



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental**

**PROPUESTA DE UN MEJOR APROVECHAMIENTO DE LAS
AGUAS SUBTERRÁNEAS, PROVENIENTES DEL TÚNEL
SOTERRADO SALTO-MIRAMAR, VIÑA DEL MAR, REGIÓN DE
VALPARAÍSO.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTOR: IGNACIA JAVIERA MALHUE IRRIBARRA

PROFESOR GUÍA: HUGO DÍAZ MURILLO

VALPARAÍSO, 2023

Agradecimientos

Agradecer en mi primer lugar a mi familia, por estar presentes en toda mi etapa universitaria, por darme palabras de ánimo cuando el camino se me hacía complejo, por regañarme cuando lo necesitaba o quizás no tanto, por hacerme completitos con té para festejar mis logros académicos, pero, por sobre todo, por su apoyo incondicional. A mis padres, hermano, mami, tíos, primos y a mi tata, que, aunque nos haya dejado durante el camino, sé que me apoyó y me acompañó hasta el final.

Agradecer las valiosas amistades que gané más allá de ser compañeras universitarias; Alondra, Silvana y Verónica, gracias por estar ahí cuando las necesitaba, por sus palabras de aliento, y por sufrir juntas durante estos años, me hicieron más llevadero y entretenido el proceso de término de la carrera. Agradecer por ser un soporte fundamental y hacer mucho más bonita mi recorrido por la Universidad, por las risas y por los buenos recuerdos que creamos.

También agradecer profundamente al docente Hugo Díaz, quien desde el comienzo hasta el final demostró interés y compromiso por mí y por mi Trabajo de Título, complementándolo con sus consejos asertivos y las agradables conversaciones. Agradecer la paciencia, los retos y el café con galletitas.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí, por creer en mí, por haber completado esta etapa tan compleja, por no darme días libres, por nunca darme por vencida, por tratar de hacer más bien que mal, y por, sobre todo, por no perder la esencia de quien soy. Agradecerme a mí, porque hoy al fin me puedo decir satisfactoriamente,

¡Lo logré!

Resumen

El cambio climático ha ocasionado consecuencias negativas para el medio ambiente siendo una de estas la disminución en los niveles de precipitaciones lo que ha provocado la intensificación de los fenómenos de sequía a nivel mundial, siendo Chile uno de los países afectados. Hoy en día, el país está sufriendo uno de los peores eventos de sequía que se tiene registro en los últimos 13 años, por lo que, en la actualidad, se hace indispensable saber cuidar, preservar y realizar un correcto manejo de los recursos hídricos presentes como lo son las aguas subterráneas. Estas tienen un rol fundamental para ayudar a soportar los eventos de sequía, puesto que actúan como un recurso hídrico de reserva. Sin embargo, al no existir un correcto manejo de este recurso, en su mayoría es usado de manera no sostenible.

En la Región de Valparaíso, específicamente en la cuenca del Estero Marga – Marga, existen napas subterráneas ubicadas por debajo de las conexiones ferroviarias del metro EFE Valparaíso, en el túnel Soterrado Salto – Miramar las cuales son eliminadas por parte de la empresa hacia el alcantarillado de la comuna de Viña del Mar para prevenir problemas de infraestructura sin hacer aprovechamiento de ellas. Considerando que la empresa expresa ser responsable, amigable y comprometidos con el medioambiente, mediante sus políticas ambientales, es que debieran aprovechar de mejor manera este recurso.

Por lo anterior, es que se plantearon dos opciones aprovecharlas de mejor manera; una es depositarlas al Estero de Viña del Mar para aportar a la rehabilitación del estero, y la segunda es utilizarlas para lavado de los vagones de la empresa EFE Valparaíso considerando que la empresa usa el servicio de agua potable de ESVAL para tal proceso.

Como resultados, mediante un proceso de discriminación de normativas, ya sea por rubro y/o por localización, se seleccionaron el Decreto 41/2023 del Ministerio del Medio Ambiente y el Decreto 143/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia siendo estos los más adecuados para tales actividades. También se obtuvieron los caudales de cada estación, siendo el valor más alto en la estación Miramar con un valor de 3,26 [l/s], lo que podría ser debido a la acumulación de caudal desde las otras estaciones, por lo que esta estación sería la zona más apropiada para depositar las aguas subterráneas. Por otra parte, se caracterizó la contención de estas aguas dentro del túnel Soterrado Salto – Miramar. No obstante, no se logró conseguir los resultados de los parámetros establecidos por las normativas descritas, esto ya sea de parte de las empresas involucradas, como también por no contar con los implementos necesarios para la actividad *in vitro*.

Por último, mediante un análisis económico de los implementos que se requieren para cada actividad, se pudo establecer que el que presenta mayor inversión sería el sistema de lavado de vagones con un total de 736,41 UF, siendo este confirmado con la elaboración de un flujo de caja concluyendo que no es un proyecto viable, en comparación con el depósito en el Estero con un total de 232,32 UF para la estación Miramar y 217,80 UF para la estación Hospital.

Glosario

Aguas continentales superficiales: son aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas (Ministerio de Justicia, 2022).

Calidad natural: las condiciones en que se encuentra el agua con respecto a características físicas, químicas y biológicas en su estado natural (Baeza, 2016).

Códigos de aguas: Es la ley que norma el uso de los recursos hídricos del país, considerando el derecho de aprovechamiento de aguas consuntivas y no consuntivas (Salcedo, 2015).

Cuenca Exorreica: Son aquellas cuyo punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que desemboca en el océano (Michelle Vásconez et. al. , 2019).

Cuencas Hidrográficas: Es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado, delimitado por la línea de cumbres llamada divisora de aguas (Michelle Vásconez et. al. , 2019).

Dirección General de Aguas: “Es el organismo del Estado encargado de velar por el equilibrio y armonía en el uso de las aguas terrestres, fomentando y fortaleciendo su gobernanza, resguardando su preservación y disponibilidad en calidad y cantidad para un desarrollo sostenible, resiliente, inclusivo, participativo y con perspectiva de género, cuidando a las personas y mejorando su calidad de vida” (DGA, 2023).

Listado de abreviaciones y acrónimos

APR: Agua Potable Rural.

BCN: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

CNR: Comisión Nacional de Riego.

DGA: Dirección General de Aguas.

DMA: Directiva Marco del Agua (Unión Europea).

EFE: Empresa de Ferrocarriles del Estado.

ESVAL: Empresa Sanitaria de Valparaíso.

GOB: Gobierno de Chile.

GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment.

GRAPHIC: Evaluación de los recursos hídricos subterráneos bajos las presiones de la humanidad y el cambio climático.

IGRAC: International Groundwater Resources Assesment Center.

IHP: Programa Hidrológico Internacional.

LAN: Ley de Aguas Nacionales (México).

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

ONU: Naciones Unidas.

Ppm: Partes por millón.

SII: Servicio de Impuestos Internos.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

WWF: World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza).

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Escasez hídrica en Chile	2
1.2 Ciclo del agua	5
1.3 Aguas Subterráneas	7
1.3.1 Importancia de las aguas subterráneas a nivel mundial.....	8
1.3.1.1 Gestión de las aguas subterráneas a nivel internacional	11
1.3.1.2 Legislación internacional	13
1.3.1.3 Legislación nacional.....	14
1.3.2 Aguas subterráneas a nivel nacional	16
1.3.2.1 Agua subterránea en la región de Valparaíso	17
1.4 Ferroviarios y su efecto en el medio ambiente	22
1.4.1 Ferroviario en Chile: Empresa EFE Trenes de Chile	23
1.4.1.1 Metro EFE Valparaíso	23
1.4.1.2 Política ambiental de la empresa EFE	24
1.4.1.3 Política de sostenibilidad de la empresa EFE	25
2. PROBLEMA	26
3. OBJETIVOS	27
3.1 Objetivo General	27
3.2 Objetivos Específicos	27
4. METODOLOGÍA	28
4.1 Identificación de normativas y/o legislaciones vinculantes a la calidad de las aguas subterráneas	29
4.1.1 Actividades para el mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas.....	29
4.1.2 Análisis de normativas/legislaciones que sean atingentes a las actividades seleccionadas	30
4.1.2.1 Criterio según rubro	30
4.1.2.2 Criterio según localización	31
4.2 Caracterización de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto – Miramar	32
4.2.1 Revisión bibliográfica	32

4.2.2	Métodos cuantitativos	33
4.2.2.1	Caudal	33
4.2.2.2	Actividad <i>in vitro</i>	34
4.2.3	Método cualitativo.....	36
4.2.4	Sistema de Tratamiento.....	36
4.3	Evaluación económica de la tecnología a emplear para el aprovechamiento las aguas subterráneas.....	37
4.3.1	Selección de la tecnología aplicable	37
4.3.2	Evaluación económica.....	37
4.3.2.1	Estimación de costos.....	37
4.3.2.2	Flujo de caja	38
4.3.2.3	VAN y TIR.....	38
5.	RESULTADOS.....	40
5.1	Identificación de normativas y/o legislaciones vinculantes a la calidad de las aguas subterráneas.....	40
5.1.1	Discriminación de normativas y/o legislaciones chilenas vinculantes con el mejor aprovechamiento de las aguas subterráneas.....	40
5.1.2	Normativa no aplicable	41
5.1.3	Normativa aplicable	43
5.1.4	Depósito directo en el Estero Viña del Mar	45
5.1.5	Procedimiento de lavado para los vagones del metro EFE Valparaíso	47
5.2	Caracterización de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto – Miramar.....	49
5.2.1	Revisión bibliográfica	49
5.2.2	Métodos cuantitativos	49
5.2.2.1	Caudal	49
5.2.2.2	Actividad <i>in vitro</i>	50
5.2.3	Método cualitativo.....	51
5.2.4	Sistema de Tratamiento.....	54
5.2.4.1	Depósito para E.M – 1.....	55
5.2.4.2	Depósito para E.M – 2.....	55
5.2.4.3	Procedimiento de lavado para los vagones del metro EFE Valparaíso.....	56
	56	
5.3	Evaluación económica de la tecnología a emplear para el aprovechamiento las aguas subterráneas.....	57
5.3.1	Selección de la tecnología aplicable	57
5.3.1.1	Depósito Directo en el Estero Viña del Mar.....	58
5.3.1.2	Lavado de vagones del metro EFE Valparaíso	59
5.3.1.3	Equipos seleccionados	60

5.3.2	Evaluación económica.....	65
5.3.2.1	Estimación de costos de los equipos y/o maquinarias seleccionadas.....	65
5.3.2.2	Estimación de costos de mano de obra.....	67
5.3.2.3	Flujo de caja.....	67
5.3.2.4	VAN y TIR.....	69
6.	DISCUSIÓN.....	70
7.	CONCLUSIÓN.....	74
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	77
9.	ANEXOS.....	84

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Acuíferos monitoreados por la DGA en la Región de Valparaíso con sus respectivas superficies en [km ²]	17
Tabla 1.2 Acuíferos monitoreados por la DGA en la Región de Valparaíso con sus respectivas superficies en [km ²] (Continuación)	18
Tabla 4.1 Datos de la correntía de las aguas subterráneas dentro de las Sentinas en el metro EFE Valparaíso	33
Tabla 4.2 Instrumentos y/o equipos con su respectiva descripción que serán utilizados en el análisis <i>in vitro</i>	34
Tabla 4.3 Instrumentos y/o equipos con su respectiva descripción que serán utilizados en el análisis <i>in vitro</i> (Continuación)	35
Tabla 5.1 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad	41
Tabla 5.2 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad (Continuación)	42
Tabla 5.3 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad (Continuación)	43
Tabla 5.4 Normativas aplicables vinculantes con las actividades seleccionadas según el criterio de aplicabilidad	44
Tabla 5.5 División de las estaciones del metro con respecto al área de vigilancia del Decreto 41/23 según sus características similares	45
Tabla 5.6 Niveles de calidad ambiental para las áreas de vigilancia del AC – 5 y QUI – 1 para cada parámetro normado por el Decreto 41/23	46
Tabla 5.7 Concentraciones o unidades de compuestos o elementos según el Decreto 143/09	48
Tabla 5.8 Resultados obtenidos sobre el caudal en [l/s] en base a los datos obtenidos de la empresa EFE Valparaíso	50
Tabla 5.9 Valores obtenidos correspondientes a parámetros y elementos medidos en laboratorio dentro del marco de actividad <i>in vitro</i>	50
Tabla 5.10 Datos relevantes de la empresa EFE Valparaíso	58

