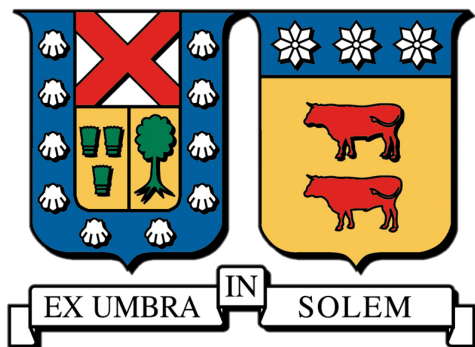




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ABASTECER CON
AGUA POTABLE LOS BAÑOS DEL MERCADO MAYORISTA LO VALLEDOR
MEDIANTE POZOS EN NAPAS SUBTERRÁNEAS REUTILIZANDO
INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE CON EL FIN DE REDUCIR LOS COSTOS
OPERACIONALES.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

RENATO ANTONIO ROIG GONZÁLEZ

PROFESOR GUÍA: MARÍA PILAR GÁRATE

PROFESOR COREFERENTE: ALBERTO MÁRQUEZ

SANTIAGO DE CHILE, ENERO 2026



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: EVALUACIÓN TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE ABASTECER CON AGUA POTABLE LOS BAÑOS DEL MERCADO MAYORISTA LO VALLEDOR MEDIANTE POZOS EN NAPAS SUBTERRÁNEAS REUTILIZANDO INFRAESTRUCTURA DISPONIBLE CON EL FIN DE REDUCIR LOS COSTOS OPERACIONALES

Nombre del candidato(a): Renato Antonio Roig González

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial

Campus: Vitacura Departamento: Industrias

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, María Pilar Gárate Chateau, 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: 09 de Abril de 2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 09 de Abril de 2026

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.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio corresponde a una evaluación técnica, económica y ambiental de la factibilidad de abastecer con agua potable los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante pozos en napas subterráneas, reutilizando la infraestructura disponible existente. El proyecto fue desarrollado como una memoria de título de Ingeniería Civil Industrial, encargada por la Gerencia General del recinto, con el propósito de identificar una alternativa sustentable que permita reducir los costos operacionales asociados al consumo de agua y, a su vez, fortalecer la autonomía hídrica del mercado frente a la dependencia del suministro público.

La metodología aplicada se estructuró en seis etapas complementarias: (1) diagnóstico del consumo actual y gasto asociado al uso de agua potable en los baños, (2) análisis técnico de disponibilidad subterránea, (3) modelación hidráulica basada en la ecuación de Bernoulli y pérdidas por fricción según Darcy–Weisbach, (4) selección y dimensionamiento de tecnologías de captación, tratamiento y distribución, (5) verificación de calidad del agua conforme a la norma NCh 409 y (6) evaluación económica del proyecto mediante los indicadores VAN, TIR, *Payback* descontado, utilizando una tasa WACC estimada.

Los resultados permitieron cuantificar el consumo promedio de los baños en 1,520 m³/mes, equivalente al 31 % del uso total del recinto, y proyectar una demanda creciente a siete años, la cual puede ser cubierta completamente por los pozos existentes. La capacidad efectiva conjunta de extracción, limitada por la DGA a 100 L/s, garantiza un factor de capacidad adecuado, asegurando holgura técnica y autonomía operativa. Los análisis de laboratorio, elaborados por DICTUC, confirmaron que la calidad del agua cumple con la normativa sanitaria vigente, salvo por el cloro libre residual, cuya corrección se resuelve mediante una estación de cloración

posterior a la extracción.

En el ámbito hidráulico, la red diseñada demostró presiones dinámicas entre 30 y 60 m.c.a., velocidades en el rango de 0,5–1,5 m/s y pérdidas de carga dentro de 4–8 m.c.a./100 m, cumpliendo con todos los criterios de diseño. En términos económicos, el proyecto arrojó un Valor Actual Neto positivo, una Tasa Interna de Retorno superior al WACC y un *Payback* descontado inferior al horizonte de evaluación, incluso bajo escenarios pesimistas, evidenciando su rentabilidad y bajo riesgo.

El estudio concluye que el sistema propuesto es factible en los ámbitos técnico, económico y ambiental, generando una reducción significativa del gasto operacional anual y aportando a una gestión hídrica más eficiente y sostenible dentro del recinto. Asimismo, se establece que para su implementación será necesario desarrollar una ingeniería de detalle que precise los trazados, la cantidad final de *fittings* y los costos actualizados. Finalmente, el trabajo destaca la metodología de aplicación práctica de herramientas de mecánica de fluidos, evaluación de proyectos y análisis financiero, todo lo anterior como parte de la formación integral de un Ingeniero Civil Industrial y su capacidad para abordar proyectos de infraestructura con enfoque sistémico, cuantificable, sostenible y orientado a resultados.

Índice de figuras

1	Estrés hídrico basal anual (<i>Annual baseline water stress</i>).	13
2	Demanda consuntiva de agua actual y proyección al 2030 y 2040 en Chile. . . .	16
3	Anomalía porcentual de precipitación total anual en Chile continental respecto al promedio 1961–1990.	17
4	Consumo anual de agua por tipo de infraestructura en el Mercado Mayorista Lo Valledor.	19
5	Consumo mensual de agua en el Mercado Mayorista Lo Valledor (2022–2025). .	20
6	Distribución del agua subterránea y principales conceptos de interés.	22
7	Metodología general de la memoria.	35
8	Consumo de baños año 2022.	37
9	Consumo de baños año 2023.	37
10	Consumo de baños año 2024.	38
11	Diagrama de Moody: factor de fricción f en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.	46
12	Informe N°1623862 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC	58
13	Informe N°1623860 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC.	59
14	Informe N°1623858 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC	60
15	Puntos de oferta y demanda del recurso.	62
16	Diagrama de Flujo	63
17	Esquema de Alimentación Pozo Veolia	64
18	Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Enerlova. .	68
19	Vida útil bajo presión, Regresión de LTHS en polietileno.	76
20	Flujo de Caja del Escenario 1 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Positivo en el Último Período.	89
21	Escenario 2 FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada.	91
22	Flujo de Caja del Escenario 3 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Nulo, Incremento Tarifario del 3 % y Aumento del Impuesto a la Renta al 30 % Anual.	93
23	Flujo de Caja del Escenario 4 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Positivo en el Último Período y Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años.	95
24	Flujo de Caja del Escenario 5 – FN Después de Impuesto con VL=0 y Depreciación Acelerada; Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito (7 años, cuota fija).	97
25	Flujo de Caja del Escenario 6 – FN Después de Impuesto con VL=0, Incremento Tarifario 3 % y Renta 30 % Anual; Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito (7 años, cuota fija).	99

Índice de cuadros

1	<i>Detalle de estratigrafía.</i>	25
2	Elementos esenciales en el agua potable.	29
3	Elementos potencialmente tóxicos en el agua potable.	29
4	Límites máximos para compuestos orgánicos volátiles.	30
5	Límites máximos para plaguicidas.	30
6	Límites máximos para trihalometanos y compuestos relacionados.	30
7	Requisitos radiológicos para agua potable.	30
8	Parámetros relativos a características físico-químicas y organolépticas.	31
9	Resumen de consumo total del Mercado para los años 2022, 2023 y 2024. . . .	36
10	Resumen de consumo de baños para los años 2022, 2023 y 2024.	38
11	Resumen de gasto anual en agua potable del mercado para los años 2022, 2023 y 2024.	39
12	Resumen de gasto anual en agua potable en baños para los años 2022, 2023 y 2024.	39
13	Consumo mensual proyectado de agua en baños del Mercado Mayorista Lo Valledor.	56
14	Cálculo de Velocidad y Diámetro Pozo Veolia.	64
15	Cálculo de Pérdida de Carga Lineal Pozo Veolia.	65
16	Cálculo de Pérdida de Carga por Fittings Pozo Veolia.	65
17	Resultados de Pérdida de Carga Total Pozo Veolia.	65
18	Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Veolia.	66
19	Punto de Operación de Bomba Pozo Veolia.	67
20	Cálculo de Velocidad y Diámetro Pozo Enerlova.	69
21	Cálculo de Pérdida de Carga Lineal Pozo Enerlova.	70
22	Cálculo de Pérdida de Carga por Fittings Pozo Enerlova.	71
23	Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Enerlova.	72
24	Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Enerlova.	73
25	Punto de Operación de Bomba Pozo Enerlova.	74
26	Especificaciones técnicas PE 100.	76
27	Desarrollo del CAPEX Habilitación Pozo Veolia.	79
28	Desarrollo CAPEX Habilitación Pozo Enerlova.	80
29	Desarrollo OPEX Operación.	81
30	Tabla de Depreciación en Base a la Vida Útil de los Materiales.	82
31	Tabla de Depreciación Acelerada para Período de Evaluación del Proyecto. . . .	83
32	Proyección Tarifa Completa por m ³	84
33	Proyección de Tarifas para Recolección y Tratamiento por m ³	85
34	Condiciones del crédito.	87
35	Estructura de pago del crédito.	87

36	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 1.	89
37	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 2.	91
38	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 3.	93
39	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 4.	95
40	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 5.	97
41	Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 6.	100
42	Sensibilidad de Escenarios Posibles.	102
43	Ahorros en Costos Operacionales para los Escenarios 1–2–4–5.	105
44	Ahorros en Costos Operacionales para los Escenarios 3–6.	105

Tabla de Ecuaciones

1	Balance dinámico del acuífero	14
2	Recarga efectiva del acuífero	14
3	Condición de sostenibilidad de extracción	14
6	Ecuación general de energía (Bernoulli extendida)	43
7	Número de Reynolds	44
8	Rugosidad relativa	44
9	Ecuación de Colebrook–White	44
10	Pérdidas por fricción (Darcy–Weisbach)	47
11	Valor Actual de Costos (VAC)	50
12	Valor Actual Neto (VAN)	52
13	Tasa Interna de Retorno (TIR)	52
14	Tasa de costo de capital (WACC)	53
15	Condición de umbral en el análisis de sensibilidad	54
16	Cálculo de caudal medio de consumo en baños	55
17	Disponibilidad del sistema de pozos	57
18	Disponibilidad calculada para el caudal máximo proyectado	57
19	Tensión de diseño para tuberías de PEAD	77
20	Relación geométrica SDR para tuberías de HDPE	77
21	Espesor mínimo requerido en función de PN y diámetro nominal	78
22	Definición de la tasa de descuento WACC(*)	86

Índice general

1	INTRODUCCIÓN	1
2	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
3	OBJETIVOS	7
3.1	Objetivo general	7
3.2	Objetivos específicos	7
4	ALCANCES Y LIMITACIONES	9
5	MARCO TEÓRICO	12
5.1	Panorama Global de la Crisis Hídrica	12
5.2	Situación Hídrica en Chile	16
5.3	Gestión del recurso hídrico en el Mercado Mayorista Lo Valledor	19
5.4	Uso de Aguas Subterráneas en Chile, Normativa Legal y Reglamentaria para la Captación	21
5.5	Condiciones Hidrogeológicas y Disponibilidad del Recurso Subterráneo en el Sector de Lo Valledor	25
5.6	Sistemas Tecnológicos para la Captación, Tratamiento y Gestión de Aguas Subterráneas	26
5.7	Evaluación de los Efectos Ambientales Asociados al Uso de Tecnologías de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas	32
6	METODOLOGÍA	34
6.1	Diagnóstico de consumo y gasto actual de agua	35
6.1.1	Cuantificación del consumo y desagregación por usos	36
6.1.2	Identificación del costo asociado al uso de agua potable	39
6.1.3	Revisión histórica del consumo hasta 2025	40
6.1.4	Modelación y pronóstico de la demanda	41
6.2	Análisis técnico de disponibilidad subterránea	41
6.2.1	Levantamiento de datos hidrogeológicos	42
6.3	Mecánica de Fluidos	42
6.3.1	Modelación de Mecánica de Fluidos y Ecuaciones Fundamentales	43
6.4	Selección de tecnologías	47
6.4.1	Calidad del Agua	48
6.5	Evaluación de Proyecto	48
6.5.1	Criterios de Rentabilidad	52
6.5.2	Análisis de Riesgo y Sensibilidad	53

7	DESARROLLO	55
7.1	Caudales de Agua	55
7.1.1	Caudal Promedio de Consumo	55
7.1.2	Caudal Promedio Disponible en Pozos	56
7.2	Comparación de Calidad de Agua de Pozos con la Norma Sanitaria	57
7.3	Red Hidráulica	61
7.3.1	Esquema de Distribución General de Pozos Baños y Urinarios	61
7.3.2	Metodología de cálculo hidráulico mediante diagrama de flujo	63
7.3.3	Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Veolia	64
7.3.4	Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Enerlova	68
7.3.5	Materialidad del Sistema	74
7.4	CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operating Expenses) del Proyecto	78
7.5	Depreciación de Activos	81
7.6	Proyección de Tarifa del Agua	83
7.7	Tasa de Descuento WACC	85
7.8	Condiciones de Financiamiento y Estructura del Crédito	86
7.9	Evaluación y Flujo de Caja del Proyecto	88
7.9.1	Escenario 1 (FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Periodo)	89
7.9.2	Escenario 2 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada)	91
7.9.3	Escenario 3 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual)	93
7.9.4	Escenario 4 (FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Periodo, Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)	95
7.9.5	Escenario 5 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada, con Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)	97
7.9.6	Escenario 6 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual, con Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)	99
7.10	Cuadro Resumen de Escenarios	102
7.11	Ahorro en Costos Operacionales	104
8	CONCLUSIONES	106
9	DISCUSIÓN	109
12	REFERENCIAS	111

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida, el desarrollo económico y el bienestar social. Sin embargo, su disponibilidad enfrenta una creciente presión a nivel mundial debido al cambio climático, el crecimiento urbano, la sobreexplotación de fuentes naturales y la contaminación de los ecosistemas. En Chile, esta situación se manifiesta con especial intensidad en la zona central, donde la combinación entre una alta concentración poblacional, actividades productivas intensivas y una prolongada sequía estructural ha generado un escenario de estrés hídrico permanente, poniendo en riesgo la continuidad del suministro de agua potable en múltiples sectores.

En este contexto, la búsqueda de soluciones sostenibles para el uso y gestión del recurso hídrico se ha vuelto prioritaria tanto a nivel público como privado. Una de las alternativas más efectivas es la utilización de aguas subterráneas, las cuales, mediante tecnologías adecuadas de captación y tratamiento, permiten abastecer diversos usos con menores costos operacionales y mayor autonomía frente a las redes públicas. Este enfoque se alinea con las estrategias de gestión hídrica moderna que promueven la diversificación de fuentes, la eficiencia en el consumo y la reducción de vulnerabilidades ante eventos de escasez.

El Mercado Mayorista Lo Valledor, principal centro de distribución agroalimentaria del país, enfrenta actualmente los desafíos asociados a esta realidad. Su operación continua, que involucra a miles de personas diariamente, requiere un abastecimiento estable y seguro de agua potable para garantizar las condiciones sanitarias de sus instalaciones, especialmente en los baños y áreas de servicio. No obstante, la dependencia exclusiva de la red pública operada

actualmente por Aguas Andinas S.A. representa un factor de riesgo y un costo operativo considerable, que impacta directamente en la estructura financiera del recinto. En particular, los baños del mercado concentran más del 30 % del consumo total de agua, con un gasto anual significativo que aumenta sostenidamente con las tarifas del suministro público.

Ante esta situación, la Gerencia General del Mercado Mayorista Lo Valledor solicitó el desarrollo de un estudio de prefactibilidad técnica para fortalecer la autonomía hídrica del recinto y contribuir a una gestión más eficiente y sostenible del recurso.

Capítulo 2

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El Mercado Mayorista Lo Valledor es una de las principales plataformas de comercialización de productos agroalimentarios del país, con una importante participación en la distribución de frutas, verduras y otros productos. Su modelo de negocio se basa principalmente en el arriendo de posturas comerciales y bodegas, funcionando como un punto de encuentro entre productores agrícolas y comerciantes mayoristas y minoristas (Mercado Mayorista Lo Valledor, 2025).¹

Debido a su relevancia dentro de la cadena de abastecimiento nacional, el mercado opera diariamente en los siguientes horarios: de domingo a viernes abre a las 20:00 h y cierra a las 14:00 h del día siguiente; los sábados funciona de 07:00 a 14:00 h. Esta operación continua, con alta afluencia de personas, vehículos y productos, exige mantener sus instalaciones en condiciones óptimas de higiene, limpieza y operatividad. Para ello se requiere una gran cantidad de agua potable, destinada a labores de aseo, mantención sanitaria y apoyo logístico.

El suministro de agua potable para el funcionamiento diario del mercado presenta diversas dificultades. Por un lado, implica un gasto recurrente elevado, que impacta directamente en la estructura de costos operacionales. Por otro, existe una dependencia total de la red de Aguas Andinas S.A. lo que representa un riesgo frente a posibles interrupciones del servicio, alzas tarifarias o situaciones de escasez hídrica.

Según el último estudio del World Resources Institute en el marco del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, 17 países de 164, que reúnen a cerca de una cuarta parte de la población

¹Mercado Mayorista Lo Valledor. (2025). *Información corporativa*. Recuperado de <https://mercadovalledor.cl/nosotros/>

mundial, enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto, entendido como la situación en que la demanda de agua excede la cantidad disponible. En dicho informe, Chile se ubica en el puesto 18, dentro del nivel de “estrés hídrico alto”, posicionándose como el primer país de América Latina en esta condición (World Resources Institute [WRI], 2023).²

En este contexto, se ha identificado como alternativa la posibilidad de abastecer al mercado mediante pozos de aguas subterráneas. Esta opción podría representar una fuente de agua constante y autónoma, con costos potencialmente menores en el largo plazo. No obstante, su implementación requiere una evaluación técnica, económica y ambiental que permita determinar su viabilidad y sostenibilidad, considerando además el cumplimiento de la normativa vigente y la calidad del agua necesaria para los usos previstos (Servicio de Evaluación Ambiental [SEA], 2012).³

El presente estudio permitiría al Mercado Lo Valledor contar con una alternativa de abastecimiento más eficiente y económica, generando ahorros significativos en sus costos operacionales. Asimismo, contribuiría a una mayor autonomía en el uso del recurso hídrico, especialmente en un contexto de creciente estrés hídrico en la Región Metropolitana.

Cabe destacar que esta alternativa de abastecimiento mediante aguas subterráneas no es una propuesta aislada ni inédita. Ya ha sido implementada en distintos puntos del país y se continúa desarrollando como una medida estratégica frente a la crisis hídrica. Un caso reciente y de gran escala es el proyecto impulsado por el Gobierno en la zona sur de Santiago, donde el Presidente de la República inauguró una batería de 14 pozos de extracción subterránea destinados a garantizar la seguridad hídrica de más de 400 mil habitantes. Estos pozos están diseñados para operar en situaciones de emergencia, como sequías extremas o alta turbiedad del

²World Resources Institute. (2023). *25 countries, housing one-quarter of the population, face extremely high water stress*. Recuperado de <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>

³Servicio de Evaluación Ambiental. (2012). *Guía para el uso de modelos de aguas subterráneas en el SEIA*. Recuperado de <https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-y-criterios/guia-para-el-uso-de-modelos-de-aguas-subterraneas-en-el-seia>

río Maipo, asegurando el abastecimiento a comunas como La Pintana, Puente Alto, El Bosque y San Bernardo (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2022).⁴

Si bien las aguas subterráneas suelen percibirse como fuentes naturalmente puras, diversos estudios recientes han demostrado la presencia de contaminantes emergentes que pueden comprometer su calidad. La presencia de estos contaminantes puede pasar inadvertida sin una evaluación exhaustiva, lo que resalta la importancia de aplicar métodos adecuados de muestreo, tratamiento y análisis previo al uso del recurso. La manera adecuada considera un muestreo representativo en puntos críticos (estanques, red interna y terminales), tratamientos correctivos y preventivos, y análisis de laboratorio para verificar microbiología, turbiedad y desinfectante residual. Estos pasos aseguran que el agua utilizada en baños y labores de aseo cumpla los estándares operativos y sanitarios. En este contexto, evaluar la calidad del agua subterránea en el sector del Mercado Lo Valledor se vuelve fundamental, ya que podría implicar riesgos indirectos si no se asegura su inocuidad (Chia et al., 2025).⁵

En base a los antecedentes expuestos y a los aspectos críticos identificados en la problemática, surge la necesidad de profundizar el análisis mediante un conjunto de preguntas clave que permitan dimensionar con mayor precisión la viabilidad de la alternativa propuesta: ¿cuál es el volumen de agua que consume Lo Valledor actualmente y qué caudal sería necesario extraer desde pozos para satisfacer esa demanda?, ¿cuál es la disponibilidad real de aguas subterráneas en el sector donde se ubica el mercado?, ¿qué tecnologías serían necesarias para la captación, tratamiento y distribución del agua subterránea en el recinto? Los objetivos planteados en el presente documento se orientan a responder estas interrogantes y se irán abordando de manera progresiva a lo largo del desarrollo del estudio, permitiendo así establecer una visión integral

⁴Ministerio de Obras Públicas. (2022). *Presidente inaugura pozos que darán seguridad hídrica a 400 mil habitantes de la zona sur de Santiago*. Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/presidente-inaugura-pozos-que-daran-seguridad-hidrica-400-mil-habitantes-de-la-zona-sur-de-santiago>

⁵Chia, X., et al. (2025). Methods to optimize the collection, pretreatment, extraction, separation, and examination of microplastics in soil, groundwater, and human samples. *Journal of Hazardous Materials*, 490, 137807.

de la factibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto.

Capítulo 3

OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de abastecer con agua potable a los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante pozos en napas subterráneas, con el fin de reducir los costos operacionales en al menos un 30 % anual asociados al consumo de agua.

3.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el consumo actual de agua potable exclusivo de los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor y estimar su demanda proyectada para los próximos 7 años.
- Determinar la capacidad técnica efectiva de abastecimiento de los pozos existentes para cubrir, con holgura, la demanda hídrica de los baños del recinto, garantizando un factor de capacidad ≥ 3 respecto de la demanda de punta mensual.
- Verificar que la calidad del agua proveniente de los pozos cumpla íntegramente la normativa vigente.
- Dimensionar y validar, mediante simulación hidráulica, una red de agua que asegure en hora punta un 100 % de cumplimiento del caudal proyectado y presión dinámica entre 30–60 m.c.a., con velocidades de 0,5–1,5 m/s y pérdidas de carga en un rango de 4–8 m.c.a./100 m de tubería.
- Evaluar la factibilidad económica del proyecto mediante el cálculo y contraste de VAN,

TIR, *payback* descontado a tasa WACC, con criterios de aceptación: $VAN \geq 0$, $TIR \geq$
 $WACC$ y *payback* descontado $\leq$ horizonte de evaluación, en escenarios base: pesimista,
moderado y optimista

Capítulo 4

ALCANCES Y LIMITACIONES

Este estudio técnico y económico de factibilidad de inversión está centrado en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua para los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante pozos en napas subterráneas y su integración hidráulica interna (captación, tratamiento básico para cumplimiento sanitario, almacenamiento y distribución hacia artefactos sanitarios). Para estimar presiones de salida y caudales de servicio, se desarrollará una modelación de mecánica de fluidos, aplicando la ecuación de Bernoulli con pérdidas por fricción y pérdidas menores en accesorios y *fittings* (coeficientes K de válvulas, codos, *tees*, reducciones, etc.).

El factor de fricción se obtendrá por iteración a partir de las variables asignadas, tales como diámetro interior de tubería, rugosidad del material y número de Reynolds; una estimación alternativa del factor de fricción se puede determinar a través del diagrama de Moody. Se verificará la continuidad de caudales y la pérdida de carga total para el dimensionamiento de bombas y la definición de su punto de operación en concordancia con la demanda del sistema; se considerarán, además, pérdidas singulares en tramos representativos, desniveles geométricos y factores de seguridad razonables. La calidad de agua se abordará con criterios sanitarios mínimos (desinfección según corresponda) para uso en baños.

Dentro del alcance técnico se considera el levantamiento de consumos y patrones de uso en baños, la selección preliminar de materiales, el cálculo de presiones de servicio y velocidades admisibles, la elaboración de balances hídricos y el prediseño de la línea de proceso (pozo–tratamiento–tanque–red interna). Asimismo, se definen escenarios de demanda, cuyos valores se pronostican mediante un modelo de medias móviles (MA[3]) aplicado a la información

histórica.

Es importante recalcar que, para este estudio, se reutilizará la infraestructura existente (pozo, bombas sumergibles, estanques acumuladores, entre otros), evaluándose como inversión únicamente el costo asociado a la red interna de distribución y su sistema de impulsión particular.

Todas las magnitudes monetarias se expresarán en CLP (pesos chilenos de curso legal). Se estimarán CAPEX (*Capital Expenditure*), que incluyen captación, tratamiento, almacenamiento, impulsión y distribución interna, y OPEX (*Operating Expenses*), que consideran energía, mantención, insumos, monitoreo y reposiciones programadas, junto con el ahorro por costo evitado del agua de red. La línea base de consumo y su proyección se construirán mediante modelos de media móvil sobre tres períodos mensuales, con un incremento del 3 %.

Los indicadores económicos incluirán VAN, TIR y *payback*. Los cálculos se realizarán en términos reales, utilizando el WACC como tasa de descuento.

Cabe precisar que, en el marco de este trabajo, el alcance del impacto ambiental se circunscribe únicamente a justificar que la extracción de aguas subterráneas corresponde a un derecho previamente otorgado sobre las napas, lo que permite dar viabilidad normativa al proyecto sin abordar una evaluación ambiental integral. Asimismo, se implementará un aseguramiento de la calidad del agua mediante muestreo y análisis fisicoquímicos y microbiológicos en laboratorio acreditado.

