantificación y análisis de la concentración de los parámetros del agua más relevantes, siendo estos:
 - a. Fisicoquímicos: Turbidez, pH, SST, temperatura, conductividad, DQO y DBO₅
 - b. Microbiológicos Coliformes totales y fecales.
4. Identificación de la variabilidad de la producción

En base a lo anteriormente mencionado, se determina la demanda la cantidad y calidad de agua de agua, para así tener una comprensión más detallada del de la condición actual del sistema, lo que permite identificar oportunidades claras para el aprovechamiento del agua.

5.2 Análisis de oportunidades de reutilización de aguas y propuestas de soluciones técnicas

En base a la información cuantificada del punto anterior, se analizan las posibles oportunidades del reúso del agua tratada y los criterios de selección para las alternativas tecnológicas de tratamiento. En base a esto y el punto anterior de la metodología se da paso a la creación de una matriz de selección donde se otorga puntos de valoración para la selección de la mejor combinación de procesos y tecnologías.

5.3 Diseño del proceso de tratamiento

Basado en las etapas anteriores, se da una descripción del diseño del proceso considerando:

- Objetivos de calidad y parámetros de salida
- Caudal promedio de diseño

- Diagrama de flujo del proceso
- Balance de materiales
- Balance de servicios

En base a esta metodología se da paso a la realización de a la caracterización y diseño del proceso.

5.4 Caracterización de la generación de aguas de desecho

Para cuantificar el problema se requiere de la caracterización del agua industrial, lo cual es esencial para el diseño de una adecuada Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales (PTARI), que sea capaz de eliminar de manera eficiente los contaminantes presentes. Por lo que, para lograr su correcta caracterización es necesario identificar las fuentes de generación, su calidad y su cantidad. En el Anexo A se da a conocer la clasificación de aguas, contaminantes y procesos utilizados en plantas de tratamiento.

El área de generación se localiza en la zona de envasado de la planta, donde se encuentran las líneas de embotellado. Los puntos de desagüe se observan en las Figuras 10, 11 y 12. Se observa que Línea 1 presenta pérdidas considerables, cabe destacar que es una de líneas más antiguas en operación, mientras que la Línea 3 presenta un nivel de pérdidas de moderado a bajo. Cabe destacar que la descarga de Línea 2 no es accesible físicamente para la toma de muestras, por lo que no se realizará un análisis de dicha línea.



Figura 9 Descarga Línea 1



Figura 10 Descarga Línea 3



Figura 11 Descarga Línea 5

Para la determinar la calidad del agua de desecho de las enjugadoras, se realizan muestreos semanales durante dos meses con bolsas estériles y frascos de toma de muestras de 500 [mL], similares a las que se observan en las Figuras 12 y 13, con el fin de analizar los siguientes aspectos:

- a. Fisicoquímicos: Turbidez, pH, SST, temperatura, cloro residual, conductividad, DQO y DBO₅
- b. Microbiológicos: Coliformes totales y fecales.



Figura 12 Bolsa estéril



Figura 13 Frasco de toma de muestras

Las muestras son analizadas en el laboratorio interno de la planta, y los resultados promedio obtenidos a partir del muestreo se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4 Valores promedio de parámetros medidos de caracterización de agua

Parámetros	Red	Línea 1	Línea 3	Línea 5
Turbidez [NTU]	1	4,2	1,9	1,5
pH [-]	7,65	7,32	7,88	7,53
SST [mg/L]	6,0	5,8	17,5	20
Temperatura [°C]	21,7	23,0	22,0	21,8

Conductividad	253,6	282,5	234	227
[μS/cm]				
DQO	45	55	60	51
[mg/L]				
DBO ₅	5	12	10	10
[mg/L]				
Cl ₂ O	0,57	0,31	0,38	0,25
[mg/L]				
Coliformes				
Totales	Negativo	Positivo	Positivo	Negativo
[NMP/100 ml]				
Coliformes				
Fecales	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
[NMP/100 ml]				

De la Tabla 4 se observa que todos los valores de pH son similares y cercanos al neutro, mientras que los sólidos suspendidos totales (SST) presentan niveles bajos, de entre 5 y 20 [mg/L]. No se detecta un aumento significativo de sales, inclusive en Línea 3 y 5 se detectó una disminución de la conductividad. Existe la presencia de coliformes, lo que indica contaminación microbiológica, posiblemente puntual, en Línea 1 y 3. En general el agua generada por las enjuagadoras muestran parámetros muy cercanos al agua de red, con excepción de la DQO, DBO₅ y coliformes en ciertas líneas lo que sugiere un nivel bajo de contaminación.

Adicionalmente se tiene que analizar el índice de biodegradabilidad que nos aporta información, sobre la relación DBO₅/DQO (Tabla 5), la cual permite determinar qué cantidad de la DQO (materia orgánica e inorgánica contenida en una muestra) de un vertido es susceptible de ser depurada por los microorganismos en 5 días (DBO₅) (Arias et al., 2012).

Tabla 5 Criterios de biodegradabilidad (Arias et al., 2012)

DBO ₅ /DQO	Carácter
[-]	

> 0,8	Muy biodegradable
0,7 – 0,8	Biodegradable
0,3 – 0,7	Poco biodegradable
< 0,3	No biodegradable

De los resultados presentados en la Tabla 6 se concluye que en todas las líneas presentan índices de biodegradabilidad bajos, lo que nos indica que la fracción no biodegradable en el efluente es elevada. Por lo que no se recomienda utilizar un tratamiento biológico sino uno fisicoquímico.

Tabla 6 Resultados del índice de biodegradabilidad

Líneas de envasado	DBO5/DQO [-]	Carácter
Red	0,11	No biodegradable
Línea 1	0,22	No biodegradable
Línea 3	0,17	No biodegradable
Línea 5	0,19	No biodegradable

Para determinar la cantidad de agua producida, se estiman los caudales producidos por cada línea. Utilizando el caudal nominal reportado por el área técnica de la planta (Tabla 7) y las horas de operación de cada línea, en base a la producción, es posible realizar un cruce de información que permita caracterizar la generación y el consumo de agua.

Tabla 7 Caudal nominal reportado del consumo de agua por líneas de envasado en base a las horas producidas.

Líneas de envasado	Caudal nominal [m3/h]
Línea 1	2,1
Línea 2	1,14
Línea 3	2,0
Línea 5	1,2
Total	6,44

Los resultados obtenidos y presentados en la Figura 14 se observa que los días lunes y sábado son los que registran la menor producción, mientras que el día domingo no se presenta generación, para mayor detalle ver el Anexo B. Cabe destacar que el día lunes el área de envasado suele realizar labores de mantenimiento, por lo que aumenta la cantidad de tiempos muertos y reduce la cantidad de horas efectivas de operación.

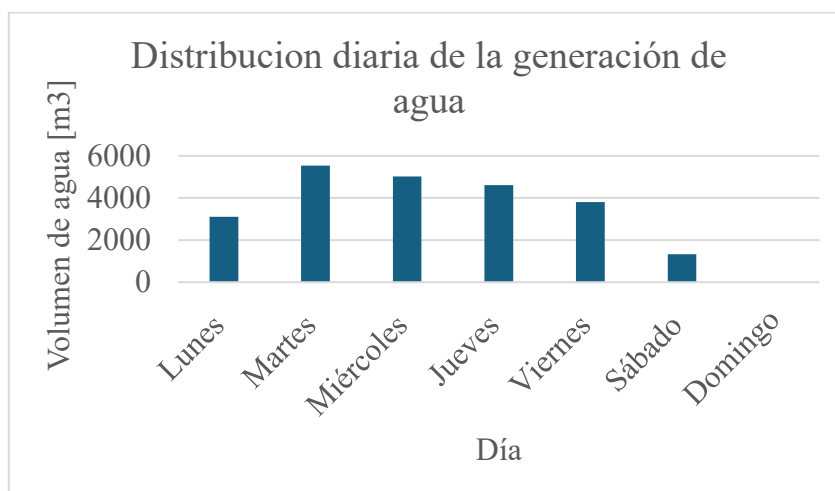


Figura 14 Distribución de la generación durante la semana del año 2024

La Figura 15 entrega información respecto del aporte y distribución de cada línea de envasado en la generación de aguas residuales, donde las Líneas 1 y 3 destacan sobre el resto con volúmenes semanales de 8.404 y 7.567 [m³] en el año 2024. Esto asociado con su mayor consumo de agua por hora trabajada en las enjugadoras, dado que son las líneas en operación más antiguas de la planta.

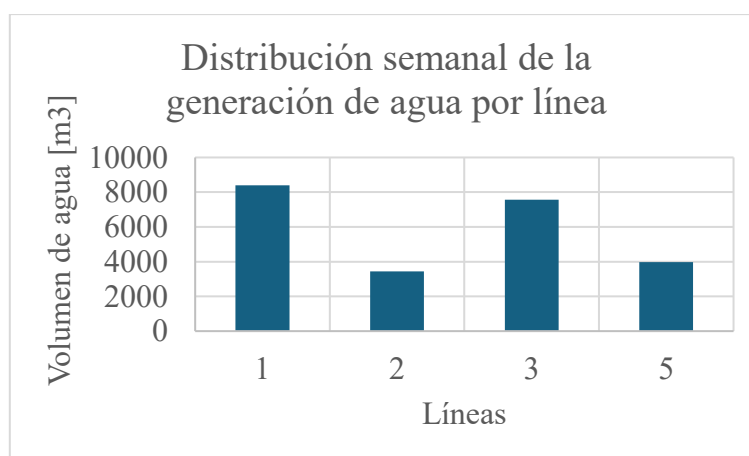


Figura 15 Distribución de la generación por línea durante la semana del año 2024

De la Figura 16 se observa que la generación de aguas residuales no sigue un patrón definido, debido a que la viña trabaja a pedido, es decir, se produce únicamente después de recibir un pedido específico de un cliente. Durante el año 2024, el valor máximo alcanzado es de 160 [m3/día] y un mínimo de 2 [m3/día]. Además de un promedio anual de 64 [m3/día], considerando una operación de lunes a sábado.

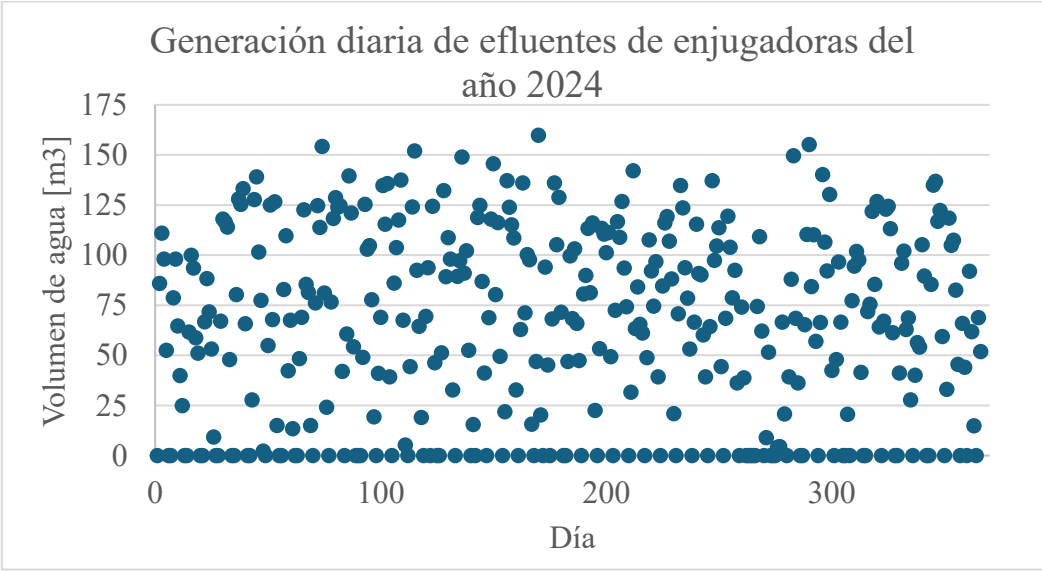


Figura 16 Generación diaria durante el año 2024

Si bien tomando todo el set de datos nos arroja un promedio anual de 64 [m3/día], el diseño se realizará en base al máximo promedio anual obtenible, que será considerando desde el lunes hasta el sábado y reajustando los valores de los consumos nominales dados por la empresa, en base a las horas operativas del año 2024 que se observan en la Tabla 8. Lo que nos arroja un valor de 76,6 [m3/día].

Tabla 8 Caudal nominal ajustado de consumo de agua de líneas de envasado

Líneas de envasado	Caudal ajustado [m3/h]	Horas operativas [h]
Línea 1	2,16	15,8
Línea 2	1,17	12,8
Línea 3	2,1	14,9
Línea 5	1,23	14,6
Total	6,63	58,2

Por último, para el posterior análisis de alternativas de reutilización y propuestas de soluciones técnicas se presentan los criterios de selección de alternativas, siendo estos los expuestos en la Tabla 9:

Tabla 9 Criterios de formulación de alternativas

Nº	Criterios
1	Costo de inversión
2	Mínima interferencia Operacional
3	Uso de mínimo espacio físico
4	Mínima complejidad de prácticas operacionales
5	Impacto de la integración a procesos existentes
6	Seguridad operacional
7	Mínimo nivel de tratamiento (calidad de agua)
8	Mantenimiento
9	Capacidad para tratar todo el flujo de RIL

6. Formulación de alternativas y diseño de los procesos

6.1 Especificación de las oportunidades de reúso (DFP, balance de materiales y descripción del proceso).

Las alternativas de acuerdo con los criterios ya presentados anteriormente se ilustran en la Tabla 10.