Tabla 5.11 Códigos de identificación para cada actividad establecida	61
Tabla 5.12 Características de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50	61
Tabla 5.13 Características de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200	61
Tabla 5.14 Descripción de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50 y la bomba REGGIO SCF2 200T junto a su código de identificación y las cantidades requeridas.	62
Tabla 5.15 Características de la cañería de acero galvanizado 4" x 6m Clase A ISO R6562	
Tabla 5.16 Descripción de la cañería de acero galvanizado 4" x 6m Clase A ISO R65 junto a su código de identificación y las cantidades requeridas	62
Tabla 5.17 Descripción general de un camión aljibe de 15.000 litros junto a su código de identificación y las cantidades requeridas	63
Tabla 5.18 Características generales de un tanque de agua de 15.000 [l] de capacidad. 63	
Tabla 5.19 Descripción de un tanque de capacidad de 15.000 [l] con su respectivo código de identificación con su respectiva cantidad	64
Tabla 5.20 Características generales de la manguera plana de 3" marca EDR	64
Tabla 5.21 Descripción de una manguera plana de 3" de conexión, junto su respectivo código de identificación con su respectiva cantidad.....	64
Tabla 5.22 Detalles de las cotizaciones realizadas para cada equipo y/o maquinaria requerida.	65
Tabla 5.23 Costos de los equipos seleccionados según las cotizaciones realizadas con sus respectivas fuentes.....	66
Tabla 5.24 Costo total de inversión para cada actividad	66
Tabla 5.25 Vida útil de los activos físicos.....	67
Tabla 5.26 Resultados de la depreciación anual para cada equipo y para cada año	68
Tabla 5.27 Flujo de caja para la propuesta de lavado de vagones del metro EFE Valparaíso.	69
Tabla 9.1 Establece las áreas de vigilancias para el cumplimiento y fiscalización del Decreto 41/23, con sus respectivos caces y coordenadas en UTM.....	85
Tabla 9.2 Boleta electrónica de ESVAL por consumo de agua potable para el lavado de vagones.....	86

Tabla 9.3 Dimensiones de la sentina ubicada en la estación Miramar. 87

Tabla 9.4 Cotización para cada maquinaria y/o equipos en UF con sus respectivos proveedores..... 98

Tabla 9.5 Cotización para cada maquinaria y/o equipos en UF con sus respectivos proveedores (Continuación)..... 99

Tabla 9.6 Vida útil y valor de cada máquina o equipos a utilizar para LV – 3. 100

Índice de Figuras

Figura 1.1 Condiciones de estrés hídrico de 164 países. Posición de Chile en el Ranking Nacional de Estrés Hídrico.....	3
Figura 1.2 Representación esquemática general del proceso completo correspondiente al ciclo del agua o el ciclo hidrológico.	5
Figura 1.3 Agua disponible en el planeta Tierra con sus respectivos porcentajes, siendo esta agua salada con un 97% y agua dulce del 3%. De este último, el 68,9% es agua de glaciación y de nieves, el 30,8% es de agua subterránea y sólo el 0,3% corresponde a agua de río y lagos	6
Figura 1.4 Representación fotográfica del lago Ontario ubicado en Canadá.	9
Figura 1.5 Acuíferos y pozos monitoreados en la Región de Valparaíso por la Dirección General de Agua.....	19
Figura 1.6 Cuenca del Estero Marga – Marga integrando las comunas de Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Peñablanca.....	20
Figura 1.7 Representación de las 20 estaciones que contiene el metro EFE Valparaíso conectando las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache, partiendo desde la estación Puerto y terminando con la estación de Limache.....	23
Figura 4.1 Diagrama tipo resumen para explicar la metodología empleada para el presente proyecto.....	28
Figura 4.2 Diagrama del proceso de discriminación de normativas mediante la composición de criterios	30
Figura 4.3 Metodología de discriminación según rubro del proyecto	31
Figura 4.4 Metodología de discriminación según la localización del proyecto.	32
Figura 4.5 Diagrama de la metodología a emplear para utilizar las aguas directamente en la respectiva actividad seleccionada	36
Figura 5.2 Fotografía del submuestreo (aproximadamente 160 [ml]) correspondientes a la muestra que se obtuvo del agua subterránea perteneciente a la estación Chorrillos, en la cual se puede observar un colorimetría totalmente transparente	51
Figura 5.3 Representación de las dimensiones que presentan las sentinas por debajo de cada estación del túnel Soterrado Salto – Miramar para contener la infiltración de las aguas subterráneas.....	52

Figura 5.4 Distancia de la Sentina una vez dentro de ella, con una longitud de 10 metros aproximadamente.	53
Figura 5.5 Entrada a una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso con una medida de 2x2 metros.	53
Figura 5.6 Profundidad de una Sentina de aproximadamente tres metros.	53
Figura 5.7 Vista desde arriba del arribo de estas aguas subterráneas hacia las Sentinas del metro EFE Valparaíso.	53
Figura 5.8 Bomba de agua luego de ser extraída de las aguas subterráneas depositadas en una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso.	54
Figura 5.9 Bomba de agua nueva para ser localizada dentro de una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso.	54
Figura 5.10 Diagrama de la metodología a realizar para depositar el agua subterránea directamente en el Estero de Viña del Mar según las características del AC – 5 basándose en los niveles establecidos por el Decreto 41/23	55
Figura 5.11 Diagrama de la metodología a realizar para depositar el agua subterránea directamente en el Estero de Viña del Mar según las características del QUI – 1 basándose en los niveles establecidos por el Decreto 41/23.	56
Figura 5.12 Diagrama de la metodología a realizar para utilizar el agua subterránea directamente para lavado de vagones del metro EFE Valparaíso basándose en los niveles establecidos del Decreto 143/0	57
Figura 5.13 Distancia entre la estación Miramar y el Estero Viña del Mar de 407,5 [m] ..	58
Figura 5.14 Distancia entre la estación Hospital y el Estero Viña del Mar de 383,6 [m]...	59
Figura 5.15 Ubicación de la estación Belloto en la comuna de Quilpué.....	60
Figura 9.1 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda por FlowCenter.	88
Figura 9.2 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda por Ecoaqua.	88
Figura 9.3 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda Bombas por Proservice.....	89
Figura 9.4 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda Bombas por Comercial Hidrobombas.	89

Figura 9.5 Cotización de la bomba REGGIO SCF2 200T por Ecoaqua.....	90
Figura 9.6 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por Hidroreparaciones.	90
Figura 9.7 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por Casim Spa.....	91
Figura 9.8 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por SEA INGENIERÍA.	91
Figura 9.9 Cotización de la cañería de acero galvanizado 4"x 6m Clase A Iso R65 por Tecnored.....	92
Figura 9.10 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Puramáquina.cl.....	92
Figura 9.11 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Económicos El Mercurio.	93
Figura 9.12 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Económicos El Mercurio.	94
Figura 9.13 Cotización del taque de agua de capacidad de 15.000 Litros por Purificatec.	95
Figura 9.14 Cotización del taque de agua de capacidad de 15.000 Litros por TUPEL. ...	95
Figura 9.15 Cotización del taque de agua de capacidad de 15.000 Litros por Purificatec.	96
Figura 9.16 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por HIDROSHOP.	96
Figura 9.17 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por TODO AL COSTO. 97	
Figura 9.18 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por MOTO BOMBAS. . 97	

1. Introducción

En los últimos años, luego de la revolución industrial, las actividades antrópicas se han ido incrementando de manera considerable, teniendo consecuencias negativas para el medioambiente puesto que su aporte provoca una aceleración en el proceso de cambio climático a nivel mundial, fenómeno que según las Naciones Unidas es definido como “cambios a largo plazo de las temperaturas y de patrones climáticos”. Una de estas consecuencias es el aumento de las emisiones de gases invernadero, los que actúan mediante la retención del calor afectando la composición natural de la atmósfera, provocando una serie de cambios en los patrones climáticos de todo el mundo, siendo la mayor problemática en la actualidad las inminentes alzas de temperaturas a nivel mundial. A partir del siglo XIX, la temperatura media del planeta ha aumentado en 1,1°C (Naciones Unidas, 2023). Lo anterior conlleva a que se produzcan condiciones climáticas extremas, generando la disminución de precipitaciones que ha tenido como efecto la aparición del fenómeno de escasez hídrica, que hace relación a la falta de capacidad para satisfacer las necesidades de los ecosistemas y de las personas, considerando tanto la calidad como también la cantidad del agua, manifestando un problema grave y alarmante para las autoridades mundiales y para la población en general. En los últimos años, las actividades del ser humano son un factor importante como influencia en la aceleración de la de escasez hídrica, esto debido a distintas causas como el crecimiento demográfico a nivel mundial, provocando un aumento de la demanda de este recurso. Por otro lado, está el aumento de empresas e industrias, que de manera general, no consideran una eficiente gestión en base a la administración del uso de agua dulce, ya sea para utilizarlos dentro de sus propósitos productivos o también como para la eliminar sus residuos, lo que además contribuye con la contaminación que existe en estas aguas, puesto que se estima que más del 80% de las aguas residuales a nivel mundial son depositados en ríos, arroyos y océanos sin ningún tipo de tratamiento previo (Gómez, 2018).

En la mayoría de los casos, la población no tiene conciencia de lo que es el cuidado del recurso hídrico, dado que es frecuente la creencia errónea de que es ilimitado, por lo que ciertas costumbres suman a lo que es el desperdicio de esta, siendo que a nivel mundial se debería tomar mayor conciencia, considerando el estado crítico en el que se encuentra producto de la sequía (Rodríguez, 2014). La pérdida de agua es ocasionada en su mayoría por malas gestiones que se tiene de este recurso, nombrando un ejemplo que es recurrente como lo es dejar la llave de paso abierta, lo que provoca que el agua siga fluyendo al momento de realizar alguna actividad hogareña ya sea de limpieza o aseo personal. Sin embargo, este problema va mucho más allá de lo que es el uso del agua personal, sino que también influye lo que es la administración de este recurso por parte de privados, industrias y/o grandes empresas, dado que en su mayoría no presentan las tecnologías pertinentes asociados a las demandas actuales, lo que en muchas ocasiones es debido a las grandes inversiones que se requieren para modernizarlas. Esto provoca incidentes que podrían ser evitables, como lo es el caso de las rupturas de los alcantarillados en las calles, y a esto añadirle la retardada respuesta por parte de las empresas encargadas, provocando la pérdida de litros de agua potable en segundos. En América Latina el tema de la pérdida de

agua sigue siendo una problemática, estimándose que se pierde alrededor de un 42% de este recurso en las grandes ciudades, y para el caso de las medianas y pequeñas ciudades, este porcentaje desafortunadamente incrementa (Caldes, 2017).

1.1 Escasez hídrica en Chile

La escasez hídrica actualmente está presente en todo el mundo y ya hay alrededor de 1.200 millones de personas que viven en estas situaciones, por lo que hoy en día es una de las problemáticas más desafiantes del siglo XXI, influyendo en el desarrollo económico, social y humano de los países, y Chile no queda exento de esta situación. El escenario nacional con respecto a la escasez hídrica no es muy alentador, puesto que, considerando un estudio realizado en el año 2019 por “World Resources Institute del Pacto Mundial de las Naciones Unidas” en donde se realizó un ranking nacional considerando las condiciones de estrés hídrico de 164 países (National Water Stress Rankings), los cuales se organizaron en cinco categorías los que son estrés hídrico extremadamente alto, alto, medianamente alto, medio – bajo y por último en bajo estrés hídrico, Chile se encuentra ubicado en el puesto número 18 como se puede observar en la **Figura 1.1** en la categoría de “**estrés hídrico alto**”, posicionándose como el primer país a nivel Latinoamericano con esta condición, sólo seguido por México en el lugar número 24, y se estima que para el año 2024 se posicione en “**estrés extremadamente alto**” debido a las altas temperaturas y a la disminución de las precipitaciones por todo el territorio nacional (Alvarado, 2022).



Figura 1.1 Condiciones de estrés hídrico de 164 países. Posición de Chile en el Ranking Nacional de Estrés Hídrico (Alvarado, 2022).