El presente estudio debe ser comprendido como un análisis conceptual de prefactibilidad técnica, cuyo objetivo es entregar lineamientos iniciales respecto de la viabilidad de la alternativa planteada en los ámbitos técnico, económico y ambiental. En consecuencia, se reconoce que los estudios de detalle posteriores serán los encargados de aportar precisiones en materia de costos, alcances de ingeniería civil, especificaciones constructivas y operativas, así como el análisis que defina el *layout* definitivo del sistema. Del mismo modo, dichos estudios deberán

incorporar los requerimientos legales y normativos asociados, los cuales no forman parte del alcance de este documento.

Capítulo 5

MARCO TEÓRICO

5.1. Panorama Global de la Crisis Hídrica

La escasez de agua es uno de los desafíos más críticos del siglo XXI. Esta problemática ya afecta gravemente a regiones como Medio Oriente, África del Norte, China y Estados Unidos, donde la salud humana, los medios de vida y los ecosistemas se ven comprometidos por la falta de agua. Según estimaciones recientes, para el año 2050 más de 2,000 millones de personas en 44 países enfrentarán una escasez hídrica severa, mientras que actualmente más de 3,600 millones ya padecen carencias de agua al menos una vez al año y más de 2,000 millones no cuentan con acceso a agua potable segura (UNESCO, 2023).¹

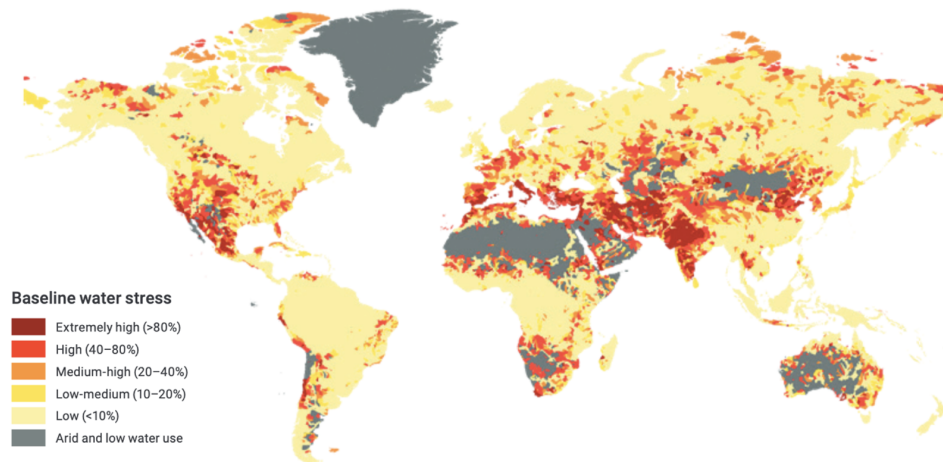
Este escenario se ve intensificado por múltiples factores, como el cambio climático, el crecimiento urbano descontrolado y las prácticas económicas no sostenibles, los cuales generan una presión creciente sobre los sistemas hídricos. La disponibilidad per cápita de recursos hídricos renovables ha disminuido de forma sostenida entre los años 2000 y 2018, especialmente en regiones con alta densidad poblacional o con climas áridos. Además, la contaminación del agua dulce se ha acelerado y expandido, haciendo aún más compleja la gestión sostenible del recurso (UNESCO, 2020).²

Ante esta crisis, es imprescindible adoptar estrategias que permitan una gestión más eficiente y equitativa del agua. En este contexto, surge la necesidad de promover tecnologías innovadoras para la reutilización y conservación del recurso.

¹UNESCO. (2023). *The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384655>

²UNESCO. (2020). *The United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>

Figura 1: Estrés hídrico basal anual (*Annual baseline water stress*).



Fuente: UNESCO (2020), The United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change.³

La Figura 1 muestra el estrés hídrico basal anual a nivel global, definido como la proporción entre la extracción anual de agua y la disponibilidad renovable natural. Este indicador permite identificar regiones donde el uso del agua supera o se aproxima peligrosamente a los límites sostenibles del recurso. Como se observa, amplias zonas de Asia meridional (especialmente India y Pakistán), Medio Oriente, el norte de África, el norte de China y el suroeste de Estados Unidos presentan niveles extremadamente altos de estrés hídrico ($> 80\%$), lo que significa que casi toda el agua disponible se utiliza anualmente, dejando escaso margen para la resiliencia frente a sequías o crecimiento demográfico. Esta situación compromete tanto el acceso humano al agua como la salud de los ecosistemas.

En contraste, regiones con bajo estrés hídrico (color gris) disponen de una relación más equilibrada entre disponibilidad y uso del recurso. No obstante, incluso en estas zonas, factores como la contaminación, el cambio climático o la sobreexplotación futura podrían poner en riesgo esta condición si no se aplican políticas de conservación y monitoreo adecuadas.

³Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>

Dado el nivel crítico de estrés hídrico que enfrentan numerosas regiones del planeta, resulta fundamental que toda estrategia de gestión del agua se base en el principio de sostenibilidad hidrológica, es decir, que la extracción de agua nunca supere la tasa de recarga natural del recurso (Alley et al., 1999).⁴

Lo planteado anteriormente se expone en las siguientes ecuaciones matemáticas.

$$\frac{dS(t)}{dt} = Q_{\text{rec}}(t) + Q_{\text{in}}(t) - (Q_{\text{ext}}(t) + Q_{\text{out}}(t)) \geq 0 \quad (1)$$

$$Q_{\text{rec}}(t) = \text{ref}(t) \times A \quad (2)$$

$$\frac{dS(t)}{dt} \geq 0 ; Q_{\text{ext}}(t) \leq Q_{\text{rec}}(t) + Q_{\text{in}}(t) - Q_{\text{out}}(t) \quad (3)$$

Donde:

- S : almacenamiento del acuífero [m^3].
- Q_{rec} : recarga efectiva [m^3/tiempo].
- Q_{in} : flujos laterales entrantes desde otras celdas/acuíferos [m^3/tiempo].
- Q_{out} : descargas naturales salientes (manantiales/*baseflow* a ríos/humedales) que se desea preservar [m^3/tiempo].

⁴Alley, W. M., Reilly, T. E., & Franke, O. L. (1999). *Sustainability of ground-water resources* (U.S. Geological Survey Circular 1186). Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/publication/cir1186>

- Q_{ext} : extracción total por pozos [m^3/tiempo].
- ref: recarga natural + recarga artificial + infiltraciones + pérdidas.
- A : superficie de recarga [m^2].

El balance dinámico del acuífero (Ecuación 1) se usa como condición de sostenibilidad. La recarga efectiva se modela como función del tiempo (Ecuación 2), incorporando explícitamente la recarga artificial en $Q_{\text{rec}}(t)$, que capta aguas de lluvia y aguas limpias para devolverlas al sistema. La operación de bombeo se regula con el criterio de la Ecuación 3, asegurando que $Q_{\text{ext}}(t)$ no supere la recarga neta disponible.

Esto aplica especialmente a las aguas subterráneas, las cuales, si bien representan una fuente vital durante épocas de escasez, poseen tasas de renovación mucho más lentas que las aguas superficiales. La sobreexplotación de acuíferos no solo genera descensos persistentes en el nivel freático, sino también hundimientos del terreno (subsistencia), salinización en zonas costeras y pérdida irreversible de almacenamiento.

El uso por debajo del umbral de recarga permite mantener el equilibrio del sistema hídrico, garantizar la disponibilidad futura del recurso, conservar los ecosistemas asociados (como humedales y riberas) y minimizar conflictos entre usuarios. En este sentido, adoptar tecnologías de eficiencia hídrica, monitorear constantemente los volúmenes extraídos y planificar el desarrollo en función de la disponibilidad renovable real son medidas clave para asegurar el acceso equitativo y continuo al agua. Ignorar este límite natural implica hipotecar el recurso para generaciones futuras y aumentar la vulnerabilidad frente al cambio climático.

En este contexto de creciente presión sobre los recursos hídricos a nivel global, Chile no está ajeno a la problemática del estrés hídrico. De hecho, el país figura entre los más afectados de América Latina, especialmente en su zona central, donde se combinan una alta demanda

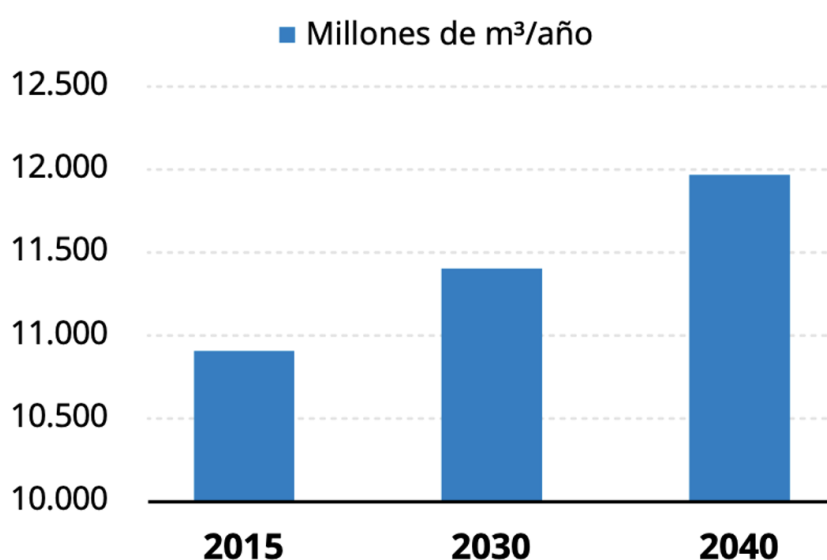
de agua, una oferta limitada y un ciclo de sequías prolongadas intensificadas por el cambio climático.

5.2. Situación Hídrica en Chile

Chile en su conjunto ha sido descrito como un país privilegiado en materia de recursos hídricos, lo que implica una oportunidad ineludible de avanzar hacia una gestión más eficiente, equitativa y sostenible del recurso. Sin embargo, esta ventaja natural ha sido desaprovechada por décadas de políticas fragmentadas, priorización del uso productivo por sobre el consumo humano y una débil gobernanza del agua (Dirección General de Aguas [DGA], 2016).⁵

Esta tensión se refleja en la evolución de la demanda consuntiva de agua, la cual ha experimentado un crecimiento sostenido durante las últimas décadas y se proyecta que continúe en aumento en los próximos años. La Figura 2 muestra la demanda actual y la proyección a 2030 y 2040, según Naciones Unidas en Chile (2021).⁶

Figura 2: Demanda consuntiva de agua actual y proyección al 2030 y 2040 en Chile.



Las proyecciones indican que la demanda consuntiva de agua podría seguir aumentando

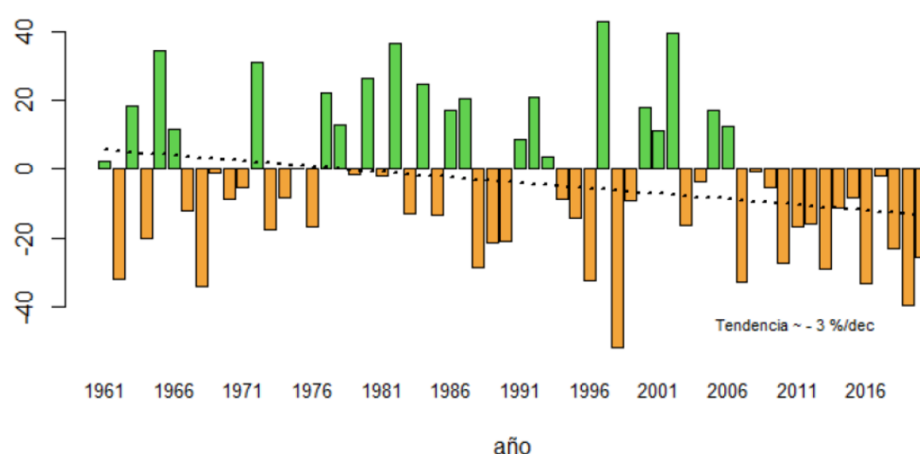
⁵Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua - Chile 2016*. Disponible en línea (acceso web).

⁶Naciones Unidas en Chile. (2021). *Recursos hídricos en Chile*. Disponible en línea (acceso web).

hasta 2040, lo que agrava el riesgo hídrico en varias regiones del país. Este crecimiento plantea serios desafíos para la sostenibilidad del recurso, ya que coincide con una disminución en la disponibilidad de fuentes naturales, como ríos y acuíferos, y con la intensificación de fenómenos extremos, como sequías prolongadas. El desequilibrio entre oferta y demanda ha generado conflictos sociales, ambientales y económicos, especialmente en zonas donde el agua es escasa y su gestión ha sido deficiente o desregulada.

Desde el año 2010, las regiones que van desde Coquimbo hasta La Araucanía han sufrido un déficit de precipitaciones cercano al 30%, un fenómeno sin precedentes por su duración prolongada y su gran extensión geográfica. Esta “mega sequía” no solo ha provocado una reducción significativa en las lluvias, sino que también ha disminuido el caudal de los ríos en la zona central del país, afectando lagos, niveles de embalses, la criosfera y las aguas subterráneas (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2017).⁷

Figura 3: Anomalía porcentual de precipitación total anual en Chile continental respecto al promedio 1961–1990.



La Figura 3 muestra la anomalía de las precipitaciones anuales a nivel nacional, indicando la variación porcentual respecto al promedio del período 1961–1990. En esta figura, las

⁷Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017–2022*. Disponible en línea (acceso web).

barras verdes representan incrementos o superávits de precipitación, mientras que las barras naranjas indican disminuciones o déficits. Se observa que, en los últimos 60 años, la precipitación anual en el país ha disminuido aproximadamente un 3 % por década.

No solo el aumento sostenido de la demanda representa un desafío, sino también la mega sequía que afecta desde 2010 a varias regiones del país, junto con los impactos del cambio climático, los cuales han reducido la disponibilidad de recursos hídricos y agravado la escasez de agua.

Chile se encuentra en una situación crítica en cuanto a la calidad del agua potable para consumo humano en numerosas regiones, donde el acceso al recurso no solo es limitado, sino que además se presenta en condiciones precarias que amenazan la salud pública. La calidad del agua en estas áreas presenta deficiencias significativas, atribuibles en gran medida a la contaminación industrial, agrícola y urbana, así como a la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales. Esta realidad genera riesgos para la salud y el medio ambiente, y revela una brecha aún no resuelta en materia de servicios básicos de saneamiento (Heinrich Böll Stiftung, 2024).⁸

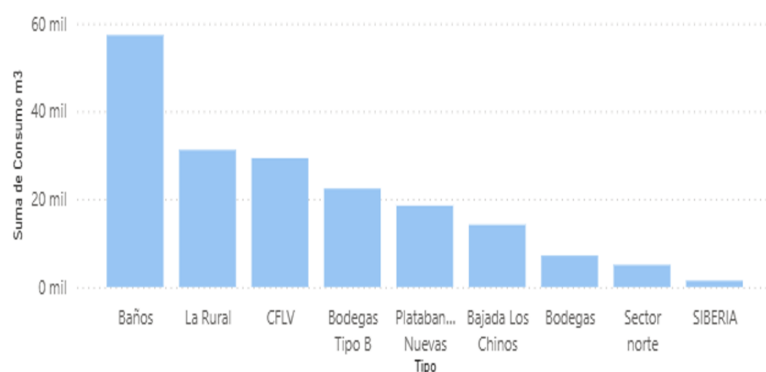
La problemática de la calidad y disponibilidad del agua potable en Chile impacta directamente en sectores estratégicos como el Mercado Mayorista Lo Valledor, núcleo comercial vital para la distribución de alimentos y productos en la Región Metropolitana. La gestión del recurso hídrico en este mercado constituye un desafío complejo que requiere una administración eficiente y sostenible del agua, considerando tanto las limitaciones del suministro como las múltiples fuentes y usos dentro de sus instalaciones.

⁸Heinrich Böll Stiftung. (2024). Escasez hídrica en Chile: reflexiones en el Día Mundial del Agua 2024. Disponible en línea (acceso web).

5.3. Gestión del recurso hídrico en el Mercado Mayorista Lo Valledor

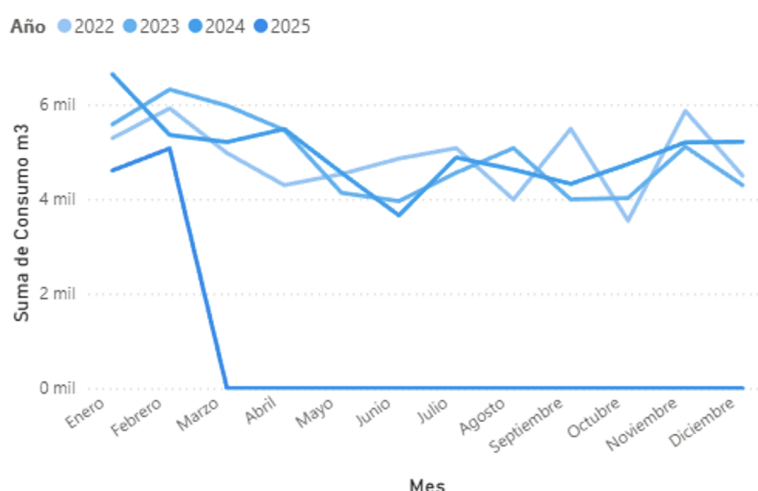
El Mercado Mayorista Lo Valledor es un espacio que alberga numerosos locales comerciales con variados usos y necesidades de agua potable. La gestión del recurso hídrico en este recinto es compleja debido a la diversidad en el consumo y a la infraestructura disponible para medirlo. Una parte significativa de los locales cuenta con medidor de agua potable, lo que permite un control más preciso del consumo marginal y una gestión más eficiente de los costos asociados. Sin embargo, existe también un número considerable de locales sin medidor, lo que dificulta la contabilización exacta del agua utilizada y genera desafíos para una gestión integral del recurso.

Figura 4: Consumo anual de agua por tipo de infraestructura en el Mercado Mayorista Lo Valledor.



Fuente: Datos suministrados por Mercado Mayorista Lo Valledor (2025).

Figura 5: Consumo mensual de agua en el Mercado Mayorista Lo Valledor (2022–2025).



Fuente: Datos suministrados por Mercado Mayorista Lo Valledor (2025).

La Figura 5 muestra que mensualmente se consumen entre 4,000 y 6,000 metros cúbicos de agua en el Mercado Mayorista Lo Valledor. El gasto anual promedio es de aproximadamente 70 millones de pesos y, hasta 2025, se han acumulado gastos por un total cercano a 216 millones de pesos. Tal como se aprecia en la Figura 4, la infraestructura que más consume agua son los baños, seguidos por otros sectores como locales rurales y bodegas.

Además del consumo por parte de los locales, el mercado emplea agua para usos comunes en sus instalaciones. Esto incluye labores de limpieza de los patios y áreas comunes, riego de espacios verdes y mantenimiento de los edificios donde se encuentran departamentos y oficinas administrativas. Estos consumos representan una porción importante del gasto hídrico total del mercado y requieren un manejo adecuado para optimizar el uso y evitar desperdicios.

La actual gestión hídrica se basa principalmente en el suministro desde la red pública, con contratos y facturaciones que reflejan el consumo medido en los puntos equipados con medidor y estimaciones para los demás. Este modelo presenta limitaciones en cuanto a la autonomía y control sobre el recurso, además de exponer al mercado a riesgos asociados a variaciones tarifarias y posibles interrupciones del suministro.

Es importante destacar que la crisis hídrica es una problemática actual que continuará agravándose en el futuro. Esto se refleja claramente en el Mercado Mayorista Lo Valledor, donde se han observado descensos significativos en los niveles freáticos. Estudios realizados por la empresa CRUZAT y antecedentes entregados por René Tineo, Jefe de Infraestructura del recinto, indican que, en un período de 10 años, el nivel del agua subterránea ha disminuido entre 20 y 25 metros de profundidad (comunicación personal, 2025).

Para hacer frente a estos desafíos, se hace necesario evaluar alternativas que permitan una gestión más autónoma, eficiente y sostenible del agua, entre las que se considera la captación y uso de aguas subterráneas mediante pozos en napas subterráneas, que podrían complementar o sustituir parte del consumo actual y reducir los costos operacionales asociados.

5.4. Uso de Aguas Subterráneas en Chile, Normativa Legal y Reglamentaria para la Captación

El recurso hídrico subterráneo es fundamental para múltiples usos del agua, habiendo sido utilizado desde tiempos antiguos para resolver problemas de abastecimiento en las comunidades y para irrigar terrenos agrícolas. Su aprovechamiento se ha intensificado a lo largo de la historia gracias a los avances en técnicas de perforación de pozos y a la incorporación de bombas sumergibles de impulsión (Sahuquillo, 2009).⁹

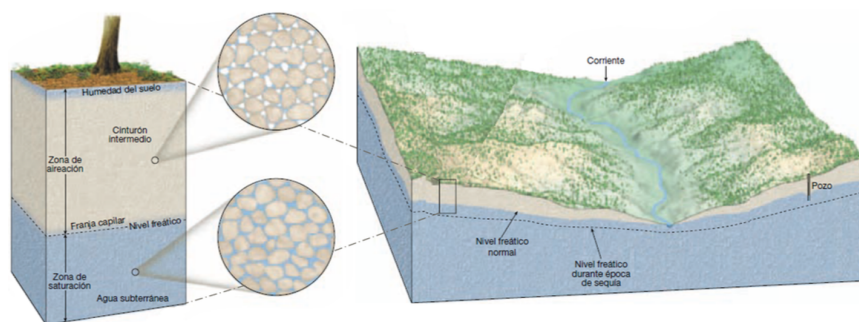
Otro aspecto que destaca Sahuquillo es la fácil accesibilidad y el relativamente bajo costo del agua subterránea. Además, resalta que esta fuente hídrica resulta especialmente eficiente durante periodos de sequía, siempre y cuando el acuífero cuente con un almacenamiento y una recarga anual suficientes para satisfacer la demanda de agua en la zona específica.

En Chile, la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos es muy

⁹Sahuquillo, A. (2009). *La importancia de las aguas subterráneas*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Recuperado de <https://rac.es/ficheros/doc/00923.pdf>

heterogénea. Desde la Región Metropolitana hacia el norte predominan las condiciones de escasez y déficit hídrico, mientras que desde la Región de O'Higgins hacia el sur se registran niveles significativos de abundancia (Dirección General de Aguas [DGA], 2016).¹⁰

Figura 6: Distribución del agua subterránea y principales conceptos de interés.



Fuente: Tarbuck & Lutgens (2005).

La figura 6 muestra la distribución del agua en el suelo y subsuelo, destacando el nivel freático como la frontera entre la zona de aireación y la zona saturada. Durante periodos de sequía, el nivel freático desciende, reduciendo la disponibilidad de agua subterránea. Esta disminución afecta la sustentabilidad del recurso hídrico, aspecto clave en la gestión y factibilidad del abastecimiento de agua potable. Esto es especialmente importante, ya que el nivel freático determina la cantidad de agua subterránea disponible para extracción. Un descenso prolongado del nivel freático puede limitar la capacidad de los pozos para suministrar agua, afectando la continuidad y confiabilidad del abastecimiento. Por lo tanto, comprender y monitorear esta dinámica es fundamental para evaluar la factibilidad técnica y la sostenibilidad del abastecimiento mediante pozos subterráneos.

El uso de aguas subterráneas en Chile constituye una alternativa eficiente y potencialmente sostenible, regulada por un marco legal que busca asegurar un aprovechamiento racional

¹⁰Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del Agua - Chile 2016*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/5f46898c-f9e5-4d97-936b-a1e9f0dcecd>

del recurso, equilibrando los intereses económicos, técnicos y ambientales. Este marco se sustenta principalmente en tres cuerpos normativos: la Constitución Política de la República, el Código de Aguas de 1981 y la normativa complementaria que regula la exploración y explotación de aguas subterráneas, cuyo análisis ha sido profundizado en estudios como el de Sandoval y Varas.¹¹

La Constitución Política reconoce las aguas como bienes nacionales de uso público y establece la propiedad sobre los derechos de aprovechamiento, no sobre las aguas en sí mismas, otorgando a los particulares la libertad para desarrollar actividades económicas que involucren la utilización del agua, siempre bajo las normas legales vigentes. El Código de Aguas complementa esta regulación, estableciendo el procedimiento para la constitución de derechos de aprovechamiento y los límites para su otorgamiento, destacando que la explotación de aguas subterráneas debe efectuarse previa constitución del respectivo derecho, conforme a requisitos técnicos y jurídicos.

La regulación contempla restricciones específicas para proteger acuíferos y preservar derechos existentes, además de establecer procedimientos para la exploración y explotación que incluyen pruebas técnicas como el bombeo y el monitoreo. En conjunto, este marco jurídico y normativo busca promover un uso racional y sustentable de las aguas subterráneas, asegurando seguridad jurídica a los usuarios, protección ambiental y apoyo al desarrollo económico nacional.

De acuerdo con el Código de Aguas de Chile, promulgado como Decreto con Fuerza de Ley (DFL) N. 1122, este cuerpo legal constituye la norma fundamental que regula el aprovechamiento y administración de los recursos hídricos, incluyendo las aguas subterráneas. Regula los procedimientos para la constitución, modificación, suspensión y extinción de derechos de

¹¹Sandoval, J., & Varas, M. T. (s.f.). *Régimen jurídico de las aguas subterráneas en Chile*. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/107716>

aprovechamiento de aguas, considerando aspectos técnicos, administrativos y ambientales para asegurar un uso racional y sostenible. Asimismo, establece la competencia de la Dirección General de Aguas para supervisar y fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones, así como para fijar límites a la explotación cuando ésta pueda afectar la sustentabilidad de los acuíferos.¹²

Entre sus principios esenciales, el Código impone que la explotación de aguas subterráneas debe realizarse sin poner en peligro la sustentabilidad de los acuíferos ni los derechos de terceros, promoviendo una gestión responsable y equitativa del recurso hídrico. Las modificaciones recientes, incorporadas mediante leyes complementarias y reglamentaciones, refuerzan estas obligaciones con énfasis en la protección ambiental, la medición precisa de extracciones y la limitación de usos que afecten negativamente a los ecosistemas y comunidades.