Tabla 10 Alternativas de reutilización

Nº	Alternativas
1	Tratamiento y reinyección a la red de enjugadoras
2	Riego de áreas verdes
3	Reúso en enfriamiento de centrifugas
4	Reúso en el primer enjuague de lavado de cubas
5	Reúso a torres de enfriamiento
6	Reúso en retro lavado de filtros

A partir de la caracterización del agua de enjuague y de la identificación de los posibles puntos de consumo dentro de la planta y se definieron seis alternativas de reúso con distinto nivel de demanda, complejidad técnica y requerimientos de calidad:

- N° 1 Tratamiento y reinyección a la red de enjugadoras:

Es una de las alternativas más exigentes referidas a la calidad del agua dado que podría tener un impacto en el producto. Por lo que se requiere de un tratamiento que asegure la inocuidad, la eliminación de contaminantes que puedan afectar a las propiedades organolépticas del producto. Pero los beneficios cuantificables son mayores dado que sería una reducción aproximada de 63 [m³] diarios lo que sería una reducción considerable del uso de agua fresca.

- N° 2 Riego de áreas verdes:

Actualmente no se tiene una estimación concreta del uso de agua para riego de áreas verdes en la planta, si es la alternativa de menor impacto dentro del proceso productivo de la planta, presenta una baja exigencia de tratamiento, ya que se debería priorizar la reducción de sales y eliminación de patógenos, por lo que se presenta como una alternativa de un coste medio-bajo y de fácil implementación.

- N° 3 Reúso en enfriamiento de centrifugas:

Las centrifugas utilizadas en el proceso requieren un sistema de enfriamiento continuo, que actualmente utiliza agua de la red. El reúso en este punto demandaría un nivel intermedio de tratamiento, principalmente enfocado en la eliminación de sólidos y control de la conductividad, para evitar incrustaciones o corrosión. Representa una opción técnica viable y con potencial ahorro energético adicional si se optimiza el circuito cerrado.

- N° 4 Reúso en el primer enjuague de lavado de cubas:

El lavado de cubas se divide en pre-enjuague y enjuague, donde el pre-enjuague es el de menor exigencia en términos de calidad, ya que se destina a la remoción de residuos gruesos. El agua tratada podría utilizarse sin requerir un proceso de purificación avanzado, bastando con una filtración simple y desinfección para evitar contaminación. Esta alternativa es atractiva por su simplicidad y coste medio.

- N° 5 Reúso a torres de enfriamiento:

Representa una demanda estimada de entre un 6 a 15 [m³]. El uso de agua tratada en este punto implicaría un tratamiento moderado, priorizando la filtración y desinfección con control de pH y conductividad. Esta opción combina potencial de ahorro con riesgo técnico controlable, lo que la vuelve una de las alternativas más equilibradas

- N° 6 Reúso en retro lavado de filtros:

El retro lavado de filtros requiere de volúmenes moderados de 6 [m³], pero frecuentes y que actualmente provienen del agua de red. Esta alternativa es relativamente sencilla dado que el tratamiento no requeriría de un tratamiento intensivo, sino que de solamente eliminar sólidos gruesos y contaminantes que obstruyan los lechos filtrantes. Representa una opción de bajo riesgo y rápida aplicación.

6.1.1 Selección de alternativas

En base a los criterios ya formulados, se basa la siguiente selección de alternativas y se evalúa en un rango de mínimo 1 y máximo 10. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11 Evaluación de alternativas

N°	Criterios/Alternativas	1	2	3	4	5	6
1	Costo de inversión	7	10	6	7	7	7
2	Mínima interferencia Operacional	8	10	8	8	7	6
3	Uso de mínimo espacio físico	8	7	6	8	7	8
4	Mínima complejidad de prácticas operacionales	10	10	6	7	7	7
5	Impacto de la integración a procesos existentes	10	1	10	10	10	7
6	Seguridad operacional	9	9	7	8	7	8
7	Mínimo nivel de tratamiento (calidad de agua)	9	10	5	7	5	8
8	Mantenimiento	9	9	7	7	7	8
9	Capacidad para tratar todo el flujo de RIL	10	10	5	10	9	5
		80	76	60	72	66	64

Basado en estos resultados se debe analizar en detalle las alternativas 1 y 2:

Alternativa N° 1:

El tratamiento y reinyección del agua de enjuague a la red de enjuagadoras plantea un desafío de mayor complejidad, pero también con un impacto estratégico considerable en la reducción del consumo de agua potable. Las líneas de embotellado representan un aspecto fundamental del proceso de producción de la viña, ya que garantizan que los productos se envasan de forma segura e higiénica. Esto asegura la calidad del producto final y la seguridad del consumidor. Por lo que, al contemplar el reúso del agua tratada como reinyección a la alimentación de agua de servicio de enjuague, así como al agua de proceso. Se debe tener en consideración el crecimiento biológico y la suciedad que puedan afectar la calidad del producto. La principal fortaleza radica en el potencial de ahorro económico y de recursos como lo es reintegrar este flujo directamente al proceso puede reducir la huella hídrica de la planta mejorando la eficiencia global del sistema productivo

Alternativa N° 2:

El riego de áreas verdes con aguas de enjuague tratadas se presenta como una alternativa práctica y de bajo riesgo. Su aprovechamiento en riego ornamental permite dar valor a un recurso que hoy se desaprovecha, disminuyendo la extracción de agua fresca y alineándose con políticas de sostenibilidad. Entre sus principales fortalezas destacan: la menor exigencia de calidad respecto al uso en proceso, lo que reduce la complejidad y el costo del tratamiento; la simplicidad operativa de las tecnologías la rápida implementación y el bajo riesgo sanitario al destinarse a áreas no productivas ni de contacto directo con el consumidor, lo que convierte a esta alternativa en una solución factible y de impacto ambiental positivo.

En base a lo anterior se decide por la alternativa N° 1, ya que representa un mayor impacto positivo al sistema productivo de la planta.

6.1.2 Diseño del proceso

En función de lo anterior, y para garantizar un diseño adecuado del sistema de tratamiento, es fundamental definir la calidad objetivo del agua a tratar. En este caso, se propone como objetivo alcanzar una calidad equivalente a la del agua que ingresa a las líneas de enjuagado, asegurando así la compatibilidad con el proceso productivo. El diagrama de bloques de la Figura 17 ilustra el proceso de enjuagado de botellas integrando la reutilización de aguas en el área de envasado:

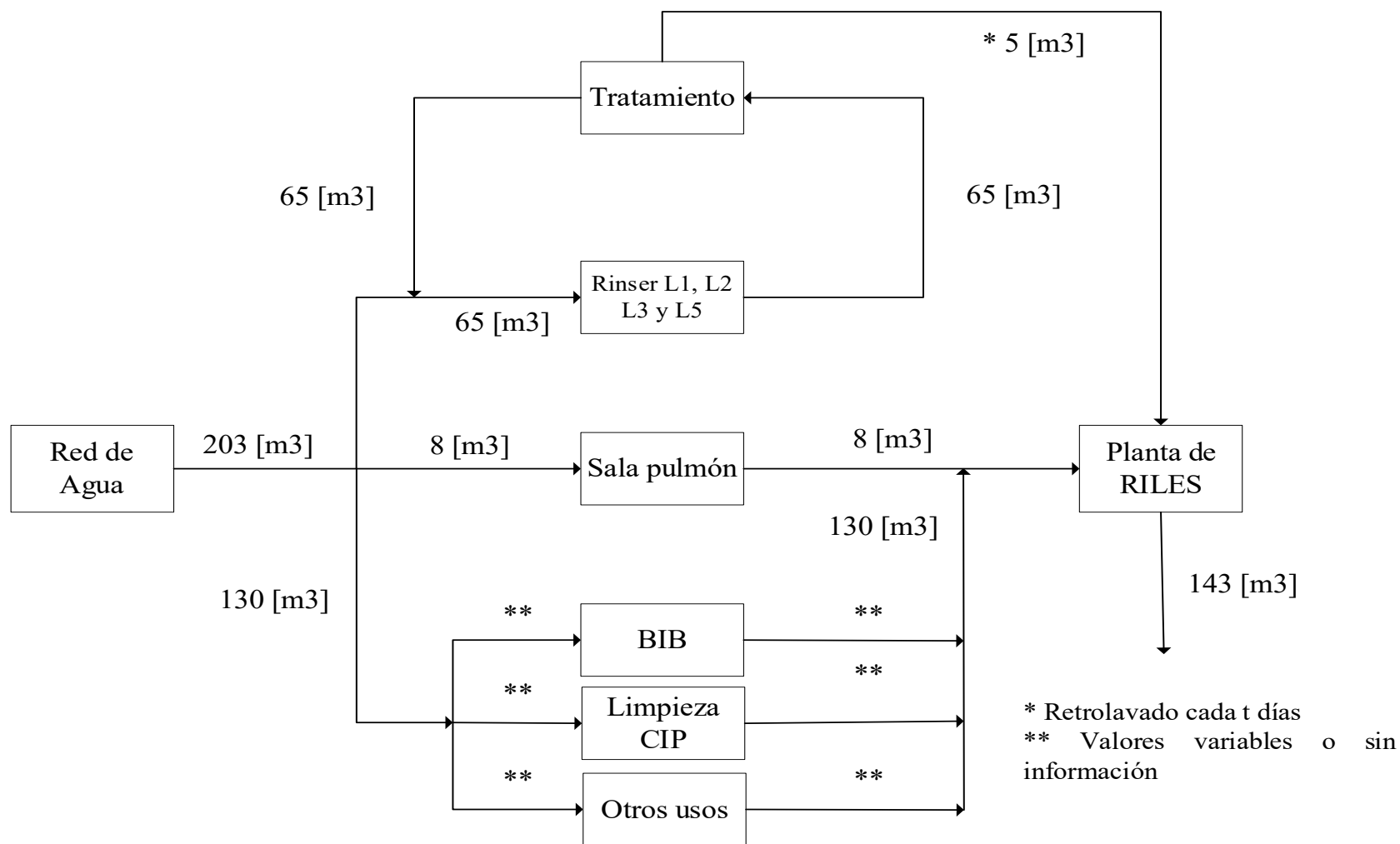


Figura 17 Nuevo diagrama de uso de agua en envasado

Para que el agua pueda ser reingresada a las líneas, se requiere un proceso capaz de reducir sólidos en suspensión, turbidez, DQO, DBO₅, además de garantizar su desinfección. A partir de la caracterización ya realizada sobre el agua en las enjuagadoras, se concluye que el tren de tratamiento más adecuado corresponde a la filtración para remover sólidos suspendidos y turbidez, complementado con un proceso de oxidación y desinfección, que asegure la eliminación de la carga microbiológica, garantizando así una calidad segura y apta para su reintegración al sistema.

El tratamiento propuesto es ilustrado en la Figura 18 y 19. Este inicia con la recepción del agua a tratar en un estanque ecualizador TK-01. Posteriormente, pasa a de un sistema de filtros multimedia (arena y antracita), posteriormente pasa a un filtro de carbón activado en grano (GAC), de forma que se tiene un lecho filtrante capaz de una extracción adecuada y progresiva para la remoción de sólidos, olores, sabores y compuestos orgánicos. Seguido, se pasa a un segundo ecualizador para estabilizar el flujo a la etapa de desinfección por ozono, el cual también actúa como reactor contactor para así asegurar su desinfección antes su inyección a la red de enjuague mediante un segundo estanque de acumulación TK-02. La integración del proceso de tratamiento a las dependencias del área de envasado se ilustra en la Figura 20.