Chile, actualmente está sufriendo una de las crisis hídricas más grave que se tiene registro desde los últimos 13 años, siendo causado por tres principales razones según el estudio de *“Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile”* que se realizó en el año 2019 en las cuencas de Copiapó, Aconcagua, Maipo, Maule, Lebu y Baker. Cabe destacar que, según los Escenarios Hídricos de Chile 2030 (2023), hasta la fecha no se han generado mayores cambios en base a este estudio, sin embargo, entre el 2020 y el 2021, las principales cuencas utilizadas como enfoque territorial son la del Maipo y la del Maule. La primera razón de los problemas de brechas y riesgos hídricos es que el 44% es debido a las fallas de la gestión del agua y su gobernanza, ya sea por la falta de transparencia del mercado de esta misma en cada cuenca, la descoordinación de las instituciones que gestionen el recurso hídrico por sector en cada cuenta, por las limitadas fiscalizaciones a usuarios, entre otros. Otro 17% es provocado por el inminente crecimiento de las actividades productivas,

además de la gran demanda de otorgamiento de derechos de aprovechamientos de aguas que existen en el país, y por último, un 14% es debido al *“uso de productos químicos en agroindustrias, los pasivos ambientales mineros, la carencia de tratamiento de aguas servidas en zonas rurales y la disminución de calidad por disminución de niveles del acuífero e intrusión salina”* (Circular, 2019). Por otro lado, están las causas naturales, como lo es el déficit de precipitaciones, que ha alcanzado un porcentaje entre un 60% y el 80% del promedio histórico, lo que ha llevado a que los embalses más importantes del país solo alcancen un 34% de su capacidad y se tiene una proyección muy similar para los ríos. También cabe mencionar que se presenta un déficit de acumulación de nieves de un 85%, por lo que se ha diseñado un Plan de Emergencia que tiene por objetivo aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, y de este modo, asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos. Los ejes que se consideran dentro de este plan son cuatro; el primero es la utilización de agua desalada, también está la tecnificación de riego para la producción del alimento, ampliar la cobertura de los programas de las agua potable rural (APR) del MOP, y por último concientizar sobre el uso eficiente de este recurso en las ciudades mediante sanciones, prohibiciones de descargas de aguas residuales, reduciendo la pérdida de agua en las redes de distribución de las empresas sanitarias (GOB Gobierno de Chile, 2023).

Según la Dirección General de Aguas (DGA), en el país son 12 las regiones que se encuentran declaradas en situación de escasez hídrica hasta el año 2022, siendo una de las afectadas la región de Valparaíso (DGA, 2023). Dentro de la quinta región, de 38 comunas 37 están bajo el llamado decreto de escasez hídrica, los cuales son declarados con el propósito de disminuir las consecuencias que trae consigo la sequía hacia la población mediante la provisión de herramientas a los usuarios, además hace que el trámite de adquirir derechos de aprovechamiento de aguas sea mucho más limitante y estricto. En la región de Valparaíso, las provincias que están bajo este decreto son las provincias de Marga - Marga, Petorca, San Antonio, San Felipe, Quillota, Los Andes y la provincia de Valparaíso. Esta situación ha obligado a la población a tomar medidas drásticas al respecto, sobre todo luego que el año 2021 se registró como el año más seco de la historia del país. Un ejemplo claro es la decisión tomada por la comuna Los Nogales, Región de Valparaíso, que comenzó a racionar el agua potable para sus habitantes en febrero del 2022, siendo solo un anticipo de lo que podría verse en diferentes comunas urbanas de la región y también a nivel país. Hoy en día, tanto la población como las autoridades nacionales se muestran crecientemente preocupados por el aumento de la escasez de agua. En consecuencia, es fundamental optimizar la gestión de los recursos hídricos disponibles en el territorio nacional, debido a que la posible extinción de este recurso vital tendría consecuencias catastróficas para la vida, no sólo para los humanos, sino que también para la Tierra.

1.2 Ciclo del agua

Si bien se entiende la emergencia que existe acerca de las condiciones de la escasez hídrica, también se debe comprender por qué esta situación es alarmante a nivel mundial, considerando lo que se denomina el ciclo del agua. El ciclo natural del agua, o también denominado ciclo hidrológico, es aquel que permite el movimiento continuo de este líquido vital mediante un estado a otro, sin comprometer la cantidad total de esta ya que el planeta se considera como un “sistema cerrado”, debido a que la mayor parte del agua en la Tierra no circula por cuenta propia (Camilloni & Vera, 2007). El ciclo es impulsado por la energía solar, puesto que, debido al calentamiento de la superficie de las aguas superficiales, el agua líquida o sólida se evapora, principalmente de los océanos con un 80%, siendo el 20% restante las aguas superficiales terrestres o de la transpiración de la vegetación, lo que finalmente se convierte en vapor de agua y es transportada hacia la atmósfera, en donde permanece en estado gaseoso. Con el tiempo, cuando el aire caliente asciende y la atmósfera se enfría, disminuyendo la capacidad de retención del vapor de agua, lo que provoca que se condense en gotas de nubes, para finalmente precipitar en forma de lluvia o de nieve, esto en las montañas o en época de frío (otoño – invierno). Esta agua precipitada puede ser absorbida por la vegetación terrestre, como también puede depositarse en sus hojas en donde finalmente se evapora por medio de la transpiración. Otra opción es ser depositada de vuelta a los océanos y a las aguas superficiales de la Tierra, como también ser absorbida por la tierra hacia el subsuelo, convirtiéndose en agua subterránea. En la **Figura 1.2**, se puede observar una representación esquemática del ciclo del agua.

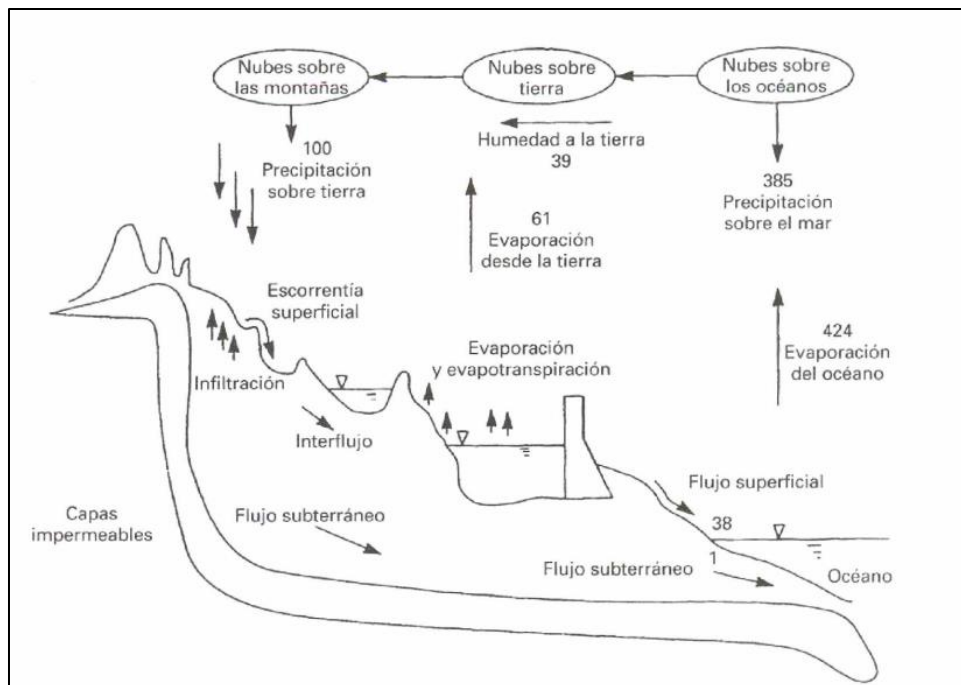


Figura 1.2 Representación esquemática general del proceso completo correspondiente al ciclo del agua o el ciclo hidrológico (Veza, 1999).

Sin embargo, este proceso va más allá de lo edáfico, puesto que, al ser un ciclo, en algún punto se incorpora en nuestros cuerpos, tomando en cuenta que el peso del ser humano está compuesto por dos tercios de agua, representado por un 60% de la composición humana en hombres y 50% en mujeres aproximadamente (Vilaplana, 2010), por lo cual, el agua se convierte en un elemento esencial para la nutrición y la salud humana. Es mediante el sistema digestivo que se absorbe agua para el cuerpo, perdiendo entre 0,5 y 1 litros diario en la orina, además de 0,75 litros en la evaporación a través de los poros y pulmones, por lo que se recomienda el consumo de entre 1,5 a 2 litros diarios para cada persona adulta sana y así protegerse de la deshidratación, enfermedades renales, y para la correcta nutrición del cuerpo.

Por otro lado, el 97,5% del agua presente en el planeta Tierra es salada, por lo que menos del 3% es agua dulce, y de este porcentaje, aproximadamente el 2,7% es de difícil acceso, ya que representa a las aguas subterráneas, a los casquetes polares y a los glaciares. En conclusión, menos del 1% del volumen total de agua disponible en el planeta (aproximadamente el 0,3%) es accesible al consumo del ser humano, encontrándose en lagos, ríos y en otras formas superficiales. En el gráfico representada en la **Figura 1.3**, se puede apreciar la comparación de agua disponible en el planeta con sus respectivos porcentajes. Además, el 3% de agua dulce se tomó como un 100% y se dividió en agua de río y lagos, agua de glaciares y nieve y agua subterránea con sus respectivos porcentajes.

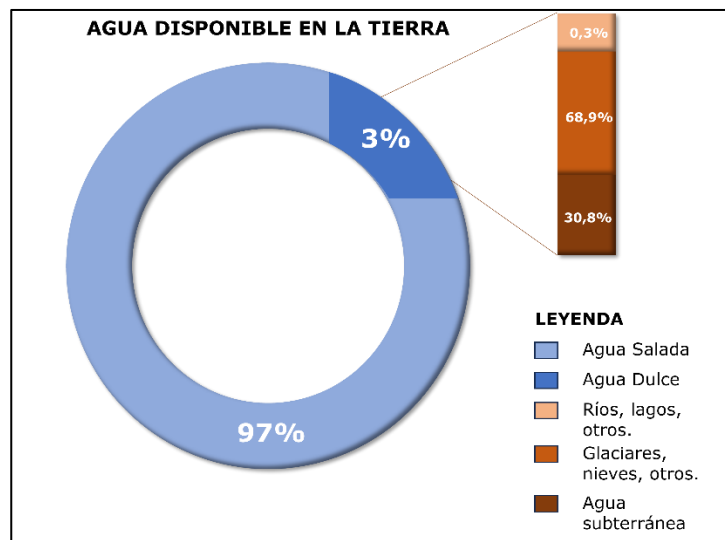


Figura 1.3 Agua disponible en el planeta Tierra con sus respectivos porcentajes, siendo esta agua salada con un 97% y agua dulce del 3%. De este último, el 68,9% es agua de glaciarse y de nieves, el 30,8% es de agua subterránea y sólo el 0,3% corresponde a agua de río y lagos (Modificación de Vilaplana, 2010).

A pesar de que la mayoría de los seres vivos, incluyendo a los humanos, dependen de suministros de agua dulce (sobre todo superficial), la disminución de este líquido es algo inminente, trayendo consigo problemas para la vida. Considerando lo anterior, es que se han desarrollado diversos mecanismos para la supervivencia como la extracción de agua subterránea mediante pozos o por otro lado la desalinización del agua de mar, sin embargo,

aunque estos mecanismos se realizan en su mayoría para beneficio humano, esto trae consigo consecuencias negativas para los ecosistemas y al ciclo natural del agua (Academy, 2017).

1.3 Aguas Subterráneas

El agua subterránea, o también denominada como napas subterráneas, es un recurso natural que al no ser absorbida por la vegetación ni depositada en ríos, lagos, entre otros, se percola hacia el subsuelo hasta encontrar material rocoso saturado de agua denominado acuífero, el cual es una estructura geológica subterránea apta para transmitir agua en abundancia, denominado capa freática, y, según la Comisión Nacional de Riego (CNR) del Ministerio de Agricultura, es definida como una formación rocosa que permite esta circulación de agua por medio de sus poros o grietas siendo esta aprovechada en su mayoría por y para el uso del hombre (Ministerio de Agricultura, 2023) que generalmente es extraída por medio de pozos. Por otro lado, según el Artículo 2° del Código de Aguas, las aguas subterráneas son aquellas que “*se encuentran ocultas bajo el seno de la tierra y no han sido alumbrada*”. Esta agua se mueve de manera lenta a través de los poros y fisuras hacia la profundidad del suelo hacia abajo debido a la gravedad, manando de vez en cuando en manantiales, ríos, lagos y océanos, convirtiéndose nuevamente en agua superficial.