Este marco legal se complementa con normas técnicas y resoluciones administrativas que detallan las condiciones para la exploración, perforación, extracción y control de las aguas subterráneas, estableciendo zonas de restricción y prohibición cuando se evidencian riesgos de sobreexplotación o contaminación.

Para comprender el potencial y los límites del uso de aguas subterráneas en el Mercado Mayorista Lo Valledor, es fundamental analizar las condiciones hidrogeológicas específicas de su sector. La disponibilidad y calidad del recurso subterráneo dependen directamente de factores geológicos, geomorfológicos y climáticos que influyen en la recarga, almacenamiento y flujo del agua en los acuíferos locales.

¹²Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.). *Decreto con Fuerza de Ley N. 1122*. Recuperado de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>

5.5. Condiciones Hidrogeológicas y Disponibilidad del Recurso Subterráneo en el Sector de Lo Valledor

En el sector del Mercado Mayorista Lo Valledor, según René Tineo, se dispone actualmente de tres pozos subterráneos que constituyen la principal fuente de abastecimiento hídrico para el recinto. Estos pozos presentan una capacidad conjunta estimada en aproximadamente 150 litros por segundo, con profundidades del orden de 169 metros (Comunicación personal, 2025).

Aunque el derecho de explotación de este recurso, otorgado por la DGA, corresponde a un caudal máximo de 100 litros por segundo, el mercado debe mantener una extracción efectiva por debajo de este límite.

La estructura geológica del Mercado Mayorista Lo Valledor está compuesta principalmente por ripio, bolones y material granular, lo que favorece el almacenamiento y la circulación del agua subterránea. El Cuadro 1 resume la estratigrafía del sector en función de la profundidad.

Cuadro 1: Detalle de estratigrafía.

Sección	Detalle
0 a 20 metros	Arena, ripio, arcilla
20 a 100 metros	Ripio, bolones, arena
100 a 116 metros	Ripio, arena
116 a 117 metros	Bolones
117 a 169 metros	Arena, ripio, bolones

Fuente: Cruzat Ingeniería. *Informe de Pozo Profundo* (2023).

Finalmente, la disponibilidad y las características hidrogeológicas del recurso subterráneo en el Mercado Mayorista Lo Valledor permiten una factibilidad técnica favorable para su uso como fuente complementaria y sostenible de agua para el mercado, siempre que se implementen sistemas de monitoreo y gestión adecuados que aseguren la conservación del acuífero y la calidad del agua a largo plazo.

5.6. Sistemas Tecnológicos para la Captación, Tratamiento y Gestión de Aguas Subterráneas

Captación corresponde a toda instalación que permite poner a disposición de los usuarios el agua contenida en los acuíferos y que, además, está destinada a facilitar la obtención de un cierto volumen para satisfacer una demanda determinada (Custodio & Llamas, 1983).¹³

En cuanto a las obras de captación, Custodio y Llamas señalan que los diferentes tipos de captación de agua se pueden clasificar según sus características hidráulicas de la siguiente manera:

- **Pozos:** perforaciones verticales cilíndricas, con diámetros mucho menores que su profundidad, donde el agua ingresa por las paredes generando un flujo radial hacia el interior.
- **Drenes y galerías:** instalaciones horizontales con sección circular o similar, cuya longitud es mayor que su diámetro, por donde el agua penetra a lo largo de la estructura generando un flujo paralelo y horizontal. Los drenes terminan en un pozo colector o emergen en la superficie.
- **Zanjas:** excavaciones rectilíneas poco profundas en forma de trinchera, que funcionan de manera similar a los drenes y galerías.
- **Socavones:** excavaciones de formas variables y poca profundidad, que operan de manera semejante a un pozo de gran diámetro.
- **Pozos de drenes radiales:** estructuras compuestas por un pozo revestido del que parten drenes horizontales en varias direcciones, funcionando en conjunto como un socavón.

¹³Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). *Hidrología subterránea* (Tomo I). Recuperado de <https://es.slideshare.net/slideshow/custodio-llamas-tomo-1/251815207>

- **Pozos profundos:** perforaciones verticales realizadas con maquinaria especializada, equipadas con tubería entubada que posee aberturas en ciertos sectores para permitir la entrada del agua, facilitando su extracción mediante equipos mecánicos.

Los pozos proporcionan un suministro amplio y confiable de agua, no solo para uso doméstico, sino también para riego agrícola e industrias. En muchos casos, se desarrollan captaciones subterráneas para enfrentar la escasez de agua superficial, consolidando así al agua subterránea como un recurso vital para satisfacer diversas demandas (USGS, 2018).¹⁴

El monitoreo de los niveles de los pozos es una de las herramientas principales para comprender el comportamiento de las aguas subterráneas, ya que entrega información sobre los factores internos y externos que actúan sobre los acuíferos en procesos de recarga, almacenamiento y descarga. Un aspecto crítico es la frecuencia de medición, la cual constituye una de las consideraciones clave en el diseño de un programa de monitoreo del nivel freático. Este programa puede complementarse con información sobre las extracciones de agua subterránea para lograr una mejor interpretación de los datos (USGS, 2001).¹⁵ En Chile, esta labor se ha modernizado gracias a plataformas digitales como *mipozo.cl*, que permiten el seguimiento en línea y en tiempo real de los niveles de agua en pozos registrados, promoviendo una gestión más eficiente, transparente y sustentable del recurso hídrico subterráneo. Esta información es enviada y monitoreada por la Dirección General de Aguas (DGA), entidad fiscalizadora competente.

Los tratamientos que se aplican al agua extraída son fundamentales, ya que aseguran la eliminación de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos, garantizando que el agua sea segura para el consumo humano y otros usos específicos, además de preservar la salud pública y proteger el medio ambiente. La calidad del agua subterránea está determinada por una

¹⁴U.S. Geological Survey. (2018). *Groundwater wells*. Recuperado de <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/groundwater-wells>

¹⁵Taylor, C. J., & Alley, W. M. (2001). *Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data* (USGS Circular 1217). U.S. Geological Survey.

serie de parámetros físico-químicos y microbiológicos que influyen directamente en su aptitud para el consumo humano, agrícola o industrial. Entre los parámetros más críticos se encuentran el pH, la concentración de sólidos disueltos totales, la presencia de metales pesados y la carga microbiológica (OMS, 2017).¹⁶

Cuando el agua subterránea presenta concentraciones elevadas de sales disueltas, metales pesados (como arsénico, plomo o mercurio) o contaminantes orgánicos, se requieren tratamientos más avanzados para garantizar su calidad. Entre estos procesos destacan:

- **Ósmosis inversa:** proceso de filtración avanzada en el que el agua se hace pasar a presión a través de una membrana semipermeable que retiene partículas, sales disueltas, metales pesados, microorganismos y compuestos orgánicos. La membrana permite que solo las moléculas de agua pura la atraviesen, eliminando contaminantes hasta niveles muy bajos. Es especialmente efectiva para tratar aguas con alta salinidad o contaminantes difíciles de remover por métodos convencionales.
- **Filtración por intercambio iónico:** utiliza resinas especiales que contienen iones en su estructura. Cuando el agua pasa a través de estas resinas, los iones contaminantes (como calcio, magnesio, nitratos o ciertos metales pesados) son intercambiados por iones inocuos, generalmente sodio o hidrógeno, atrapando así los contaminantes y mejorando la calidad química del agua. Es un método común para ablandar agua dura o eliminar metales específicos.
- **Adsorción mediante carbón activado:** el carbón activado es un material poroso con una gran superficie específica que atrae y retiene compuestos orgánicos, cloro, pesticidas y algunos metales pesados presentes en el agua. Mediante un proceso físico-químico, estos

¹⁶Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). Recuperado de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>

contaminantes quedan adheridos a la superficie del carbón, mejorando el sabor, olor y seguridad del agua. Este método es muy utilizado como tratamiento complementario en plantas potabilizadoras.

Estos métodos permiten reducir eficazmente elementos nocivos a niveles seguros para el consumo, de acuerdo con las recomendaciones internacionales (EPA, 2021).¹⁷

A continuación, se presentan los cuadros que detallan los límites máximos permisibles para distintos elementos y sustancias presentes en el agua, según la Norma Chilena NCh 409/1 sobre calidad de agua potable (INN, 2005).¹⁸

Cuadro 2: Elementos esenciales en el agua potable.

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo (mg/L)
Cobre	Cu	2,00
Cromo total	Cr	0,05
Fluoruro	F ⁻	1,50
Hierro	Fe	0,30
Manganeso	Mn	0,10
Magnesio	Mg	125,00
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3,00

Cuadro 3: Elementos potencialmente tóxicos en el agua potable.

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo (mg/L)
Arsénico	As	0,01
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN ⁻	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Nitrato	NO ₃ ⁻	50
Nitrito	NO ₂ ⁻	3,00
Razón nitrato + nitrito	—	1,00
Plomo	Pb	0,05

¹⁷Environmental Protection Agency. (2021). *Overview of drinking water treatment technologies*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sdwa/overview-drinking-water-treatment-technologies>

¹⁸Instituto Nacional de Normalización. (2005). *NCh 409/1 Of.2005 Calidad del agua potable*. Recuperado de <https://www.depuralife.cl/wp-content/uploads/2020/06/NCh409-2005-Calidad-Agua-Potable.pdf>

Cuadro 4: Límites máximos para compuestos orgánicos volátiles.

Sustancia	Límite máximo ($\mu\text{g/L}$)
Tetracloroetano	40
Benceno	10
Tolueno	700
Xileno	500

Cuadro 5: Límites máximos para plaguicidas.

Sustancia	Límite máximo ($\mu\text{g/L}$)
DDT + DDD + DDE	2
2,4-D	30
Lindano	2
Metoxicloro	20
Pentaclorofenol	9

Cuadro 6: Límites máximos para trihalometanos y compuestos relacionados.

Sustancia	Límite máximo ($\mu\text{g/L}$)
Monocloramina	3
Dibromoclorometano	0,1
Bromodiclorometano	0,06
Tribromometano	0,1
Triclorometano	0,2
Trihalometanos	1

Cuadro 7: Requisitos radiológicos para agua potable.

Elementos radiactivos	Límite máximo (Bq/L)
Estroncio 90	0,37
Radio 226	0,11
Actividad beta total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	37
Actividad beta total corregida (incluyendo Sr-90 y corrigiendo para K-40 y otros emisores naturales)	1,9
Actividad alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	0,55

Cuadro 8: Parámetros relativos a características físico-químicas y organolépticas.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo
Físicos			
Color verdadero	–	Unidad Pt–Co	20
Olor	–	–	Inodora
Sabor	–	–	Insípida
Inorgánicos			
Amoniaco	NH ₃	μg/L	1,5
Cloruro	Cl [–]	μg/L	400
pH	–	–	6,5–8,5
Sulfato	SO ₄ ^{2–}	μg/L	500
Sólidos disueltos totales	–	mg/L	1500
Orgánicos			
Compuestos fenólicos	Fenol	μg/L	2

De todas las muestras que se analicen mensualmente en un servicio de agua potable, los parámetros críticos pueden exceder los valores establecidos en los cuadros anteriores en una muestra cuando se hayan analizado menos de 10 muestras, o en el 10 % de las muestras cuando se hayan analizado 10 o más. El promedio aritmético de todas las muestras analizadas en el mes no debe exceder los límites establecidos en cada cuadro. Para el caso de los elementos o sustancias cobre, fluoruro, nitrato y nitrito, ninguna muestra puntual puede exceder dos veces el límite establecido en la norma NCh 409/1.

El monitoreo constante y la aplicación de tratamientos adecuados no solo permiten comprender la dinámica del acuífero, sino que también son fundamentales para evaluar y prevenir impactos ambientales adversos derivados de la explotación de aguas subterráneas, asegurando así la sostenibilidad del recurso en el largo plazo.

5.7. Evaluación de los Efectos Ambientales Asociados al Uso de Tecnologías de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas

El uso intensivo de aguas subterráneas es fundamental para la agricultura y el sustento de grandes poblaciones en muchas regiones del mundo. Por ejemplo, en India, cerca del 60 % de la superficie regada depende de estas aguas, mientras que en América del Norte y Asia meridional, el 59 % y el 57 %, respectivamente, de sus tierras agrícolas también son irrigadas con aguas subterráneas. Sin embargo, este aprovechamiento ha conllevado serias consecuencias ambientales. En India, políticas de electricidad subsidiada para bombas agrícolas provocaron un descenso peligroso en las reservas subterráneas, lo que obligó a las autoridades a modificar dichas políticas para frenar la sobreexplotación. Situaciones similares ocurren en Pakistán, donde la sobreexplotación ha transformado un país con abundancia de aguas superficiales en uno dependiente y estresado por el agotamiento de acuíferos.

Esta problemática global refleja la necesidad urgente de evaluar y controlar los efectos ambientales del uso de tecnologías de captación, pues el uso insostenible de estos recursos puede comprometer la seguridad alimentaria y el equilibrio ambiental a largo plazo. Además, la contaminación derivada del uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas representa otro desafío que afecta la calidad del agua subterránea, con implicancias para la salud humana y los ecosistemas. En promedio, alrededor del 70 % de las aguas subterráneas extraídas se destinan a la agricultura y ganadería, lo que subraya el papel clave de este sector en la gestión sustentable del recurso.¹⁹

El descenso del nivel freático es uno de los impactos ambientales más críticos asociados a la explotación intensiva de aguas subterráneas. Cuando las extracciones superan la recarga

¹⁹Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Groundwater: Making the invisible visible*. Recuperado de <https://www.fao.org/newsroom/story/Groundwater-Making-the-invisible-visible/en>

natural del acuífero, los niveles de agua subterránea disminuyen de forma sostenida, generando una serie de problemas tanto ecológicos como geotécnicos. Una consecuencia directa de este descenso es la compactación de los sedimentos que componen el acuífero, especialmente en formaciones con alta proporción de materiales arcillosos. Esta compactación provoca la pérdida irreversible de la porosidad y de la capacidad de almacenamiento de agua, además de generar la llamada subsistencia del terreno o colapso de pisos. Este fenómeno se traduce en hundimientos superficiales que pueden afectar infraestructuras, edificios, vías y sistemas de agua potable y saneamiento.²⁰

Este colapso de pisos representa un daño ambiental irreversible que no solo afecta la disponibilidad futura de agua, sino que también genera costos económicos significativos para la reparación de infraestructuras dañadas y la adaptación urbana. Por ello, la gestión sostenible de aguas subterráneas debe incluir tecnologías de captación eficientes, planes de manejo integrado y sistemas de monitoreo avanzados que permitan evitar la sobreexplotación y preservar el equilibrio hidrogeológico.

²⁰Galloway, D., & Jones, R. (1999). *Land Subsidence in the United States* (U.S. Geological Survey Circular 1182). Recuperado de https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/pdf/circ1182_intro.pdf

Capítulo 6

METODOLOGÍA

La intención de este proyecto es evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de abastecer con agua potable los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante el uso de pozos en napas subterráneas, con el objetivo de reducir los costos operacionales. Dado que los baños representan la instalación con mayor consumo de agua dentro del recinto, se planteó enfocar la propuesta exclusivamente en este sector, permitiendo así una estimación precisa del ahorro potencial y de la viabilidad del sistema técnico alternativo. La metodología utilizada en el presente estudio se resume en la Figura 7, donde el procedimiento se dividió en seis etapas consecutivas e interrelacionadas. La primera etapa correspondió al diagnóstico del consumo y gasto actual asociado al uso de agua potable en los baños, incluyendo su evolución histórica. La segunda etapa consideró el análisis técnico de la disponibilidad subterránea, basado en datos hidrogeológicos.

La tercera etapa incluyó el estudio de mecánica de fluidos y su formulación matemática. Posteriormente, se definieron los criterios de selección de las tecnologías y componentes más adecuados para la captación, tratamiento y distribución del recurso. En la quinta etapa se llevó a cabo un análisis de la calidad del agua extraída, aspecto especialmente relevante para el tema en estudio.

Finalmente, se implementó la metodología de evaluación de proyectos de inversión por ahorro entre el sistema actual y la alternativa propuesta, incorporando indicadores financieros clave para determinar la viabilidad financiera del proyecto, así como el cumplimiento normativo, considerando tanto la legislación vigente como las medidas de monitoreo necesarias.

Figura 7: Metodología general de la memoria.



6.1. Diagnóstico de consumo y gasto actual de agua

Para determinar la viabilidad del abastecimiento de agua potable mediante pozos subterráneos en el Mercado Mayorista Lo Valledor, el primer paso metodológico consistió en realizar un diagnóstico del sistema de abastecimiento actual, con énfasis específico en los baños, por tratarse del punto de mayor consumo dentro del recinto.

Este diagnóstico permitió establecer una línea base de referencia para proyectar escenarios futuros y evaluar el potencial de ahorro asociado a la implementación del sistema alternativo propuesto. Para ello, se recopiló información histórica, se desagregó el consumo por áreas funcionales y se estimaron los costos operacionales asociados al uso de agua potable hasta el año 2025.

6.1.1. Cuantificación del consumo y desagregación por usos

El análisis se enfocó en identificar el volumen total de agua potable consumido en el recinto durante los últimos años, con datos entregados por el área de infraestructura y las boletas de facturación emitidas por la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A. A partir de dichos registros, se determinó el consumo promedio mensual y anual, permitiendo observar tendencias de comportamiento y estacionalidad.

Cuadro 9: Resumen de consumo total del Mercado para los años 2022, 2023 y 2024.

Año	Consumo total anual (m ³)	Promedio mensual (m ³)
2022	58.427	4.863
2023	58.523	4.876
2024	59.940	4.992

Posteriormente, se procedió a desagregar el consumo según los principales sectores del mercado, siendo los baños la instalación con mayor uso del recurso. Esta desagregación se realizó en base a datos de consumo por medidor, estimaciones operacionales y criterios técnicos entregados por personal interno. Como se observa en las Figuras 8, 9 y 10 existe una tendencia decreciente en el consumo durante el período analizado, posiblemente atribuible a mejoras en eficiencia operativa, variaciones en la afluencia de público o políticas internas de uso racional del recurso.

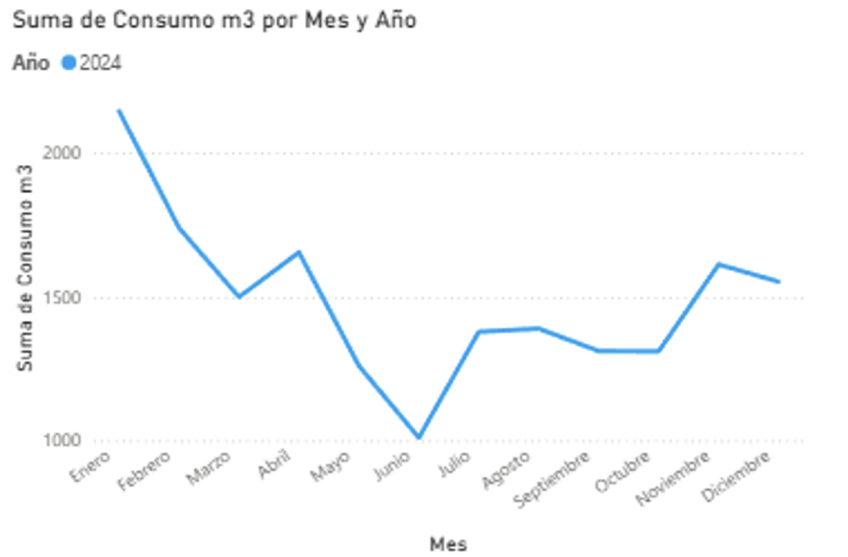
Figura 8: Consumo de baños año 2022.



Figura 9: Consumo de baños año 2023.



Figura 10: Consumo de baños año 2024.



El Cuadro 10 resume el consumo de agua en baños para los años 2022, 2023 y 2024, incluyendo el total anual y el promedio mensual asociado. Estos resultados permiten comparar la evolución del consumo y establecer una base para el dimensionamiento del sistema propuesto.

Cuadro 10: Resumen de consumo de baños para los años 2022, 2023 y 2024.

Año	Consumo total anual (m ³)	Promedio mensual (m ³)
2022	18.746	1.562
2023	18.133	1.511
2024	17.870	1.489

A partir de estos resultados, se obtiene:

- Consumo mensual promedio total del recinto: 4.910 m³.
- Consumo mensual promedio en baños: 1.520 m³.
- Proporción estimada del consumo de baños: 31 %.

Estos datos permitirán dimensionar adecuadamente el sistema de abastecimiento alternativo propuesto y proyectar la cobertura necesaria desde los pozos subterráneos.

6.1.2. Identificación del costo asociado al uso de agua potable

Una vez cuantificado el volumen de consumo de agua potable en los baños del recinto, se procedió a estimar el gasto económico asociado, con el fin de evaluar su peso dentro de los costos operacionales del Mercado Mayorista Lo Valledor. Esta información es fundamental para establecer una comparación económica frente al sistema alternativo propuesto mediante pozos subterráneos.

El cálculo del gasto fue realizado en base a las boletas emitidas por Aguas Andinas S.A. durante los últimos años, considerando tarifas vigentes por metro cúbico, cargos fijos y cargos variables. A partir de esta información, se estimó el gasto anual total en agua potable para el recinto, y se aisló el componente específico correspondiente a los baños, en proporción a su participación en el consumo total.

Cuadro 11: Resumen de gasto anual en agua potable del mercado para los años 2022, 2023 y 2024.

Año	Gasto (CLP)
2022	62.800.000
2023	69.240.000
2024	72.670.000

Según antecedentes proporcionados por el área de infraestructura del mercado, el gasto anual promedio en agua potable para el recinto asciende a aproximadamente \$68.236.667.

Cuadro 12: Resumen de gasto anual en agua potable en baños para los años 2022, 2023 y 2024.

Año	Gasto (CLP)
2022	20.140.000
2023	21.450.000
2024	21.690.000

Considerando que los baños representan cerca del 30 % del consumo total, se estimó que su gasto asociado es del orden de \$21.426.667 CLP anuales.

- Gasto total anual en agua potable (mercado): \$68.236.667 CLP.
- Gasto estimado asociado al consumo de baños: \$21.426.667 CLP.
- Proporción del gasto en baños: 31 %.

Este valor constituye un componente significativo dentro de los costos operacionales del recinto y representa una oportunidad concreta de ahorro mediante la implementación de un sistema autónomo de abastecimiento.

6.1.3. Revisión histórica del consumo hasta 2025

Con el propósito de identificar patrones de comportamiento en la demanda de agua potable a lo largo del tiempo, se realizó una revisión de la serie histórica de consumo mensual correspondiente a los años 2022, 2023 y 2024, con base en registros proporcionados por Aguas Andinas S.A. y visualizados mediante herramientas gráficas de análisis.

Se identificaron ciertos comportamientos estacionales repetidos:

- Los meses de mayor consumo tienden a concentrarse en enero, febrero y diciembre, lo que coincide con períodos de mayor afluencia de público, altas temperaturas y uso intensivo de baños.
- Los mínimos de consumo suelen ocurrir en los meses de mayo a julio, asociados a menor demanda operativa y menor asistencia de usuarios al recinto.

Toda esta revisión permitió proyectar de forma preliminar el comportamiento esperado para los años siguientes, lo cual será utilizado para modelar los escenarios de demanda hídrica futura y dimensionar adecuadamente el sistema de abastecimiento propuesto en etapas posteriores de la metodología.

6.1.4. Modelación y pronóstico de la demanda

Para pronosticar la demanda de agua de los baños en el período de evaluación del proyecto, se empleó un modelo de promedios móviles de 3 meses (MA(3)) sobre la serie mensual, con el fin de suavizar fluctuaciones de corto plazo y obtener una señal tendencial estable. La serie suavizada se proyectó aplicando una tasa de crecimiento exógena del 5 % mensual, que corresponde a la variación máxima registrada en los períodos históricos.

La demanda media se calculó mediante:

$$y_{t0} = \frac{1}{3} (y_t + y_{t-1} + y_{t-2}), \quad t \geq 3 \quad (4)$$

y la proyección de la demanda se obtuvo aplicando la tasa de crecimiento:

$$y_{t+1} = y_{t0} \times (1 + 0,05) \quad (5)$$

Donde:

- y_{t0} : demanda promedio mensual de agua (m³/mes).
- y_t : demanda mensual de agua (m³/mes).
- y_{t+1} : demanda promedio mensual proyectada de agua (m³/mes).
- t : índice temporal (meses consecutivos del período de estudio).

6.2. Análisis técnico de disponibilidad subterránea

Con el fin de determinar la factibilidad de abastecer los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante agua de pozos, se realizó un análisis técnico de la disponibilidad subterránea en el sector. Este análisis incluyó la recopilación de antecedentes hidrogeológicos, la estimación

de caudales disponibles y la verificación de los derechos de aprovechamiento otorgados por la Dirección General de Aguas (DGA).

6.2.1. Levantamiento de datos hidrogeológicos

En el sector del Mercado Mayorista Lo Valledor, según antecedentes entregados por la empresa, se dispone actualmente de tres pozos subterráneos que constituyen una fuente clave de abastecimiento hídrico para el recinto.

Estos pozos cuentan con una capacidad conjunta estimada en 150 litros por segundo, con profundidades que alcanzan hasta 169 metros. Sin embargo, el derecho de explotación otorgado por la Dirección General de Aguas (DGA) establece un límite máximo de extracción de 100 litros por segundo, por lo que el mercado debe mantener su captación por debajo de este valor para cumplir con la normativa vigente.

La estructura geológica del sector está compuesta principalmente por ripio, bolones y material granular, características que favorecen la infiltración, almacenamiento y circulación del agua subterránea, contribuyendo a una recarga natural más eficiente y a una mayor estabilidad del caudal disponible.