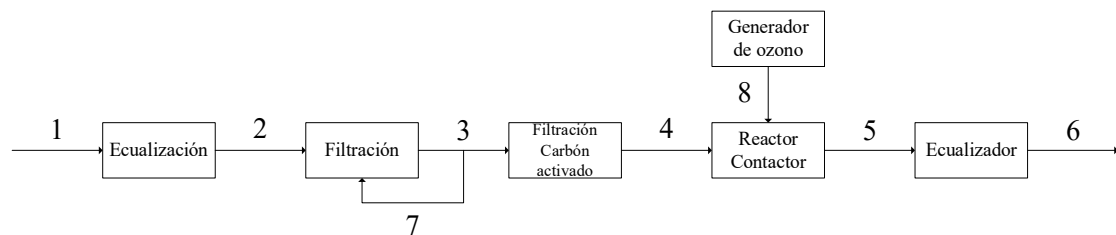


Figura 18 Diagrama de bloques del proceso

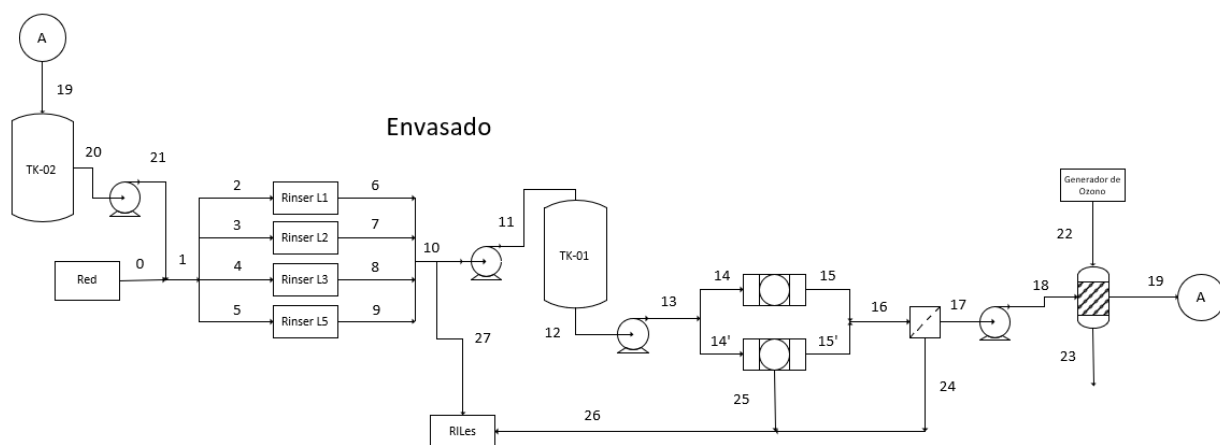


Figura 19 Diagrama de flujo del tratamiento propuesto

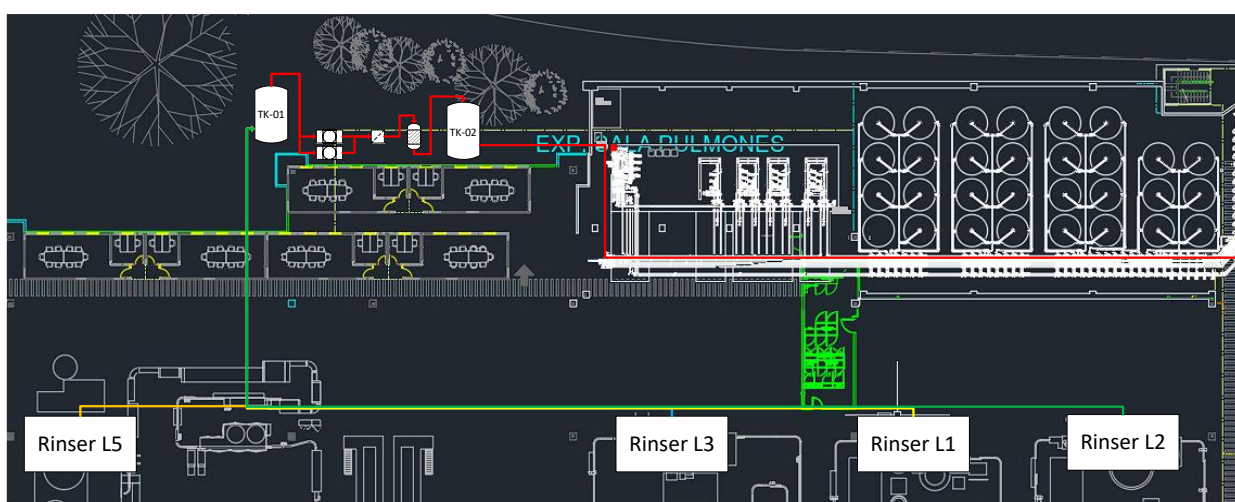


Figura 20 Layout del proceso integrado

Cabe destacar que se requiere de un generador para la producción de ozono, ya que este en concentraciones superiores al 23 % es explosivo y que, a temperatura y presión ambiente, se descompone rápidamente. A diferencia del cloro, no se puede almacenar a presión, sino que debe generarse in situ (Davis, 2011). La generación de este y el proceso de ozonización se explica en el Anexo D.

6.1.7 Balance de materiales

Para el cálculo del balance se considera que las características de la Línea 2 corresponden al valor promedio del resto de líneas. El balance de materiales, basado en el diagrama de flujo del proceso de tratamiento, se presenta en las Tablas 12 y 13.

Tabla 12 Balance de materiales del proceso. Primera parte

Parametro		Red	L1 in	L2 in	L3 in	L5 in	L1 out	L2 out	L3 out	L5 out	Equa 1 in	Equa 1 out
Caudal	Unidades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
Agua												
Temperatura	°C	21,7					21,8		23,1	22		
Densidad	kg/m3	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Flujo Volumétrico	m3/día	76,6	27,5	11,3	24,8	13,0	27,5	11,3	24,8	13,0	76,6	76,6
Flujo Volumétrico	m3/h	6,63	2,16	1,17	2,06	1,23	2,16	1,2	2,1	1,2	6,63	6,63
Flujo Volumétrico	l/h	6627	2161	1173	2058	1235	2161	1173	25000	13000	6627	6627
Flujo masico Total	Kg/h	6627	2161	1173	2058	1235	2161	1173	2058	1235	6627	6627
H2O	kg/h	6626,6	2160,7	1173,0	2056,9	1234,2	2160,8	1173,0	2057,9	1234,7	6626,5	6626,5
DQO	kg/h	0,30	0,10	0,05	1,12	0,59	0,12	0,06	0,12	0,06	0,37	0,37
DBO5	kg/h	0,033	0,14	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,07	0,07
SST	kg/h	0,040	0,01	0,01	0,01	0,01	0,013	0,02	0,04	0,02	0,09	0,09
Turbidez	NTU											
DQO	mg/l	45	45	45	45	45	55	53	60	51	55,5	55,5
DBO5	mg/l	5	5	5	5	5	12	11	10	10	10,8	10,8
SST	mg/l	6	6	6	6	6	6	13	17,5	20	13,4	13,4
Turbidez	NTU	1	1	1	1	1	4,2		2	1,5		

Tabla 13 Balance de materiales del proceso. Continuación

Filtros in	Filtros out	Retrolavado	Filtro CA in	Filtro CA out	Retrolavado	Equa 2 in	Equa 2 out	Reactor C in	Reactor C out	Equa 3 in	Equa 3 out
14	15	26	16	17	25	17	18	19	20	20	21
1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
76,6	76,6	3,8	76,6	76,6	3,8	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6
6,6	6,6	0,3	6,6	6,6	0,3	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6	6,6
6627	6627	331	6627	6627	331	6627	6627	6627	6627	6627	6627
6627	6627	331	6627	6626,98	331	6627	6627	6627	6627	6627	6627
	6626,5	6626,7	330,8	6626,7	6626,86	331,1	6626,9	6626,9	6625,5	6626,2	6626,2
	0,37	0,20	0,32	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	1,20	0,60	0,60
	0,07	0,02	0,09	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,09	0,04	0,04
	0,09	0,02	0,14	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,17	0,17	0,17
	55,5	30,5	25,0	30,5	15,2	15,2	15,2	15,2	7,6	7,6	7,6
	10,5	3,7	6,8	3,7	1,1	2,6	1,1	1,1	1,1	0,6	0,6
	13,4	2,7	10,7	2,7	2,1	0,5	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1

Del balance se obtiene que se logra una calidad superior a la esperada en los parámetros DQO, DBO₅ y SST, ya que se obtienen los siguientes valores:

- DQO: 7,6 [mg/l], mejoría de un 83,1%
- DBO₅: 0,6 [mg/l], mejoría de un 88 %
- SST: 2,1 [mg/l], mejoría de un 65%

6.1.8 Dimensionamiento de equipos

El dimensionamiento de los equipos tiene como objetivo estimar los principales parámetros de diseño principales, que permitan determinar sus costos y estimar la inversión total. Las especificaciones se determinan en función del caudal máximo generado por las enjugadoras, considerando un sobredimensionamiento del 10% como factor de seguridad. En las Tablas

14, 15 y 16 se presentan el dimensionamiento de los equipos principales, mientras que los cálculos respectivos se detallan en el Anexo C.

Tabla 14 Dimensionamiento de estanques

Parámetro	TK-101	TK-102
Altura [m]	3,4	3,4
Diámetro [m]	1,7	1,7
Volumen [m ³]	8	8
Material	Acero inoxidable	Acero inoxidable

Tabla 15 Dimensionamiento de filtros

Parámetro	Filtros de arena	Filtro de carbón activado (GAC)
Altura [m]	1,6	1,53
Diámetro [m]	0,9	1,23
Área [m ²]	0,6	1,2
Tipo de lecho filtrante	Antracita y arena	Carbón activado granular Bituminoso 12 x 40
Tiempo de residencia [min]	5-10	10
Velocidad de filtración [m ³ /m ² h]	12	6,1
Altura de lecho [m]	0,72 (Antracita) 0,36 (Arena)	0,8
Carga [kg]	480 (Antracita) 400 (Arena)	520

Tabla 16 Dimensionamiento reactor contactor

Parámetro	Reactor contactor
Altura [m]	1,5 - 1,8
Diámetro [m]	0,73 - 0,9
Volumen [m ³]	0,61 - 1,21
Tiempo de residencia [min]	5-10
Inyector	Venturi
Concentración de ozono [mg/l]	2,5 - 5
Caudal de operación [m ³ /h]	7,3
Material	Acero inoxidable

7. Evaluación Económica

El presente estudio tiene como objetivo determinar la viabilidad económica de la reutilización de agua efluentes generados en el proceso de enjugado de botellas. Este análisis tiene por objetivo determinar la viabilidad económica del proyecto, considerando los costos de inversión inicial, los costos de operación y mantenimiento y aquellos beneficios producto de la revalorización de recursos hídricos.

7.1 Bases de evaluación

- Moneda

El proyecto, al ser nacional se decide trabajar la evaluación económica en pesos chilenos (CLP). Por lo que todos valores de CAPEX y OPEX serán determinados en dicha moneda.

- Periodo de evaluación

El horizonte de evaluación es de 10 años, esto basado en la vida útil de los equipos más importante, el reactor contactor y el generador de ozono.

- Tasa de descuento

La tasa de descuento utilizada será de un 12%, debido a que el proyecto no genera ingresos directos sino ahorros y beneficios ambientales, esto sumado a la ausencia de normativa específica es que se percibe un riesgo mayor para este proyecto, ya que las condiciones regulatorias pueden cambiar y por lo tanto requerir de reinversiones.

- Evaluación diferencial

La evaluación económica se basará en la evaluación diferencial. La cual es una técnica que examina los cambios en el coste total y los ingresos mediante el análisis de las alternativas propuestas. Estos cambios pueden comprender un aumento o una disminución del coste de elementos cruciales que afectan la toma de decisiones. Esta se detalla en la Tabla 17 respecto del CAPEX y OPEX del estado actual de la planta y con la implementación del proyecto.

Se destacan también, las siguientes consideraciones para el análisis:

- Error de la inversión de $\pm 40\%$.

- No se consideran variaciones de los costos unitarios de los servicios en el tiempo.
- Se considera depreciación lineal de activos.
- Se estima la mantención en 5% del CAPEX.
- El coste de la potabilización de agua de la planta es de 174 [CLP/m³].
- Los indicadores utilizados para la evaluación son: VAN, TIR y el Payback (Ver Anexo E).

Tabla 17 Evaluación diferencial

	Sin Proyecto	Con Proyecto	Neto
CAPEX	\$ -	\$ 43.009.000	\$ -43.009.000
OPEX	\$ 46.458.898	\$ 18.337.798	\$ 28.121.100

Se considera que el proyecto no genera ingresos directos, sino que su operación se traduce en ahorros por disminución de consumo de agua fresca y por reducción en la generación y disposición de RIL. Estos se contabilizan como beneficios económicos equivalentes a ingresos en el flujo de caja proyectado, además de un valor ambiental agregado como lo es la reducción de la Huella hídrica.

Dado que el proyecto es de sustentabilidad, un beneficio percibido por el proyecto es el impacto que tiene al KPI asociado al uso de agua industrial en la Planta, el cual se expresa como:

$$KPI_{agua} = \frac{\text{consumo total de agua [hl]}}{\text{vino producido [hl]}} \quad (1)$$

Considerando un ahorro potencial máximo de 23.387 [m³] al año, producto implementación del sistema de reutilización de agua, se recalcula el KPI de agua correspondiente al año 2024 en base al ahorro posible se tiene que:

$$KPI_{agua} = \frac{2.355.590[hl]}{1.557.167 [hl]} = 1,51$$

$$KPI_{agua} = \frac{2.355.590 - 233.870 [hl]}{1.557.167 [hl]} = 1,36$$

Por lo que se logra una reducción de 0,15 puntos, lo que equivale a un 9,9 % reflejando un impacto positivo y considerable en la gestión y eficiencia del uso de agua en la planta.