Este recurso natural, es uno de los más importantes en la Tierra, ya que, en base al *International Groundwater Resources Assessment Center (IGRAC)* de la UNESCO, es la fuente de agua dulce más abundante que existe sobre el planeta, alcanzando hasta un 97% de agua no congelada, superando inclusive a la disponibilidad de aguas superficiales, ya sean lagos, ríos, arroyos, entre otros. El ser humano, aprovecha este recurso para beneficio propio, estimando que es utilizado como suministro de agua potable para más del 50% de la población. A nivel mundial, las utilidades más comunes son para uso doméstico (22%) irrigación y ganadería (67%) y para las grandes industrias y las mineras (11%) (Baeza, 2020). Además, estas aguas, tienen un rol importante en el medioambiente, puesto que, además de ser una parte esencial del ciclo del agua, actúa como un potencial complemento de las aguas superficiales cuando estas se encuentran al borde de alcanzar su punto de agotamiento sostenible en el ecosistema, es decir, cuando está llegando al punto en el cual la cantidad de agua disponible, ya sea en ríos, lagos, embalses, entre otros, es insuficiente para lograr el objetivo de satisfacer las necesidades humanas y ambientales. Por otro lado, mencionar que poseen la capacidad de equilibrar las oscilaciones provenientes de las precipitaciones. No obstante, no solo influye en el curso natural del medioambiente, sino que también, actúa como un factor crítico para un gran porcentaje poblacional, ya sea afectando a la calidad de vida humana, a la salud e inclusive en temas económicos, debido a que es utilizada para consumo, riego y para las industrias.

Una de las características que presentan las aguas subterráneas, es que tienen la capacidad de recargarse y reponerse naturalmente mediante la infiltración de las precipitaciones por debajo de la superficie de la tierra, pero, por otro lado, también se pueden reponer de manera artificial cuando el ser humano toma medidas para restaurar

estos niveles de agua subterránea, ya sea redirigiendo el agua para ser reabsorbida, mediante canales, cuencas o estanques artificiales, entre otros. No obstante, uno de los principales problemas que se tiene para poder proteger, monitorear y/o resguardar de estas aguas, es que, al encontrarse bajo tierra, presenta una alta dificultad visual para lograr controlarlo, por lo que es muy común que se tenga la creencia errónea de que este recurso sea infinito, provocando su sobreutilización, es decir, que se ha extraído más de lo que se ha repuesto, considerando que el tiempo de reposición de estas aguas tardan años, incluso siendo superior al número de años de la vida media de una persona. (Hermann & Prunes, 2022).

Por otro lado, hoy en día se han visto problemas con respecto a las aguas subterráneas, las cuales se originan por las diversas formas de contaminación que llegan al subsuelo, las que se infiltran y llegan hasta este recurso hídrico, pero en menor cantidad de las que se depositan en aguas superficiales. En zonas agrícolas, debido al uso de fertilizantes o pesticidas, pueden ocasionar alteraciones a la calidad del agua. Por otro lado, también existen casos de contaminación de plásticos, micro y nanoplásticos mediante las precipitaciones, las que finalmente son infiltradas en las aguas subterráneas. Otros casos de contaminación pueden ser por medio de vertederos, minerales, o por los llamados productos emergentes, como lavalozas, champús, entre otros, por lo que es irrefutable que hoy en día existe una alta tendencia a la intervención antrópica en el ciclo del agua, aportando contaminantes que ocasionan daños ya sea para los ecosistemas, como también para la salud humana. (Lucero, 2021).

Es por ello que, a pesar de considerarse como un recurso fundamental, a nivel mundial han disminuido la cantidad de este tipo de recurso hídrico de manera alarmante, debido a que son extremadamente vulnerables a la actividad humana, sobre todo por la poca gestión y fiscalización de su extracción, por lo que su potencial agotamiento está generando inquietud. Según Taniguchi e Hiyama (2014) en "*Groundwater as a key for adaptation to changing climate and society*", frente a las condiciones del cambio climático que se está viviendo en la actualidad, es fundamental la utilización de manera sostenible de las aguas subterráneas disponibles, considerando que este recurso hídrico, actúa como una vía de adaptación.

1.3.1 Importancia de las aguas subterráneas a nivel mundial

El agua subterránea es considerada como la fuente de agua dulce más abundante que se encuentra disponible en el planeta Tierra, por lo que los estudios y conocimientos de estas aguas son cruciales, tomando en consideración que, al no ser un recurso visible, es difícil mantener el control y gestión de éstas, sobre todo cuando se trata de su utilización con fines humanas, como lo es para consumo doméstico, para riego y para las industrias. En los últimos años, uno de los principales motivos del agotamiento de los acuíferos es debido a la extracción no controlada de este recurso hídrico con motivos de ser utilizados como fuente de riego en las agriculturas, superando de esta manera los límites de extracción, convirtiéndose en una actividad insostenible (Baeza, 2020).

Un ejemplo de esta situación es la que actualmente está ocurriendo en Europa, puesto que se considera que el año 2022 fue uno de los años más secos que se tiene registro, dejando en sequía ríos y embalses, como lo es el caso del río Elba en la ciudad de Decin, República Checa, el donde bajó tanto el nivel del agua, que dejó al descubierto un monumento hidrológico considerado uno de los más antiguos de Europa llamado “Piedra del Hambre”, el cual tiene grabado la frase en alemán “si me ves, llora”, anunciando años de hambruna a causa del agotamiento hídrico (Barnett, 2022).

Para dimensionar el fenómeno de sequía que está afectando a Europa, desde principios del Siglo XXI se estima que la pérdida de agua es aproximadamente 84 gigantoneladas al año, considerando que un gigantón es similar a mil millones de toneladas de agua, siendo esta cantidad equivalente al agua correspondiente al gran lago Ontario ubicado en Canadá (Véase **Figura 1.4**) considerado como el quinto lago más grande del mundo, lo que es bastante alarmante para las autoridades (Barnett, 2022).



Figura 1.4 Representación fotográfica del lago Ontario ubicado en Canadá. Fuente: <https://unsplash.com/es/fotos/hRg1KL4-AUE>

Si bien gran parte de la pérdida de agua es debido al deficiente manejo que se tiene de ésta, la extracción excesiva de las aguas subterráneas en Europa ha sido uno de los principales problemas de sequía. El cambio climático, ha provocado que usuarios agrícolas, industriales e incluso urbanos, se proveen de estas aguas mediante bombeo para compensar la falta de precipitaciones, sin embargo, al hacerlo sin un método de control, extraen más del límite máximo, lo que provoca que los acuíferos no puedan recuperar su caudal natural, por lo que estas aguas subterráneas, cada vez escasean más (Barnett, 2022).

Un ejemplo de la importancia de la gestión y monitoreo de las aguas subterráneas es la ciudad de Bangkok en Tailandia, debido a que, para levantar la urbanización, en los años 50 se taparon los canales para construir los edificios, sin embargo, hoy en día, debido al material arcilloso de los suelos, es que se ha erosionado con el pasar del agua, provocando que con el accionar del peso de los edificios y rascacielos, la ciudad de Bangkok se está hundiendo. Además, en el año 2018, se dio a conocer la noticia del robo de agua subterránea por parte de lupanares en pleno centro de la ciudad, donde la policía identificó que al menos cinco negocios extraían agua mediante pozos de manera ilegal, con tuberías

que alcanzaban hasta los 120 metros de profundidad. Posteriormente a este suceso, es que científicos comenzaron diferentes estudios para confirmar que, en conjunto con las propiedades del suelo y las construcciones sin control, la extracción de agua desde las napas subterráneas está provocando el hundimiento de la ciudad (20 minutos, 2015).

Con respecto al monitoreo de las aguas subterráneas en materia global, en vista de ser bastante deficiente si es que se hace una comparación con respecto a las aguas superficiales, el Programa Hidrológico Internacional (IHP) de la UNESCO, en el año 2004 creó el proyecto GRAPHIC con el fin de *“entender mejor los efectos del cambio climático sobre los recursos mundiales del agua subterránea”* (UNESCO, 2015) y de esta manera comprender su interacción con el ciclo global del agua, cómo apoyan a los ecosistemas, a la humanidad y cómo se comportan frente a alteraciones ya sea por la actividad antrópica o por el cambio climático. Este proyecto toma en cuenta África, Asia, Oceanía, Europa, América Latina, el Caribe y América del Norte, en donde se han realizado una serie de estudios tomando en cuenta tres principales focos en los que se basa GRAPHIC, los cuales son; cantidad de agua subterránea (recarga, descarga y almacenamiento), calidad y aspectos de gestión, aplicando métodos y herramientas científicas, que incluyen análisis geofísicos, geoquímicos, entre otros, siendo el más novedoso la teledetección por gravimetría satelital GRACE. Este método tecnológico se utiliza mediante satélites gemelos que tiene la capacidad de estimar el almacenamiento de las aguas subterráneas a gran escala y se encargan de mapear las variaciones en el campo gravitatorio los que les permite detectar si existe agotamiento de estas aguas.

Las naciones que presentan mayor riqueza ya han comenzado a tomar medidas al respecto, como lo son las restauraciones ecológicas, la recarga de acuíferos y la gestión acerca de su demanda. Pero hay otros países que han tomado decisiones más drásticas como lo son los cortes de agua para las poblaciones urbanas, además de motivar a la reutilización del agua. Dinamarca, es uno de los países que ha logrado reducir su consumo de agua hasta la mitad, de casi 200 litros al día en la década de los 80, a casi los 100 litros en la actualidad (Barnett, 2022). Por otro lado, la preocupación de las aguas subterráneas por parte de los Gobiernos miembros de la ONU es cada vez más evidente, puesto que en las primeras conferencias o reuniones el tema no era de importancia o casi no se nombraba, sin embargo, hoy en día el agotamiento de las aguas subterráneas ha encendido las alarmas de las naciones, siendo un tema relevante en la segunda conferencia intergubernamental de la ONU sobre el agua, el cual se realizó en la ciudad de New York, Estados Unidos, entre el 22 y el 24 de marzo del 2023, después de 50 años de cuando se realizó la primera versión en Argentina en 1977.

1.3.1.1 Gestión de las aguas subterráneas a nivel internacional

Según Eduardo Baeza (2020), los principios de la Gestión Integrada de Aguas Subterráneas para abarcar el enfoque actual y de gobernanza a nivel internacional son los siguientes:

1. Visión general de las dimensiones hidrológicas, sociales, económicas y otras, y, además, los requisitos de la gestión del agua subterránea.
2. La escala de las aguas subterráneas y sus vínculos con otros sectores, principalmente la energía y el cambio climático
3. La gobernanza del agua subterránea con respecto a los principios, instrumentos e instituciones disponibles para la gestión integrada.
4. Las limitaciones biofísicas y la capacidad y el papel de la ciencia hidro ecológica e hidrogeológica, incluidas las preocupaciones sobre la calidad del agua.
5. Las herramientas necesarias, tales como: modelos, infraestructuras de datos, sistemas de apoyo a la toma de decisiones y gestión de la incertidumbre.

Por otro lado, la WWF, en base a la urgencia y necesidad que existe en la modernidad que la gestión de las aguas subterráneas se perfeccione a nivel mundial para prevenir su sobre utilización, es que recomienda los siguientes puntos (WWF, 2023):

1. Mejorar los medios técnicos y materiales para la planificación, gestión y control del uso agua subterránea en los organismos del agua, aumentando igualmente su presupuesto ordinario.
2. Capacitar a las confederaciones para el desarrollo e impulso de sistemas de seguimiento y control del uso del agua mediante las nuevas tecnologías digitales y el uso de las imágenes aeroespaciales.
3. Modificar los reglamentos de planificación hidrológica y para facilitar la introducción de las tecnologías digitales y aeroespaciales en la administración del agua y en el cumplimiento de los objetivos de la normativa de aguas nacional.
4. Fortalecer el sistema judicial para capacitar a los tribunales en la toma de resoluciones apoyadas en las imágenes aeroespaciales y la tecnología digital.

A continuación, se describirán la manera en que se gestionan las aguas subterráneas en ciertos países o continentes, según Eduardo Baeza en *“Importancia de las aguas subterráneas y experiencias chilenas y extranjera sobre su gestión”* (2020).

- **Unión Europea**

En la Unión Europa, existe la denominada Directiva Marco del Agua (DMA), el cual combina la gestión de agua superficial y subterránea para garantizar un buen estado ecológico de estas dos, además de un buen estado cuantitativo y cualitativo de las aguas subterráneas, integrando el análisis del comportamiento de las cuencas de manera integrada, mencionando que *“Los impactos adversos de la extracción de aguas subterráneas sobre la*

disminución de flujos en los cursos de agua definen un límite para los recursos hídricos subterráneos explotables” (Baeza, 2020).