6.3. Mecánica de Fluidos

Esta investigación adopta como marco metodológico de referencia el enfoque presentado en el texto *Mecánica de Fluidos, Séptima edición*, que provee el corpus conceptual y procedimental para el análisis y diseño de sistemas de flujo en tuberías.¹

En particular, se emplea la Ecuación General de la Energía (Bernoulli extendida), incorporando pérdidas por fricción y pérdidas menores; el cálculo de pérdidas mediante la ecuación

¹Mecánica de Fluidos, Séptima edición. Recuperado de <https://lumen.uv.mx/resources/files/documents/2022/9/12/7235/b45a600c-e6ca-4cb3-9bc6-1e552a566192.pdf>

de Darcy–Weisbach; la determinación del factor de fricción a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa, así como una alternativa para determinarlo mediante el diagrama de Moody; y el dimensionamiento de bombas (carga total y potencia) y la determinación del punto de operación mediante la intersección entre la curva característica de la bomba y la curva de resistencia del sistema. Con ello, se integra de manera coherente la evaluación de la viabilidad técnica del sistema en términos de caudales, presiones y eficiencia hidráulica.

6.3.1. Modelación de Mecánica de Fluidos y Ecuaciones Fundamentales

Ecuación general de energía (Bernoulli extendida)

Entre las secciones 1 y 2 de una línea con posibles máquinas y pérdidas, la ecuación general de energía se expresa como:

$$\frac{p_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A = h_L + \frac{p_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (6)$$

(Fórmula 6)

Donde:

- p : presión [Pa].
- $\gamma = \rho g$: peso específico [N/m³].
- Z : cota geométrica [m].
- v_i : velocidad [m/s], para todo i .
- h_A : carga añadida por bomba [m].
- h_L : pérdidas totales (tuberías y singularidades) [m].

Determinación del factor de fricción f

Para caracterizar el régimen de flujo y determinar el factor de fricción en tuberías se utiliza, en primer lugar, el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} = \frac{V D}{\nu} \quad (7)$$

La rugosidad relativa del conducto se define como:

$$\frac{\varepsilon}{D} \quad (8)$$

Para flujo turbulento completamente desarrollado en tuberías rugosas, el factor de fricción de Darcy–Weisbach se obtiene implícitamente a partir de la ecuación de Colebrook–White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (9)$$

Donde:

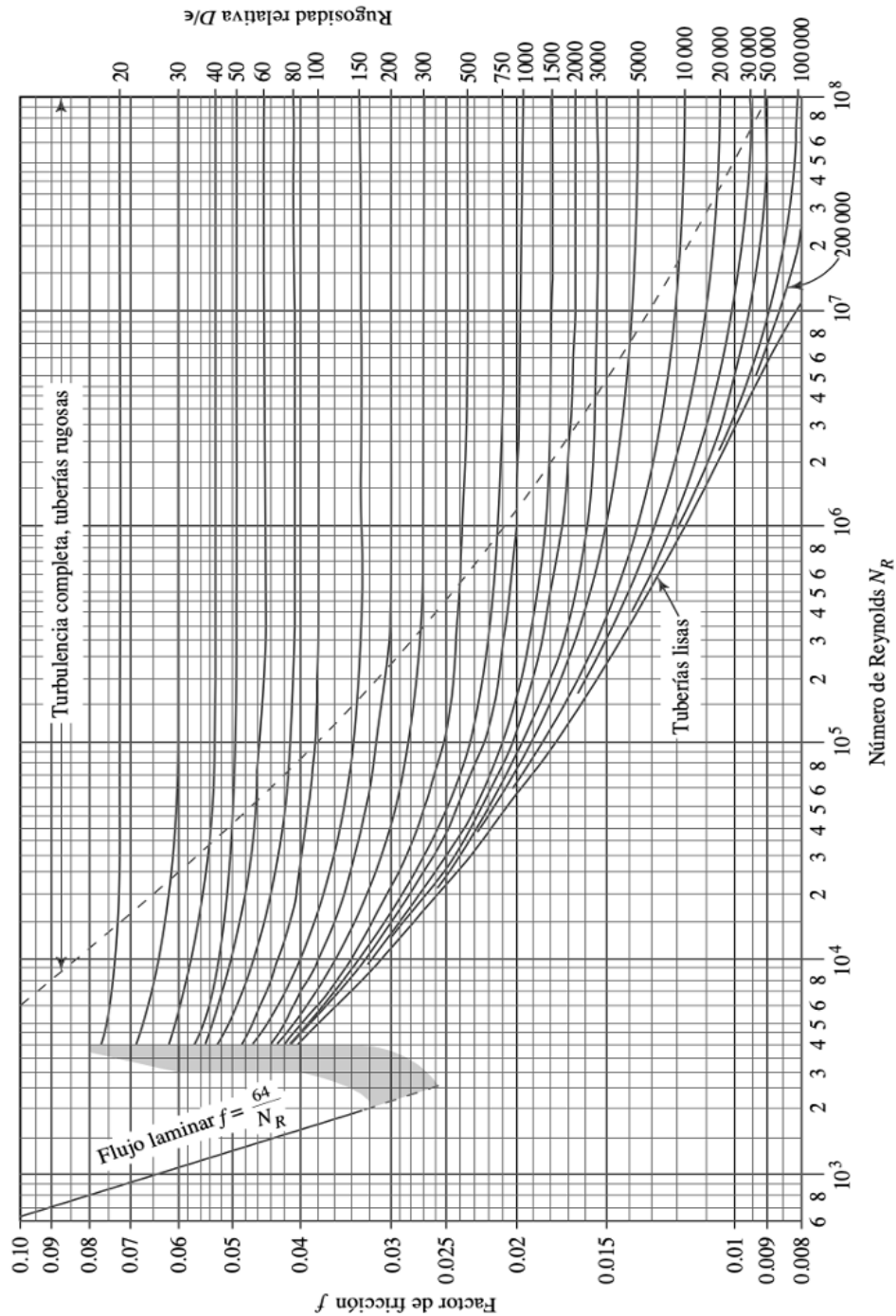
- $\nu = \frac{\eta}{\rho}$: viscosidad cinemática [m²/s].
- η : viscosidad dinámica [kg/(m·s)].
- D : diámetro interior de la tubería [m].
- V : velocidad media del fluido [m/s].
- ρ : densidad del fluido [kg/m³].

- Flujo laminar: $Re < 2000$.
- Flujo turbulento: $Re > 4000$.
- ε : rugosidad absoluta de la cara interna de tubería [m].
- f : factor de fricción de Darcy–Weisbach.

Diagrama de Moody

El diagrama de Moody permite estimar el factor de fricción y, con ello, las pérdidas de carga en tuberías según el régimen de flujo y la rugosidad del conducto. A continuación se presenta en la Figura 11.

Figura 11: Diagrama de Moody: factor de fricción f en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.



Pérdidas por fricción (Darcy–Weisbach)

La pérdida de carga por fricción en una tubería se determina en función de la resistencia del conducto y de las condiciones de flujo, siendo un componente clave en el dimensionamiento

hidráulico. A continuación se presenta la formulación utilizada para este cálculo en la Ecuación 10.

$$h_{L,\text{fricción}} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Donde:

- f : factor de fricción (adimensional).
- L : longitud del tramo de tubería [m].
- D : diámetro interior de la tubería [m].
- v : velocidad media del flujo [m/s].
- g : constante de aceleración de la gravedad [9,81 m/s²].

6.4. Selección de tecnologías

Con el objetivo de garantizar un suministro continuo y de calidad para los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor, esta etapa se centra en identificar y evaluar las tecnologías más adecuadas para la captación, tratamiento y distribución del agua subterránea proveniente de los pozos existentes.

La selección tecnológica se basa en las características hidrogeológicas del sector, los caudales disponibles y la calidad del agua medida, considerando además el marco normativo vigente y los requerimientos operativos del recinto.

Se revisaron las tecnologías disponibles para cada etapa del sistema:

- **Captación:** bombas sumergibles de alta eficiencia, con operación alternada o simultánea, y uso de variadores de frecuencia para optimizar la presión y el consumo energético.

- **Tratamiento:** implementación de un sistema de clorificación en los estanques de llenado posteriores a la extracción de agua desde el pozo, con el fin de asegurar la desinfección completa y garantizar que el recurso sea 100 % potable.
- **Distribución:** incorporación de un sistema de bombas trifásicas que impulsará el agua hacia los distintos puntos de consumo, particularmente los baños, manteniendo una presión adecuada a lo largo de la red. Una vez en los baños, el sistema contará con un sistema adicional de presurización mediante bombas independientes y un estanque de almacenamiento propio, asegurando un suministro constante y estable en los artefactos sanitarios.

6.4.1. Calidad del Agua

La metodología para evaluar la calidad del agua será la establecida por el laboratorio acreditado competente (métodos validados y controlados), para verificar el cumplimiento íntegro de la normativa aplicable y la ausencia de resultados subestándar.

6.5. Evaluación de Proyecto

Esta investigación adopta como marco metodológico de referencia el enfoque de Preparación y Evaluación de Proyectos (PEP), el cual provee la estructura conceptual para analizar la conveniencia económica de la alternativa propuesta.²

La Preparación y Evaluación de Proyectos es un instrumento prioritario para la asignación de recursos a iniciativas de inversión. Su objetivo es medir la rentabilidad de la inversión desde el punto de vista privado y disminuir los niveles de riesgo, incertidumbre y ambigüedad en la toma de decisiones.

²Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. M. (2014). *Preparación y evaluación de proyectos* (6.ed.). McGraw-Hill/Interamericana, pp. 52–61. Versión digital consultada en plataforma académica.

El proceso de PEP se divide en la formulación y preparación de la información, seguida de la evaluación. Para ello, se requiere realizar seis estudios de viabilidad que proveen la información relevante para determinar la factibilidad financiera del proyecto.

Estudio Técnico del Proyecto

Para un proyecto de infraestructura como la captación de agua subterránea, este estudio es crucial porque:

- Determina la función de producción óptima para el uso eficiente de los recursos.
- Provee información para cuantificar inversiones y costos de operación pertinentes a esta área.
- Asegura la viabilidad técnica, es decir, las posibilidades materiales y físicas de producir el bien o servicio (en este caso, la extracción y purificación del agua).
- Define las necesidades de equipos y el monto de inversión correspondiente.
- Distingue entre vida útil contable (depreciación fiscal) y vida útil técnica (duración efectiva que determina el reemplazo).
- Sistematiza la cuantificación de recursos mediante balances de equipos y balances de obras físicas.

Determinación del Tamaño (Capacidad Productiva)

El tamaño del proyecto influye directamente en las inversiones, los costos y la rentabilidad. En este contexto:

- Debe responder a la demanda de agua proyectada para el mercado.

- Considera la disponibilidad de insumos (recurso hídrico, mano de obra, financiamiento) como factor condicionante.
- Frente a una demanda creciente, se puede optar por un tamaño inicial que permita una utilización rentable de capacidad ociosa futura, aprovechando economías de escala.
- El objetivo es identificar la opción de tamaño que maximiza el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto.

Decisiones de Localización

Aunque el recurso hídrico subterráneo es fijo en el territorio, se deben evaluar las ubicaciones de las instalaciones complementarias (bombeo, tratamiento y distribución):

- Se busca la localización que maximiza la rentabilidad del proyecto.
- El análisis se realiza en dos etapas: macrolocalización y microlocalización definitiva.
- Se consideran costos de transporte e impulsión, disponibilidad de insumos (energía, materiales) y restricciones físicas existentes.
- Si los ingresos no varían entre alternativas y solo cambian los costos, se opta por el menor Valor Actual de Costos (VAC).

$$VAC = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (11)$$

- C_t : Costo en el período t .
- r : Tasa de descuento.

- t : Índice temporal.
- T : Horizonte del proyecto.

Estimación de Costos y Flujo de Caja

La estimación de costos y la construcción del flujo de caja permiten cuantificar la conveniencia económica del proyecto frente a la situación sin proyecto:

- **Costos diferenciales:** solo son relevantes las partidas que varían entre la situación sin proyecto y con proyecto.
- **Costos sepultados** (*sunk costs*): obligaciones del pasado que son irrelevantes para la decisión futura, aunque impliquen pagos inevitables.
- **Flujo de caja:** integra ingresos y egresos de operación, inversión inicial y valor de desecho. Incluye:
 - Impuesto a las utilidades, registrado como egreso.
 - Depreciación y amortización, incorporadas como egresos no desembolsables para reflejar el beneficio tributario y luego reincorporadas al final del flujo.
 - Inversión en capital de trabajo, es decir, los recursos necesarios para operar un ciclo (energía, insumos, repuestos, etc.).
 - Cálculo del capital de trabajo por método contable (Activo Circulante – Pasivo Circulante) o por déficit acumulado máximo (mayor déficit entre egresos e ingresos proyectados).
 - Valor de desecho al término del horizonte, estimado por método contable (valor libro) o método comercial (valor de mercado neto de impuestos).

6.5.1. Criterios de Rentabilidad

La evaluación económica del proyecto se basa en indicadores clásicos de rentabilidad, que permiten comparar los flujos de caja generados.

Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) corresponde a la diferencia entre ingresos y egresos actualizados con una tasa de descuento r . El proyecto se acepta si $VAN \geq 0$.

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad (12)$$

- t : índice de tiempo (años, meses u otra unidad uniforme).
- T : horizonte de evaluación (número total de periodos).
- F_t : flujo neto de caja del periodo t .
- r : tasa de descuento.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa que hace $VAN = 0$. Se compara con la tasa de descuento exigida para decidir la conveniencia del proyecto.

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{F_t}{(1 + \text{TIR})^t} \quad (13)$$

Tasa de costo de capital (WACC)

La tasa de costo de capital o tasa de descuento representa la rentabilidad mínima exigida al proyecto, coherente con su nivel de riesgo: a mayor riesgo, mayor tasa exigida.

$$WACC = \frac{E}{E + D} k_e + \frac{D}{E + D} k_d (1 - \tau) \quad (14)$$

- E : valor de patrimonio (*equity*) a valor de mercado.
- D : valor de deuda a valor de mercado (saldo que devenga interés).
- k_e : costo del patrimonio, calculado vía CAPM.
- k_d : costo de la deuda antes de impuestos.
- τ : tasa de impuesto a la renta.

6.5.2. Análisis de Riesgo y Sensibilidad

El análisis de riesgo y sensibilidad permite evaluar cómo la incertidumbre en las variables clave afecta la rentabilidad del proyecto.

- **Riesgo:** se refiere a la variabilidad de los componentes del flujo efectivo respecto del caso base.
- **Sensibilidad:**
 - **Unidimensional:** consiste en variar una sola variable y obtener su valor umbral (punto en que $VAN = 0$).

$$0 = \sum_{t=0}^T \frac{F_t(x)}{(1+r)^t} \quad (15)$$

Donde:

- $F_t(x)$: flujo neto de caja del período t en función de la variable x cuyo impacto se va a medir.
- r : tasa de descuento.
- t : índice de tiempo.
- T : horizonte de evaluación.

Capítulo 7

DESARROLLO

7.1. Caudales de Agua

7.1.1. Caudal Promedio de Consumo

a) Demanda de baños (promedio)

- Consumo mensual promedio en baños: 1.520 m³/mes.

A partir del consumo mensual de baños de 1.520 m³/mes, se estimó el caudal medio dividiendo el volumen por el número de segundos de un mes de 30 días:

$$\begin{aligned} Q_{\text{med}} \left(\frac{\ell}{\text{s}} \right) &= 1.520 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \times 1.000 \frac{\ell}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \\ &= 0,5864 \frac{\ell}{\text{s}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Consumo mensual proyectado

Conforme a la metodología indicada en el punto 8.1.4 se calcula un caudal mínimo proyectado de 1.375 [m³/mes] (0,5305 [l/s]) y un caudal máximo proyectado de 2.827 [m³/mes] (1,091 [l/s]). En el cuadro siguiente se presenta el desarrollo de los consumos mensuales reales y proyectados.

Cuadro 13: Consumo mensual proyectado de agua en baños del Mercado Mayorista Lo Valledor.

Mes/Año	Datos reales [m³/mes]							Datos proyectados [m³/mes]				
	2022	2023	2024	2025 ^(*)	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Enero	1 935	2 041	2 146	2 587	2 371	2 486	2 605	2 612	2 696	2 769	2 827	
Febrero	1 848	2 049	1 740	2 417	2 172	2 215	2 381	2 369	2 438	2 516	2 563	
Marzo	1 607	1 717	1 500	2 132	1 872	1 927	2 076	2 056	2 121	2 188	2 228	
Abril	1 387	1 602	1 655	2 069	1 864	1 956	2 061	2 058	2 126	2 186	2 230	
Mayo	1 468	1 277	1 261	1 846	1 535	1 625	1 752	1 719	1 783	1 839	1 869	
Junio	1 509	1 180	1 011	1 739	1 375	1 444	1 595	1 545	1 604	1 661	1 683	
Julio	1 489	1 310	1 379	1 906	1 608	1 713	1 830	1 803	1 871	1 926	1 960	
Agosto	1 325	1 797	1 390	2 023	1 823	1 833	1 988	1 975	2 029	2 097	2 135	
Septiembre	1 631	1 131	1 312	1 870	1 509	1 642	1 757	1 718	1 791	1 843	1 873	
Octubre	1 105	1 138	1 311	1 688	1 448	1 556	1 642	1 626	1 689	1 735	1 767	
Noviembre	1 821	1 582	1 613	2 199	1 888	1 995	2 129	2 104	2 180	2 244	2 285	
Diciembre	1 622	1 312	1 553	2 014	1 708	1 846	1 949	1 926	2 003	2 057	2 095	

(*) En el año 2025 el consumo aumenta en 444 [m³/mes] como consecuencia de considerar el nuevo baño 10 dentro de los gastos.

7.1.2. Caudal Promedio Disponible en Pozos

a) Caudal disponible desde pozos

- Capacidad conjunta informada: 150 l/s.
- Límite por derecho DGA: 100 l/s.
- Caudal disponible para diseño: 100 l/s (no exceder derecho vigente).

b) Disponibilidad

El derecho vigente limita la extracción a 100 l/s, por lo que la disponibilidad del sistema de pozos frente al caudal punta de los baños es:

$$\text{Disponibilidad} = 100 \% - \left(\frac{Q_{\text{max baños}} \left(\frac{\ell}{s} \right) \times 8}{Q_{\text{pozos}} \left(\frac{\ell}{s} \right)} \right) \times 100 \% \quad (17)$$

El factor 8 indicado en la Fórmula 17 proviene de la relación 24/3 y representa un coeficiente de intensificación que asume concentrar la reposición del consumo diario en solo 3 horas de bombeo. En otras palabras, las bombas deben aportar, durante esas 3 h, el caudal equivalente a 24 h de demanda. Por eso, en la expresión de disponibilidad se multiplica por 8, exigiendo que la capacidad instantánea de los pozos sea ocho veces el caudal requerido por los baños para garantizar el abastecimiento del día completo con 3 h de operación.

$$\text{Disponibilidad} = \left(1 - \frac{1,091 \left(\frac{\ell}{s} \right) \times 8}{100 \left(\frac{\ell}{s} \right)} \right) \times 100 \% = 91,27 \%. \quad (18)$$

La disponibilidad de los pozos es holgadamente suficiente para abastecer los baños, dejando margen para contingencias operativas, siempre respetando el límite DGA y con control operacional (válvulas/variadores) para modular caudales hacia la red interna.

7.2. Comparación de Calidad de Agua de Pozos con la Norma Sanitaria

A continuación se presentan los cuadros comparativos entre los resultados analíticos de laboratorio para cada pozo. Los análisis provienen de un laboratorio acreditado conforme a INN LE 149 y LE 150, el cual desarrolla ensayos conforme a las normas establecidas en la legislación vigente.

Figura 12: Informe N°1623862 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC

Pozo N°1 (ENERLOVA)

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cloro libre residual (mg/L)	<0,04	▲ 0,2-2,0	05-06-24	ISO 7393/2 Of 2017
Coliformes Totales (UFC/100ml)	<1,8	■	05-06-24	NCh 1620/2 Of.2020
Escherichia coli (P/A100ml)	Ausencia	■	05-06-24	ME-02-2007 SISS
Turbiedad (NTU)	<0,06	2	05-06-24	ME-03-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cobre (mg/L)	<0,01	2	13-06-24	*SM 3120 B
Cromo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
Fluoruro (mg/L)	0,03	1,5	12-06-24	ME-06-2007 SISS
Hierro (mg/L)	0,18	0,3	13-06-24	*SM 3120 B
Magnesio (mg/L)	29,0	125	13-06-24	*SM 3120 B
Manganeso (mg/L)	0,01	0,1	13-06-24	*SM 3120 B
Selenio (mg/L)	<0,001	0,01	14-06-24	ME-10-2007-SISS
Zinc (mg/L)	0,03	3	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Arsénico (mg/L)	<0,0009	0,01	13-06-24	ME-12-2007 SISS
Cadmio (mg/L)	<0,002	0,01	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B
Cianuro (mg/L)	<0,012	0,05	14-06-24	*SM 4500 CN-F
Mercurio (mg/L)	<0,0002	0,001	13-06-24	ME-15-2007 SISS
Nitratos (mg/L)	47,5	50	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Nitritos (mg/L)	<0,08	3	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Plomo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
♦ Razón NO ₂ + NO ₃	0,95	1	05-06-24	Cálculo según NCh 409
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Benceno (ug/L)	<1,7	10	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Tetracloroetano (ug/L)	6,3	40	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Tolueno (ug/L)	<1,8	700	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Xileno (ug/L)	<3,2	500	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ 2,4-D (ug/L)	<2	30	07-06-24	*SM 6640 B
▲ DDT+DDD+DDE (ug/L)	< 0,0800	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Lindano (ug/L)	< 0,0200	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Metoxicloro (ug/L)	<0,2	20	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Pentaclorofenol (ug/L)	<1	9	07-06-24	*SM 6640 B
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Bromodichlorometano (mg/L)	<0,0038	0,06	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Dibromodichlorometano (mg/L)	<0,0036	3	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Monocloramina (mg/L)	<0,05	0,1	05-06-24	ME-23-2007 SISS
Tribromometano (mg/L)	<0,0029	0,1	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Triclorometano (mg/L)	<0,0029	0,2	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Trihalometanos (--)	0	1	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ Actividad Alfa Global (incluyendo Ra226 y otros emisores alfa) (Bq/L)	<0,004	37	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Beta Global (incluye Sr90, corregida para K40 y otros radioemisores naturales) (Bq/L)	<0,118	1,9	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Alfa (Bq/L)	0,004	0,55	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Beta (Bq/L)	0,118	---	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Amoníaco (mg/L)	0,04	1,5	13-06-24	ME-27-2007 SISS
Cloruro (mg/L)	182,4	400●	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Color verdadero (Pt-Co)	<5	20	05-06-24	ME-24-2007 SISS
Compuestos Fenólicos (mg/L)	<0,0002	0,002	05-06-24	ME-32-2007 SISS
Olor (--)	Inodoro	Inodora	05-06-24	ME-25-2013 SSIS
Sabor (--)	Isipido	Insipida	05-06-24	ME-26-2013 SSIS
Sulfatos (mg/L)	381,1	500 ●	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Sólidos disueltos (mg/L)	736	1500	11-06-24	ME-31-2007 SISS
pH (--) (Terreno)	7,7	▲ 6,5-8,5	05-06-24	▲

Figura 13: Informe N°1623860 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC.