7.2 Estimación de CAPEX

El costo capital (CAPEX) es el gasto que realiza una empresa en activos fijos o bienes de capital que poseen una vida útil de largo plazo. Para el presente análisis no se considera inversión en el terreno, dado que el proyecto se instalará dentro de las dependencias de la planta. Para el cálculo de depreciación de los activos fijos, se utiliza la información de vida útil entregada por el Servicio de Impuesto Internos.

Para el presente estudio se consideran los siguientes gastos presentados en la Tabla 18:

Tabla 18 CAPEX del proyecto

Activos	Cantidad	Costo por unidad	Costo total	Vida útil [años]
Filtro Arena	2	\$ 2.142.000	\$ 4.284.000	15
Filtro CA	1	\$ 2.380.000	\$ 2.380.000	15
Tanque de almacenamiento	2	\$10.710.000	\$ 21.420.000	10
Reactor	1	\$ 4.760.000	\$ 4.760.000	10
Gen. Ozono	1	\$ 1.487.500	\$ 1.487.500	15
Bombas 1 HP	8	297.000	\$ 2.380.000	15
Instrumentación	-	-	\$ 3.000.000	10
Piping	200 (m)	\$ 15.000	\$ 2.625.000	10
Inversión total			\$ 43.009.000	

7.3 Estimación de OPEX

Los costos de operación (OPEX) corresponden a los gastos que incurre una empresa durante las operaciones diarias para mantener el negocio funcionando. Son gastos recurrentes y se contabilizan en el periodo que ocurren. En el presente proyecto se consideran los siguientes puntos para el cálculo del OPEX.

- Los gastos de mantenimiento e instrumentación tendrán un monto equivalente de 10% del CAPEX. (Peters & Timmerhaus, 1991)
- Energía eléctrica

En la Tabla 19 se presenta el resumen del OPEX considerando el desglose del estado actual de la planta y los costos asociado del proyecto.

Tabla 19 Comparativa del OPEX

	Sin Proyecto	Con Proyecto	Neto
OPEX	\$ 46.458.898	\$ 18.337.798	\$ 28.121.100
Energía Eléctrica	\$ 7.558.128	\$ 16.187.348	\$ -8.629.220
Cloración	\$ 28.120.770	\$ -	\$ 28.120.770
Mantención	\$ 10.780.000	\$ 2.150.450	\$ 8.628.550

Los detalles de lo anterior se explican a continuación:

El OPEX sin proyecto contempla los costos asociados a la cloración realizada por la empresa Diversey que presta servicios a VSPT y la impulsión y mantención de la planta de aguas. Cuyos valores respectivos durante el periodo 2024 fueron: 28.120.770 [CLP], 7.558.128 [CLP] y 10.780.000 [CLP], que corresponden a los mostrados en el desglose de la tabla anterior.

El servicio necesario para el funcionamiento del proceso y los equipos es la energía eléctrica. Para el caso de la planta en Molina se tiene más de un tipo de suministro eléctrico como lo son los grupos electrógenos, la empresa Colbún S.A, la autogenerada por los paneles fotovoltaicos de piso y techo y la inyectada por Bio-E. El área de suministros y servicios de la planta entrega los siguientes valores promediados durante el año 2024 para cada uno de estos:

- Bio-E: 71[CLP/kW]
- Colbún S.A: 129 [CLP/kW]
- Paneles Fotovoltaicos: 66 [CLP/kW]
- Grupos electrógenos: 273 [CLP/kW]

El consumo anual estimado para el tratamiento propuesto es de 120.129 [kW] y se pondrá como caso base la utilización de un valor promedio del costo de la energía generada por la planta, decir un valor de 135 [CLP/kW]. En la Tabla 20 se presentan los valores asociados a los costos de la operación del proyecto a implementar.

Tabla 20 Costos asociados al tratamiento

Costos	Valor [\$]
Energía eléctrica	\$ 16.187.348
Mantenición	\$ 2.150.450
Costos totales	\$ 18.377.798

7.4 Flujo de caja y evaluación de indicadores

Considerando las bases de la evaluación se realiza el flujo de caja, donde la inversión inicial corresponde al CAPEX del proyecto y la utilidad o el ahorro corresponderá al estimado por la evaluación diferencial. Cabe destacar que los valores estimados en prefactibilidad suelen presentar incertidumbre, especialmente en los costos de inversión. Por esta razón se aplica un análisis de sensibilidad al flujo de caja analizando tres escenarios:

1. Caso base: se analizan los valores estimados para el proyecto.
2. Caso optimista: se analiza una disminución del 30% del CAPEX.
3. Caso pesimista: se analiza un aumento del 30% del CAPEX.

Los escenarios propuestos se detallan a continuación en las Tablas 21, 22 y 23.

Tabla 21 Flujo de caja caso base

[illegible]

Tabla 22 Flujo de caja -30% de CAPEX

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ -30.106.300										
Ingresos por ahorros											
Utilidad		\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100
Depreciación		\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933
Utilidad Antes de Impuestos	\$ -30.106.300	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166
Base Imponible		\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166
Impuesto (27%)		\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915
Utilidad Después de Impuestos	\$ -30.106.300	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251
Pérdida del Ejercicio Anterior											
Valor Libro											
Depreciación		\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933
Inversión en Capital de Trabajo	\$ -30.106.300										
Flujo de Caja	\$ -30.106.300	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185
Flujo de Caja Neto	\$ -30.106.300	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185

Tabla 23 Flujo de caja +30% CAPEX

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ -55.911.700										
Ingresos por ahorros											
Utilidad		\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100	\$ 28.121.100
Depreciación		\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933	\$ -3.939.933
Utilidad Antes de Impuestos	\$ -55.911.700	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166
Base Imponible		\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166	\$ 24.181.166
Impuesto (27%)		\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915	\$ -6.528.915
Utilidad Después de Impuestos	\$ -55.911.700	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251	\$ 17.652.251
Pérdida del Ejercicio Anterior											
Valor Libro											
Depreciación		\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933	\$ 3.939.933
Inversión en Capital de Trabajo	\$ -55.911.700										
Flujo de Caja	\$ -55.911.700	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185
Flujo de Caja Neto	\$ -55.911.700	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185	\$ 21.592.185

Finalmente se tiene la Tabla 24 donde se muestra la comparación de los indicadores para los casos propuestos.

Tabla 24 Resultados de los indicadores económicos

Indicador/Caso	-30% CAPEX	Base	+30% CAPEX
VAN	\$ 91.894.360	\$ 78.991.660	\$66.088.960
TIR	71%	49%	37%
Payback	1,6	2,4	3,3

7.5 Resultados de la evaluación

De la información de la Tabla 24, se concluye que el proyecto se mantiene económicamente rentable en los tres escenarios. Se destaca que para el caso optimista los indicadores sufrieron una mejoría considerable donde la TIR aumento un 22% logrando, un VAN de 91.894.360 [CLP], lo equivale a un aumento del 16% y un retorno menor de solo un año y siete meses, con una disminución aproximada de unos 12.902.700 [CLP] del CAPEX. Mientras que el caso pesimista que es un aumento de 12.902.700 [CLP] de la inversión genera una disminución general en los indicadores donde la TIR se reduce en un 12% y el VAN pasa a ser 66.088.960 [CLP], así como aumentando el tiempo de retorno a tres años y cuatro meses aproximadamente. Por lo que la propuesta del proyecto se traduce como una alternativa atractiva y muy rentable económicamente.

8. Conclusiones y recomendaciones

Se concluye que el proyecto es técnica y económicamente viable, ya que el tratamiento no solo cumple con el objetivo de calidad de agua de 45 [mg/l] de DQO, 5 [mg/l] de DBO₅, 6 [mg/l] de SST y una turbidez de 1 [NTU], sino que logra una calidad superior a la esperada. Desde el punto de vista económico, considerando un CAPEX estimado de 43.009.000 [CLP] y un OPEX de 18.337.798 [CLP] el proyecto resulta factible económicamente con un VAN a 10 años de 79.991.660 [CLP], un TIR de 49% y un Payback de 2,4 [años],

En función de esta caracterización se seleccionaron tecnologías de tratamiento fisicoquímicas siendo estas: filtración, adsorción por carbón activado granular y desinfección con ozono. Lo que permite alcanzar valores de DQO: 7,6 [mg/l], DBO₅: 0,6 [mg/l] y SST: 2,1 [mg/l], lo que se traduce en una mejora promedio del 78% respecto de los objetivos de diseño.

De acuerdo con la revisión normativa y regulatoria, Chile carece de una regulación específica para la reutilización el reúso de aguas industriales en usos industriales, pero el tratamiento propuesto permite asegurar que la calidad del agua cumpla con criterios de inocuidad y seguridad.

El análisis económico demostró que el reúso del agua tratada genera ahorros significativos, al reducir el consumo de agua fresca por 28.121.100 [CLP] al año. Por lo que se presenta una alta rentabilidad consolidándose, así como una alternativa sustentable y financieramente conveniente.

Se recomienda:

- Evaluar alternativas que reduzcan el CAPEX, en específico la utilización de otro tipo de filtro dada la baja carga de sólidos en el efluente de las enjugadoras.
- Analizar la reutilización del agua tratada en las torres de enfriamiento como aplicación complementaria.
- Extender el estudio a el análisis de reúso de aguas al enjuague CIP de las líneas.

Bibliografía

- A. Hernández García, H., Buitrón Méndez, G., M. Lopez-Vazquez, C., & J. Cervantes Carrillo, F. (Eds.). (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780409146>
- Acceptability aspects: Taste, odour and appearance. (2022). En *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda [Internet]*. World Health Organization. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK579463/>
- American Water Works Association. (2005). *Water Treatment Plant Design, 4th Edition*. <https://pdfcoffee.com/water-treatment-plant-design-4th-edition-pdf-free.html>
- ANSI/AWWA B100-16. (2016). American Water Works Association. <https://doi.org/10.12999/AWWA.B100.09>
- Aqueduct Water Risk Atlas*. (2025). https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas/#/?advanced=false&basemap=hydro&geoStore=0103742d088cc8b722ac444ed9163f79&indicator=bws_cat&lat=-37.46090983104529&lng=-61.59377038478852&mapMode=view&month=1&opacity=0.5&ponderation=DEF&predefined=false&projection=absolute&scenario=optimistic&scope=basins&threshold=0&timeScale=annual&year=baseline&zoom=4
- Arias, A. N. A., Calle, J. R., Villaseñor, E. A., & Hernández, J. A. (2012). *REMOCIÓN FOTOCATALÍTICA DE DQO, DBO5 Y COT DE EFLUENTES DE LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA*.
- Brito, A. G., Peixoto, J., Oliveira, J. M., Oliveira, J. A., Costa, C., Nogueira, R., & Rodrigues, A. (2007). Brewery and Winery Wastewater Treatment: Some Focal Points of Design and Operation. En V. Oreopoulou & W. Russ (Eds.), *Utilization of By-Products and Treatment of Waste in the Food Industry* (pp. 109-131). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-35766-9_7
- Carbotecnia. (2023, diciembre 15). Tamaño de partícula adecuado para el carbón activado. *Carbotecnia*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/carbon-activado/tamano-particula/>
- Cheremisinoff, N. (2002). *HANDBOOK OF WATER AND WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES*. Butterworth-Heinemann. https://www.abpsoil.com/images/Books/Handbook_of_Water_and_Wastewater.pdf

- Davis, M. L. (with Internet Archive). (2011). *Water and wastewater engineering Design principles and practice*. New York : McGraw-Hill.
<http://archive.org/details/waterwastewatere0000davi>
- Domínguez, E. D., Martínez, L. R., & Morales, J. L. G. (2021). *EVALUACIÓN DE TRATAMIENTOS DE DESINFECCIÓN BACTERIANA DE AGUAS DE LASTRE BASADOS EN EL OZONO*.
- Espinosa, T. M., & González, V. (2009). *Factibilidad de la implementación de desinfección por ozono para la potabilización del agua en la planta de tratamiento potabilizadora Dr. Alejo Zuloaga de la ciudad de Valencia, estado Carabobo*.
- Folleto informativo de tecnología de aguas residuales *Desinfección con ozono*. (1999). EPA.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/cs-99-063.pdf>
- Gheraout, D. (2018, octubre 2). *Disinfection and DBPs Removal in Drinking Water Treatment: A Perspective for a Green Technology*.
https://www.researchgate.net/publication/322865206_Disinfection_and_DBPs_Removal_in_Drinking_Water_Treatment_A_Perspective_for_a_Green_Technology?enrichId=rgreq-bf98a85e64a987de02ec0d06f24d5009-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMjg2NTIwNjBUzo2ODgwOTc3ODg0NDAlNzZAMTU0MTA2NjcwNTAxMQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
- ILO. (2018). *ICSC 0068—OZONO*. International Chemical Safety Cards.
https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=0068&p_version=2&p_lang=es
- La Importancia de Clasificar y Tratar Aguas Residuales de Forma Correcta – Isa*. (2024).
<https://isa.ec/la-importancia-de-clasificar-y-tratar-aguas-residuales-de-forma-correcta/>
- Matos, C., Castro, M., Baptista, J., Valente, A., & Briga-Sá, A. (2024). The use of water in wineries: A review. *Science of The Total Environment*, 951, 175198.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175198>
- Metcalf & Eddy I AECOM. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment And Resource Recovery*.
<https://vdoc.pub/documents/wastewater-engineering-treatment-and-resource-recovery-46s131hefgq0>
- METCALF & EDDY, INC. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES TRATAMIENTO, VERTIDO Y REUTILIZACION (TERCERA EDICION)* (McGRAW HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A.).