- **Reino Unido**

Para el caso del Reino Unido, es un país que le da importancia a las aguas subterráneas, siendo responsable con el manejo de estas puesto que utiliza sus principales acuíferos para el suministro de agua pública. Es por eso que, junto a Gales, desarrolló modelos conceptuales y numéricos de los principales acuíferos, con el fin de evaluar y predecir los impactos antropogénicos y las presiones ambientales sobre las aguas subterráneas, lo que proporcionó muchos conocimientos sobre el uso regular de los modelos de estas aguas

- **Asia**

La situación en Asia es similar a lo que ocurre en varios países del mundo, puesto que poseen un nula o deficiente manejo de las aguas subterráneas, siendo que estas proporcionan agua para usos domésticos, industriales y agrícolas, por ende, ha provocado que este recurso se agote. Se han realizado estudios en ciudades como Bangkok, Beijing, Delhi, entre otras, para obtener detalles sobre los acuíferos subterráneos, la hidrogeología, el estado del agua subterránea y los impactos ambientales sobre esta, y de esta manera, formular planes de mitigación para problemas relacionados.

- **México**

La gestión de las aguas subterráneas en México se opera mediante el Poder Ejecutivo Federal y la Ley de Aguas Nacionales (LAN), que, por temas administrativos, crearon 653 divisiones territoriales, o también denominado como “acuíferos”, de los cuales es importante mencionar que 275 de estos, es decir, el 42%, se encuentra en situación de déficit negativo con respecto a la disponibilidad media anual conforme a la norma oficial mexicana NOM – 011 – Conagua – 2015, el cual data sobre la conservación del recurso agua superficial y subterránea (Abisaí Aragón, 2022). Sin embargo, no deja de ser una medida netamente administrativa, puesto que no obedece a los criterios geológicos o naturales. Por otro lado, cabe mencionar que la WWF de México, presentó un proyecto de recarga de los acuíferos correspondientes a la cuenca del Río Grande – Río Bravo (RGRB) siendo este uno de los más importantes entre Estados Unidos y México debido a que más de 16 millones de personas depende de este curso de agua, además que el 25% de esta agua se utiliza para la actividad agrícola. Casi el 90% del agua de los ríos se ha agotado, lo que ha impulsado la utilización de sus aguas subterráneas, los que igualmente se han visto sobre utilizados. Este proyecto se basa en un plan de gestión basándose en la captación de precipitaciones en forma de agua lluvia para ser infiltrada en el suelo y de esta manera, poder reponer los acuíferos y estabilizar su uso continuo. Si bien es un trabajo netamente humano, se considera que no es invasivo debido a que es una solución que se basa en el ciclo natural del agua, lo que ayuda a construir resiliencia frente al cambio climático (Hermann & Prunes, 2022).

- **Estados Unidos**

Estado Unidos presenta una disponibilidad del 23% de agua subterránea, siendo esta almacenada como un recurso hídrico adicional al fenómeno de escasez hídrica y la sequía, sin embargo, a pesar de que en la mayoría del territorio no carece de napas, la sobreexplotación de ellos está lejos de ser ausente. La demanda de este recurso es cada vez mayor, por lo que hoy en día, en sectores como el oeste de la Florida, o el litoral del Golfo o al interior del Noroeste del Pacífico ha ocurrido una disminución notoria de los niveles freáticos. Es por esto que, el país norteamericano se ha propuesto a realizar una evaluación económica y un análisis del costo y beneficio que tiene su uso en la actualidad y en el futuro, con el fin de ofrecer protección, remediación y conservación de las aguas subterráneas.

Un ejemplo es el monitoreo que se realizó en la subcuenca Sierra Vista durante 20 años, en los que se demostró que el uso sostenible del agua subterránea debe ser en base a una tasa estable de descarga de esta misma, es decir, el flujo base de su río principal, el río San Pedro. Mediante este estudio, es que se pudo concientizar a la población aledaña, logrando la disminución de extracción de agua voluntaria, logrando que entre los años 2002 y 2012, aumentara la población de especies en la subcuenca.

1.3.1.2 Legislación internacional

Al igual que en Chile, en la mayoría de los países iberoamericanos escasean las legislaciones vigentes con respecto a las aguas subterráneas. En Argentina, existe la Ley N°26.994, el nuevo Código Civil y Comercial en donde se establece en el artículo 255 que el dominio de las aguas subterráneas corresponde a dominio público, sea del Estado Nacional o Provincial. Por otro lado, entró en vigencia la Ley N°25.688 en el año 2002 sobre el “Régimen de Gestión Ambiental de Aguas”, el cual *establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional*, destacando en su artículo 2° que se entiende por agua “*aquella que forma parte del conjunto de los cursos y cuerpos de aguas naturales o artificiales, superficiales y subterráneas, así como a las contenidas en los acuíferos, ríos subterráneos y las atmosféricas*” (Camaño et al., 2003). También existen legislaciones según la provincia, como es en el caso de Buenos Aires y Salta con el Código de Aguas de la Provincia de Buenos Aires y el Código de Aguas de la Provincia de Salta respectivamente. El primero se encarga de proteger, conservar y manejar integralmente el recurso hídrico de la dicha Provincia considerando que es común la ocurrencia de inundaciones y periodos de sequía. Principalmente se enfocan en la planificación hidrológica en la gestión hídrica. En el caso de la Provincia de Salta, este Código regula la tutela, captación, aducción, administración, distribución, conservación, defensa contra los efectos nocivos de las aguas públicas superficiales y subterráneas, sus fuentes, álveos, riberas, obras hidráulicas y las limitaciones al dominio de los recursos hídricos del dominio público provincial. En ambos casos, para las aguas subterráneas se establece el dominio, el consumo o permisos para su utilización, sin embargo, ninguno considera la conservación ni la calidad de éstas.

Otro país de gran potencia en Latinoamérica es Brasil, quien contiene el 12% de la cantidad de agua dulce en el mundo, no obstante, esto no significa que posee una legislación sólida con respecto a las aguas subterráneas. En 1997 se promulgó la Ley N°9.433 denominada “Ley de Aguas” estableciendo la Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), el cual estructuró, orientó y modernizó la gestión de los recursos hídricos en Brasil, provocando un avance en lo que respecta la gestión de los recursos hídricos del país. Esta política presenta seis principales fundamentos, siendo estos; el agua es un bien de dominio público, el agua es un recurso natural limitado y dotado de valor económico, la gestión de los recursos hídricos siempre debe proporcionar el uso múltiple de las aguas, en caso de escasez, los usos prioritarios son el abastecimiento doméstico y ganadero, la cuenca hidrográfica es la unidad de actuación del Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos y de implementación de la PNRH, y por último, la gestión de los recursos hídricos debe producirse de manera descentralizada y participativa, contando con la intervención del poder público, de los usuarios y de las comunidades. Por otro lado, entre los años 2007 y 2020 se fue creando el Programa Nacional de Aguas Subterráneas dentro de este mismo PNRH, en donde se le dio prioridad a la necesidad de poseer una gestión integrada de aguas subterráneas por cada cuenca hidrográfica del país. Este programa se subdividió en tres principales ejes; la ampliación del conocimiento hidrogeológico, el desarrollo de los aspectos institucionales y legales y la captación, comunicación y movilización social (Azcoiti, 2019)

Otro país particular con respecto a las aguas subterráneas es Perú, debido a sus características geomorfológicas, es que se divide el territorio nacional por la Cadena Occidental, marcando la divisoria de aguas de tres grandes regiones hidrográficas, siendo estos la Región Hidrográfica del Pacífico, Región Hidrográfica del Amazonas y la Región Hidrográfica del Titicaca. Sin embargo, y en vista de un panorama de sequía nacional, es que se han decretado en la actualidad siete zonas de veda de explotación de agua subterránea, esto cuando la disponibilidad de agua para uso humano disminuye considerablemente. Con respecto a la legislación peruana, en el año 2009 se publica la Ley N°29.338 denominada “Ley de Recursos Hídricos (LRH)” el cual regula el uso y gestión de los recursos hídricos considerando las aguas superficiales, subterráneas, continentales y los bienes asociados al agua. Esta Ley señala sobre la exploración, explotación y derechos sobre los usos de las aguas subterráneas. Por otro lado, en el año 2010, mediante el Decreto Supremos N°001, se complementa la LRH con el Reglamento en donde se definen las aguas subterráneas mencionando que *“Ninguna obra de captación de aguas subterráneas podrá efectuarse sin que los estudios hayan sido aprobados”* (Azcoiti, 2019).

1.3.1.3 Legislación nacional

Chile, a pesar de ser un país que posee una amplia diversidad de recursos hídricos como los son las reservas de nieve, aguas superficiales, glaciares, entre otros, la gestión y manejo de las aguas subterráneas en la actualidad sigue siendo muy escasa, estando como prioridad en la legislación chilena las aguas superficiales. Sin embargo, en el marco jurídico chileno, el encargado de los temas hídricos queda en manos del Código de Aguas, el cual define al recurso hídrico como un “bien nacional de uso público”, siendo caracterizada a la

vez como un bien social y a la vez económico. Su propósito es otorgar propiedad del agua separándolo del dominio de la tierra bajo la tutela del Estado, autorizando su privatización mediante la concesión de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas de forma gratuita y permanente, lo que provoca el libre mercado de las aguas. Estos derechos de aprovechamiento se dividieron en dos: consuntivas¹ y no consuntivas², y según La Tribuna (2015) en su publicación de “**¿Qué es el Código de Aguas?**”, el 90% de los **aprovechamientos de aguas** por usos consuntivos son de parte de las empresas mineras y agroexportadoras, y el 100% de los aprovechamientos por usos no consuntivos, son de empresas transnacionales. El primer Código de Aguas nace en 1951 luego de la Constitución de 1925, sin embargo, no fue hasta el 29 de octubre de 1981 cuando fue aprobado por el Decreto con Fuerza de la Ley N°1.122 convirtiéndose en el actual Código de Aguas, modificado por última vez en el 2005, publicada en el Diario Oficial el 15 de junio del mismo año. Esta modificación establece el caudal ecológico mínimo, la limitación de derechos de acuerdo al uso, un pago de patente por el no uso del recurso hídrico, entre otras. El tema del agua subterránea está regulado dentro del Título VI, entre los artículos 56 al 68, en donde se establecen las normas generales sobre exploración y explotación de esta misma, en donde se menciona que el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas será siempre y cuando el acuífero explotado sea recargado y que no interfiera con un derecho ya existente (Suárez, 2013).

En el año 2014, se publicó el Decreto 203/14, el cual “*Aprueba reglamento sobre normar de exploración y explotación de aguas subterráneas*” el cual se establece que se hace “*se hace necesario reglamentar la exploración y explotación de aguas subterráneas, estableciendo normas que les permitan a los usuarios tener certeza jurídica y técnica de la normativa, en un marco de sustentabilidad y eficacia, sin afectar el ejercicio de los derechos de terceros constituidos sobre las mismas aguas*” (Ministerio de Obras Públicas , 2022).

Cabe destacar que, a pesar de no contar con normas relacionadas con las aguas subterráneas y su calidad y/o características, en Chile, mediante el artículo 32° de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente se establecen la existencia de las normas de calidad ambiental siendo estas aplicadas tanto para aire como para aguas superficiales. Estas Normativas de Calidad Ambiental se dividen en dos; en las primarias y en las secundarias, siendo estas definidas por el Decreto 38 el cual “Aprueba Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión”. Las primarias según el artículo 2° son aquellas que “*establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia*” en cambio las secundarias según el artículo 3° son aquellas que “*establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos,*

¹ El uso consuntivos es aquel que, una vez utilizada el agua, esta no se devuelve al medio ambiente en la misma cantidad y calidad en la que fue extraída.

² El uso no consuntivo es aquel que, una vez utilizada el agua, esta si es devuelta al medio ambiente en la cantidad y calidad en la que fue extraída.

energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza” teniendo como diferencia en que esta última señala el ámbito territorial en donde es aplicada, ya sea en todo el país o un sector en específicos, en cambio la primaria su aplicación es netamente en todo el territorio Nacional (Ministerio del Medio Ambiente, 2013).

A pesar de no poseer una normativa asociada a la calidad que deben poseer estas aguas subterráneas, existe el Decreto 46 del año 2003 el cual “Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas” para todo el territorio nacional, el cual determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por una determinada fuente emisora a través del suelo a zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2003).

1.3.2 Aguas subterráneas a nivel nacional

La geología nacional es una de las más diversas en el mundo, encontrándonos con desde el desierto más árido del mundo por el norte hasta una de las zonas con mayor disponibilidad de agua en Aysén y la Antártica en la zona más austral del país, pero una de sus mayores facultades es el poseer una gran variedad de recursos hidrológicos en todo su territorio, ya sea en forma de lagos, ríos, nieve, glaciares, y entre ellos, agua subterránea. Según el Artículo 2° del Código de Aguas, define a las aguas subterráneas como “las que están ocultas en el seno de la tierra y no han sido alumbradas” siendo estas almacenadas en acuíferos conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de origen aluvial, aluvional, fluvial, fluvial – glacial entre otros (Gómez J. L., 2015).