Pozo N°2 (VEOLIA)

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cloro libre residual (mg/L)	<0,04	▲ 0,2-2,0	05-06-24	ISO 7393/2 Of 2017
Coliformes Totales (UFC/100ml)	<1,8	■	05-06-24	NCh 1620/2 Of.2020
Escherichia coli (P/A100ml)	Ausencia	■	05-06-24	ME-02-2007. SISS
Turbiedad (NTU)	0,20	2	05-06-24	ME-03-2007 SISS

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cobre (mg/L)	0,02	2	13-06-24	*SM 3120 B
Cromo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
Fluoruro (mg/L)	0,03	1,5	12-06-24	ME-06-2007 SISS
Hierro (mg/L)	0,03	0,3	13-06-24	*SM 3120 B
Magnesio (mg/L)	26,8	125	13-06-24	*SM 3120 B
Manganeso (mg/L)	<0,01	0,1	13-06-24	*SM 3120 B
Selenio (mg/L)	<0,001	0,01	14-06-24	ME-10-2007-SISS
Zinc (mg/L)	0,23	3	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Arsénico (mg/L)	<0,0009	0,01	13-06-24	ME-12-2007 SISS
Cadmio (mg/L)	<0,002	0,01	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B
Cianuro (mg/L)	<0,012	0,05	14-06-24	*SM 4500 CN-F
Mercurio (mg/L)	<0,0002	0,001	13-06-24	ME-15-2007 SISS
Nitratos (mg/L)	43,4	50	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Nitritos (mg/L)	<0,08	3	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Plomo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
♦ Razón NO2 + NO3	0,87	1	05-06-24	Cálculo según NCh 409

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Benceno (ug/L)	<1,7	10	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Tetracloroetano (ug/L)	5,1	40	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Tolueno (ug/L)	<1,8	700	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Xileno (ug/L)	<3,2	500	11-06-24	ME-19-2007 SISS

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ 2,4-D (ug/L)	<2	30	07-06-24	*SM 6640 B
▲ DDT+DDD+DDE (ug/L)	< 0,0800	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Lindano (ug/L)	< 0,0200	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Metoxicloro (ug/L)	<0,2	20	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Pentaclorofenol (ug/L)	<1	9	07-06-24	*SM 6640 B

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Bromodichlorometano (mg/L)	<0,0038	0,06	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Dibromoclorometano (mg/L)	<0,0036	3	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Monocloramina (mg/L)	<0,05	0,1	05-06-24	ME-23-2007 SISS
Tribromometano (mg/L)	<0,0038	0,1	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Triclorometano (mg/L)	<0,0029	0,2	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Trihalometanos (--)	0	1	06-06-24	ME-22-2007 SISS

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ Actividad Alfa Global (incluyendo Ra226 y otros emisores alfa) (Bq/L)	<0,016	37	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Beta Global (incluye Sr90, corregida para K40 y otros radioemisores naturales) (Bq/L)	<0,096	1,9	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Alfa (Bq/L)	0,016	0,55	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Beta (Bq/L)	0,096	---	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Amoníaco (mg/L)	0,10	1,5	13-06-24	ME-27-2007 SISS
Cloruro (mg/L)	180,5	400•	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Color verdadero (Pt-Co)	<5	20	05-06-24	ME-24-2007 SISS
Compuestos Fenólicos (mg/L)	<0,0002	0,002	05-06-24	ME-32-2007 SISS
Olor (–)	Inodoro	Inodora	05-06-24	ME-25-2013 SSIS
Sabor (–)	Insípido	Insípida	05-06-24	ME-26-2013 SSIS
Sulfatos (mg/L)	378,3	500 •	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Sólidos disueltos (mg/L)	832	1500	11-06-24	ME-31-2007 SISS
pH (–) (Terreno)	7,5	▲ 6,5-8,5	05-06-24	▲

Figura 14: Informe N°1623858 , con fecha 11/07/2024, elaborado por DICTUC

Pozo N°3 (EMBARCADORES)

Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cloro libre residual (mg/L)	<0,04	▲ 0,2-2,0	05-06-24	ISO 7393/2 Of 2017
Coliformes Totales (UFC/100ml)	<1,8	■	05-06-24	NCh 1620/2 Of.2020
Escherichia coli (P/A100ml)	Ausencia	■	05-06-24	ME-02-2007 SISS
Turbiedad (NTU)	0,70	2	05-06-24	ME-03-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Cobre (mg/L)	<0,01	2	13-06-24	*SM 3120 B
Cromo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
Fluoruro (mg/L)	0,03	1,5	12-06-24	ME-06-2007 SISS
Hierro (mg/L)	<0,008	0,3	13-06-24	*SM 3120 B
Magnesio (mg/L)	26,3	125	13-06-24	*SM 3120 B
Manganeso (mg/L)	<0,01	0,1	13-06-24	*SM 3120 B
Selenio (mg/L)	<0,001	0,01	14-06-24	ME-10-2007-SISS
Zinc (mg/L)	0,31	3	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Arsénico (mg/L)	<0,0009	0,01	13-06-24	ME-12-2007 SISS
Cadmio (mg/L)	<0,002	0,01	13-06-24	*SM 3030E y 3120 B
Cianuro (mg/L)	<0,012	0,05	14-06-24	*SM 4500 CN-F
Mercurio (mg/L)	<0,0002	0,001	13-06-24	ME-15-2007 SISS
Nitratos (mg/L)	44,7	50	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Nitritos (mg/L)	<0,08	3	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Plomo (mg/L)	<0,01	0,05	13-06-24	*SM 3120 B
♦ Razón NO2 + NO3	0,89	1	05-06-24	Cálculo según NCh 409
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Benceno (ug/L)	<1,7	10	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Tetracloroeteno (ug/L)	7,8	40	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Tolueno (ug/L)	<1,8	700	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Xileno (ug/L)	<3,2	500	11-06-24	ME-19-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ 2,4-D (ug/L)	<2	30	07-06-24	*SM 6640 B
▲ DDT+DDD+DDE (ug/L)	< 0,0800	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Lindano (ug/L)	< 0,0200	2	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Metoxicloro (ug/L)	<0,2	20	07-06-24	*SM 6630 B
▲ Pentaclorofenol (ug/L)	<1	9	07-06-24	*SM 6640 B
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Bromodiclorometano (mg/L)	<0,0038	0,06	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Dibromoclorometano (mg/L)	<0,0036	3	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Monocloramina (mg/L)	<0,05	0,1	05-06-24	ME-23-2007
Tribromometano (mg/L)	<0,0038	0,1	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Triclorometano (mg/L)	<0,0029	0,2	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Trihalometanos (--)	0	1	06-06-24	ME-22-2007 SISS
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
▲ Actividad Alfa Global (incluyendo Ra226 y otros emisores alfa) (Bq/L)	<0,009	37	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Beta Global (incluye Sr90, corregida para K40 y otros radioemisores naturales) (Bq/L)	<0,078	1,9	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Alfa (Bq/L)	0,009	0,55	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
▲ Actividad Mínima Detectable Beta (Bq/L)	0,0078	---	17-06-24	NCh 409/1Of.2005 – Criterios para elementos radiactivos (Tipo III)
Parámetros	Valor Medido	Límite Máximo	Fecha de Análisis	Método de Análisis
Amoníaco (mg/L)	0,08	1,5	13-06-24	ME-27-2007 SISS
Cloruro (mg/L)	162,4	400●	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Color verdadero (Pt-Co)	<5	20	05-06-24	ME-24-2007 SISS
Compuestos Fenólicos (mg/L)	<0,0002	0,002	05-06-24	ME-32-2007 SISS
Olor (--)	Inodoro	Inodora	05-06-24	ME-25-2013 SSIS
Sabor (--)	Insípido	Insípida	05-06-24	ME-26-2013 SSIS
Sulfatos (mg/L)	358,1	500 ●	05-06-24	ISO 10304-1:2007
Sólidos disueltos (mg/L)	776	1500	11-06-24	ME-31-2007 SISS
pH (--) (Terreno)	7,5	▲ 6,5-8,5	05-06-24	♣

De acuerdo con los resultados expuestos, el único parámetro que no cumple la exigencia normativa para agua destinada a consumo humano es el cloro libre residual: se midió < 0,04 mg/L, mientras la norma exige mantener 0,2–2,0 mg/L en el punto de entrega. Esta diferencia

es consistente con el origen subterráneo del recurso, pues al tratarse de agua de napa sin etapa de desinfección no presenta residual de cloro. El resto de los parámetros evaluados se mantiene dentro de los límites establecidos, por lo que, para asegurar el cumplimiento integral, corresponde incorporar una estación de dosificación de cloro que permita mantenerlo dentro del rango normativo.

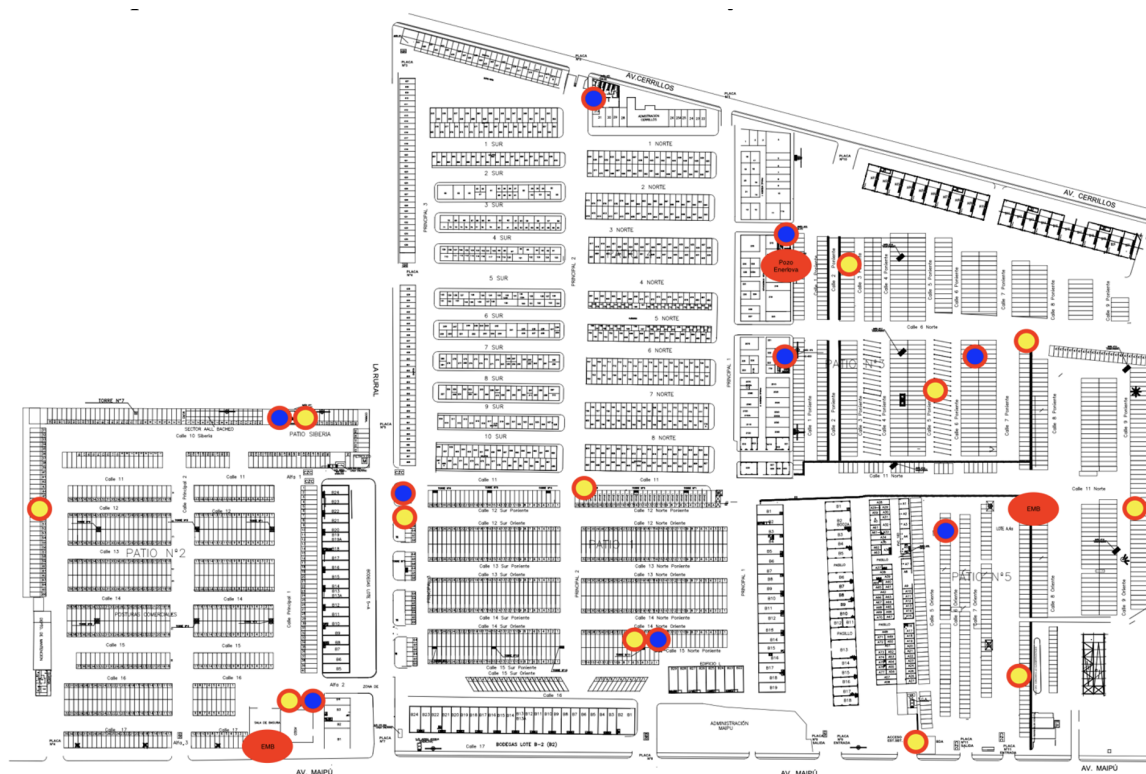
Una alternativa de cloración en línea corresponde a un dispositivo que opera mediante pastillas de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), instaladas en un cuerpo de paso que permite la disolución controlada del desinfectante en la corriente de agua. La concentración de Cl_2 puede monitorearse y ajustarse mediante un reactivo específico para cloro y mediciones periódicas en terreno, asegurando que el cloro residual libre se mantenga dentro del rango exigido por la norma.

7.3. Red Hidráulica

7.3.1. Esquema de Distribución General de Pozos Baños y Urinarios

La representación referenciada en la figura 15 corresponde a la red definida para el Mercado Mayorista Lo Valledor. Cada pozo se vincula con los puntos de demanda, representados por círculos. Esta distribución asegura que cada sector del mercado cuente con abastecimiento de agua.

Figura 15: Puntos de oferta y demanda del recurso.



En el plano, los óvalos rojos representan los puntos de oferta del sistema, correspondientes a pozos de agua disponibles. Los círculos de colores identifican los puntos de demanda: los azules corresponden a baños y los amarillos a urinarios. La distinción entre ambos responde a sus caudales de consumo, por lo que los azules requieren mayores dotaciones que los amarillos. Esta codificación permite dimensionar líneas principales y secundarias, así como priorizar diámetros y presiones según la demanda y la distancia a cada pozo.

De esta manera, el esquema permite visualizar de forma integral la relación entre captación y consumo, constituyéndose en una herramienta clave para la planificación operativa, la seguridad sanitaria y la continuidad del servicio dentro del recinto.

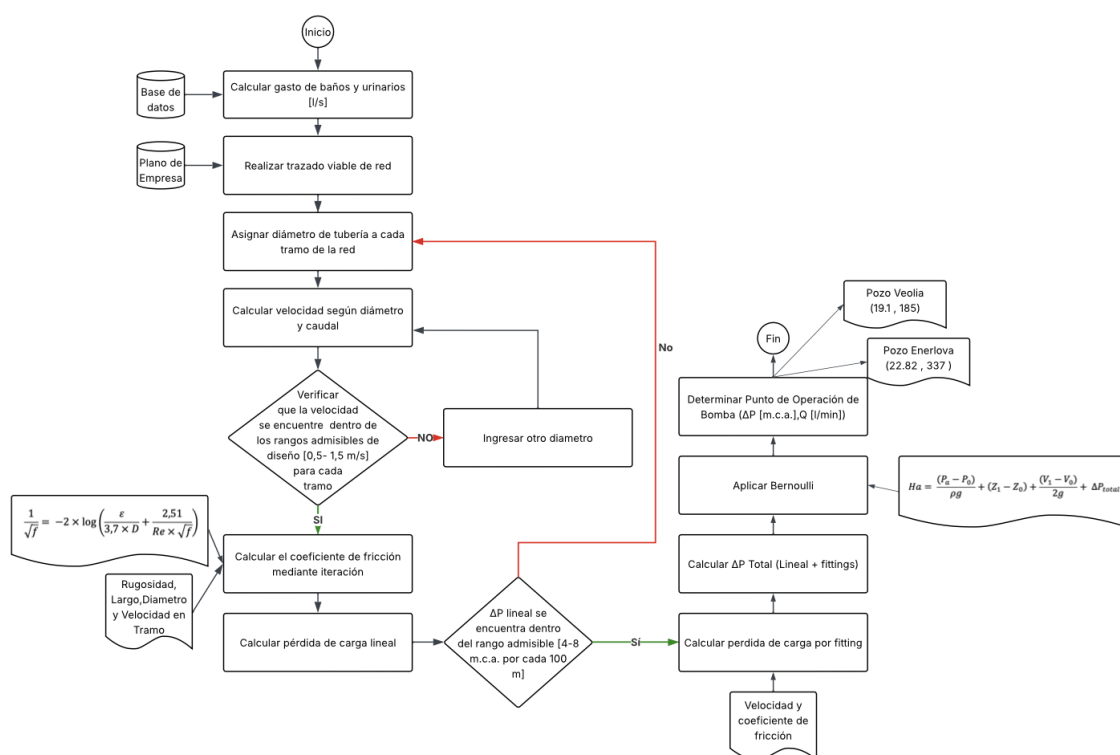
Como criterio de diseño, el Pozo 1 (Enerlova) aportará el 55 % del caudal de diseño, mientras que el Pozo 2 (Veolia) suministrará el 45 % restante. La proporción se definió a partir del análisis de los consumos unitarios de los artefactos sanitarios (baños y urinarios) y de su

asignación hidráulica en la red, de modo que cada fuente abastezca el conjunto de puntos de consumo que le corresponde con el caudal y la presión requeridos.

7.3.2. Metodología de cálculo hidráulico mediante diagrama de flujo

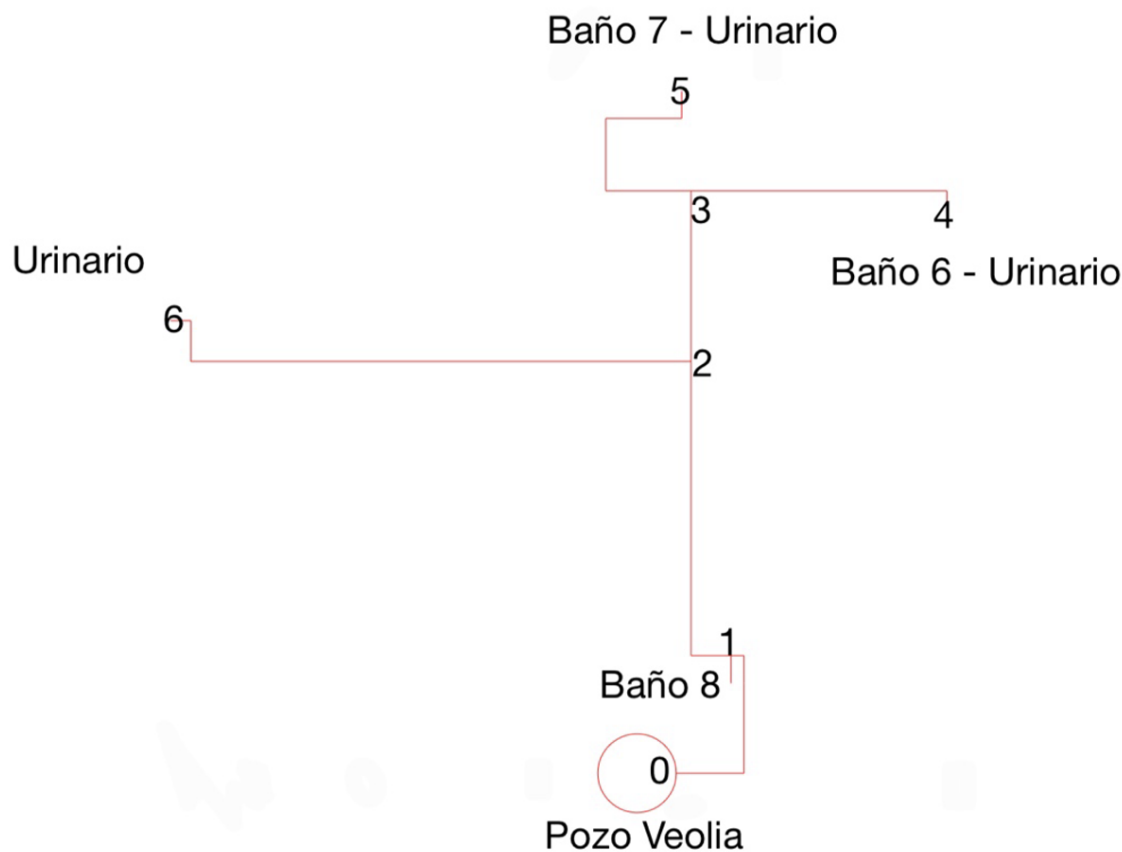
El siguiente diagrama de flujo resume la metodología utilizada para dimensionar la red y verificar sus criterios hidráulicos.

Figura 16: Diagrama de Flujo



7.3.3. Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Veolia

Figura 17: Esquema de Alimentación Pozo Veolia



Todas las velocidades reportadas en el cuadro se encuentran dentro del rango admisible de diseño (0,5–1,5 m/s). Los diámetros seleccionados corresponden a medidas comerciales estándar de tubería.

Cuadro 14: Cálculo de Velocidad y Diámetro Pozo Veolia.

Distribución	Red Tramo	Caudal Mín. Teórico [l/s]	Caudal Máx. Extracción [m³/s]	Caudal Máx. Extracción [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro [mm / in]
Red Pozo Veolia	0–1	0,385	0,00308	3,080	1,5	0,0516	52 / 2"
	1–2	0,330	0,00264	2,640	1,2	0,0520	52 / 2"
	2–6	0,028	0,000224	0,224	0,6	0,0210	21 / 3/4"
	2–3	0,302	0,002416	2,416	1,1	0,0520	52 / 2"
	3–4	0,137	0,001096	1,096	0,8	0,0410	41 / 1 1/2"
	3–5	0,165	0,00132	1,320	1,0	0,0409	41 / 1 1/2"

Como se aprecia en el cuadro, todas las pérdidas de carga lineales calculadas para cada

tramo cumplen el criterio de diseño establecido en los objetivos, manteniéndose dentro del rango admisible de 4–8 m.c.a. por cada 100 m.

Cuadro 15: Cálculo de Pérdida de Carga Lineal Pozo Veolia.

Distribución	Red Tramo	Caudal Máx. Extracción [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [mm]	Largo [m]	Coef. Fricción f	Pérdida Lineal [m.c.a]	Descripción
Red Pozo Veolia	0–1	3,080	1,5	52	85	0,03335244	6,25	6 Codos + 1 Tee + 2 Válvulas
	1–2	2,640	1,2	52	100	0,03335244	4,70	1 Codo + 1 Tee
	2–6	0,224	0,6	21	170	0,04410495	6,55	3 Codos + 2 Válvulas
	2–3	2,416	1,1	52	40	0,03167944	1,50	-
	3–4	1,096	0,8	41	76	0,03167944	1,91	3 Codos + 1 Tee + 2 Válvulas
	3–5	1,320	1,0	41	41	0,03167944	1,61	4 Codos + 2 Válvulas

En el cuadro 16 se estima la pérdida singular mediante el método de longitud equivalente, considerando $Le/D = 40$ para codos y válvulas y $Le/D = 20$ para las tee. Si bien no existe un rango admisible normativo para este componente, los coeficientes y pérdidas resultantes se mantienen en el orden esperado para accesorios comerciales y para las velocidades utilizadas. Los cuadros 17 y 18 presentan el desglose de pérdidas de carga del Pozo Veolia, separando el aporte lineal, singular y el total por tramo de la red. Además, se resume la pérdida total acumulada en los tramos tributarios principales, con el fin de comparar rutas hidráulicas y respaldar el dimensionamiento del sistema.

Cuadro 16: Cálculo de Pérdida de Carga por Fittings Pozo Veolia.

Distribución	Red Tramo	Velocidad [m/s]	Coef. Fricción f	Codo $\rightarrow Le/D = 40$	Tee $\rightarrow Le/D = 20$	Válvula $\rightarrow Le/D = 40$	Codo $\rightarrow \# x K x v^2/2g$	Tee $\rightarrow \# x K x v^2/2g$	Válvula $\rightarrow \# x K x v^2/2g$	Pérdida Sing. [m.c.a]
Red Pozo Veolia	0–1	1,5	0,03335244	1,3340976	0,6670488	1,3340976	0,8850	0,0738	0,2950	1,2538
	1–2	1,2	0,03335244	1,3340976	0,6670488	1,3340976	0,1051	0,0525	0,0000	0,1576
	2–6	0,6	0,04410495	1,764198	0,882099	1,764198	0,1128	0,0000	0,0752	0,1880
	2–3	1,1	0,03167944	1,2671776	0,6335888	1,2671776	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	3–4	0,8	0,03167944	1,2671776	0,6335888	1,2671776	0,1335	0,0223	0,0890	0,2448
	3–5	1,0	0,03167944	1,2671776	0,6335888	1,2671776	0,2582	0,0000	0,1291	0,3874

Cuadro 17: Resultados de Pérdida de Carga Total Pozo Veolia.

Red Tramo	Pérdida Lineal [m.c.a]	Pérdida Singular [m.c.a]	ΔP Total [m.c.a]
0–1	6,25	1,2538	7,5038
1–2	4,70	0,1576	4,8576
2–6	6,55	0,1880	6,7380
2–3	1,50	0,0000	1,5000
3–4	1,91	0,2448	2,1548
3–5	1,61	0,3874	1,9974

Cuadro 18: Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Veolia.

Red Tramo	ΔP Total [m.c.a]
0-6	19,0995
0-5	15,8588
0-4	16,0162

Para determinar el punto de operación de la bomba es necesario realizar el balance de energía estipulado por Bernoulli, cuya ecuación se define como sigue:

$$H_a = \frac{(P_a - P_0)}{\rho g} + (Z_1 - Z_0) + \frac{(V_1 - V_0)}{2g} + \Delta P_{total}$$

Las alturas de referencia se consideran al mismo nivel porque el estanque acumulador de salida del pozo y el estanque acumulador asociado a los baños y urinarios se encuentran prácticamente a la misma cota topográfica. En ambos casos, la evaluación de la ecuación de Bernoulli se realiza entre las superficies libres de estos estanques, las cuales se asumen como puntos de referencia con régimen cuasiestático, por lo que la diferencia de alturas geométricas es despreciable y se cumple que $(Z_1 - Z_0) \approx 0$.

Adicionalmente, en los estanques el área transversal es muy superior al área de las tuberías de impulsión y distribución, de modo que la velocidad de descenso del nivel de agua es muy pequeña en comparación con las velocidades en la red. Por ello, las velocidades en las superficies libres pueden aproximarse a cero y se considera que el fluido se encuentra en condición prácticamente estática, es decir,

$$\frac{(V_1 - V_0)}{2g} \approx 0.$$

En consecuencia, al aplicar la ecuación de Bernoulli entre ambos estanques, los términos de energía cinética y de energía potencial se anulan entre sí, de modo que la carga que debe suministrar la bomba se reduce a compensar únicamente las pérdidas de carga del sistema. Por lo tanto, la altura manométrica requerida se aproxima a la pérdida total de carga,

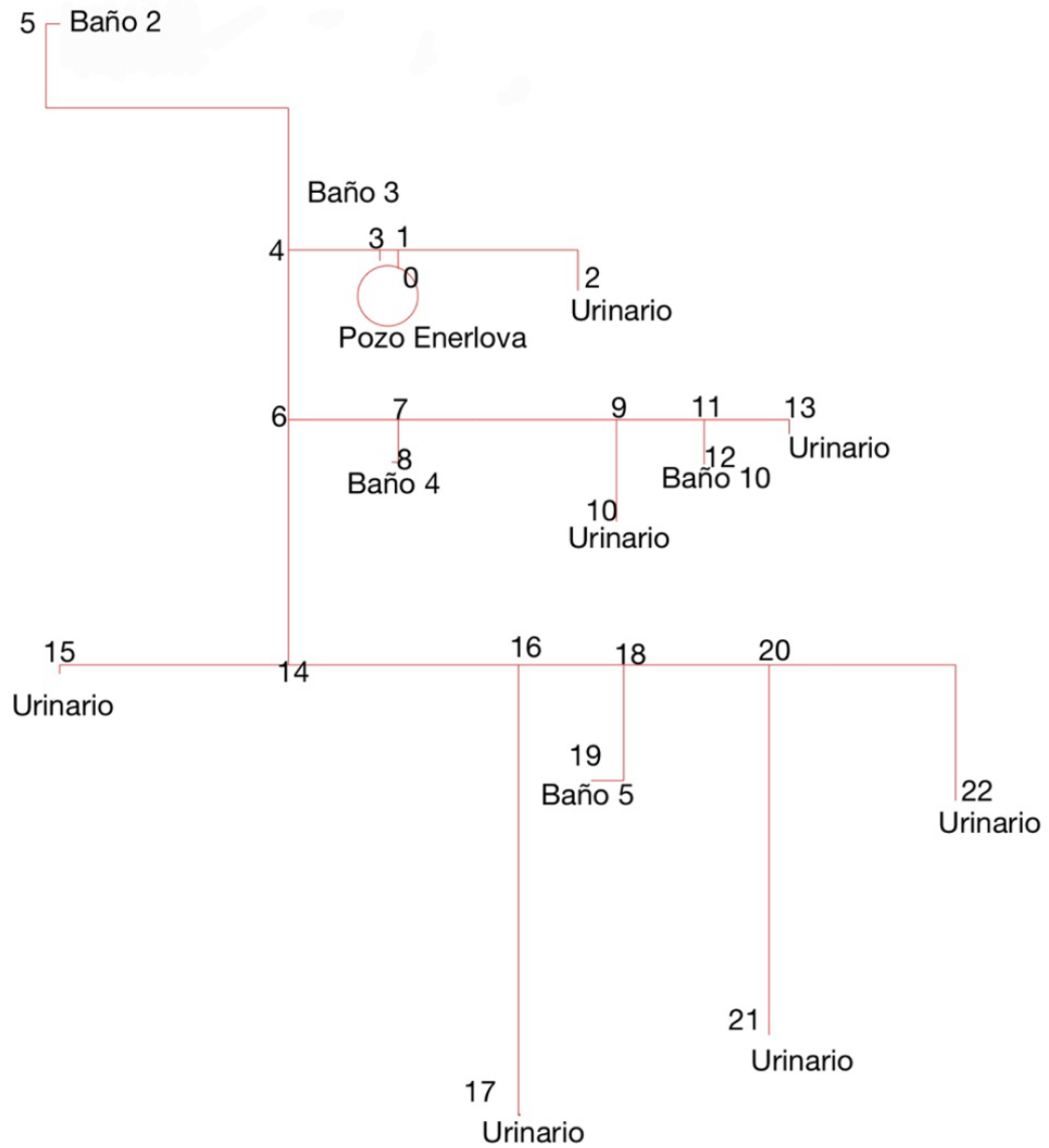
$$H_a \approx \Delta P_{\text{total}}.$$

Cuadro 19: Punto de Operación de Bomba Pozo Veolia.