- Ministerio de Salud. (1994, diciembre 23). *NCh410 Calidad de Agua—Vocabulario*.
<https://es.scribd.com/document/259957142/NCh410-1996-Calidad-de-Agua-Vocabulario>
- Ochoa, E. P. (2005, mayo 13). *Diseño de un tren de potabilización para una planta generadora de agua embotellada*. https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/ponce_o_e/
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers*. (4th ed.). McGraw-Hill Professional.
- SII | Servicio de Impuestos Internos. (2003).
https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html
- VSPT Wine Group. (2025). *Memoria anual VSPT Wine Group 2024*.
<https://www.vsptinvestor.com/wp/wp-content/uploads/2025/04/VSPT-MEMORIA-ANUAL-2024.pdf>
- Wine Australia. (2025). *Winery Wastewater Management & Recycling Key principles for wineries*.
<https://www.wineaustralia.com/getmedia/35b1f4b8-e574-400c-b573-0593003f0aa7/FS-2-Key-Principles-Wineries.pdf>
- zonosistem. (s. f.). *HIDRO VT GZO40-EPS Planta de Ozono Profesional. V2*. INGENIERÍA DEL OZONO, S.L.U. Recuperado 9 de octubre de 2025, de
<https://www.zonosistem.com/shop/product/fahvtgzo-0004-hidro-vt-gzo40-eps-planta-de-ozono-profesional-v2-4571>
- Girosalut. (2024). *LOS 3 PILARES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE*. Obtenido de Girosalut Web site: <https://girosalut.org/los-3-pilares-del-desarrollo-sostenible/>
- INN. (1996). *NCh 410.OF96. Calidad del agua - Vocabulario*. Obtenido de Biblioteca digital USM:
<https://pdfabb2af7fa252f5dfdd7d33b8bae7c4.nubereader-pdfs.odilo.us/#/162ef76d239d4b509a0de17e63652e52/1e609863832b1f853378d67414a5c232b2119ac90907234d9bdb78e48da47b3e>
- INN. (1999). *Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. NCh 1333*. Obtenido de INN Web site: https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf
- MUTUAL. (2020). *Residuos Industriales Líquidos*. Obtenido de MUTUAL Web site: <https://www.mutual.cl/portal/wcm/connect/fa2a4392-92c9-4ce5-bbfd-0b5fda7a7ad6/107300194.pdf?MOD=AJPERES>
- ODEPA. (2021). *Agua para la agricultura*. Obtenido de ODEPA Web site: <https://www.odepa.gob.cl/sustentabilidad/agricultura-sustentable/agua#1647291899001-2904d7d2-43a5>

- ONU. (2012). *Asamblea General de las Naciones Unidas: Desarrollo sostenible*. Obtenido de ONU Web site: <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- ONU. (2019). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Obtenido de ONU web site: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- VSPT Wine Group. (2024). *Portafolio San Pedro*. Obtenido de VSPT Wine Group Web site: <https://vsptwinegroup.com/portafolio/san-pedro/>

Anexos

Anexo A: Definiciones, clasificación y tratamientos de aguas residuales

A.1 Definición y clasificación de aguas residuales

En Chile las aguas residuales se definen como aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para ese proceso (Ministerio de Salud, 1994). Estas principalmente se clasifican según su origen, pudiendo ser domésticas, industriales, agrícolas o pluviales.

- **Aguas Domésticas:** Estas comprenden las aguas negras, que provienen de inodoros y urinarios, y las aguas grises, que resultan del uso de lavamanos, duchas, lavaplatos y actividades como la preparación de alimentos (*La Importancia de Clasificar y Tratar Aguas Residuales de Forma Correcta – Isa, 2024*). Las aguas negras suelen contener altos niveles de materia orgánica (carbohidratos, urea, azúcares, grasas, proteínas, etc.) y patógenos como bacterias (*Salmonella*, coliformes) y parásitos (*Giardia*, *Cryptosporidium*). Por otro lado, las aguas grises contienen sustancias tensoactivas, aceites y restos de alimentos.
- **Aguas Industriales:** Cualquier agua usada para, o durante, un proceso industrial. Debido a la diversidad de procesos productivos, las aguas industriales pueden contener sustancias químicas complejas, patógenos o características físicas específicas que requieren una evaluación particular (Ministerio de Salud, 1994). Los residuos líquidos industriales o RILes, son aquellas aguas de desecho generadas como resultado de un proceso, actividad o servicio dado. Se considera que un RIL es contaminante, cuando contiene elementos físicos, compuestos químicos o especies biológicas fuera de los rangos establecidos por la legislación vigente. La composición de los Residuos líquidos industriales o RILes es variada y tiende a ser específica para cada tipo de industria u actividad. (MUTUAL, 2020).
- **Aguas agrícolas:** Aguas generadas por actividades de riego, manejo de estiércoles y procesos agroindustriales.
- **Aguas pluviales:** Agua de lluvia que se convierte en escorrentía y recoge contaminantes al desplazarse por superficies impermeables, carreteras y zonas urbanas.

A.2 Tipos de contaminación en aguas residuales

Se tiene la siguiente clasificación de posibles contaminantes en base a las características presentes en aguas residuales.

- Contaminación física

Se trata de partículas sólidas suspendidas en el agua, las cuales pueden afectar su claridad, color y aspecto general. Se caracteriza mediante:

1. Tipos de sólidos
 - i. Totales.
 - ii. Volátiles.
 - iii. No volátiles.
 - iv. Suspendidos.
 - v. Disueltos.
2. Temperatura: La temperatura de las aguas residuales suele ser más alta que la del suministro de agua local debido a la adición de agua caliente procedente de los hogares y las actividades industriales (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).
3. Color: Se refiere a la antigüedad de las aguas residuales, que se determina cualitativamente por su color y olor. Las aguas residuales frescas suelen ser de color marrón grisáceo claro. Sin embargo, a medida que aumenta el tiempo de recorrido en el sistema de recogida y se desarrollan más condiciones anaeróbicas, el color de las aguas residuales cambia secuencialmente de gris a gris oscuro y, finalmente, a negro (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).
4. Turbidez: Es una medida de las propiedades de dispersión de la luz de una solución que contiene partículas en suspensión y coloidales (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).
5. Olor: Los olores en las aguas residuales domésticas suelen estar causados por gases producidos por la descomposición de materia orgánica o por sustancias añadidas a las aguas residuales. Las aguas residuales frescas tienen un olor característico menos desagradable que el de las aguas residuales que han sufrido una descomposición anaeróbica (sin oxígeno). El olor más característico de las aguas residuales estancadas o sépticas es el del sulfuro de hidrógeno (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).

6. Sabor: El sabor y el olor pueden provenir de contaminantes químicos inorgánicos y orgánicos naturales y de fuentes o procesos biológicos (por ejemplo, microorganismos acuáticos), de la contaminación por productos químicos sintéticos, de la corrosión o como resultado de problemas con el tratamiento del agua (por ejemplo, la cloración). El sabor y el olor también pueden desarrollarse durante el almacenamiento y la distribución como resultado de la actividad microbiana («Acceptability Aspects», 2022).
 7. Conductividad: la conductividad eléctrica del agua es una medida de su capacidad para conducir la corriente eléctrica. Dado que la corriente eléctrica es transportada por los iones en solución, la conductividad aumenta a medida que aumenta la concentración de iones (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).
- Contaminación química

Sustancias que no se encuentran de forma natural en el agua y que pueden tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Entre ellas se incluyen productos químicos tóxicos, pesticidas, fertilizantes, metales pesados, sales y minerales (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013). Se caracteriza mediante:

1. Compuestos Orgánicos: Suelen estar compuestos por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, junto con nitrógeno en algunos casos, pero también existen fuentes para moléculas orgánicas sintéticas como lo son los medicamentos no utilizados, productos de cuidado personal, productos de limpieza y mantenimiento del hogar. (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)

Entre estos contaminantes se encuentran: proteínas, grasas, carbohidratos, compuestos tóxicos, surfactantes, etc.

2. Compuestos Inorgánicos: Tanto las fuentes de los componentes inorgánicos no metálicos como metálicos en las aguas residuales provienen de los niveles de fondo en el suministro de agua, los vertidos de actividades comerciales e industriales, productos como agentes de limpieza y productos de cuidado personal, y la infiltración de aguas subterráneas (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).

Entre estos contaminantes se encuentran: Cianuro, Arsénico, Cloruros, metales pesados, Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo), Compuestos azufrados (H_2S), etc.

- Contaminación biológica

Las características biológicas de las aguas residuales son de importancia fundamental en el control de enfermedades causadas por organismos patógenos. Suele ser contaminación de origen orgánico u organismos vivos como las bacterias, virus, algas, hongos y parásitos que pueden encontrarse presentes en fuentes de agua que hayan estado en contacto con desechos animales o humanos. Estos contaminantes pueden causar graves problemas de salud, como enfermedades gastrointestinales, infecciones cutáneas y enfermedades respiratorias (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).

A.3 Estudios de tratabilidad

Estos corresponden a pruebas específicas que proporcionan información detallada acerca de la eficiencia de los tratamientos evaluados, así como orientar en la selección del método de tratamiento más adecuado. En las Tablas 25 y 26 se presentan los análisis y estudios más comunes empleados para determinar y cuantificar la presencia de contaminantes presentes en las aguas residuales. Los resultados obtenidos de estos estudios de tratabilidad permiten:

- Diseñar una planta de tratamiento determinando la secuencia de operaciones unitarias más adecuada.
- Evaluar la eficiencia del tratamiento aplicado.
- Implementar cambios tecnológicos o mejoras procesos existentes.
- Asegurar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Tabla 25 Análisis comunes para evaluar los componentes contaminantes en aguas residuales, primera parte. (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)

Test ^b	Abbreviation/ definition	Use or significance of test results
Physical characteristics		
Total solids	TS	To assess the reuse potential of a wastewater and to determine the most suitable type of operations and processes for its treatment
Total volatile solids	TVS	
Total fixed solids	TFS	
Total suspended solids	TSS	
Volatile suspended solids	VSS	
Fixed suspended solids	FSS	
Total dissolved solids	TDS (TS – TSS)	
Volatile dissolved solids	VDS	
Total fixed dissolved solids	FDS	
Settleable solids		To determine those solids that will settle by gravity in a specified time period
Particle size distribution	PSD	To assess the performance of treatment processes
Turbidity	NTU ^c	Used to assess the quality of treated wastewater
Color	Light brown, gray, black	To assess the condition of wastewater (fresh or septic)
Transmittance	% T	Used to assess the suitability of treated effluent for UV disinfection
Odor	TON ^d	To determine if odors will be a problem
Temperature	°C or °F	Important in the design and operation of biological processes in treatment facilities
Density	ρ	
Conductivity	EC	Used to assess the suitability of treated effluent for agricultural applications
Inorganic chemical characteristics		
Free ammonia	NH ₄ ⁺	Used as a measure of the nutrients present and the degree of decomposition in the wastewater; the oxidized forms can be taken as a measure of the degree of oxidation
Organic nitrogen	Org N	
Total Kjeldahl nitrogen	TKN (Org N + NH ₄ ⁺ -N)	
Nitrites	NO ₂ ⁻	
Nitrates	NO ₃ ⁻	
Total nitrogen	TN	
Inorganic phosphorus	Inorg P	
Total phosphorus	TP	
Organic phosphorus	Org P	

(continued)

Tabla 26 Análisis comunes para evaluar los componentes contaminantes en aguas residuales, segunda parte

Test ^b	Abbreviation/ definition	Use or significance of test results
Inorganic chemical characteristics (continued)		
pH	$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$	A measure of the acidity or basicity of an aqueous solution
Alkalinity	$\Sigma \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{OH}^- - \text{H}^+$	A measure of the buffering capacity of the wastewater
Chloride	Cl^-	To assess the suitability of wastewater for agricultural reuse
Sulfate	SO_4^{2-}	To assess the potential for the formation of odors and may impact the treatability of the waste sludge
Metals	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Na, Zn	To assess the suitability of the wastewater for reuse and for toxicity effects in treatment. Trace amounts of metals are important in biological treatment
Specific inorganic elements and compounds		To assess presence or absence of a specific constituent
Various gases	$\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{NH}_3, \text{H}_2\text{S}, \text{CH}_4$	The presence or absence of specific gases
Organic chemical characteristics		
Five-day carbonaceous biochemical oxygen demand	CBOD_5	A measure of the amount of oxygen required to stabilize a waste biologically
Ultimate carbonaceous biochemical oxygen demand	UBOD (also $\text{BOD}_u, \text{BOD}_l$)	A measure of the amount of oxygen required to stabilize a waste biologically
Nitrogenous oxygen demand	NOD	A measure of the amount of oxygen required to oxidize biologically the nitrogen in the wastewater to nitrate
Chemical oxygen demand	COD	Often used as a substitute for the BOD test
Total organic carbon	TOC	Often used as a substitute for the BOD test
Specific organic compounds and classes of compounds	MBAS ^e , CTAS ^f	To determine presence of specific organic compounds and to assess whether special design measures will be needed for removal
Biological characteristics		
Coliform organisms	MPN (most probable number)	To assess presence of pathogenic bacteria and effectiveness of disinfection process
Specific microorganisms	Bacteria, protozoa, helminths, viruses	To assess presence of specific organisms in connection with plant operation and for reuse
Toxicity	TU_a and TU_c	Toxic unit acute, Toxic unit chronic

A.4 Procesos de tratamiento de aguas

Para el diseño de una planta de tratamiento es fundamental considerar las características particulares del afluente, ya que una estimación incorrecta puede impedir que la planta cumpla eficazmente con su función. Adicionalmente, para la selección de las alternativas de tratamiento más adecuadas se debe considerar:

- Caudal a tratar.
- Calidad de agua requerida.
- Costo y disponibilidad de las tecnologías.
- Cumplimiento de la legislación y normativas de calidad vigentes.
- Evaluación económica: Costo / Beneficio.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales suelen integrar procesos físicos, químicos y biológicos para remover los contaminantes presentes en el afluente, posibilitando tanto la reutilización segura del agua como su descarga responsable al medio ambiente responsable.