A lo largo de la historia del país, el agua subterránea es un recurso que poseen un valor diferente dependiendo de la zona en donde se encuentra, puesto que en el norte del país este recurso es sumamente valioso, incluso llegando a causar diferentes conflictos, no así para el sur del país en donde hace muy poco se le ha tomado en consideración. Sin embargo, en los últimos años, se ha convertido en un recurso hídrico cada vez con más importancia, puesto que se estima que más del 40% de la población de las zonas rurales del país, consumen agua proveniente de las napas subterráneas, aumentando este porcentaje a un 76% para las APR (agua potable rural) (Oyarzún, 2006).

Según la DGA (2017) en su informe técnico de “Inventario nacional de Acuíferos”, se tiene un registro de aproximadamente 212 acuíferos distribuidos por todo el territorio nacional, siendo en su mayoría entre la zona Norte y el Valle Central del país. En el extremo norte, las aguas subterráneas son la principal fuente de obtención de agua potable, sobre todo de los acuíferos de Azapa, Lluta y de la Pampa de Tamarugal, sin embargo, debido a la sequía y los altos niveles de evaporación, cada vez la caudal es menor, incluso encontrándose agua fósil. En el Norte Chico, sobre todo en la Región de Atacama, también se abastecen mediante las aguas subterráneas de los acuíferos del Valle de Copiapó y del Huasco, los cuales provienen de las precipitaciones e infiltraciones de escorrentía superficial. Por otro

lado, en el Valle Central, los acuíferos están constituidos por sedimentos de carácter aluvial, siendo depositados por los ríos que descienden desde la Cordillera de Los Andes. En el sur de país, se utilizan las aguas subterráneas como fuente de agua potable de los acuíferos ubicados en el río Maule, Chillán, Bío-Bío, Malleco, Calle-Calle, Rahue, entre otros. Cabe mencionar que, en Chile la principal fuente de abastecimiento de agua potable para las localidades pequeñas, sobre todo de zonas rurales, corresponden a la extracción de agua subterránea mediante pozos. Actualmente, este recurso ha sido sobreexplotado de manera descontrolada, sobre todo en el norte y centro del país, ocasionando que los pozos se encuentren en estado de sequía, generando de esta manera conflictos sociales (Gómez J. L., 2015).

1.3.2.1 Agua subterránea en la región de Valparaíso

En la región de Valparaíso, las principales aguas subterráneas están ubicadas en los acuíferos del valle del río Aconcagua, los que aportan al abastecimiento de agua potable en la mayoría de la Quinta Región. Además, se pueden encontrar en los valles de Petorca y la Ligua y en las cuencas costeras que se extiende desde Los Molles en el norte hasta Las Rocas Santo Domingo en el sur, integradas por las provincias de Petorca, San Antonio y Valparaíso. Esta última está dividida en la zona norte a la que pertenecen; todos los sectores del norte del río Aconcagua, y por la zona sur los que nacen a partir de las vertientes occidentales de la Cordillera de la Costa. Un hecho importante, es que una de estas napas subterráneas, pasa en parte por la conexión ferroviaria de la empresa EFE Valparaíso (DGA, 2020). Según la DGA (2017) en su informe técnico de “Inventario nacional de Acuíferos”, son 41 los acuíferos que se ubican en la Región, los cuales se pueden observar en la **Tabla 1.1** y en la **Tabla 1.2** con sus respectivas superficies en [km²], distribuidos en el mapa de la DGA representados en la **Figura 1.5**.

Tabla 1.1 Acuíferos monitoreados por la DGA en la Región de Valparaíso con sus respectivas superficies en [km²] (DGA, 2017).

Acuífero	Superficie [km ²]
Aconcagua	7.312,6
Algarrobo	59,2
Casablanca	377,7
Catapilco	307,7
Concón	12,8
Curauma	27,9
El Tabo	21,1
Estero Cachagua	18,7
Estero Cartagena	236,5
Estero El Membrillo	97,3
Estero El Pangal	35,6
Estero El Rosario	255,6
Estero El Sauce	112,8
Estero Huaquen	163,1
Estero Laguna Verde	204,1
Estero Las Salinas Sur	6,4
Estero Los Molles	79,8

Tabla 1.2 Acuíferos monitoreados por la DGA en la Región de Valparaíso con sus respectivas superficies en [km²] (Continuación) (DGA, 2017).

Acuífero	Superficie [km²]
Estero Papudo	49,0
Estero Puchuncaví	110,2
Estero San Jerónimo	137,0
Estero San José	21,7
Estero Viña del Mar	424,1
Horcón	18,2
La Ligua	2.054,2
Petorca	1.982,2
Punta Gallo	15,8
Punta Pichicuy	23,1
Quintay	47,7
Quintero	246,9
Reñaca	35,5
Rocas de Santo Domingo	79,6
Rocas El Caracol	17,4
Rocas Pichidangui	14,5
Rocas Playas Los Molles	11,5
Rocas Punta Curaumilla	16,9
Rocas Punta La Ligua	10,2
Rocas Punta Panul	3,9
Rocas Zapallar	15,2
San Antonio	12,4
Valparaíso	58,2
Maipo Desembocadura	350,3
Total	15.084,6

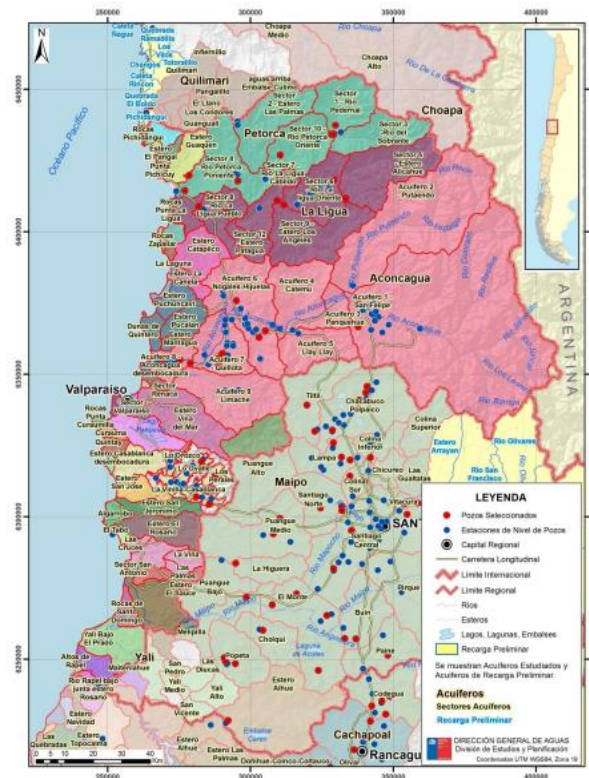


Figura 1.5 Acuíferos y pozos monitoreados en la Región de Valparaíso por la Dirección General de Aguas (DGA, 2017).

Las aguas subterráneas ubicadas en el Estero de Viña del Mar, representa casi al 3% de la superficie total de acuíferos en la Quinta Región, específicamente de un 2,8%, siendo estas situadas dentro de la cuenca del Estero Marga – Marga.

Un estero, es definido como una zona geográfica plana, que a causa de la incapacidad del terreno de drenar el agua por completo, queda en parte empantanada. También se les denomina estero, a las zonas pantanosas que se anegan a causa de lluvias o crecidas fluviales (Acosta, 2019). Los esteros, son considerados como ecosistemas acuáticos muy importantes puesto que albergan una gran cantidad de biodiversidad y variedad de flora y fauna, y que, además, tienen la función de regular el ciclo del agua y el clima. Estas características las presenta el Estero Marga – Marga, siendo reconocido como un ecosistema importante para las ciudades de la provincia de Marga – Marga, sobre todo para la comuna de Viña del Mar, puesto que actúa como un corredor biológico que permite la movilidad a nivel cuenca, siendo uno de sus principales roles la mitigación al cambio climático (Museo de Historia Natural de Valparaíso, 2022).

- **Descripción de la cuenca del Estero Marga - Marga**

El presente proyecto está emplazado en la cuenca del Estero Marga-Marga ubicada en la Provincia de Valparaíso, con una extensión 40,5 kilómetros y un ancho de 17 kilómetros en su parte central, una superficie de aproximadamente 424 [km²] y una

pendiente media de 2,4%. Sus cursos de agua inician en los faldeos occidentales la Cordillera de la Costa pasando por las comunas de Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Peñablanca como se puede observar en la **Figura 1.6**. Pertenece a las denominadas Cuencas Costeras, es decir, las que se encuentran ubicadas entre el Aconcagua y el Maipo, entre las latitudes 71°12' y 71°35' y entre las latitudes 33°00' y 33°14', y se clasifica como una cuenca exorreica puesto que termina su curso natural en el Océano Pacífico, a la altura de los 33°01' de latitud Sur, con el nombre de Estero Viña del Mar. Este estero, recibe aportes de cursos superficiales denominados como Estero Moscoso por su ribera Norte, el Estero Las Palmas por su ribera Sur y el Estero Quilpué también por su ribera Norte, sin embargo, las crecidas del cauce son principalmente en los meses invernales, por ende, el Estero es considerado como un afluente pluvial (Arcadis, 2001).

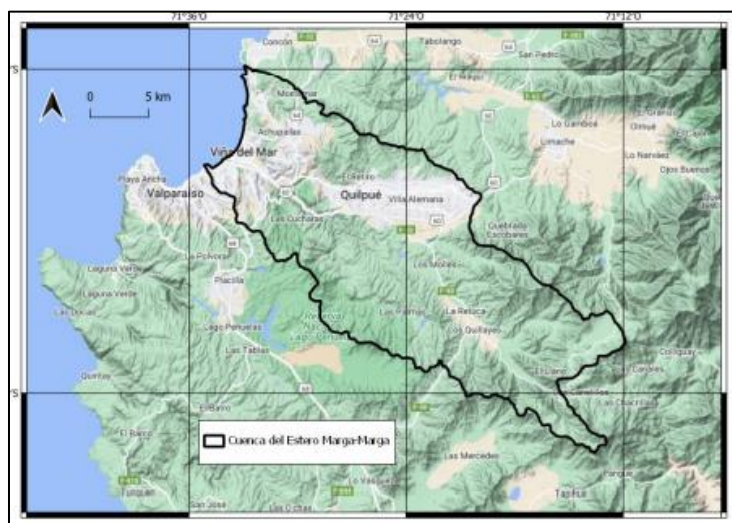


Figura 1.6 Cuenca del Estero Marga – Marga integrando las comunas de Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Peñablanca (González, 2022).

Una de las principales funciones del Estero Marga – Marga, es poseer y contribuir con una gran diversidad de servicios ecosistémicos³, puesto que cumple un rol fundamental en la lucha contra el cambio climático debido a sus funciones de regular el ciclo del agua y por ende las inundaciones y recargas de aguas subterráneas, además, el Estero Viña del Mar funciona como un corredor biológico⁴, por ende es vital para la conservación de una gran variedad de biodiversidad entre flora como los Coipos (*Myocastor coipus*), la Garza chica (*Egretta thula*), la Garza cuca (*Arde cocoi*) y el Lobo marino (*Oraria flavescens*), además de flora como la *Echinochloa crusgalli*, la *Lactuca serriola L.* y la *Solanum furcatum*. Por otro lado, valoriza el paisaje de la comuna, aumentando actividades de turismo y de recreación, contribuyendo de esta manera con el bienestar de la población, sobre todo en el sector Sur del estero Viña del Mar, correspondiente a la interacción de sus

³ Servicio Ecosistémico son aquellos beneficios que un ecosistema aporta hacia el bienestar de la sociedad mediante la mejora de la salud, economía y calidad de vida de la comunidad y resultan propios del funcionamiento normal de los ecosistemas (CREAF, 2016).

⁴ Corredor biológico o también denominado pasillo biológico, es un espacio geográfico delimitado que proporciona conectividad entre paisaje, ecosistemas y hábitats, naturales o modificados, con tal de asegurar el mantenimiento de la diversidad biológica (Núñez, 2016).

aguas con el Océano Pacífico (Navarro, 2022). Es tal la importancia, que, en el año 2021 el Estero Quilpué (que forma parte del Estero Marga – Marga), fue declarado como humedal urbano por el Ministerio del Medio ambiente, lo que da lugar a una mayor protección frente a las amenazas del avance de la urbanización.