Selección Bomba	Caudal Máx. Extracción [l/s]	Caudal Máx. Extracción [l/min]	Ha [m.c.a]	Ha [bar (g)]
Punto Operación	3,1	185	19,1	1,9

7.3.4. Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Enerlova

Figura 18: Esquema de Alimentación y Cálculo de Variables Hidráulicas Pozo Enerlova.



Cuadro 20: Cálculo de Velocidad y Diámetro Pozo Enerlova.

Distribución	Red Tramo	Caudal Mín. Teórico [l/s]	Caudal Máx. Extracción [m³/s]	Caudal Máx. Extracción [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [m]	Diámetro [mm]	Diámetro [in]
Red Pozo Enerlova	0-1	0,703	0,00562	5,624	1,14	0,079199748	79	3"
	1-2	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,021000043	21	3/4"
	1-3	0,681	0,00545	5,448	1,11	0,07919925	79	3"
	3-4	0,609	0,00487	4,872	0,99	0,079199997	79	3"
	4-5	0,072	0,00058	0,576	0,94	0,028000185	28	1"
	4-6	0,537	0,00430	4,296	1,26	0,066000673	66	2 1/2"
	6-7	0,436	0,00349	3,488	1,27	0,059200796	59	2"
	7-8	0,196	0,00157	1,568	1,03	0,043999995	44	1 1/2"
	7-9	0,24	0,00192	1,92	0,70	0,059199455	59	2"
	9-10	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"
	9-11	0,218	0,00174	1,744	0,63	0,059199006	59	2"
	11-12	0,196	0,00157	1,568	1,03	0,044000164	44	1 1/2"
	11-13	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"
	6-14	0,101	0,00081	0,808	0,53	0,043999996	44	1 1/2"
	14-15	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"
	14-16	0,079	0,00063	0,632	1,03	0,028000183	28	1"
	16-17	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"
	16-18	0,057	0,00046	0,456	0,74	0,028000182	28	1"
	18-19	0,013	0,00010	0,104	0,52	0,016000048	16	1/2"
	18-20	0,044	0,00035	0,352	0,57	0,028000182	28	1"
	20-21	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"
	20-22	0,022	0,00018	0,176	0,51	0,020999986	21	3/4"

Todas las velocidades reportadas en el cuadro se encuentran dentro del rango admisible de diseño (0,5–1,5 m/s). Los diámetros seleccionados corresponden a medidas comerciales estándar de tubería.

Cuadro 21: Cálculo de Pérdida de Carga Lineal Pozo Enerlova.

Distribución	Red Tramo	Caudal Máx. [l/s]	Velocidad [m/s]	Diámetro [mm]	Largo [m]	Coef. Fricción f	Pérdida Lineal [m.c.a]	Singularidades
Red Pozo Enerlova	0-1	5,624	1,1415	79	17	0,027946	0,3983	1 Válvula – 3 Codos
	1-2	0,176	0,5081	21	83	0,044782	2,2553	5 Codos – 1 Válvula
	1-3	5,448	1,1059	79	13	0,028007	0,2842	1 Tee
	3-4	4,872	0,9889	79	30	0,028007	0,5313	1 Tee – 1 Válvula
	4-5	0,576	0,9354	28	171	0,038808	10,674	6 Codos – 1 Válvula
	4-6	4,296	1,2557	66	65	0,029320	2,3366	1 Tee – 1 Válvula
	6-7	3,488	1,2672	59	43	0,029320	1,7567	–
	7-8	1,568	1,0312	44	21	0,033384	0,8615	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	7-9	1,920	0,6976	59	98	0,033384	1,3849	–
	9-10	0,176	0,5081	21	24	0,044768	0,6519	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	9-11	1,744	0,6336	59	49	0,031553	0,5301	–
	11-12	1,568	1,0312	44	27	0,031553	1,0469	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	11-13	0,176	0,5081	21	73	0,044813	1,9849	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	6-14	0,808	0,5314	44	100	0,034937	1,1368	1 Tee – 1 Válvula
	14-15	0,176	0,5081	21	89	0,044804	2,4195	5 Codos – 1 Válvula
	14-16	0,632	1,0264	28	80	0,038597	5,8477	–
	16-17	0,176	0,5081	21	167	0,044750	4,5345	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	16-18	0,456	0,7405	28	43	0,039370	1,6875	–
	18-19	0,104	0,5173	16	115	0,049235	4,8771	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	18-20	0,352	0,5717	28	69	0,042579	1,7376	–
	20-21	0,176	0,5081	21	133	0,042579	3,4362	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos
	20-22	0,176	0,5081	21	120	0,042579	3,1003	1 Tee – 1 Válvula – 5 Codos

Como se aprecia en el cuadro, todas las pérdidas de carga lineales calculadas para cada tramo cumplen el criterio de diseño establecido en los objetivos, manteniéndose dentro del rango admisible de 4–8 m.c.a. por cada 100 m.

Cuadro 22: Cálculo de Pérdida de Carga por Fittings Pozo Enerlova.

Distribución	Tramo	Velocidad [m/s]	Coef. Fricción f	Codo $Le/D=40$ ($K = f \times 40$)	Tee $Le/D=20$ ($K = f \times 20$)	Válvula $Le/D=40$ ($K = f \times 40$)	Codo $\# Kv^2/2g$	Tee $\# Kv^2/2g$	Válvula $\# Kv^2/2g$	Pérdida Sing. [m.c.a.]
Red Pozo Enerlova	0-1	1,1	0,02794637	1,1179	0,5589	1,1179	0,2228	0,0000	0,0743	0,2970
	1-2	0,5	0,04478246	1,7913	0,8956	1,7913	0,1179	0,0000	0,0236	0,1414
	1-3	1,1	0,02800726	1,1203	0,5601	1,1203	0,0000	0,0349	0,0000	0,0349
	3-4	1,0	0,02800726	1,1203	0,5601	1,1203	0,0000	0,0279	0,0558	0,0838
	4-5	0,9	0,03880898	1,5524	0,7762	1,5524	0,4154	0,0000	0,0692	0,4846
	4-6	1,3	0,02932029	1,1728	0,5864	1,1728	0,0000	0,0471	0,0943	0,1414
	6-7	1,3	0,02932029	1,1728	0,5864	1,1728	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	7-8	1,0	0,03338379	1,3354	0,6677	1,3354	0,3619	0,0362	0,0724	0,4704
	7-9	0,7	0,03338379	1,3354	0,6677	1,3354	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	9-10	0,5	0,04476772	1,7907	0,8954	1,7907	0,1178	0,0118	0,0236	0,1532
	9-11	0,6	0,03155260	1,2621	0,6311	1,2621	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	11-12	1,0	0,03155260	1,2621	0,6311	1,2621	0,3420	0,0342	0,0684	0,4446
	11-13	0,5	0,04481257	1,7925	0,8963	1,7925	0,1180	0,0118	0,0236	0,1533
	6-14	0,5	0,03493736	1,3975	0,6987	1,3975	0,0000	0,0101	0,0201	0,0302
	14-15	0,5	0,04480455	1,7922	0,8961	1,7922	0,1179	0,0000	0,0236	0,1415
	14-16	1,0	0,03859684	1,5439	0,7719	1,5439	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	16-17	0,5	0,04475015	1,7900	0,8950	1,7900	0,1178	0,0118	0,0236	0,1531
	16-18	0,7	0,03937040	1,5748	0,7874	1,5748	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	18-19	0,5	0,04923546	1,9694	0,9847	1,9694	0,1343	0,0134	0,0269	0,1746
	18-20	0,6	0,04257945	1,7032	0,8516	1,7032	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	20-21	0,5	0,04257945	1,7032	0,8516	1,7032	0,1121	0,0112	0,0224	0,1457
	20-22	0,5	0,04257945	1,7032	0,8516	1,7032	0,1121	0,0112	0,0224	0,1457

En el cuadro se estima la pérdida singular mediante el método de longitud equivalente, considerando $Le/D = 40$ para codos y válvulas y $Le/D = 20$ para las tee. Si bien no existe un rango admisible normativo para este componente, los coeficientes y pérdidas resultantes se mantienen en el orden esperado para accesorios comerciales y para las velocidades utilizadas.

Cuadro 23: Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Enerlova.

Tramo	Pérdida Carga Lineal [m.c.a]	Pérdida Carga Singular [m.c.a]	ΔP Total [m.c.a]
0-1	0,3983	0,2970	0,6953
1-2	2,2553	0,1414	2,3967
1-3	0,2842	0,0349	0,3191
3-4	0,5313	0,0838	0,6151
4-5	10,674	0,4846	11,1586
4-6	2,3366	0,1414	2,4780
6-7	1,7567	0,0000	1,7567
7-8	0,8615	0,4704	1,3319
7-9	1,3849	0,0000	1,3849
9-10	0,6519	0,1532	0,8051
9-11	0,5301	0,0000	0,5301
11-12	1,0469	0,4446	1,4915
11-13	1,9849	0,1533	2,1382
6-14	1,1368	0,0302	1,1670
14-15	2,4195	0,1415	2,5610
14-16	5,8477	0,0000	5,8477
16-17	4,5345	0,1531	4,6876
16-18	1,6875	0,0000	1,6875
18-19	4,8771	0,1746	5,0517
18-20	1,7376	0,0000	1,7376
20-21	3,4362	0,1457	3,5819
20-22	3,1003	0,1457	3,2460

Cuadro 24: Pérdida de Carga Tramo Tributario de Consumo Pozo Enerlova.

Red	ΔP
Tramo	Total [m.c.a]
0-2	3,0920
0-3	1,0144
0-5	12,7881
0-8	7,1961
0-10	8,0541
0-12	9,2707
0-13	9,9174
0-15	7,8354
0-17	15,8098
0-19	22,5489
0-21	22,8167
0-22	22,4808

Para determinar el punto de operación de la bomba es necesario realizar el balance de energía estipulado por Bernoulli, cuya ecuación se define como sigue:

$$H_a = \frac{(P_a - P_0)}{\rho g} + (Z_1 - Z_0) + \frac{(V_1 - V_0)}{2g} + \Delta P_{total}$$

Las alturas de referencia se consideran al mismo nivel porque el estanque acumulador de salida del pozo y el estanque acumulador asociado a los baños y urinarios se encuentran prácticamente a la misma cota topográfica. En ambos casos, la evaluación de la ecuación de Bernoulli se realiza entre las superficies libres de estos estanques, las cuales se asumen como

puntos de referencia con régimen cuasiestático, por lo que la diferencia de alturas geométricas es despreciable y se cumple que $(Z_1 - Z_0) \approx 0$.

Adicionalmente, en los estanques el área transversal es muy superior al área de las tuberías de impulsión y distribución, de modo que la velocidad de descenso del nivel de agua es muy pequeña en comparación con las velocidades en la red. Por ello, las velocidades en las superficies libres pueden aproximarse a cero y se considera que el fluido se encuentra en condición prácticamente estática, es decir,

$$\frac{(V_1 - V_0)}{2g} \approx 0.$$

En consecuencia, al aplicar la ecuación de Bernoulli entre ambos estanques, los términos de energía cinética y de energía potencial se anulan entre sí, de modo que la carga que debe suministrar la bomba se reduce a compensar únicamente las pérdidas de carga del sistema. Por lo tanto, la altura manométrica requerida se aproxima a la pérdida total de carga,

$$H_a \approx \Delta P_{\text{total}}.$$

Cuadro 25: Punto de Operación de Bomba Pozo Enerlova.

Selección	Caudal Máx.	Caudal Máx.	Ha	Ha
Bomba	Extracción [l/s]	Extracción [l/min]	[m.c.a]	bar (g)
Punto Operación	5,6	337	22,82	2,33

7.3.5. Materialidad del Sistema

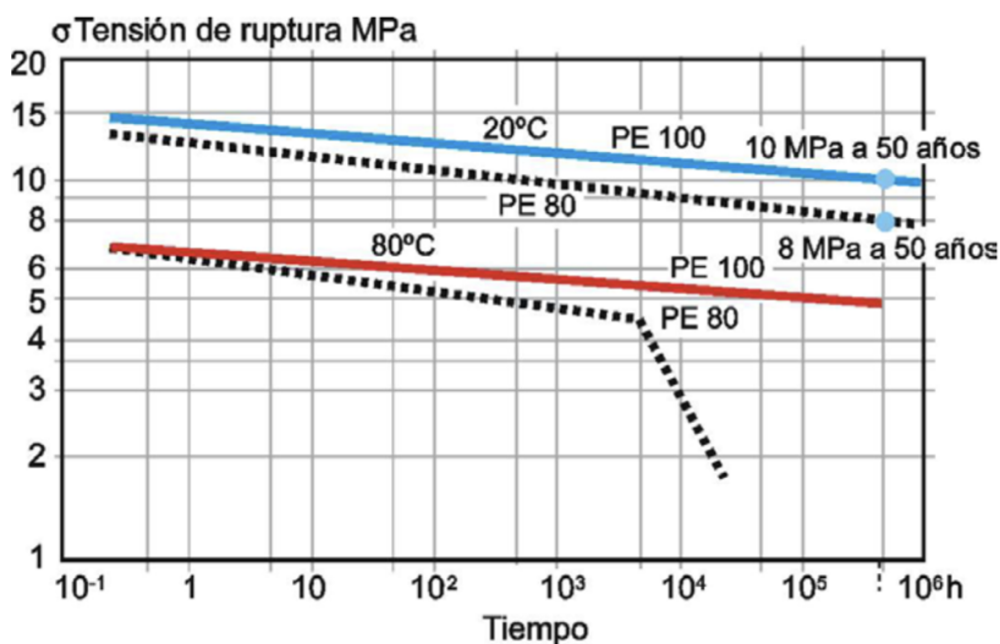
A lo largo del dimensionamiento hidráulico se adoptó, para la cañería, un material teórico con rugosidad interna absoluta =0,00025 m. Este valor se asume equivalente al comportamiento

de una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), por lo que, para mantener coherencia entre el modelo y la selección de material, a continuación en la figura 19 y cuadro 26 se resumen las propiedades y clases relevantes del polietileno

El polietileno es un termoplástico obtenido por polimerización de olefinas (hidrocarburos insaturados como etileno, propileno y butileno). Dependiendo del grado de polimerización, se obtienen productos con distinta estructura y desempeño; en aplicaciones de tuberías se utilizan polímeros de alto peso molecular (cadenas >10.000 átomos de carbono) por su mayor resistencia mecánica. Para conducciones, el polímero base es el etileno; las resinas se formulan con antioxidantes que protegen durante el procesamiento y, usualmente, con negro de humo u otros aditivos que bloquean la radiación UV, evitando degradación durante exposiciones prolongadas.

Según su densidad, el material se clasifica en polietileno de baja densidad (PEBD), baja densidad lineal (PEBDL), media densidad (PEMD) y alta densidad (PEAD/HDPE). El PEBD es más blando y flexible, con menor resistencia a la presión hidrostática; el PEBDL mejora la resistencia a la tracción y a la presión frente al PEBD; el PEMD aporta mayor rigidez y resistencia. El PEAD/HDPE, en cambio, maximiza dureza, rigidez y resistencia tanto a tracción como a temperatura, por lo que resulta coherente con la rugosidad asumida y con los requisitos de presión del sistema. Comercialmente, las series PE80 y PE100, clasificadas conforme a ISO TR 9080 por su resistencia hidrostática a largo plazo, son las más utilizadas en redes presurizadas; en este proyecto se emplea esta referencia normativa para vincular la hipótesis de rugosidad con el desempeño esperado en servicio.

Figura 19: Vida útil bajo presión, Regresión de LTHS en polietileno.



Cuadro 26: Especificaciones técnicas PE 100.

Propiedad	Método de prueba	Valor típico	Unidad
Densidad (resina base)	ISO 1183	949	kg/m ³
Densidad (compuesto)	ISO 1183	959	kg/m ³
Índice de fluidez (190°C/5kg)	ISO 1133	0,45	g/10 min.
Tensión máxima elástica	ISO 6259	25	MPa
Alargamiento a la rotura	ISO 6259	>600	%
Módulo de elasticidad	ISO 527	1400	MPa
Tª reblandecimiento Vicat (1kg)	ISO 306	127	°C
Tª reblandecimiento Vicat (5kg)	ISO 306	77	°C
Estabilidad térmica (OIT1), 210°C	ISO 10837	>20	min.
ESCR (10 % Igepal), F50	ASTM D 1693-A	>10000	h
Contenido de negro de humo	ASTM D 1603	≥2	%

En coherencia con la rugosidad absoluta adoptada para el cálculo hidráulico ($\varepsilon = 0,00025$ m), se modeló la conducción como tubería de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE).

Para el dimensionamiento mecánico se emplean los parámetros normativos que vinculan la resistencia del material con la presión de trabajo y la geometría del tubo:

- **Mínima Resistencia Requerida (MRS):** valor límite inferior de la tensión circunferencial (MPa) que el material resiste a 20 °C durante 50 años con un 97,5 % de confianza (según ISO TR 9080).
- **Coefficiente de diseño (C):** factor ≥ 1 que reduce la MRS para cubrir condiciones de servicio (tensiones térmicas, golpes de ariete, asientos diferenciales, etc.).
- **Tensión de diseño σ_s :** tensión tangencial admisible para la aplicación, definida según la ecuación (19):

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C} \quad (19)$$

- **Presión nominal (PN):** presión máxima de trabajo (bar) que la tubería puede mantener a 20 °C durante 50 años, asociada al tipo de PE y a su espesor.

Para HDPE, los valores típicos utilizados en diseño son de PE100 – ISO 4427, con $MRS = 10$ MPa y $C = 1,25$, lo que implica una tensión de diseño $\sigma_s \approx 8,0$ MPa.

La geometría de la tubería se relaciona mediante el SDR (Standard Dimension Ratio), definido como el cociente entre el diámetro exterior nominal y el espesor de pared:

$$SDR = \left(\frac{2\sigma_s}{PN} + 1 \right) \quad (20)$$

En forma equivalente, el espesor mínimo requerido puede expresarse como:

$$e = \frac{PN \times DN}{2\sigma_s + P} \quad (21)$$

Donde DN es el diámetro exterior nominal y P representa la contribución adicional que pudiese considerarse por efectos ambientales o sobrecargas (por ejemplo, temperatura o transitorios), cuando el proyecto así lo exija.

En términos prácticos, el procedimiento de selección es consistente: se define el tipo de resina y el coeficiente C acorde al nivel de seguridad del proyecto, se calcula σ_s ; con la presión de diseño se determina el SDR admisible o, alternativamente, el espesor e ; y, finalmente, se elige el diámetro/SDR comercial inmediatamente superior. Este encadenamiento asegura la trazabilidad entre el comportamiento hidráulico asumido (rugosidad equivalente de PEAD) y el desempeño mecánico a largo plazo (50 años a 20 °C) exigido por la norma.

7.4. CAPEX (Capital Expenditure) y OPEX (Operating Expenses) del Proyecto

A continuación se presenta el desglose de inversión “CAPEX” (Capital Expenditure - Gasto de Capital) para la habilitación del Pozo Veolia y Pozo Enerlova, expresado en pesos chilenos (CLP) sin incluir el impuesto al valor agregado (I.V.A). El cuadro organiza los ítems por descripción, cantidad, unidad, costo unitario y costo total, permitiendo identificar con precisión los componentes y actividades necesarias para la puesta en marcha del sistema.

Cuadro 27: Desarrollo del CAPEX Habilitación Pozo Veolia.

ID	Descripción	Cantidad	Unidad	\$ Unitario [CLP]	\$ Total [CLP]
1	Pozo Veolia				
1.1	Cañería HDPE PE100 2"	225	[m]	\$ 7.500	\$ 1.687.500
1.2	Cañería HDPE PE100 1 1/2"	117	[m]	\$ 5.500	\$ 643.500
1.3	Cañería HDPE PE100 3/4"	170	[m]	\$ 1.600	\$ 272.000
1.4	Codos HDPE PE100 90° EF 2"	7	[unit]	\$ 13.000	\$ 91.000
1.5	Tee HDPE PE100 EF 2"	2	[unit]	\$ 15.400	\$ 30.800
1.6	Válvula Bola HDPE PE100 2"	2	[unit]	\$ 17.200	\$ 34.400
1.7	Codos HDPE PE100 90° EF 1 1/2"	7	[unit]	\$ 14.280	\$ 99.960
1.8	Tee HDPE PE100 EF 1 1/2"	1	[unit]	\$ 17.160	\$ 17.160
1.9	Válvula Bola HDPE PE100 1 1/2"	4	[unit]	\$ 8.792	\$ 35.168
1.10	Codos HDPE PE100 90° EF 3/4"	3	[unit]	\$ 5.504	\$ 16.512
1.11	Válvula Bola HDPE PE100 3/4"	2	[unit]	\$ 3.120	\$ 6.240
1.12	Bomba Pedrollo F32/160C 1.5 kw	2	[unit]	\$ 616.247	\$ 1.232.493
1.13	Excavación Zanja y Normalización de Pavimento	512	[m]	\$ 8.500	\$ 4.352.000
1.14	Tablero Eléctrico de Fuerza y Control	1	[unit]	\$ 550.000	\$ 550.000
1.15	Cloración	1	[unit]	\$ 250.000	\$ 250.000
1.16	Otros Fittings de Montaje	1	[Conjunto]	\$ 250.000	\$ 250.000
1.17	Habilitación de Sistema y Puesta en Marcha	1	[Conjunto]	\$ 500.000	\$ 500.000
1.18	Ingeniería de detalle e Inspección de obra	1	[Conjunto]	\$ 500.000	\$ 500.000
Total					\$ 10.568.733

Cuadro 28: Desarrollo CAPEX Habilitación Pozo Enerlova.

ID	Descripción	Cantidad	Unidad	\$ Unitario [CLP]	\$ Total [CLP]
2	Pozo Enerlova				
2.1	Cañería HDPE PE100 3"	60	[m]	15.000	900.000
2.2	Cañería HDPE PE100 2 1/2"	65	[m]	11.000	715.000
2.3	Cañería HDPE PE100 2"	190	[m]	7.500	1.425.000
2.4	Cañería HDPE PE100 1 1/2"	148	[m]	5.500	814.000
2.5	Cañería HDPE PE100 1"	363	[m]	3.000	1.089.000
2.6	Cañería HDPE PE100 3/4"	689	[m]	1.600	1.102.400
2.7	Cañería HDPE PE100 1/2"	115	[m]	1.100	126.500
2.8	Codos HDPE PE100 90° EF 3"	3	[unit]	22.832	68.496
2.9	Tee HDPE PE100 EF 3"	2	[unit]	26.880	53.760
2.10	Válvula Bola HDPE PE100 3"	1	[unit]	19.264	19.264
2.11	Codos HDPE PE100 90° EF 2 1/2"	0	[unit]	14.560	0
2.12	Tee HDPE PE100 EF 2 1/2"	1	[unit]	17.248	17.248
2.13	Válvula Bola HDPE PE100 2 1/2"	1	[unit]	19.264	19.264
2.14	Codos HDPE PE100 90° EF 1 1/2"	15	[unit]	14.280	214.200
2.15	Tee HDPE PE100 EF 1 1/2"	3	[unit]	17.160	51.480
2.16	Válvula Bola HDPE PE100 1 1/2"	3	[unit]	8.792	26.376
2.17	Codos HDPE PE100 90° EF 1"	6	[unit]	7.706	46.234
2.18	Válvula Bola HDPE PE100 1"	1	[unit]	3.494	3.494
2.19	Codos HDPE PE100 90° EF 3/4"	35	[unit]	4.403	154.112
2.20	Tee HDPE PE100 EF 3/4"	5	[unit]	10.296	51.480
2.21	Válvula Bola HDPE PE100 3/4"	7	[unit]	2.496	17.472
2.22	Codos HDPE PE100 90° EF 1/2"	5	[unit]	2.642	13.210
2.23	Tee HDPE PE100 EF 1/2"	1	[unit]	6.178	6.178
2.24	Válvula Bola HDPE PE100 1/2"	1	[unit]	1.498	1.498
2.25	Bomba Pedrollo F20/160C 2.2 kW	2	[unit]	916.667	1.833.333
2.26	Excavación Zanja y Normalización de Pavimento	1630	[m]	8.500	13.855.000
2.27	Tablero Eléctrico de Fuerza y Control	1	[unit]	90.000	90.000
2.28	Cloración	1	[unit]	500.000	500.000
2.29	Otros Fittings de Montaje	1	[Conjunto]	500.000	500.000
2.30	Habilitación de Sistema y Puesta en Marcha	1	[Conjunto]	700.000	700.000
2.31	Ingeniería de detalle Inspección de obra	1	[Conjunto]	700.000	700.000
Total					25.113.998

Para la confección de este CAPEX se consultaron precios unitarios a diferentes proveedores, cuya referencia completa puede ser www.cosmoplas.com en el caso de materiales del tipo HDPE y otros, en el caso de bombas un proveedor de referencia consultado es www.hidrotecnica.cl y para los costos de excavación de zanjas manuales al momento de efectuar este estudio una referencia representativa, del precio corresponde a 0,0677 UF/m3.

En el cuadro 29 se desglosa el OPEX (Operating Expenses - Gasto Operacional) del sistema, presentado sin I.V.A. e incluyendo los ítems de operación y mantenimiento, cloración y análisis, y consumo eléctrico, con su cantidad, unidad, costo unitario y costo total, el detalle permite identificar los costos recurrentes anuales y su total según se muestra en el cuadro.

Cuadro 29: Desarrollo OPEX Operación.