A.5 Operaciones unitarias

Aquellos métodos de tratamientos en los que la aplicación de fuerzas físicas predomina se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos de tratamiento en los que la eliminación de contaminantes se realiza mediante reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013). Ambos métodos se combinan para proveer varios niveles de tratamiento, clasificados de la siguiente manera:

- **Pretratamiento:** Permite eliminar componentes de aguas residuales tales como ramas, piedras, arena, aceites y grasas, que pueden causar problemas de mantenimiento o con los procesos operacionales y auxiliares de tratamientos.
- **Tratamiento Primario:** Eliminación de una porción de sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual.
 - **Avanzado primario:** Mejora la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica de las aguas residuales, normalmente se logra mediante adición química o filtración.
- **Tratamiento Secundario:** Eliminación de cargas orgánicas en solución o suspensión, mediante procesos biológicos.
 - **Secundario con remoción de nutrientes:** Eliminación de orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno, fosforo o ambos).
- **Tratamiento Terciario:** Eliminación de sólidos suspendidos residuales generalmente por filtración en medio granular. La desinfección es típicamente parte del tratamiento terciario.
- **Tratamiento Avanzado:** Eliminación de materiales suspendidos y disueltos remanentes después del tratamiento biológico normal cuando es necesario para diversas aplicaciones de reutilización de agua.

Si bien las composiciones y contaminantes de las aguas residuales son variables, existen procesos típicos para su tratamiento. En las Tablas 27 y 28 se presenta información sobre

operaciones o procesos unitarios en función del contaminante presente en las aguas residuales.

Tabla 27 Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover componentes encontrados en aguas residuales (METCALF & EDDY, INC., 1995)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento	Véase Capítulo
Sólidos en suspensión	Desbaste y dilaceración	6, 9
	Desarenado	6, 9
	Sedimentación	6, 9
	Filtración	6, 9
	Flotación	6, 9
	Adición de polímeros	7, 9
	Coagulación/sedimentación	7, 9
	Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno)	13
Materia orgánica biodegradable	Variantes de fangos activados	8, 10
	Película fija: filtros percoladores	8, 10
	Película fija: biodiscos (RBC)	8, 10
	Variantes del lagunaje	8, 10, 14
	Filtración intermitente en arena	6, 14
	Sistemas físico-químicos	7, 9
Compuestos orgánicos volátiles	Sistemas naturales	13
	Arrastre por aire	6
	Tratamiento de gases	9
Patógenos	Adsorción en carbón	7, 11
	Cloración	7, 9
	Hipocloración	7
	Cloruro de bromo	7
	Ozonación	7
	Radiación UV	7
Nutrientes: Nitrógeno	Sistemas naturales	13
	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y desnitrificación	11
	Variantes de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación	11
	Arrastre de amoníaco	11
	Intercambio iónico	11
	Cloración al breakpoint	7, 11
	Sistemas naturales	13
	Adición de sales metálicas	7, 11
Fósforo	Coagulación y sedimentación con cal	7, 11
	Eliminación biológica del fósforo	8, 11
	Eliminación biológica-química del fósforo	7, 11
	Sistemas naturales	13
	Eliminación biológica de nutrientes	8, 11

Tabla 28 Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover componentes encontrados en aguas residuales (METCALF & EDDY, INC., 1995)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento	Véase Capítulo
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón	6, 9
	Ozonación terciaria	11
	Sistemas naturales	13
Metales pesados	Precipitación química	7, 9
	Intercambio iónico	11
	Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	13
Sólidos orgánicos disueltos	Intercambio iónico	11
	Osmosis inversa	11
	Electrodialisis	11

Es importante considerar que el tamaño de las partículas y contaminantes presentes en el agua es muy diverso como se puede observar en la Figura 21, de manera que existen partículas muy finas de naturaleza coloidal que suponen una parte significativa de la contaminación del agua. Debido a su gran estabilidad, este tipo de partículas requiere de la aplicación de tratamientos fisicoquímicos, con el objetivo de modificar las propiedades

físicas de las partículas contaminantes mediante la adición de productos químicos (coagulantes y floculantes) para facilitar la formación de flóculos y su posterior separación o eliminación del agua (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013). Este proceso se desarrolla en dos etapas:

- Coagulación – floculación: consiste en la adición de productos químicos que desestabilizan los coloides y promueven su aumento de tamaño para su posterior separación, se suele complementar con un ajuste de pH que mejore la eficiencia del proceso.
- Separación física: una vez formados los flóculos, estos son removidos mediante decantación, flotación o filtración.

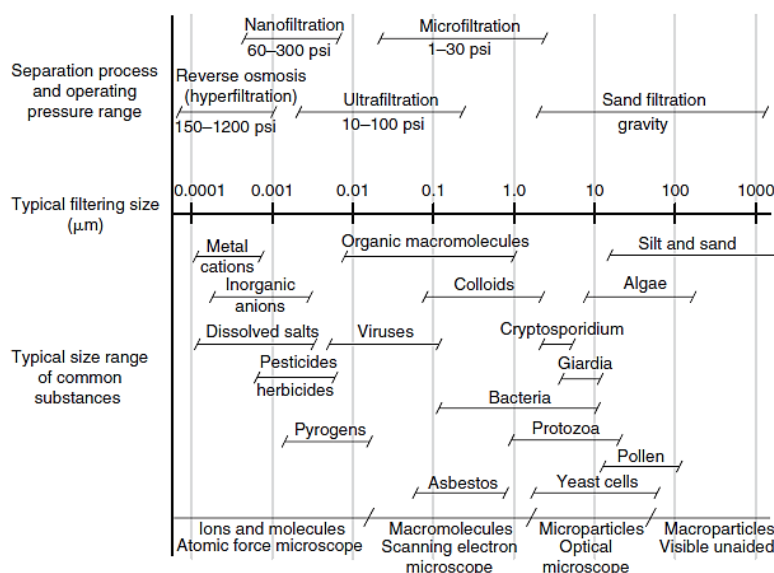


Figura 21 Comparación de rangos de tamaño de contaminantes y métodos de filtración (Gheraout, 2018).

A.6 Desinfección

Es el proceso utilizado para lograr un determinado nivel de destrucción o inactivación de organismos patógenos. Al momento de la desinfección, la adhesión de organismos a superficies o partículas en el agua tales como arcillas y detritus orgánicos ayuda en la resistencia de los microorganismos a la desinfección, es decir que el material particulado puede interferir, por lo tanto, actuando y reaccionando químicamente con el desinfectante, neutralizando así la acción del desinfectante, o protegiendo físicamente al organismo del

desinfectante (A. Hernández García et al., 2017). Por lo que es fundamental haber realizado un pretratamiento adecuado antes de aplicar cualquier método de desinfección.

Generalmente, la desinfección se lleva a cabo mediante la adición de un agente oxidante, cuya comparación se observa en la Tabla 29, y se detallan a continuación:

- **Cloro:** Es un fuerte agente oxidante que, cuando se añade como un gas en agua, forma una mezcla de ácido hipocloroso (HOCl) y ácido clorhídrico, suele usarse en forma de hipoclorito, gas cloro o dióxido de cloro (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013).
- **Ozono (O₃):** Es un potente agente oxidante, se puede producir al pasar una descarga eléctrica a través de una corriente de aire u oxígeno. Es más caro de aplicar para el tratamiento de aguas residuales que la cloración, pero es más comúnmente usado en tratamiento de agua potable. No deja residuos en el agua y su efectividad como desinfectante no se ve afectada por el pH o el amoníaco (A. Hernández García et al., 2017).
- **Luz ultravioleta (UV):** El uso de desinfección por luz ultravioleta en aguas residuales se destaca por no producir subproductos cancerígenos o tóxicos, y de no necesitar manejo o almacenamiento de productos químicos tóxicos. Desafortunadamente tiene varias desventajas, incluyendo costos más elevados que los halógenos, ausencia de desinfectante residual, dificultad en la determinación de la dosis de UV, el mantenimiento y la limpieza de las lámparas de UV, y la foto reactivación potencial de algunas bacterias entéricas. (A. Hernández García et al., 2017)

Tabla 29 Comparación de las características ideales y prácticas de los desinfectantes químicos más utilizados (METCALF & EDDY, INC., 1995)

Característica	Propiedades/respuesta	Cloro	Hipoclorito de sodio	Hipoclorito de calcio	Dióxido de cloro	Cloruro de bromo	Ozono	Radiación UV
Toxicidad para los microorganismos	Debe ser altamente tóxico a altas concentraciones	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Solubilidad	Debe ser soluble en agua o en tejido celular	Ligera	Alta	Alta	Alta	Ligera	Alta	N/A
Estabilidad	la pérdida de acción germicida con el tiempo debe ser baja	Estable	Ligeramente estable	Relativamente estable	Inestable, debe generarse a medida que se consume	Ligeramente inestable	Inestable, debe generarse a medida que se consume	Debe generarse a medida que se consume
No tóxico para las formas de vida superiores	Debe ser tóxico para los microorganismos y no tóxico para el hombre y otros animales	Altamente tóxico para las formas de vida superiores	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico
Homogeneidad	La disolución debe ser uniforme en su composición	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	Homogéneo	N/A
Interacción con materias extrañas	No debe ser absorbido por otra materia, orgánica que las células bacterianas	Oxida la materia orgánica	Oxidante activo	Oxidante activo	Alta	Oxida la materia orgánica	Oxida la materia orgánica	
Toxicidad a temperatura ambiente	Debe ser efectivo en el intervalo de temperaturas ambiente	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
Penetración	Debe tener la capacidad de penetrar a través de las superficies	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Moderado
No corrosivo y no colorante	No debe atacar los metales ni teñir la ropa	Muy corrosivo	Corrosivo	Corrosivo	Muy corrosivo	Corrosivo	Muy corrosivo	N/A
Capacidad desodorante	Debe desodorizar a la vez que desinfectar	Alta	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	
Disponibilidad	Debe estar disponible en grandes cantidades y a un precio razonable	Coste bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderadamente bajo	Coste moderadamente elevado	Coste moderadamente elevado

Anexo B: Detalle de la generación del efluente de enjugadoras.

Se presenta información más detallada de la generación de efluentes en las Tablas 30 y 31, mientras que en la Tabla 32 se detalla las horas operativas de las líneas.

Tabla 30 Generación semanal de efluentes de enjugadoras durante todo el año 2024

Línea	Lunes [m3]	Martes [m3]	Miércoles [m3]	Jueves [m3]	Viernes [m3]	Sábado [m3]	Total semanal
1	967	2.134	1.859	1.557	1.348	539	8.404
2	474	877	658	673	564	194	3.440
3	1.076	1.595	1.579	1.623	1.289	405	7.567
5	584	925	931	754	596	187	3.976
Total diario	3.100	5.531	5.027	4.606	3.797	1.325	23.387

Tabla 31 Generación mensual de efluente de las enjugadoras durante el año 2024

Mes	Caudal de efluente [m3]
Enero	1.608
Febrero	1.861
Marzo	1.998
Abril	2.190
Mayo	2.179
Junio	1.947
Julio	2.302
Agosto	2.221
Septiembre	1.479
Octubre	1.847
Noviembre	1.865
Diciembre	1.891

Tabla 32 Horas operativas promedio de las líneas de envasado año 2024

Líneas de envasado	Horas operativas promedio [h]
Línea 1	12,75
Línea 2	9,61
Línea 3	12,05
Línea 5	10,55
Total	44,96

Anexo C: Detalle del dimensionamiento de los equipos.