Hoy en día, debido al aumento de la erosión en los suelos del Estero de Viña del Mar y agregando que el cauce natural de la correntía de esta misma ha disminuido considerablemente a través de los años, es que la Municipalidad de Viña del Mar decidió pavimentar el terreno del sector Norte del Estero para fines de ser utilizado como estacionamiento, tanto para el recibimiento de los turistas en época estival como también por la instalación de una feria libre de la comuna, por lo que todas las semanas hay una gran concurrencia de vehículos en el territorio, favoreciendo de esta manera el aumento de la erosión de los suelos, la migración de las especies acuáticas que habitan en la zona y de los microbasurales, quedando en evidencia la poca valoración de la población hacia el Estero (Navarro, 2022).

El clima del sector es principalmente templado – cálido, con precipitaciones en las estaciones invernales y con una gran nubosidad de tipo anticiclónico en gran parte del año, sin embargo, es importante recalcar que presenta una temporada estival prolongada, de 7 a 8 meses. Por otro lado, debido a su proximidad con el Océano, es que presenta un alto índice de humedad, lo que provoca que el promedio de las temperaturas sea más bajas que en los sectores cercanos a los valles, no así con el promedio de las precipitaciones anuales, ya que estas suelen ser mayores que en para las comunas de los valles interiores (Díaz, 2017).

Con respecto a la geomorfología de la cuenca del Estero Marga – Marga, entre Las Palmas y el Estero Marga – Marga posee una morfología de relieve maduro, suave, caracterizado por niveles de terrazas de abrasión marina, esto, debido al basamento rocoso constituidos por rocas plutónicas y metamórficas de la edad paleozoica a jurásica media. Sin embargo, en dirección hacia los valles, en donde nacen los cursos de agua, el paisaje geomorfológico es más de un relieve abrupto y montañoso, denominado como “vertiente occidental de la Cordillera de la Costa” (Dinamarca, 2013). Los suelos del Estero de Marga – Marga son de una composición de grano medio a fino de origen sedimentario aluvial, es decir, que su origen es debido al desplazamiento de depósitos desde aguas arriba y fluviales. Estas características permiten que la permeabilidad del suelo es alta, provocando así la infiltración de los causes formando de esta manera los acuíferos del sector (Díaz, 2017).

Sin embargo, a pesar de estas características del terreno, el túnel fue construido sobre aguas subterráneas en donde el acuífero se alimenta principalmente de las precipitaciones de la temporada invernal y de infiltraciones del estero Viña del Mar, oscilando su profundidad desde los 1,4 metros hasta los 8 metros (Arcadis, 2001).

1.4 Ferroviarios y su efecto en el medio ambiente

El ferrocarril es uno de los inventos más innovadores de la historia moderna, puesto que su origen en el siglo XVIII dio inicio a la Revolución Industrial con el perfeccionamiento y aplicación de la máquina de vapor de Thomas Newcomen, sin embargo, no fue hasta 1804 cuando Richard Trevithick construyó uno de los primeros prototipos de la locomotora de vapor, siendo esta desarrollada en conjunto por George Stephenson y Robert Trevithick convirtiéndose en la primera locomotora de pasajeros. El primer ferrocarril de pasajeros fue inaugurado en 1825 en el tramo de Stockton – Darlington, para cinco años más tarde inaugurar el segundo tramo entre Liverpool y Manchester y fue este hito que provocó su masificación por alrededor del mundo. En 1890 se comenzaron a diseñar ferrocarriles electrificados en Suecia, para que entre 1900 y 1920 se implementaran, a nivel mundial, los ferrocarriles a partir del suministro eléctrico, para que en el año 1950 casi no quedaran locomotoras a vapor (Turismo en Tren, 2023). Hasta el día de hoy, los servicios de trenes siguen modernizándose, como lo es el caso del denominado “tren bala” para un viaje más corto mediante la alta velocidad, o de trenes ecológicos que son cada vez más prometedores, sin embargo, y a pesar de todas las actualizaciones y novedades de estas maquinarias, y de ser considerados como el medio de transporte más ecológico, es que no cabe duda de que es inevitable no provocar daños al medio ambiente, esto ya sea durante su construcción como también durante su operación.

Llevando a cabo un análisis detallado las alteraciones ambientales que se ocasionan debido a la construcción y/o la operación de los ferrocarriles, se vinculan y relacionan entre sí, como lo es con la construcción de las vías del tren, en donde se pueden identificar alteraciones en la geomorfología de la zona lo que está directamente relacionado con cambios en el suelo y de la hidrología superficial y subterráneas. Por ejemplo, con la construcción de un túnel, se deben hacer cambios drásticos en el sector, como lo son las excavaciones, provocando cambios en las características naturales del suelo y en los cursos naturales de la hidrología, además de alterar la vida cotidiana de la fauna y al mismo tiempo, afectando a la pérdida de la flora. Entre estas problemáticas se pueden encontrar los movimientos de tierras y residuos, el desmonte de áreas con vegetación, cambios forzados en el caudal de las corrientes, contaminación de suelos y agua, pérdida y fragmentación de hábitats de la flora y fauna, entre otros, además de contemplar las emisiones que se efectúan durante su operación, la contaminación acústica durante las obras y la afectación de la visión del paisaje (Hernández, 2015).

No obstante, a pesar de que este medio de transporte de cierta manera provoca alteraciones ambientales, también ocurren casos inversos, en donde los componentes naturales afectan las actividades cotidianas de los ferrocarriles, sobre todo en sus infraestructuras subterráneas, como es el reciente caso de los socavones en Madrid, España provocado por las aguas subterráneas. A pesar de que estas aguas hoy en día son vitales tanto para el ser humano como para los ecosistemas, también generan problemas, como es el caso del metro de Madrid, puesto que el agua subterránea que se arrastra por debajo del suburbano madrileño ha provocado graves incidentes, como lo son los huecos

en las plataformas, lo que obliga a la dirección de la empresa parar sus operaciones diarias para realizar mantenencias periódicamente. En el año 2018, Metrosur se vio en la obligación de cerrar sus servicios por dos meses y medio para realizar obras de mantenimiento en su infraestructura, y según el titular del periódico elDiario (2018) “*La mitad de la línea 12 de Metro se vuelve a cerrar en verano por problemas en la infraestructura*” no es la primera vez que tuvieron que tomar estas medidas por problemas de infraestructura debido al arrastre de estas aguas, sino que también, tuvieron que optar por el cierre temporal en los años 2012, 2014 y 2018.

1.4.1 Ferroviario en Chile: Empresa EFE Trenes de Chile

La Empresa de los Ferrocarriles del Estado se desarrolló en el año 1884 luego de que el Presidente de la República Domingo Santa María notara la importancia de las interconexiones comunales en el país, sobre todo para el sur del país, tras la aparición del primer tren en Chile en 1851 el cual conectaba a Copiapó y Caldera transportando consigo minerales y pasajeros. Por medio de un decreto, se constituyó un servicio público de trenes uniendo la mayoría de los servicios ferroviarios privados de Chile, por lo que las compañías del Ferrocarril Santiago-Valparaíso, Ferrocarril del Sur (Santiago-Curicó) y Ferrocarril de Talcahuano (Curicó-Angol) pasaron a ser parte del Estado chileno. A partir de entonces, hubo varios hitos importantes, siendo uno de ellos la unión de casi la totalidad del país en 1913 conectando la comuna de Iquique con la comuna de Puerto Montt, conexión que hoy en día ya no existe por motivos de decadencia de la empresa ferroviaria, ya sea por competencia, disminución de presupuestos e inversiones de la empresa. En 1995 comenzó el proyecto Metro Valparaíso, mediante la Ley General de Ferrocarriles, el cual utilizó el 20% de aproximadamente mil millones de dólares que se destinó a la empresa EFE para su proyecto de creación de las actuales filiales operadoras, dando inicio para el año 2005 con lo que hoy conocemos con EFE Valparaíso (EFE Chile, 2023).

1.4.1.1 Metro EFE Valparaíso

El servicio metro EFE Valparaíso, consta de 20 estaciones como se puede observar en la **Figura 1.7**, con una extensión de 43 kilómetros, teniendo de estaciones terminales la estación Puerto y por el otro extremo, la estación Limache, teniendo esta última combinación de buses hacia las comunas de La Calera, Quillota y La Cruz, además de conectar con el sector de Limache Viejo en la comuna de Limache (EFE Trenes de Chile, 2023).



Figura 1.7 Representación de las 20 estaciones que contiene el metro EFE Valparaíso conectando las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Quilpué, Villa Alemana y Limache, partiendo desde la estación Puerto y terminando con la estación de Limache (EFE Trenes de Chile, 2023).

Las estaciones de Miramar, Viña del mar, Hospital y Chorrillos se construyeron bajo nivel del suelo ubicado entre las calles Viana y Álvarez de Viña del Mar, mediante un túnel denominado Soterrado Salto-Miramar de 5,2 kilómetros de distancia, ocho metros de ancho, 5,77 metros de alto y una profundidad de 12 a 14 metros entre los sectores de Caleta Abarcar y el Salto. El propósito de esta construcción es principalmente descongestionar las principales calles de las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar, siendo estas las ya mencionadas calle Viana y calle Álvarez (Arcadis, 2001).

1.4.1.2 Política ambiental de la empresa EFE

La empresa EFE, mediante su misión menciona que su propósito es “*proveer a la sociedad un medio de transporte confiable, eficiente, seguro y responsable con el medioambiente y sus comunidades*” (EFE Chile, 2023), por lo que expresa ser una empresa amigable con el medioambiente. Además, en sus políticas, presentan compromisos ambientales, determinando desarrollar estrategias y medidas concretas que mejoren su desarrollo ambiental, para lograr ser una empresa sostenible mediante las siguientes actividades:

- **Promover la mejora continua en materia ambiental:** Implementar y mantener un Sistema de Gestión Ambiental que nos permita mejorar de manera continua nuestro desempeño en la materia.
- **Prevenir la contaminación y gestionar los impactos que generamos:** Establecer medidas que nos permitan cumplir con la normativa vigente, además de prevenir la contaminación y hacernos cargo de los impactos ambientales que generan nuestros proyectos y servicios.
- **Velar por la protección del medio ambiente:** Velar por la protección del medio ambiente, fomentando el cuidado de la biodiversidad, avanzando en la reducción de residuos que generan nuestras actividades.
- **Promover el uso eficiente de recursos:** Establecer una estrategia de uso eficiente de la energía y los recursos que utilizamos en todas nuestras actividades.
- **Adoptar medidas para enfrentar el Cambio Climático:** Avanzar en la reducción de Gases de Efecto Invernadero de las operaciones sobre nuestra red. De esta forma, esperamos alcanzar y mantener la neutralidad de nuestras emisiones en 2035. Para ello, desarrollamos iniciativas y esfuerzos costo-eficientes con el objetivo de contribuir a mitigar el calentamiento global. Asimismo, adaptamos nuestra infraestructura y el diseño de proyectos a las nuevas condiciones generadas por el cambio climático.

- **Movilizar a otros en materia ambiental:** Fomentar la difusión y promoción de nuestra estrategia medioambiental, requiriendo a nuestras empresas colaboradoras que adopten estándares ambientales que permitan cumplir con nuestros compromisos (EFE trenes de Chile, 2021).

1.4.1.3 Política de sostenibilidad de la empresa EFE

Por otro lado, en sus políticas de sostenibilidad, entre sus compromisos señalan que:

- **Cuidar el Medio Ambiente:** Velamos por la protección del medio ambiente a través del uso eficiente de la energía y de los recursos que utilizamos. Con esta mirada, buscamos fomentar el cuidado de la biodiversidad; reducir la generación de residuos y la contaminación en nuestras instalaciones. Establecemos medidas para prevenir y hacernos cargo de los impactos ambientales que generan nuestros proyectos y servicios (EFE Trenes de Chile, 2021).

2. Problema

Teniendo en cuenta el compromiso ambiental que presenta la empresa EFE Trenes de Chile a nivel nacional mediante sus políticas en donde se señala que realizan sus actividades de manera responsable con el medioambiente y la acción no sostenible de eliminar las aguas subterráneas infiltradas dentro del túnel Soterrado Salto – Miramar hacia el alcantarillado de la comuna de Viña del Mar por la empresa EFE Valparaíso, con el fin de prevenir posibles daños a la infraestructura de la interconexión, es que estas napas se deberían aprovechar, ya sea para obtener beneficios tanto socio - económicos como para el ecosistema.