OPEX					
ID	Descripción	Cantidad	Unidad	\$ Unitario [CLP]	\$ Total [CLP]
1	Operarios de Mantenimiento y Monitoreo	1	[año]	\$ 1.300.000	\$ 1.300.000
2	Cloración y Análisis	1	[año]	\$ 800.000	\$ 800.000
3	Consumo Eléctrico	4051,5	[kWh/año]	\$ 220	\$ 891.330
Total					\$ 2.991.330

Los costos de mantenimiento tienden a ser constantes pero en una proyección de futuro, estos deben ser considerados con un incremento a fin de modelar los efectos de inflación o cambios en la tarifa del sueldo mínimo.

Respecto de la tarifa eléctrica se asumió un incremento del 5 % anual, considerando que obedecen a precios regulados cuya variación histórica se encuentran en rango.

7.5. Depreciación de Activos

A continuación se presentan los cuadros 30 y 31 de depreciación correspondientes a los activos considerados en el proyecto, calculadas en función de una vida útil estimada de

15 años y valor residual nulo, y un segundo caso que corresponde a la depreciación acelerada de los materiales dentro del período de evaluación del proyecto. El primera cuadro muestra la depreciación lineal, donde el valor del activo disminuye de manera uniforme durante toda su vida útil, permitiendo reflejar un gasto constante en cada período. En cambio, el segunda cuadro incorpora un método de depreciación acelerada, el cual concentra una mayor porción del gasto en los primeros años de operación, representando una estrategia contable más agresiva ante posibles obsolescencias técnicas o pérdidas de valor y permitiendo, además, utilizar el escudo fiscal en su totalidad al incorporarlo en la valorización del flujo neto. Estos cuadros permiten cuantificar el cargo anual por depreciación, necesario para la proyección de los flujos de caja y la determinación del valor contable de los activos a lo largo del horizonte de evaluación.

Cuadro 30: Tabla de Depreciación en Base a la Vida Útil de los Materiales.

PERIODO	AMORTIZACIÓN	DEPRECIACIÓN	VALOR RESIDUAL
1	\$ 35.682.731	\$ 2.378.849	\$ 33.303.882
2	\$ 33.303.882	\$ 2.378.849	\$ 30.925.034
3	\$ 30.925.034	\$ 2.378.849	\$ 28.546.185
4	\$ 28.546.185	\$ 2.378.849	\$ 26.167.336
5	\$ 26.167.336	\$ 2.378.849	\$ 23.788.487
6	\$ 23.788.487	\$ 2.378.849	\$ 21.409.639
7	\$ 21.409.639	\$ 2.378.849	\$ 19.030.790
8	\$ 19.030.790	\$ 2.378.849	\$ 16.651.941
9	\$ 16.651.941	\$ 2.378.849	\$ 14.273.092
10	\$ 14.273.092	\$ 2.378.849	\$ 11.894.244
11	\$ 11.894.244	\$ 2.378.849	\$ 9.515.395
12	\$ 9.515.395	\$ 2.378.849	\$ 7.136.546
13	\$ 7.136.546	\$ 2.378.849	\$ 4.757.697
14	\$ 4.757.697	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849
15	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 0

Cuadro 31: Tabla de Depreciación Acelerada para Período de Evaluación del Proyecto.

PERIODO	AMORTIZACIÓN	DEPRECIACIÓN	VALOR RESIDUAL
1	\$ 35.682.731	\$ 5.097.533	\$ 30.585.198
2	\$ 30.585.198	\$ 5.097.533	\$ 25.487.665
3	\$ 25.487.665	\$ 5.097.533	\$ 20.390.132
4	\$ 20.390.132	\$ 5.097.533	\$ 15.292.599
5	\$ 15.292.599	\$ 5.097.533	\$ 10.195.066
6	\$ 10.195.066	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533
7	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 0

7.6. Proyección de Tarifa del Agua

Para la proyección se estimó la tarifa con una media móvil y se incorporó un margen de seguridad de 3 desviaciones estándar (3) sobre dicho promedio. Esta metodología permite capturar la tendencia de la serie y, simultáneamente, abarcar su variabilidad histórica, bajo el supuesto de un comportamiento normal de la tarifa, el umbral media + 3 cubre en torno al 99–99,7 % de las posibles realizaciones. En términos operativos, el resultado constituye un estimador conservador que reduce el riesgo de subestimación, otorga holgura frente a shocks transitorios y entrega una base sólida para la planificación de OPEX.

A continuación se presentan los resultados de la proyección integral de los m³ gestionados, que considera la tarifa completa del sistema: consumo, recolección y tratamiento. Las series se estiman bajo el criterio anteriormente expuesto.

Cuadro 32: Proyección Tarifa Completa por m³.

Tarifa Completa	Promedio	\$ 1,007
	Desv. Std	171,45925982
Periodo	Año	Precio_Proyectado
0	2017	\$ 831
1	2018	\$ 851
2	2019	\$ 869
3	2020	\$ 869
4	2021	\$ 927
5	2022	\$ 1,078
6	2023	\$ 1,184
7	2024	\$ 1,214
8	2025	\$ 1,244
9	2026	\$ 1,522
10	2027	\$ 1,573
11	2028	\$ 1,620
12	2029	\$ 1,663
13	2030	\$ 1,702
14	2031	\$ 1,739
15	2032	\$ 1,773

A continuación se presentan los resultados de la proyección de los m³ gestionados, considerando exclusivamente las etapas de recolección y tratamiento del sistema. Las series se estiman bajo el mismo criterio.

Cuadro 33: Proyección de Tarifas para Recolección y Tratamiento por m³.

Recolección			Tratamiento		
Desv. Std		46,91	Desv. Std		32,89
Promedio		\$ 348	Promedio		\$ 220
Periodo	Año	Precio_Proyectado	Periodo	Año	Precio_Proyectado
1	2018	\$ 302	1	2018	\$ 190
2	2019	\$ 308	2	2019	\$ 193
3	2020	\$ 317	3	2020	\$ 199
4	2021	\$ 320	4	2021	\$ 196
5	2022	\$ 371	5	2022	\$ 235
6	2023	\$ 403	6	2023	\$ 260
7	2024	\$ 413	7	2024	\$ 265
8	2025	\$ 488	8	2025	\$ 318
9	2026	\$ 506	9	2026	\$ 331
10	2027	\$ 522	10	2027	\$ 342
11	2028	\$ 536	11	2028	\$ 351
12	2029	\$ 548	12	2029	\$ 360
13	2030	\$ 560	13	2030	\$ 369
14	2031	\$ 571	14	2031	\$ 376
15	2032	\$ 581	15	2032	\$ 383

7.7. Tasa de Descuento WACC

Al momento de la evaluación de este proyecto no se cuenta con los estados financieros de la compañía, como para poder realizar un análisis exacto de la estructura de deuda y de la correspondiente tasa de costo de capital. Por lo tanto, se construyó una tasa de descuento conforme al siguiente criterio:

$$WACC(*) = i_{LR} + i_I + i_{PR} \quad (22)$$

Donde:

- **WACC(*)**: Tasa de costo de capital construida para la evaluación de este proyecto a partir de un criterio que mantiene la filosofía del cálculo original de la tasa.
- i_{LR} : Rendimiento nominal en CLP de referencia a 10 años, aproximado con el bono en pesos (BCP/BTP). Referencia Banco Central de Chile: 5,5 % anual.
- i_I : Variación anual proyectada del IPC según antecedentes del Banco Central de Chile. Referencia Banco Central de Chile: 4,3 % anual.
- i_{PR} : Rendimiento adicional exigido por invertir en activos de mayor riesgo; se aproxima con la rentabilidad esperada de un fondo mutuo diversificado en CLP. Referencia de mercado bancario: 6,0 % anual.

$$WACC(*) = 5,5 \% + 4,3 \% + 6,0 \%$$

7.8. Condiciones de Financiamiento y Estructura del Crédito

La tasa de interés empleada se estimó con base en los siguientes supuestos: tasa de referencia de crédito hipotecario de 4 %, inflación esperada de 4,3 % y prima/ponderación por tipo de crédito industrial de 2,5 %, lo que arroja una tasa efectiva de 10,8 % anual. En caso de ejecutarse el proyecto, la tasa de financiamiento real deberá ser verificada y negociada por el área de Finanzas de la compañía con las entidades correspondientes.

Cuadro 34: Condiciones del crédito.

Capital Total	\$ 35.682.731
Capital a Financiar	\$ 17.841.366
Períodos Anuales	7
Tasa Interés Efectiva	10,80 %
Precio Cuota	\$ -3.761.778

Cuadro 35: Estructura de pago del crédito.

PERIODO	CAPITAL	AMORTIZACIÓN	INTERÉS	CUOTA FIJA
0	\$ 17.841.366			
1	\$ 16.006.455	\$ 1.834.910	\$ 1.926.867	\$ 3.761.778
2	\$ 13.973.375	\$ 2.033.080	\$ 1.728.697	\$ 3.761.778
3	\$ 11.720.722	\$ 2.252.653	\$ 1.509.125	\$ 3.761.778
4	\$ 9.224.782	\$ 2.495.940	\$ 1.265.838	\$ 3.761.778
5	\$ 6.459.281	\$ 2.765.501	\$ 996.276	\$ 3.761.778
6	\$ 3.395.106	\$ 3.064.175	\$ 697.602	\$ 3.761.778
7		\$ 3.395.106	\$ 366.671	\$ 3.761.778

La amortización del capital se realizará bajo un esquema de cuota fija y valor residual cero, en el cual la totalidad del crédito queda pagada en la última cuota, según se indica en los Cuadros 34 y 35. Este método mantiene constante el valor de la cuota total durante todo el período, desglosándose en una porción destinada al pago de intereses —que disminuye progresivamente— y otra correspondiente a la amortización del capital, que aumenta en cada período. De esta forma, a medida que avanza el plazo, la carga financiera se reduce y se incrementa el monto aplicado a la disminución del principal, asegurando un flujo de pagos estable y predecible para la planificación financiera de la empresa.

7.9. Evaluación y Flujo de Caja del Proyecto

A continuación se presentan los resultados del flujo de caja proyectado bajo seis escenarios posibles, definidos para analizar la sensibilidad del proyecto frente a distintas condiciones de financiamiento, depreciación y parámetros tributarios. Los tres primeros escenarios consideran un financiamiento con 100 % de capital propio; los tres siguientes incorporan una estructura mixta 50 % capital propio – 50 % deuda a 7 años, lo que permite comparar el efecto del apalancamiento sobre la rentabilidad.

Las variantes incluyen el método de depreciación (lineal o acelerada), la consideración de valor residual al término del horizonte y ajustes en la tarifa e impuesto a la renta. Adicionalmente, en coherencia con el estudio de escasez hídrica y su alta probabilidad de ocurrencia, se incorpora un escenario pesimista en el que la tarifa se incrementa en un 3 % respecto de la proyección base, con el fin de reflejar el mayor costo esperado del recurso y poner a prueba la resiliencia económica del proyecto mediante un análisis de estrés.

A partir de estas proyecciones se obtienen los indicadores Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Período de Recuperación (Payback), los cuales permiten evaluar el desempeño económico del proyecto bajo cada combinación de supuestos.

7.9.1. Escenario 1 (FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Período)

En la Figura 20 se presenta el Escenario 1 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 36.

Figura 20: Flujo de Caja del Escenario 1 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Positivo en el Último Período.

AÑO REFERENCIA PERIODO	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.522	\$ 1.573	\$ 1.620	\$ 1.663	\$ 1.702	\$ 1.739	\$ 1.773
Total Ingreso		\$ 32.221.542	\$ 34.984.583	\$ 38.499.814	\$ 39.096.123	\$ 41.419.002	\$ 43.587.711	\$ 45.252.296
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 12.399.741	\$ 13.591.815	\$ 15.260.259	\$ 15.608.135	\$ 16.697.361	\$ 17.753.997	\$ 17.074.872
Depreciación		\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -16.651.941
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 10.020.892	\$ 11.212.966	\$ 12.881.410	\$ 13.229.286	\$ 14.318.513	\$ 15.375.148	\$ -1.955.918
Impuesto a la Renta_27%		\$ -2.705.641	\$ -3.027.501	\$ -3.477.981	\$ -3.571.907	\$ -3.865.998	\$ -4.151.290	\$ 528.098
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 7.315.251	\$ 8.185.465	\$ 9.403.429	\$ 9.657.379	\$ 10.452.514	\$ 11.223.858	\$ -1.427.820
Depreciación		\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 16.651.941
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 9.694.100	\$ 10.564.314	\$ 11.782.278	\$ 12.036.228	\$ 12.831.363	\$ 13.602.707	\$ 17.602.970
Inversión	\$ -35.682.731	0						
Credito Financiamiento								
Amortización Credito								
Flujo de Caja Neto	\$ -35.682.731	\$ 9.694.100	\$ 10.564.314	\$ 11.782.278	\$ 12.036.228	\$ 12.831.363	\$ 13.602.707	\$ 17.602.970

Cuadro 36: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 1.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 13.817.968
TIR	26 %
PAYBACK	4 años + 9 meses

Este escenario evalúa el proyecto considerando los flujos netos de caja después de

impuestos (27 %) y asumiendo que al final del horizonte (año 7 en la tabla) existe un valor de liquidación positivo de los activos (salvataje/reventa y recuperación de capital de trabajo), que se incorpora al último flujo. La depreciación es utilizada como escudo fiscal, por ende se reconoce solo como un gasto contable para calcular impuestos y luego se suma de vuelta para obtener el flujo operacional. No se consideran intereses en el flujo porque el costo del capital se captura vía WACC en el descuento de los flujos. La inversión inicial se desembolsa en el período 0 y no se modela crédito.

Resultados del escenario (Tabla 36): con WACC = 15,26 %, el proyecto arroja un VAN de \$13.817.968, una TIR de 26 % y un Payback aproximado de 4 años y 9 meses.

7.9.2. Escenario 2 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada)

En la Figura 21 se presenta el Escenario 2 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 37.

Figura 21: Escenario 2 FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada.

AÑO REFERENCIA	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.522	\$ 1.573	\$ 1.620	\$ 1.663	\$ 1.702	\$ 1.739	\$ 1.773
Total Ingreso		\$ 32.221.542	\$ 34.984.583	\$ 38.499.814	\$ 39.096.123	\$ 41.419.002	\$ 43.587.711	\$ 45.252.296
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 12.399.741	\$ 13.591.815	\$ 15.260.259	\$ 15.608.135	\$ 16.697.361	\$ 17.753.997	\$ 17.074.872
Depreciación		\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 7.302.208	\$ 8.494.282	\$ 10.162.726	\$ 10.510.602	\$ 11.599.828	\$ 12.656.464	\$ 11.977.339
Impuesto a la Renta 27%		\$ -1.971.596	\$ -2.293.456	\$ -2.743.936	\$ -2.837.863	\$ -3.131.954	\$ -3.417.245	\$ -3.233.882
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 5.330.612	\$ 6.200.826	\$ 7.418.790	\$ 7.672.739	\$ 8.467.875	\$ 9.239.219	\$ 8.743.458
Depreciación		\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 10.428.145	\$ 11.298.359	\$ 12.516.323	\$ 12.770.272	\$ 13.565.408	\$ 14.336.752	\$ 13.840.991
Inversión	\$ -35.682.731	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Credito Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización Credito		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Neto	\$ -35.682.731	\$ 10.428.145	\$ 11.298.359	\$ 12.516.323	\$ 12.770.272	\$ 13.565.408	\$ 14.336.752	\$ 13.840.991

Cuadro 37: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 2.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 15.184.518
TIR	28 %
PAYBACK	4 años + 4 meses

Este escenario evalúa el proyecto con flujos netos de caja después de impuestos (27 %)

y asume un valor de liquidación nulo ($VL=0$) al cierre del horizonte, por lo que no se incorpora ingreso final por salvataje ni recuperación de capital de trabajo. Se aplica depreciación acelerada, utilizada como escudo fiscal; se reconoce solo como gasto contable para calcular el impuesto y luego se suma de vuelta para obtener el flujo operacional. No se modelan intereses porque el costo del capital se recoge mediante el WACC al descontar los flujos. La inversión inicial se desembolsa íntegramente en el período 0 y no se considera crédito.

Resultados del escenario (Tabla 37): con $WACC = 15,26\%$, el proyecto presenta un VAN de \$15.184.518, una TIR de 28% y un Payback aproximado de 4 años y 4 meses. La mayor captura temprana del escudo fiscal por depreciación acelerada mejora los indicadores a pesar de no reconocer valor de liquidación al final.

7.9.3. Escenario 3 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual)

En la Figura 22 se presenta el Escenario 3 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 38.

Figura 22: Flujo de Caja del Escenario 3 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Nulo, Incremento Tarifario del 3 % y Aumento del Impuesto a la Renta al 30 % Anual.

AÑO REFERENCIA	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.567	\$ 1.620	\$ 1.669	\$ 1.713	\$ 1.754	\$ 1.791	\$ 1.827
Total Ingreso		\$ 33.188.188	\$ 36.034.120	\$ 39.654.808	\$ 40.269.007	\$ 42.661.572	\$ 44.895.342	\$ 46.609.865
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 13.366.387	\$ 14.641.352	\$ 16.415.253	\$ 16.781.019	\$ 17.939.931	\$ 19.061.628	\$ 18.432.441
Depreciación		\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 8.268.854	\$ 9.543.819	\$ 11.317.720	\$ 11.683.486	\$ 12.842.398	\$ 13.964.095	\$ 13.334.908
Impuesto a la Renta_30%		\$ -2.232.591	\$ -2.576.831	\$ -3.055.784	\$ -3.154.541	\$ -3.467.448	\$ -3.770.306	\$ -3.600.425
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 6.036.264	\$ 6.966.988	\$ 8.261.936	\$ 8.528.945	\$ 9.374.951	\$ 10.193.789	\$ 9.734.483
Depreciación		\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 11.133.797	\$ 12.064.521	\$ 13.359.469	\$ 13.626.478	\$ 14.472.484	\$ 15.291.322	\$ 14.832.016
Inversión	\$ -35.682.731	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Credito Financiamiento	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización Credito	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Caja Neto	\$ -35.682.731	\$ 11.133.797	\$ 12.064.521	\$ 13.359.469	\$ 13.626.478	\$ 14.472.484	\$ 15.291.322	\$ 14.832.016

Cuadro 38: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 3.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 18.629.004
TIR	30 %
PAYBACK	3 años + 7 meses

Este escenario considera flujos netos de caja después de impuestos (30 %), manteniendo un valor de liquidación nulo ($VL=0$), pero incorporando un incremento en la tarifa del agua del 3 % anual, generado netamente por el contexto de escasez hídrica. Tal como se detalla en el estudio técnico, existe una altísima probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía prolongada, lo cual conlleva un ajuste tarifario progresivo en los servicios de abastecimiento de agua subterránea, producto del aumento de los costos de extracción y tratamiento asociados a la menor disponibilidad del recurso.

Se mantiene la depreciación acelerada como escudo fiscal, utilizada solo con fines contables para determinar impuestos y luego sumada nuevamente al flujo operacional, dado que no implica salida real de caja. No se incluyen intereses financieros, ya que el costo del capital se refleja mediante la tasa WACC utilizada en el descuento de los flujos. La inversión inicial se realiza íntegramente en el período 0, sin financiamiento externo.

Resultados del escenario (Tabla 38): con $WACC = 15,26\%$, el proyecto presenta un VAN de \$18.629.004, una TIR de 30 % y un Payback aproximado de 3 años y 7 meses. El incremento tarifario originado por la presión del déficit hídrico permite una mejora sustancial en la rentabilidad, compensando el efecto del aumento del impuesto a la renta y posicionando este escenario como el de mayor creación de valor dentro del análisis, en coherencia con la tendencia de alza esperada en los precios del recurso hídrico frente a la crisis de disponibilidad.

7.9.4. Escenario 4 (FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Periodo, Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)

En la Figura 23 se presenta el Escenario 4 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 39.

Figura 23: Flujo de Caja del Escenario 4 – FN Después de Impuesto con Valor de Liquidación Positivo en el Último Período y Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años.

AÑO REFERENCIA	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.522	\$ 1.573	\$ 1.620	\$ 1.663	\$ 1.702	\$ 1.739	\$ 1.773
Total Ingreso		\$ 32.221.542	\$ 34.984.583	\$ 38.499.814	\$ 39.096.123	\$ 41.419.002	\$ 43.587.711	\$ 45.252.296
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 12.399.741	\$ 13.591.815	\$ 15.260.259	\$ 15.608.135	\$ 16.697.361	\$ 17.753.997	\$ 17.074.872
Depreciación		\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849	\$ -2.378.849
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -16.651.941
Intereses Financiamiento		\$ -1.926.867	\$ -1.728.697	\$ -1.509.125	\$ -1.265.838	\$ -996.276	\$ -697.602	\$ -366.671
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 8.094.025	\$ 9.484.269	\$ 11.372.286	\$ 11.963.448	\$ 13.322.236	\$ 14.677.546	\$ -2.322.589
Impuesto a la Renta_27%		\$ -2.185.387	\$ -2.560.753	\$ -3.070.517	\$ -3.230.131	\$ -3.597.004	\$ -3.962.937	\$ 627.099
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 5.908.638	\$ 6.923.516	\$ 8.301.768	\$ 8.733.317	\$ 9.725.232	\$ 10.714.608	\$ -1.695.490
Depreciación		\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849	\$ 2.378.849
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 16.651.941
Intereses Financiamiento		\$ 1.926.867	\$ 1.728.697	\$ 1.509.125	\$ 1.265.838	\$ 996.276	\$ 697.602	\$ 366.671
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 10.214.354	\$ 11.031.062	\$ 12.189.742	\$ 12.378.004	\$ 13.100.358	\$ 13.791.059	\$ 17.701.971
Inversión	\$ -35.682.731	0						
Credito Financiamiento	\$ 17.841.366							
Amortización Credito		\$ -1.834.910	\$ -2.033.080	\$ -2.252.653	\$ -2.495.940	\$ -2.765.501	\$ -3.064.175	\$ -3.395.106
Flujo de Caja Neto	\$ -17.841.366	\$ 8.379.444	\$ 8.997.982	\$ 9.937.089	\$ 9.882.064	\$ 10.334.856	\$ 10.726.884	\$ 14.306.865

Cuadro 39: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 4.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 23.240.547
TIR	49 %
PAYBACK	2 años + 7 meses

En este caso se mantienen los flujos netos de caja después de impuestos (27 %) y se reconoce un valor de liquidación positivo en el último período. A diferencia de los escenarios anteriores sin deuda, aquí se modela explícitamente la estructura de financiamiento: 50 % del CAPEX con crédito a 7 años y 50 % con capital propio. Esto implica incorporar en la proyección:

- Intereses del crédito, que se consideran gasto deducible y reducen la base imponible (escudo fiscal por intereses).
- Amortización de capital como salida de caja anual.
- Ingreso del crédito en el período 0, que reduce el desembolso inicial con recursos propios.

La depreciación sigue utilizándose solo para cálculo tributario y se suma de vuelta para obtener el flujo operacional. Los indicadores se evalúan descontando a un WACC de 15,26 %, manteniendo la comparabilidad entre escenarios.

Resultados del escenario (Tabla 39): el proyecto presenta un VAN de \$23.240.547, una TIR de 49 % y un Payback aproximado de 2 años y 7 meses. La combinación de valor de liquidación positivo, apalancamiento y escudo fiscal por intereses eleva de forma relevante la rentabilidad sobre el capital propio y acorta el período de recuperación, posicionando este escenario como uno de los más atractivos.

7.9.5. Escenario 5 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada, con Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)

En la Figura 24 se presenta el Escenario 5 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 40.

Figura 24: Flujo de Caja del Escenario 5 – FN Después de Impuesto con VL=0 y Depreciación Acelerada; Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito (7 años, cuota fija).

AÑO REFERENCIA	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.522	\$ 1.573	\$ 1.620	\$ 1.663	\$ 1.702	\$ 1.739	\$ 1.773
Total Ingreso		\$ 32.221.542	\$ 34.984.583	\$ 38.499.814	\$ 39.096.123	\$ 41.419.002	\$ 43.587.711	\$ 45.252.296
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 12.399.741	\$ 13.591.815	\$ 15.260.259	\$ 15.608.135	\$ 16.697.361	\$ 17.753.997	\$ 17.074.872
Depreciación		\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -1.926.867	\$ -1.728.697	\$ -1.509.125	\$ -1.265.838	\$ -996.276	\$ -697.602	\$ -366.671
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 5.375.340	\$ 6.765.584	\$ 8.653.601	\$ 9.244.764	\$ 10.603.552	\$ 11.958.861	\$ 11.610.668
Impuesto a la Renta 27%		\$ -1.451.342	\$ -1.826.708	\$ -2.336.472	\$ -2.496.086	\$ -2.862.959	\$ -3.228.893	\$ -3.134.880
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 3.923.999	\$ 4.938.877	\$ 6.317.129	\$ 6.748.678	\$ 7.740.593	\$ 8.729.969	\$ 8.475.787
Depreciación		\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ 1.926.867	\$ 1.728.697	\$ 1.509.125	\$ 1.265.838	\$ 996.276	\$ 697.602	\$ 366.671
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 10.948.399	\$ 11.765.107	\$ 12.923.786	\$ 13.112.049	\$ 13.834.402	\$ 14.525.104	\$ 13.939.992
Inversión	\$ -35.682.731	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Credito Financiamiento	\$ 17.841.366	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización Credito		\$ -1.834.910	\$ -2.033.080	\$ -2.252.653	\$ -2.495.940	\$ -2.765.501	\$ -3.064.175	\$ -3.395.106
Flujo de Caja Neto	\$ -17.841.366	\$ 9.113.489	\$ 9.732.026	\$ 10.671.133	\$ 10.616.109	\$ 11.068.901	\$ 11.460.929	\$ 10.544.886

Cuadro 40: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 5.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 24.607.098
TIR	53 %
PAYBACK	2 años + 4 meses

Este escenario combina depreciación acelerada y una estructura de financiamiento mixta (50 % con capital propio y 50 % con crédito a 7 años, cuota fija), manteniendo un valor de liquidación nulo ($VL=0$) al cierre del horizonte. En este caso, la depreciación acelerada permite maximizar el escudo fiscal en los primeros años, disminuyendo el pago de impuestos y generando mayores flujos de caja en las etapas iniciales del proyecto.