C.1 Estanques

La ecualización cumple con el objetivo de lograr una alimentación uniforme en términos de composición y caudal para los siguientes procesos de tratamiento, existen dos configuraciones posibles para la ecualización del flujo: in-line y off-line. El acondicionamiento in-line es muy eficaz, ya que todo el flujo pasa por el tanque de igualación; sin embargo, esto aumenta el coste del tratamiento, ya que se requieren tanques de gran volumen. La igualación off-line es menos costosa, ya que solo se iguala una parte del flujo; sin embargo, esto compromete la calidad del efluente, ya que el grado de igualación puede ser inadecuado (Brito et al., 2007). Para este caso se utiliza la configuración in-line.

Para determinar el tamaño necesario del tanque de ecualización de caudal, se necesita información sobre las cantidades de efluentes producidas diariamente con el objetivo de conseguir un caudal constante para setear la bomba de alimentación y facilitar la operación de equipos. Dado que el caudal a tratar es de 6,63 [m³/h] y con un sobredimensionamiento de un 20%, se requiere de un estanque de 8 [m³].

B.2 Filtros

El sistema de filtración permite la retención y asegura la eliminación de partículas finas, esto con el fin de mejorar la calidad del agua tratada, dejándola libre de partículas que podrían interferir con la desinfección. Mientras que el filtro de carbón activado se encarga de atrapar parte de las moléculas orgánicas, así como posibles compuestos que generen olores y sabores indeseados.

Para determinar el número de filtros necesarios se tiene la siguiente regla del pulgar (Davis, 2011):

$$N = 0,0195Q^{0,5} \quad (2)$$

- N: n° total de filtros
- Q: caudal máximo de diseño, [m³/d]

$$N = 0,0195(76,64)^{0,5} = 0,17$$

Por lo tanto, se necesitan al menos un filtro, pero se dimensionan dos filtros de mismas características, para que la operación sea continua al momento del retro lavado o la ocurrencia de algún problema operacional. Para su dimensionamiento se considera un filtro multimedia de antracita y arena, considerando un 50% de espacio adicional para la expansión de lecho del retro lavado. Para la altura de lecho se consideran los valores conservadores dentro de los rangos presentados en las Tablas 33 y 34.

Parámetros:

- Lecho dual: antracita (1) y arena (2)
- Tasa de filtración: 0,12 [m³/m² min]
- Altura de lecho: (1) 720 [mm] y (2) 360 [mm]
- Densidad: (1) 900 [kg/m³] y (2) 1500 [kg/m³]

Para los medios escogidos se tienen los siguientes valores típicos de tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad (*ANSI/AWWA B100-16*, 2016):

- Antracita: Tamaño efectivo: 0,6 a 1,60 [mm], CU: 1,7 y menor
- Arena sílica: Tamaño efectivo: 0,35 a 0,65 [mm], CU: 1,7 y menor
- Arena de alta densidad: Tamaño efectivo: 0,18 a 0,6 [mm], CU: 2,2 y menor

Para poder dimensionar el filtro multimedia, se requiere saber el área de filtración:

$$A = \frac{Q}{Nq} \quad (3)$$

- A: área de medio, [m²]
- Q: caudal máximo diario, [m³/h]
- N: número de lechos
- q: tasa de filtración [m³/m²h]

$$A = \frac{6,63 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{1 \cdot 0,2 \left[\frac{m^3}{m^2 min} \right] \cdot \frac{60}{1} \left[\frac{min}{h} \right]} = \frac{6,63 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{12 \left[\frac{m^3}{m^2 h} \right]} = 0,55 [m^2] \rightarrow 0,55 \cdot 1,1 = 0,61 [m^2]$$

Con el área se determina el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,61}{\pi}} = 0,88[m]$$

Calculando la altura total:

Donde

- H: altura del filtro
- hA: profundidad de antracita
- hS: profundidad de arena
- f: factor de seguridad por expansión de medio

$$H = (hA + hS)f \quad (5)$$

$$H = (720 [mm] + 360 [mm])1,5 = 1620 [mm]$$

Para el filtro de carbón activado granular (GAC), se escoge un carbón bituminoso de 12x40 (Carbotecnia, 2023). Para el filtro de carbón activado se tiene que:

$$\tau = \frac{V_c}{Q} \quad (6)$$

- Vc Volumen de la cama de GAC [m3]
- Q: Caudal de servicio [m3/h]
- τ : Tiempo de contacto de cama vacía [h]

Para dimensionar entonces se da un valor deseado de tiempo de contacto, los típicos van desde los 20[s] – 30 [min]. Se propone un valor de 10 [min]

$$\tau = \frac{V_c}{Q} \rightarrow V_c = \tau \cdot Q = 10[min] \cdot \frac{1[h]}{60[min]} \cdot 6,63[\frac{m^3}{h}] = 1,10[m^3]$$

El siguiente parámetro a considerar es la carga hidráulica (C_H) la cual no debe ser menor a 1 [gpm/ft²] para evitar flujo laminar y no más de 10 [gpm/ft²] para carbones bituminosos. Se propone un valor de 3[gpm/ft²].

$$C_H = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

- C_H : carga hidráulica
- A : área de sección de la cama de GAC
- Q : Caudal de servicio

$$C_H = \frac{Q}{A} \rightarrow A = \frac{Q}{C_H} = \frac{6,63 \left[\frac{m^3}{h} \right]}{2 \left[\frac{gpm}{ft^2} \right] \cdot 2,44} = 1,36[m^2] \rightarrow 1,36 \cdot 1,1 = 1,49[m^2]$$

Con el área de sección de la cama de GAC y considerando que es un recipiente a presión, para calcular el diámetro de se tiene que:

$$A = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (8)$$

Despejando D:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,36}{\pi}} = 1,38 [m]$$

Se calcula la altura de cama (a) de GAC:

$$a = \frac{V_c}{A} \quad (9)$$

$$a = \frac{1,1[m^3]}{1,49[m^2]} = 0,74[m]$$

Considerando un 50% adicional para la expansión de cama para el retro lavado del filtro:

$$a_a = 1,5 \cdot a \quad (10)$$

$$a_a = 1,5 \cdot 0,74 [m] = 1,1[m]$$

Tabla 33 Datos de diseño típicos para filtros de lecho profundo de un medio (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)

Characteristic	Unit	Value	
		Range	Typical
Shallow bed (stratified)			
Anthracite			
Depth	mm	300–500	400
Effective size	mm	0.8–1.5	1.3
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.8	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.24	
Sand			
Depth	mm	300–360	330
Effective size	mm	0.45–0.65	0.45
Uniformity coefficient	unitless	1.2–1.6	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.24	
Conventional (stratified)			
Anthracite			
Depth	mm	600–900	750
Effective size	mm	0.8–2.0	1.3
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.8	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.40	
Sand			
Depth	mm	500–750	600
Effective size	mm	0.4–0.8	0.65
Uniformity coefficient	unitless	1.2–1.6	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.24	
Deep-bed (unstratified)			
Anthracite			
Depth	mm	900–2100	1500
Effective size	mm	2–4	2.7
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.8	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.40	
Sand			
Depth	mm	900–1800	1200
Effective size	mm	2–3	2.5
Uniformity coefficient	unitless	1.2–1.6	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.40	
Fuzzy filter			
Depth	mm	600–1080	800
Effective size	mm	25–30	28
Uniformity coefficient	unitless	1.1–1.2	1.1
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.60–1.60	

Tabla 34 Datos de diseño típicos para filtros de lecho profundo duales y multimedia (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)

Characteristic	Unit	Value ^b	
		Range	Typical
Dual-media			
Anthracite ($\rho = 1.60$)			
Depth	mm	360–900	720
Effective size	mm	0.8–2.0	1.5
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.6	≤1.5
Sand ($\rho = 2.65$)			
Depth	mm	180–360	360
Effective size	mm	0.4–0.8	0.65
Uniformity coefficient	unitless	1.2–1.6	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.40	0.20
Multi-media			
Anthracite (top layer of quad-media filter, $\rho = 1.60$)			
Depth	mm	240–600	480
Effective size	mm	1.3–2.0	1.6
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.6	≤1.5
Anthracite (second layer of quad-media filter, $\rho = 1.60$)			
Depth	mm	120–480	240
Effective size	mm	1.0–1.6	1.1
Uniformity coefficient	unitless	1.5–1.8	1.5
Anthracite (top layer of tri-media filter, $\rho = 1.60$)			
Depth	mm	240–600	480
Effective size	mm	1.0–2.0	1.4
Uniformity coefficient	unitless	1.4–1.8	≤1.5
Sand ($\rho = 2.65$)			
Depth	mm	240–480	300
Effective size	mm	0.4–0.8	0.5
Uniformity coefficient	unitless	1.3–1.8	≤1.5
Garnet ($\rho = 4.2$)			
Depth	mm	50–150	100
Effective size	mm	0.2–0.6	0.35
Uniformity coefficient	unitless	1.5–1.8	≤1.5
Filtration rate	m ³ /m ² ·min	0.08–0.40	0.20

C.3 Reactor contactor

Su función es lograr el contacto entre el desinfectante y la corriente de agua la desinfección de la corriente de agua proveniente de las etapas anteriores. Dado que se requiere tanto la oxidación como la desinfección se tiene la opción de utilizar ozono para ello mediante un inyector de gas se adiciona el ozono, producido por un generador, para la eliminación de bacterias o microorganismos.

Su diseño se basará en otorgar a la corriente un tiempo de residencia adecuado para que se lleve a cabo la desinfección. Para ello se propone un tiempo de residencia de entre 5 – 10 [min], con una relación entre altura y diámetro de 2:1, dado que como sugiere (Espinosa & González, 2009) a mayor altura de aplicación aumenta la desinfección.

$$\tau = \frac{V_r}{Q} \quad (11)$$

Donde:

- V_r : volumen del reactor
- Q : caudal de diseño

$$V_r = 5[\text{min}] \cdot \frac{1[\text{h}]}{60[\text{min}]} \cdot 7,3 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] = 0,61 [\text{m}^3]$$

$$V = \pi \cdot h \cdot \frac{d^2}{4} \quad (12)$$

Donde:

- h : altura del reactor
- d : diámetro del reactor

Despejando h y aplicando la relación altura-diámetro:

$$h = \sqrt{\frac{4 \cdot V_r}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,61}{\pi}} = 1,5[\text{m}] \rightarrow d = \frac{1,5}{2} = 0,73[\text{m}]$$

Aplicando el mismo método para 10 [min], se obtiene un volumen de 1,21[m³], una altura de 1,8 [m] y un diámetro de 0,9 [m].

C.4 Generador de ozono

Se debe determinar la dosificación de ozono requerida junto a la potencia consumida para su generación. La dosificación dependerá del patógeno a eliminar, el pH y temperatura del medio, pero existen valores tabulados como los presentados en la Tabla 35, donde se detallan dosis típicas de diversos métodos de desinfección. Mientras que la Tabla 36 nos entrega información de la dosificación para la reducción DBO₅ y COD. Dado que existe la presencia de coliformes en el efluente se utilizan valores para la eliminación de bacterias.

Adicionalmente tiene como referencia que, para aguas subterráneas de buena calidad con baja turbiedad y contenido mineral: 0,25 a 0,5 [mg/L]. Para aguas superficiales de buena calidad bacteriológica y el ozono aplicado después de la filtración: 2 a 4 [mg/L]. Para aguas

superficiales contaminadas y con el ozono aplicado después de la filtración: 2,5 a 5 [mg/L] (Ochoa, 2005).