El financiamiento externo incorpora intereses como gasto deducible que también generan escudo fiscal y la amortización de capital como salida de caja anual. De igual forma, se registra en el período 0 el ingreso del crédito, que reduce el desembolso inicial del inversionista. La evaluación se realiza con un WACC de 15,26 %, manteniendo consistencia con los escenarios previos.

Resultados del escenario (Tabla 40): el proyecto alcanza un VAN de \$24.607.098, una TIR de 53 % y un Payback aproximado de 2 años y 4 meses. Este escenario resulta ser el más rentable del análisis, dado que combina los efectos positivos del apalancamiento financiero y la depreciación acelerada, lo que incrementa el valor presente neto y reduce significativamente el período de recuperación. En términos prácticos, refleja una estrategia eficiente de financiamiento y gestión fiscal, que optimiza el retorno sin comprometer la estabilidad del proyecto.

7.9.6. Escenario 6 (FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual, con Estructura de Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito a 7 Años)

En la Figura 25 se presenta el Escenario 6 y, posteriormente, su evaluación financiera en el Cuadro 41.

Figura 25: Flujo de Caja del Escenario 6 – FN Después de Impuesto con VL=0, Incremento Tarifario 3 % y Renta 30 % Anual; Financiamiento 50 % Capital Propio + 50 % Crédito (7 años, cuota fija).

AÑO REFERENCIA	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS POR AHORRO								
Volumen de Agua Proyectada (m ³)		21.173	22.237	23.765	23.511	24.329	25.062	25.516
Precio Unitario Proyectado del Agua (\$/m ³)		\$ 1.567	\$ 1.620	\$ 1.669	\$ 1.713	\$ 1.754	\$ 1.791	\$ 1.827
Total Ingreso		\$ 33.188.188	\$ 36.034.120	\$ 39.654.808	\$ 40.269.007	\$ 42.661.572	\$ 44.895.342	\$ 46.609.865
COSTOS OPERACIONALES								
Costo Unitario Tratamiento		\$ -331	\$ -342	\$ -351	\$ -360	\$ -369	\$ -376	\$ -383
Costo Unitario Recolección		\$ -506	\$ -522	\$ -536	\$ -548	\$ -560	\$ -571	\$ -581
Costo Total Tratamiento		\$ -7.008.263	\$ -7.605.054	\$ -8.341.515	\$ -8.463.960	\$ -8.977.401	\$ -9.423.312	\$ -9.772.628
Costo Total Recolección		\$ -10.713.538	\$ -11.607.714	\$ -12.738.040	\$ -12.884.028	\$ -13.624.240	\$ -14.310.402	\$ -14.824.796
Costo Parcial Recambio de Bombas								\$ -1.500.000
Mantenimiento del Sistema		\$ -1.300.000	\$ -1.350.000	\$ -1.300.000	\$ -1.250.000	\$ -1.200.000	\$ -1.150.000	\$ -1.100.000
Insumos de Clorado		\$ -800.000	\$ -830.000	\$ -860.000	\$ -890.000	\$ -920.000	\$ -950.000	\$ -980.000
Total Costos Operacionales		\$ -19.821.801	\$ -21.392.768	\$ -23.239.555	\$ -23.487.988	\$ -24.721.641	\$ -25.833.714	\$ -28.177.424
UTILIDAD BRUTA		\$ 13.366.387	\$ 14.641.352	\$ 16.415.253	\$ 16.781.019	\$ 17.939.931	\$ 19.061.628	\$ 18.432.441
Depreciación		\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533	\$ -5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ -1.926.867	\$ -1.728.697	\$ -1.509.125	\$ -1.265.838	\$ -996.276	\$ -697.602	\$ -366.671
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		\$ 6.341.987	\$ 7.815.122	\$ 9.808.596	\$ 10.417.648	\$ 11.846.122	\$ 13.266.493	\$ 12.968.237
Impuesto a la Renta_30%		\$ -1.712.336	\$ -2.110.083	\$ -2.648.321	\$ -2.812.765	\$ -3.198.453	\$ -3.581.953	\$ -3.501.424
UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS		\$ 4.629.650	\$ 5.705.039	\$ 7.160.275	\$ 7.604.883	\$ 8.647.669	\$ 9.684.540	\$ 9.466.813
Depreciación		\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533	\$ 5.097.533
Valor Residual		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Intereses Financiamiento		\$ 1.926.867	\$ 1.728.697	\$ 1.509.125	\$ 1.265.838	\$ 996.276	\$ 697.602	\$ 366.671
FLUJO DE CAJA OPERACIONAL		\$ 11.654.051	\$ 12.531.269	\$ 13.766.932	\$ 13.968.254	\$ 14.741.478	\$ 15.479.675	\$ 14.931.017
Inversión	\$ -35.682.731	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Credito Financiamiento	\$ 17.841.366	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización Credito		\$ -1.834.910	\$ -2.033.080	\$ -2.252.653	\$ -2.495.940	\$ -2.765.501	\$ -3.064.175	\$ -3.395.106
Flujo de Caja Neto	\$ -17.841.366	\$ 9.819.141	\$ 10.498.189	\$ 11.514.279	\$ 11.472.314	\$ 11.975.977	\$ 12.415.500	\$ 11.535.911

Cuadro 41: Resultados de Evaluación Financiera — Escenario 6.

Tasa WACC	15,26 %
VAN	\$ 28.051.583
TIR	57 %
PAYBACK	2 años + 2 meses

Este escenario integra simultáneamente tres condiciones clave:

- Incremento en la tarifa del agua del 3 % anual, derivado del contexto de escasez hídrica creciente, que tal como se detalla en el estudio técnico posee una altísima probabilidad de ocurrencia y se traduce en un ajuste sostenido de precios para garantizar la continuidad del servicio.
- Aumento del impuesto a la renta al 30 % anual, reflejando un escenario más exigente desde el punto de vista fiscal.
- Estructura de financiamiento mixta, con 50 % de capital propio y 50 % de crédito a 7 años (cuota fija), lo que permite aprovechar el apalancamiento financiero y el escudo tributario de los intereses.

No se considera valor de liquidación ($VL=0$) al término del horizonte. La depreciación acelerada continúa siendo un escudo fiscal contable que se adiciona nuevamente al flujo de caja, mientras que los intereses reducen la carga impositiva y las amortizaciones representan salidas reales de caja. El ingreso del crédito se contabiliza al inicio, reduciendo el desembolso inicial de inversión propia.

Resultados del escenario (Tabla 41): con $WACC = 15,26 \%$, el proyecto alcanza un VAN de \$28.051.583, una TIR de 57 % y un Payback de aproximadamente 2 años y 2 meses. Este escenario representa el mejor desempeño financiero de todos los analizados, combinando un

contexto de mayores ingresos por ajuste tarifario, beneficios del apalancamiento y eficiencia tributaria. En términos prácticos, refleja un caso altamente rentable y resiliente frente a condiciones de sequía, con rápida recuperación de la inversión y creación significativa de valor económico.

En conclusión, el proyecto presenta viabilidad financiera sólida en todos los escenarios, destacando el Escenario 6 como el más favorable, al combinar mayores tarifas proyectadas por escasez hídrica, apalancamiento eficiente y beneficios tributarios, generando el mayor retorno y menor tiempo de recuperación.

7.10. Cuadro Resumen de Escenarios

Mediante una sensibilización de los escenarios posibles se definieron seis combinaciones de análisis financiero, agrupadas en tres categorías: dos escenarios pesimistas, dos escenarios moderados y dos escenarios optimistas. Estos se detallan a continuación en el cuadro resumen de sensibilidad de escenarios.

Cuadro 42: Sensibilidad de Escenarios Posibles.

SENSIBILIDAD DE ESCENARIOS POSIBLES					
ID	Tipo de Escenario	ESCENARIOS - 100 % Capital Propio	VAN	TIR	PAYBACK
1	Pesimista	FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Período	\$ 13.817.968	26 %	4 años + 9 meses
2	Pesimista	FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada	\$ 15.184.518	28 %	4 años + 4 meses
3	Moderado	FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual	\$ 18.629.004	30 %	3 años + 7 meses
ID	Tipo de Escenario	ESCENARIOS – 50 % Capital Propio + 50 % Financiado 7 años	VAN	TIR	PAYBACK
4	Moderado	FN Después de Impuesto c/ VL Positivo Último Período	\$ 23.240.547	49 %	2 años + 7 meses
5	Optimista	FN Después de Impuesto c/ VL=0, Depreciación Acelerada	\$ 24.607.098	53 %	2 años + 4 meses
6	Optimista	FN Después de Impuesto c/ VL=0, Incremento en la Tarifa 3 %, Aumento del Impuesto a la Renta 30 % Anual	\$ 28.051.583	57 %	2 años + 2 meses

El análisis comparativo muestra una mejora progresiva en la rentabilidad al incorporar efectos de depreciación acelerada, aumento tarifario por sequía y apalancamiento financiero. En los escenarios con 100 % capital propio, el VAN aumenta desde \$13,8 millones hasta \$18,6 millones, con una TIR que sube de 26 % a 30 % y una reducción del período de recuperación desde 4 años y 9 meses a 3 años y 7 meses.

Al aplicar financiamiento mixto, con 50 % de crédito a 7 años, los resultados se potencian significativamente: el VAN crece hasta cerca de \$28 millones, la TIR alcanza 57 % y el *payback* se reduce a aproximadamente 2 años y 2 meses.

El proyecto presenta viabilidad financiera sólida en todos los escenarios, destacando el escenario 6 como el más favorable, al combinar mayores tarifas proyectadas por escasez hídrica, apalancamiento eficiente y beneficios tributarios, generando el mayor retorno y menor tiempo de recuperación. Dichos beneficios tributarios corresponden al aprovechamiento de los escudos

fiscales asociados tanto a la depreciación acelerada de los activos como a los intereses del crédito, los cuales se reconocen como gasto deducible y, por ende, reducen la base imponible del impuesto a la renta.

7.11. Ahorro en Costos Operacionales

El ahorro en costos operacionales se explica de la siguiente manera: el gasto que se habría incurrido con el suministro tradicional se calcula como Volumen proyectado (m^3) multiplicado por la Tarifa proyectada ($\$/m^3$); ese monto representa el costo total del agua comprada. Al operar con pozos propios, el recurso no se compra, solo se pagan costos de tratamiento, recolección, mantención e insumos. Por lo tanto, el ahorro corresponde a la diferencia entre ese costo total del agua comprada y los costos operativos del sistema subterráneo, y se mide con el ratio Utilidad Bruta/Ingreso.

En este estudio, los escenarios 1–2–4–5 son equivalentes en términos del indicador de ahorro Utilidad Bruta/Ingreso porque comparten la misma base operativa: misma tarifa del agua (sin incremento por sequía) y mismos costos operacionales (tratamiento, recolección, mantención e insumos). Las diferencias entre ellos (depreciación normal vs. acelerada, existencia de valor de liquidación o financiamiento 50/50) ocurren por debajo de la utilidad bruta y no alteran ni el ingreso proyectado ni los costos operacionales que determinan el ratio.

De igual forma, los escenarios 3–6 son equivalentes entre sí porque ambos incorporan el incremento tarifario del 3 % anual (asociado al supuesto de sequía) y mantienen la misma estructura de costos operacionales; por eso el margen de ahorro resultante es el mismo entre ellos.

Los cuadros se presentan a continuación, mostrando los porcentajes de Ahorro en Costos Operacionales por año para los grupos Escenarios 1–2–4–5 (Tabla 43) y Escenarios 3–6 (Tabla 44).

Cuadro 43: Ahorros en Costos Operacionales para los Escenarios 1–2–4–5.

Ahorro en Costos Operacionales Escenario 1–2–4–5

2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
38 %	39 %	40 %	40 %	40 %	41 %	38 %

Cuadro 44: Ahorros en Costos Operacionales para los Escenarios 3–6.

Ahorro en Costos Operacionales Escenario 3–6

2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
40 %	41 %	41 %	42 %	42 %	42 %	40 %

En todos los casos revisados, el ahorro proyectado en costos operacionales se mantiene por sobre el 30 % para la totalidad de los años considerados en este estudio, lo que confirma la consistencia y solidez económica de la alternativa de abastecimiento subterráneo frente al suministro tradicional.

Capítulo 8

CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evaluar la factibilidad técnica, económica y ambiental de abastecer con agua potable los baños del Mercado Mayorista Lo Valledor mediante pozos en napas subterráneas, reutilizando la infraestructura existente. A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la alternativa propuesta es viable en los aspectos técnico y económicos, y ambientales, cumpliendo con los objetivos planteados.

En relación con el objetivo general, se determinó que el sistema proyectado de abastecimiento subterráneo constituye una solución sostenible y económicamente eficiente para la reducción de los costos operacionales asociados al consumo de agua potable, logrando un ahorro promedio entre 38 % y 42 % según los escenarios considerados. Este margen de ahorro se explica por la sustitución parcial del suministro de Aguas Andinas S.A. por agua proveniente de pozos subterráneos, en donde el recurso hídrico no tiene costo directo de adquisición y solo se incurre en costos de tratamiento, recolección, mantención e insumos de cloración.

El análisis comparativo mostró que los escenarios 1–2–4–5 presentan resultados equivalentes, dado que comparten la misma tarifa base de agua sin incremento por sequía y una estructura operacional idéntica; mientras que los escenarios 3–6 evidencian un ligero aumento del margen de ahorro (40 %–42 %), producto del ajuste tarifario del 3 % anual asociado a condiciones de escasez hídrica de alta probabilidad de ocurrencia.

En conjunto, los resultados confirman que la implementación del sistema subterráneo propuesto permitiría diversificar las fuentes de abastecimiento, reducir de manera sostenida los costos operativos y fortalecer la resiliencia del Mercado Lo Valledor frente a variaciones

tarifarias y contingencias del suministro público, garantizando al mismo tiempo la calidad y continuidad del servicio hídrico.

- **Objetivo específico 1:** Se cuantificó el consumo actual de agua en los baños, alcanzando un promedio de 1.520 m³/mes, equivalentes al 31 % del consumo total del recinto. A partir de esta línea base y de los registros de los últimos tres años, se elaboró una proyección de demanda a siete años, con un crecimiento acumulado del orden del 5 % anual, lo que permitió dimensionar con precisión la infraestructura requerida y establecer una base sólida para el análisis técnico y económico.
- **Objetivo específico 2:** El análisis técnico de los pozos Enerlova y Veolia demostró que el sistema dispone de una capacidad efectiva conjunta de 150 l/s, con un límite legal de explotación fijado por la DGA de 100 l/s. Para evaluar la holgura del sistema, el caudal máximo de las proyecciones de consumo se incrementó a 8 veces su valor original, este factor 8 proviene de la relación 24/3, ya que se supone que las bombas sólo operarán 3 horas al día para entregar el volumen equivalente a una demanda distribuida en 24 horas. Bajo este supuesto de diseño, el caudal disponible cubre holgadamente la demanda proyectada de los baños y confirma la factibilidad técnica de abastecimiento y la autonomía hídrica del recinto sin comprometer la sostenibilidad del acuífero.
- **Objetivo específico 3:** Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados por el laboratorio DICTUC confirmaron que el agua de los pozos cumple íntegramente con la normativa chilena, con excepción del cloro residual libre, parámetro que se corrige mediante la incorporación de un sistema de dosificación y desinfección posterior a la extracción. Con esta mejora, el agua alcanza condiciones óptimas de potabilidad, asegurando la inocuidad sanitaria requerida para los usos previstos en los baños del recinto.

- **Objetivo específico 4:** La simulación hidráulica del sistema interno mostró que la red diseñada cumple con los criterios de ingeniería establecidos: presiones dinámicas entre 30 y 60 m.c.a., velocidades en el rango 0,5–1,5 m/s y pérdidas de carga lineales dentro de 4–8 m.c.a./100 m, garantizando el 100 % del caudal proyectado. La modelación validó además el correcto dimensionamiento de bombas y cañerías, así como la selección del material (HDPE PE100), cuya rugosidad, resistencia mecánica y vida útil estimada de 50 años respaldan la confiabilidad del sistema propuesto.

- **Objetivo específico 5:** La evaluación económica mediante distintos escenarios de sensibilidad evidenció resultados positivos y consistentes en todos los casos analizados, confirmando la viabilidad financiera y el bajo nivel de riesgo del proyecto. En los escenarios con 100 % capital propio, el proyecto presenta VAN positivos entre \$13,8 y \$18,6 millones, TIR entre 26 % y 30 %, y períodos de recuperación (*payback*) entre 4 años 9 meses y 3 años 7 meses, demostrando que la inversión es rentable incluso sin financiamiento externo.

Al incorporar una estructura de financiamiento mixta (50 % capital propio + 50 % crédito a 7 años), los resultados mejoran considerablemente: el VAN aumenta hasta aproximadamente \$28 millones, la TIR se eleva a 57 % y el *payback* se reduce a alrededor de 2 años, reflejando el efecto favorable del apalancamiento financiero y del escudo tributario por intereses.

En conjunto, los seis escenarios de sensibilidad confirman que el sistema subterráneo propuesto es económicamente viable, rentable y robusto ante cambios en las condiciones financieras y tarifarias, generando un impacto directo en la reducción del gasto operativo asociado al agua potable y fortaleciendo la autonomía y sostenibilidad del recinto frente a escenarios de escasez hídrica.

Capítulo 9

DISCUSIÓN

El presente proyecto corresponde a un encargo directo del Gerente General del Mercado Mayorista Lo Valledor, desarrollado como una evaluación técnica y económica aplicada, en el marco de la memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial. Su ejecución permitió abordar una problemática real de la empresa, vinculada al alto costo y dependencia del suministro de agua potable desde la red pública, proponiendo una alternativa sustentable y económicamente viable basada en el uso de pozos subterráneos ya existentes en el recinto.

El estudio elaborado constituye una ingeniería de prefactibilidad, que integra de manera articulada los aspectos técnicos, económicos y conceptuales en los que se circunscribe el proyecto. Su alcance corresponde a una evaluación preliminar que determina la viabilidad general del sistema propuesto, estableciendo las bases necesarias para una posterior ingeniería de detalle o de factibilidad. En esta etapa futura será indispensable elaborar los planos de trazado hidráulico, definir las rutas exactas de las canalizaciones y realizar un análisis detallado de los *fittings*, accesorios y pérdidas localizadas, con el fin de garantizar la correcta implementación de la red en terreno y su óptimo desempeño operativo.

De igual forma, si la empresa decide llevar adelante la implementación del proyecto, será necesario actualizar y verificar los costos unitarios considerados en el presente estudio, puesto que estos podrían presentar variaciones al momento de la implementación. Estos valores fueron obtenidos a partir de cotizaciones y precios de referencia disponibles al momento de la evaluación, por lo que podrían variar debido a cambios de mercado, inflación, condiciones contractuales o fluctuaciones en los precios de materiales y servicios. La revisión de estos

antecedentes permitirá ajustar el presupuesto total y confirmar la rentabilidad proyectada bajo condiciones reales de ejecución.

Más allá del alcance específico del proyecto, uno de los principales aportes de este estudio radica en la metodología aplicada, la cual permitió integrar de manera coherente el análisis del entorno general, el estudio y proyección de datos de interés, el diseño de escudos fiscales, la mecánica de fluidos, la evaluación de proyectos de inversión y el correspondiente análisis económico, vinculando de forma práctica los conocimientos adquiridos durante la formación profesional. El proceso de modelación hidráulica, la aplicación de las ecuaciones de Bernoulli y Darcy–Weisbach, la determinación de pérdidas de carga y el dimensionamiento de equipos constituyeron ejercicios técnicos que reforzaron las competencias en análisis ingenieril y en toma de decisiones basada en datos.

Asimismo, el desarrollo de la evaluación económica mediante indicadores como el VAN, TIR, *payback* descontado y relación beneficio–costo consolidó las herramientas financieras necesarias para valorar la factibilidad de proyectos reales dentro del contexto empresarial.

En este estudio, la sensibilidad se realiza por escenarios y no mediante variaciones puntuales de variables individuales. La razón es que las variables clave de interés, como la tarifa del agua, la tasa de impuesto a la renta o las condiciones de financiamiento, están determinadas por marcos regulatorios y contextos macroeconómicos y políticos fuera del control del proyecto. Por ello, hacer variar una sola variable de forma aislada no representa un cambio realista ni captura la correlación entre factores que, en la práctica, se mueven conjuntamente.

Bajo este enfoque, se construyen escenarios pesimistas, moderados y optimistas que permiten evaluar casos probables de operación y su impacto integral en los flujos de caja, midiendo el riesgo a través de VAN, TIR y *payback*, consistentes con realidades regulatorias y de mercado. Por ende, el análisis por escenarios refleja de mejor manera el entorno real, evita

conclusiones engañosas producto de *shocks* aislados y entrega un rango de resultados robustos y comparables para la toma de decisiones.

En términos personales y profesionales, la ejecución de este trabajo significó una instancia formativa de alto valor, que permitió aplicar de manera concreta los principios de la ingeniería industrial en un entorno real y con un impacto potencial directo sobre la operación de una empresa de relevancia nacional. La experiencia adquirida fortaleció una estructura de pensamiento analítico y metodológico, así como una capacidad de planificación y evaluación de proyectos de diversa magnitud y complejidad, en coherencia con el perfil profesional del Ingeniero Civil Industrial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

REFERENCIAS

- [1] Chia, R., J.-Y., L., Atem, N. V., Cha, J., & Viaroli, S. (2024). Methods to optimize the collection, pretreatment, extraction, separation, and examination of microplastics in soil, groundwater, and human samples. *Journal of Hazardous Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137807>
- [2] Dirección General de Aeronáutica Civil. (2021). *Reporte anual de la evolución del clima en Chile*.
- [3] Cruzat Ingeniería. (2023, abril). *Informe de Pozo Profundo*.
- [4] Custodio, E., & Llamas, M. (1983). *Hidrología subterránea*. Ediciones Omega.
- [5] Depura Life. (2020). Norma chilena N° 409. Recuperado de <https://www.depuralife.cl/wp-content/uploads/2020/06/N.Ch.-N°409-de-2005-Norma-de-Calidad-del-Agua-Potable.pdf>
- [6] Dirección General de Aguas. (2015). *Atlas del agua*. Santiago, Chile.
- [7] Dirección General de Aguas. (2016). *Atlas del agua en Chile*. Santiago, Chile.
- [8] Dirección General de Aguas. (2017). *Actualización del balance hídrico nacional 2017*. Recuperado de https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20Hídricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf
- [9] Environmental Protection Agency. (2021). *Drinking water treatment technologies*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sdwa/overview-drinking-water-treatment-technologies>

- [10] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). *Groundwater: Making the invisible visible*. Recuperado de <https://www.fao.org/newsroom/story/Groundwater-Making-the-invisible-visible/en>
- [11] Galloway, D., & Jones, D. R. (1999). *Land subsidence in the United States*. United States Geological Survey. https://pubs.usgs.gov/circ/circ1182/pdf/circ1182_intro.pdf
- [12] Heinrich Böll Stiftung. (2024, 22 de marzo). Escasez hídrica en Chile: reflexiones en el Día Mundial del Agua 2024. *El Desconcierto*. Recuperado de <https://eldesconcierto.cl/2024/03/22/escasez-hidrica-en-chile-reflexiones-en-el-dia-mundial-del-agua-2024>
- [13] Ministerio de Justicia. (1981). Decreto con Fuerza de Ley (DFL) N° 1122. Código de Aguas. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>
- [14] Mercado Mayorista Lo Valledor. (2025). *Gestión de control de recursos hídricos del Mercado Lo Valledor*. Santiago, Chile.
- [15] Mercado Mayorista Lo Valledor. (2025). Información corporativa. Recuperado de <https://mercadolovalledor.cl/nosotros/>
- [16] Ministerio de Obras Públicas. (2022, 2 de agosto). Presidente inaugura pozos que darán seguridad hídrica a 400 mil habitantes de la zona sur de Santiago. Recuperado de <https://www.gob.cl/noticias/presidente-inaugura-pozos-que-daran-seguridad-hidrica-400-mil-habitantes-de-la-zona-sur-de-santiago>

- [17] Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Plan de acción nacional de cambio climático 2017-2022*. Santiago, Chile.
- [18] Organización Mundial de la Salud. (2017). *Guía para la calidad del agua para consumo humano*. Recuperado de <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- [19] Sandoval, J., & Varas, M. (2006). El acceso a las aguas subterráneas y sus límites. Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/107716>
- [20] Sahuquillo, A. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*.
- [21] Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Pearson Prentice Hall.
- [22] Taylor, R. G., & Alley, W. M. (2001). Ground-water-level monitoring and the importance of long-term water-level data. *U.S. Geological Survey Circular*, 1217.
- [23] Tineo, R. (2025, 5 de junio). Comunicación personal.
- [24] UNESCO. (2020). *The United Nations World Water Development Report 2020: Water and climate change*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf00000372985>
- [25] UNESCO. (2020). *Water and climate change*. <https://doi.org/10.18356/e2014dcb-en>
- [26] UNESCO. (2023, marzo). *The United Nations World Water Development Report 2023: Partnerships and cooperation for water*. <https://doi.org/10.18356/9789210026208>

- [27] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2020). *The United Nations World Water Development Report 2020*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>
- [28] Velásquez, E. (2025, 29 de mayo). Comunicación personal. Santiago, Chile.
- [29] Water Science School. (2018). Groundwater wells. United States Geological Survey (USGS). <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/groundwater-wells#overview>
- [30] World Resources Institute. (2023, 16 de agosto). 25 countries, housing one-quarter of the population, face extremely high water stress. Recuperado de <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>