Tabla 35 Dosis químicas típicas para la oxidación de orgánicos en aguas residuales (Metcalf & Eddy I AECOM, 2013)

Disinfectant	Unit	Inactivation			
		1-log	2-log	3-log	4-log ^c
Bacteria^d					
Chlorine (free)	mg-min/L	0.4-0.6	0.8-1.2	1.2-1.8	1.6-2.4
Chloramine	mg-min/L	50-70	95-150	140-220	200-300
Chlorine dioxide	mg-min/L	0.4-0.6	0.8-1.2	1.2-1.8	1.6-2.4
Ozone	mg-min/L	0.005-0.01	0.01-0.02	0.015-0.03	0.02-0.04
UV radiation	mJ/cm²	10-15	20-30	30-45	40-60
Virus					
Chlorine (free)	mg-min/L		1.5-1.8	2.2-2.6	3-3.5
Chloramine	mg-min/L		370-400	550-600	750-800
Chlorine dioxide	mg-min/L		5-5.5	9-10	12.5-13.5
Ozone	mg-min/L		0.25-0.3	0.35-0.45	0.5-0.6
UV radiation ^e	mJ/cm²		40-50	60-75	80-100
Protozoa (<i>Cryptosporidium</i>)^f					
Chlorine (free)	mg-min/L	2000-2600	4000-5000		
Chloramine	mg-min/L	4000-5000	8000-10,000		
Chlorine dioxide	mg-min/L	120-150	235-260	350-400	
Ozone	mg-min/L	4-4.5	8-8.5	12-13	
UV radiation	mJ/cm²	2.5-3	6-7	12-13	
Protozoa (<i>Giardia lamblia</i> cysts)^g					
Chlorine (free)	mg-min/L	20-30	45-55	70-80	
Chloramine	mg-min/L	400-450	800-900	1100-1300	
Chlorine dioxide	mg-min/L	5-5.5	9-11	15-16	
Ozone	mg-min/L	0.25-0.3	0.45-0.5	0.75-0.8	
UV radiation	mJ/cm²	2-2.5	5.5-6.6	11-13	

Tabla 36 Dosis recomendada para la reducción de DBO₅ y COD

Chemical	Use	Dosage, kg/kg destroyed	
		Range	Typical
Chlorine	BOD reduction		
	Settled wastewater	0.5-2.5	1.75
	Secondary effluent	1.0-3.0	2.0
Ozone	COD reduction		
	Settled wastewater	2.0-4.0	3.0
	Secondary effluent	3.0-8.0	6.0

Se considera entonces una dosificación de 4 [mg/l]. Para el cálculo del consumo total, se tiene que:

$$P_{oz} = d_{oz} \cdot Q \quad (13)$$

- P_{oz} : Producción de ozono
- d_{oz} : dosis de ozono inyectada
- Q : caudal a tratar

$$P_{oz} = 4 \left[\frac{g}{m^3} \right] \cdot 7,3 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 29,2 \left[\frac{g}{h} \right]$$

Por lo que se necesitan al menos 30[g/h] para el caudal de diseño. Tomando como referencia la Planta de Ozono Profesional HIDRO VT GZO40-EPS V2 de (zonosistem, s. f.) que produce 40[g/h], cuya potencia es de 3,2 [kW], se obtiene un estimado del consumo anual.

$$R = \frac{P_{oz}}{e} \quad (14)$$

- R: Rendimiento energético de producción [kW]
- e: eficiencia de producción [g/kWh]

$$R = \frac{30 \left[\frac{g}{h} \right]}{\frac{40 \left[\frac{g}{h} \right]}{3,2[kW]}} = 2,4 \left[\frac{kWh}{h} \right]$$

$$P = 2,4 \left[\frac{kWh}{h} \right] \cdot 4.002 \left[\frac{h}{año} \right] = 9604 \left[\frac{kWh}{año} \right]$$

Por lo que se necesitan de 9.604 [kWh] al año para producir el ozono necesario para la desinfección.

C.5 Piping

Según las mediciones realizadas en terreno, la distancia aproximada entre las diferentes líneas de enjuague es la siguiente: L2 – L1: 16[m], L1 - L3: 17 [m], L3 - L5: 35 [m]. Se debe considerar de al menos 30 [m] adicionales para transportar el efluente desde envasado hacia la zona de tratamiento.

Para la conducción del flujo hacia el tanque de recepción TK-01, se considera una elevación mínima de 10 m desde cada línea, con el fin de asegurar una descarga adecuada hacia el sistema de tratamiento. Se estima un largo del tren de procesos de aproximadamente 15 [m], y ya que el agua será reinyectada a la red se estima una distancia de al menos 20 [m] para la descarga hacia la red. En conjunto se estima que se requerirán de al menos de 200 [m] de tuberías.

Las medidas de las descargas de las líneas se presenta la Tabla 37:

Tabla 37 Medidas del diámetro de descarga de las enjugadoras

Línea	Diámetro [m]	Diámetro [in]
1	0,101	4
3	0,086	3
5	0,053	2

Por lo que se propone estandarizar las tuberías del transporte del efluente, como criterio se recomienda una velocidad para el agua en tuberías de 4 a 8 [ft/s] o 1,2 a 2,4 [m/s]. Se propone un diámetro de 1 ½ [in] para las líneas en base al criterio anterior.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (15)$$

Donde:

Q: caudal de diseño

A: Área de sección transversal de la tubería

$$D = 1,5 [in] \cdot \frac{1 [m]}{39,37 [in]} = 0,0381 [m]$$

$$v = \frac{6,63 \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot \frac{1 [h]}{3600 [s]}}{\pi \cdot \frac{0,0381^2}{4} [m^2]} = 1,61 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Por lo que se cumple con el criterio recomendado.

Se requiere de una potencia mínima de un 1 [HP] para impulsar el caudal de agua generado por cada de enjuague hacia el primer estanque de recepción (TK-01). Además, se estiman cuatro equipos más de 1 [HP] para el transporte durante las etapas del tratamiento.

$$P_{total} = (1 \cdot 4 + 1 \cdot 4)[HP] \cdot 0,7457 \left[\frac{kW}{HP} \right] = 6[kW]$$

$$P_{total} = 6[kW] \cdot 4002[h] = 24.012[kW]$$

Anexo D: Producción de ozono y ozonización.

El ozono puede ser producido por descarga eléctrica en un gas de alimentación que contenga oxígeno o mediante acción fotoquímica utilizando luz ultravioleta. Para aplicaciones a gran escala, solo el método de descarga eléctrica es práctico, ya que el uso de energía ultravioleta produce ozono de bajo volumen y baja concentración. En el método de descarga eléctrica (o corona), se aplica una corriente alterna a través de un espacio de descarga con voltajes entre 5 y 25 [kV], y una parte del oxígeno se convierte en ozono. Un par de electrodos de gran superficie está separado por un dieléctrico de 1 a 3 [mm] de espesor y un espacio de aire de aproximadamente 3 [mm] (Cheremisinoff, 2002), como se muestra en la Figura 22.

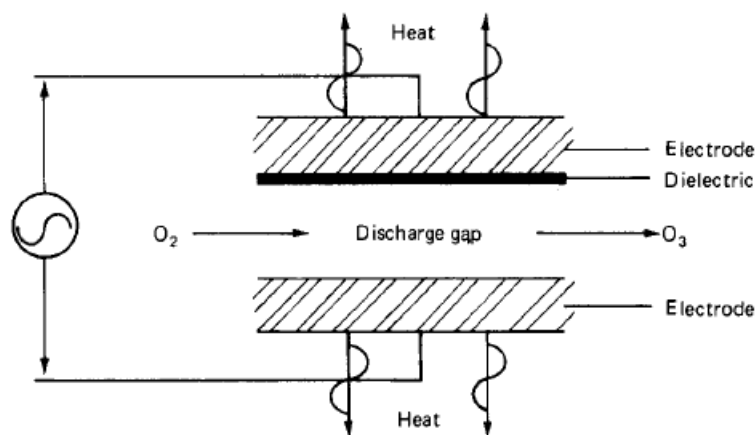


Figura 22 Configuración básica de un ozonizador (American Water Works Association, 2005)

El proceso de ozonización se ilustra en la Figura 23 y el cual suele presentar cuatro componentes principales: una unidad de preparación del gas de entrada, una unidad de energía eléctrica, un generador de ozono y un contactor que incluye una etapa de tratamiento de gases residuales. El objetivo de esta operación es maximizar la disolución del ozono en el agua con el menor gasto energético.

La molécula de ozono reacciona de forma directa o indirecta, dependiendo la temperatura del medio, pH y composición química del agua

- Reacción directa del ozono molecular, esta predomina en medios ácidos, donde el ozono reacciona con los compuestos de forma selectiva y lenta. El agotamiento del ozono sucede de forma rápida. Al disponer de un alto potencial de oxidación es capaz de degradar compuestos de alto peso molecular (Domínguez et al., 2021).

- Reacción indirecta o radicalaria, esta predomina en medios básicos donde el ozono se descompone lentamente formando radicales hidroxilos, la cual es una especie reactiva del ozono con una oxidación más robusta (Domínguez et al., 2021), dicha descomposición se observa en las siguientes ecuaciones.

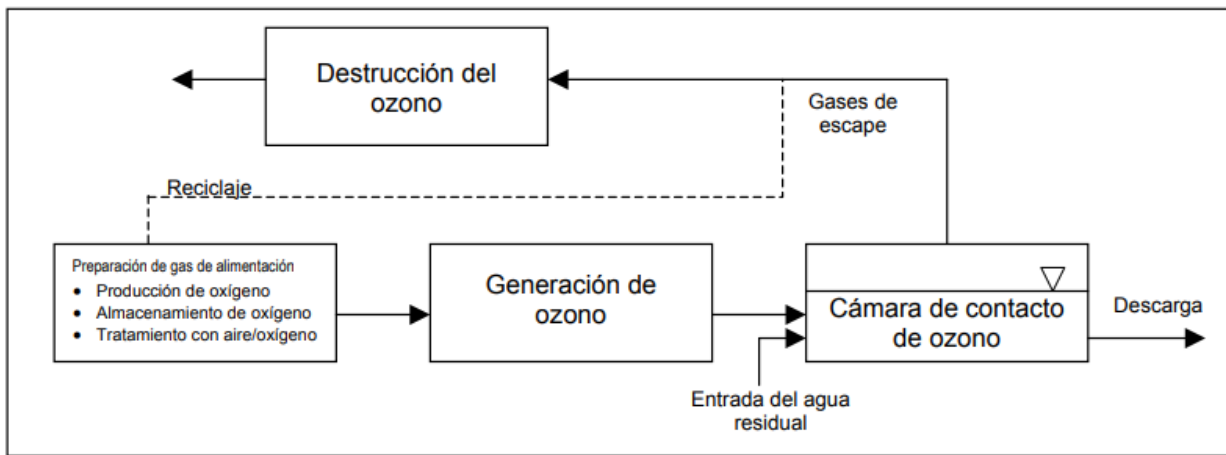


Figura 23 Componentes de la ozonización (Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Desinfección con ozono, 1999)

Para los contactores existe una variedad de diseños y entre los principales empleados en instalaciones de tratamiento de aguas residuales se encuentran:

- Contactores de burbuja fina
- Inyectores
- Contactores de turbina
- Contactores de lecho empacado
- Deep U-tube

En la Tabla 38 se ilustran las sugerencias del tipo de contactor a utilizar, en base al objetivo de tratamiento buscado.

Tabla 38 Tipos de contactores para diferentes objetivos de tratamiento (American Water Works Association, 2005)

Treatment objective	Suitable contactor choices
Primary disinfection	Multistage, fine bubble diffuser type
Iron and manganese oxidation	Injectors, multistage fine bubble
Color removal	Multistage fine bubble, injectors, deep U-tube, turbine
Taste and odor control	Multistage fine bubble, deep U-tube
Algae removal	Turbine
Oxidation	Deep U-tube, injectors, multistage fine bubble

El contactor escogido para el tratamiento es de tipo Venturi y se observa un esquema de funcionamiento en la Figura 24.

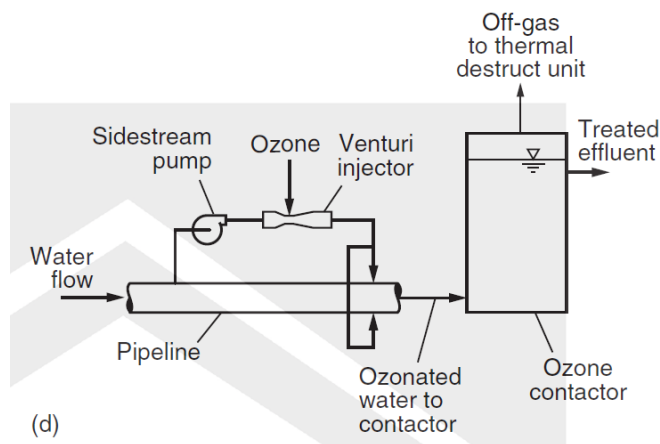


Figura 24 Diagrama del inyector Venturi

Se debe considerar que los gases residuales provenientes del contactor requieren un tratamiento adecuado para eliminar cualquier resto de ozono, dado que este es un gas altamente irritante y tóxico (ILO, 2018). Existen cinco métodos principales para la destrucción de los gases residuales, los cuales la mayoría permiten reducir la concentración de ozono hasta 0,1 [ppm] y obteniendo como producto final oxígeno puro. Estos métodos son:

- Reinyección
- Calentamiento para generar auto descomposición
- Reducción química con un agente reductor
- Reducción catalítica con un óxido metálico
- Dilución

Anexo E: Indicadores económicos

Valor Actual Neto (VAN): Permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con la inversión inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado.

$$VAN = \sum_{t=1}^N \frac{NF_t}{(1+d)^t} - I_0 \quad (20)$$

Donde:

- I_0 : Flujo de caja en año cero o Inversión inicial
- NF_t : Representa los flujos de caja en cada periodo
- d : Tasa de descuento
- n : Horizonte de evaluación
- t : Periodo

Tasa interna de retorno (TIR): Es el crédito de descuento que iguala el valor actual de los egresos con el valor futuro de los ingresos previstos, se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión.

$$TIR = \sum_{t=1}^N \frac{NF_j}{(1+d)^t} - I_0 = 0 \quad (21)$$

Payback: Es el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. Se utiliza como indicador de rentabilidad para comprender si el horizonte de evaluación es adecuado. Se espera que el Payback se dé en un período inferior al horizonte de evaluación.

$$Payback = a + \frac{C}{NF} \quad (22)$$

Donde:

- a: Período inmediatamente anterior a recuperar la inversión.
- C: Costo no recuperado al principio del año
- NF: Flujo neto del año de recuperación