Es por lo anterior que, mediante el análisis técnico – económico en base a normativas y/o legislaciones chilenas relacionadas con la calidad del agua superficial del continente, es que se propone emplear estas aguas subterráneas infiltradas para el lavado de vagones de la misma empresa en la estación El Belloto o depositarlas directamente en las aguas superficiales del Estero Viña del Mar.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad técnica-económica de un posible aprovechamiento de las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar del metro EFE, Viña del Mar, región de Valparaíso, para usos que puede ser favorables tanto para el ser humano, como también para el medioambiente.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las normativas/legislaciones que se vinculen a la calidad de las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar del metro EFE Viña del Mar, región de Valparaíso.
- Determinar en base a las normativas vigentes, las características naturales de las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar del metro EFE, Viña del Mar, región de Valparaíso para su posible aprovechamiento.
- Evaluar económicamente aquellas tecnologías aplicables para el mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar según los análisis establecidos.

4. Metodología

A continuación, en el diagrama de la **Figura 4.1** se expone la metodología empleada en el presente proyecto el cual se dividió en tres principales ejes; el primero consideró la identificación de normativas chilenas vigentes que se vinculen a los propósitos descritos para el mejor aprovechamiento de las aguas subterráneas, relacionándose con la calidad que deben poseer estas para ser utilizados en dichas actividades. El segundo tomó en cuenta la caracterización de las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar, en tanto el último eje tiene el propósito de realizar una evaluación económica de las tecnologías aplicables a las actividades seleccionadas para el mejor aprovechamiento de las aguas subterráneas, con el fin de establecer la opción más viable.

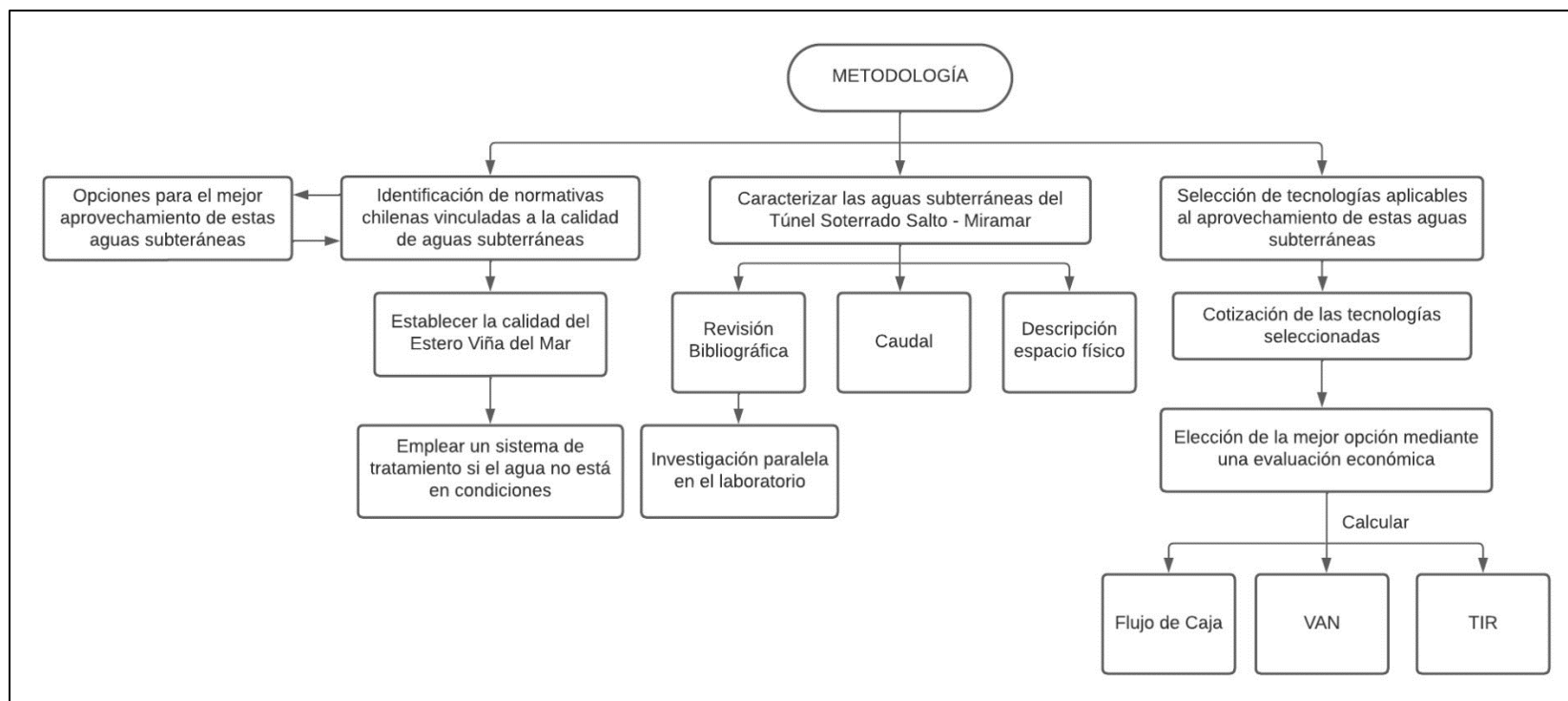


Figura 4.1 Diagrama tipo resumen para explicar la metodología empleada para el presente proyecto (Elaboración propia).

4.1 Identificación de normativas y/o legislaciones vinculantes a la calidad de las aguas subterráneas

En primer lugar, se escogieron las opciones más viables posibles para realizar un mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas, y de esta manera, se identificaron las normativas y/o legislaciones chilenas que son vinculantes o relacionadas con respecto a la calidad de las aguas subterráneas, esto debido a que, sea cual fuere la opción seleccionada, se debe asegurar que su calidad sea apta para dicha actividad. Para esto, se utilizaron criterios para poder discriminar aquellas normativas que no se consideren aplicables al presente proyecto. Por otro lado, se debe mencionar que, tomando en cuenta que en la actualidad no existe una normativa o legislación que estipule las características y/o la calidad de las aguas subterráneas pertenecientes a Chile, es que se consideró normativas asociadas a la calidad de las aguas superficiales para elegir la opción más conveniente con respecto al aprovechamiento de las napas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar.

4.1.1 Actividades para el mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas

Para realizar la discriminación de normativas vinculantes, se fijaron dos opciones para el mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas. La primera es depositarlas de manera directa desde el túnel Soterrado Salto – Miramar, nuevamente en el Estero de Viña del Mar, esto debido a que el origen de estas aguas es en el presente curso de agua, y de esta manera, aportar con la rehabilitación y recuperación del estero como un servicio ecosistémico y preservar las características que posee como corredor biológico, aumentando el cauce de este. Por otro lado, se tomó en cuenta la opción de utilizar estas aguas para el propósito de realizar el lavado de los vagones pertenecientes a la empresa metro EFE Valparaíso en su respectivo lugar de lavado, siendo ésta situada en la estación El Belloto, en la comuna de Quilpué. Esto surge a partir de que, en la actualidad, la empresa utiliza agua de ESVAL para realizar este procedimiento de lavado, por ende, se abastecen de agua potable para tal procedimiento.

Una vez que se establecieron los posibles propósitos de aprovechamiento de estas aguas subterráneas, se han considerados todas las normativas chilenas relacionadas con la calidad de las aguas, que en este caso fueron superficiales. Posteriormente, se realizó la discriminación de aquellas normativas que no se apliquen para las condiciones de las actividades seleccionadas mencionadas con anterioridad.

4.1.2 Análisis de normativas/legislaciones que sean atinentes a las actividades seleccionadas

A continuación, se describe la metodología que se aplicó para la selección de aquellas normativas y/o legislaciones que se pudieron haber aplicado para el depósito de las aguas subterráneas en el Estero de Viña del Mar, o para ser utilizadas para el lavado de vagones del metro EFE Valparaíso. A modo de simplificación de la discriminación de normativas que se realizó para establecer la normativa aplicable, es que se establece el diagrama del proceso en la **Figura 4.2**.

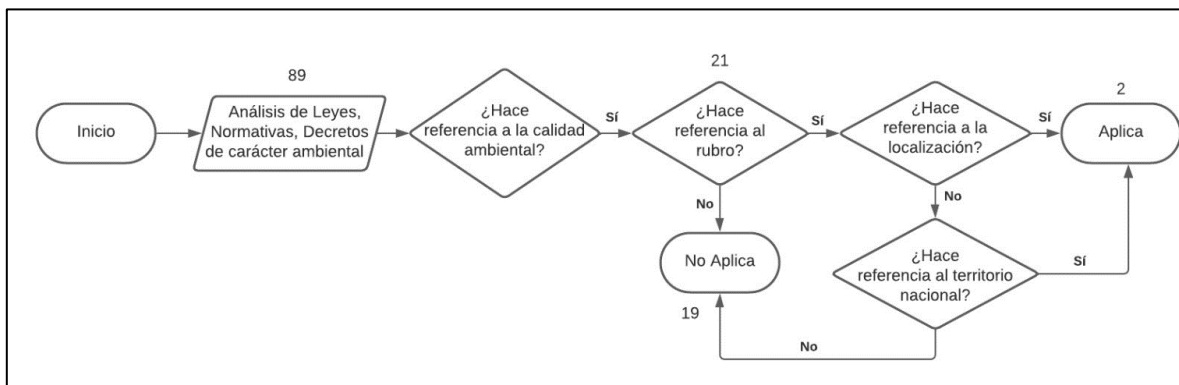


Figura 4.2 Diagrama del proceso de discriminación de normativas mediante la composición de criterios (Elaboración propia).

Como se puede observar en la **Figura 4.2**, en primera instancia se analizaron leyes, normativas, decretos de carácter ambiental que hagan referencia a la calidad ambiental de las aguas. Estas fueron discriminadas mediante dos criterios; por rubro y/o por localización, siendo esta última considerada tanto sectorial como nacional, siendo estos dos criterios descritos a continuación.

4.1.2.1 Criterio según rubro

Se utilizó este criterio para considerar aquellas normativas que se pueden aplicar al rubro de las actividades que se seleccionaron para aprovechar de mejor manera estas aguas subterráneas. Para esto, se aplicó el diagrama de flujo ilustrado en la **Figura 4.3** para poder discriminar según el rubro.

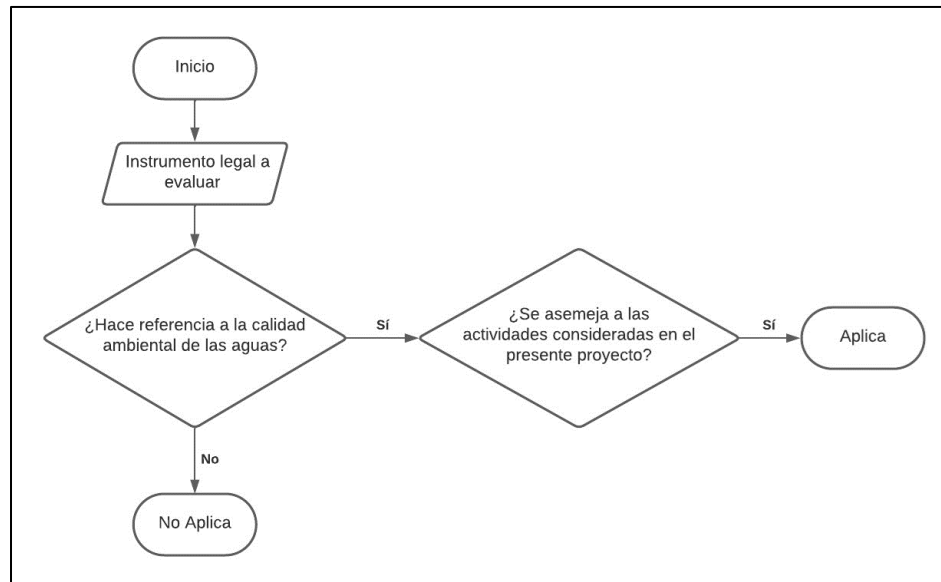


Figura 4.3 Metodología de discriminación según rubro del proyecto (Elaboración propia).

4.1.2.2 Criterio según localización

Se utilizó este criterio para evaluar si las normativas que se consideraron son aplicables en la localización de las actividades a realizar, siendo esta en el Estero de Viña del Mar o en la Estación el Belloto, en la comuna de Quilpué. Se descartaron normativas que no son aplicables a la zona debido a contener características diferentes. Sin embargo, se tomaron en cuenta aquellas que son vigentes, aplicables y de carácter nacional. Con el fin de aplicar este criterio, se empleó el diagrama ilustrada en la **Figura 4.4**.

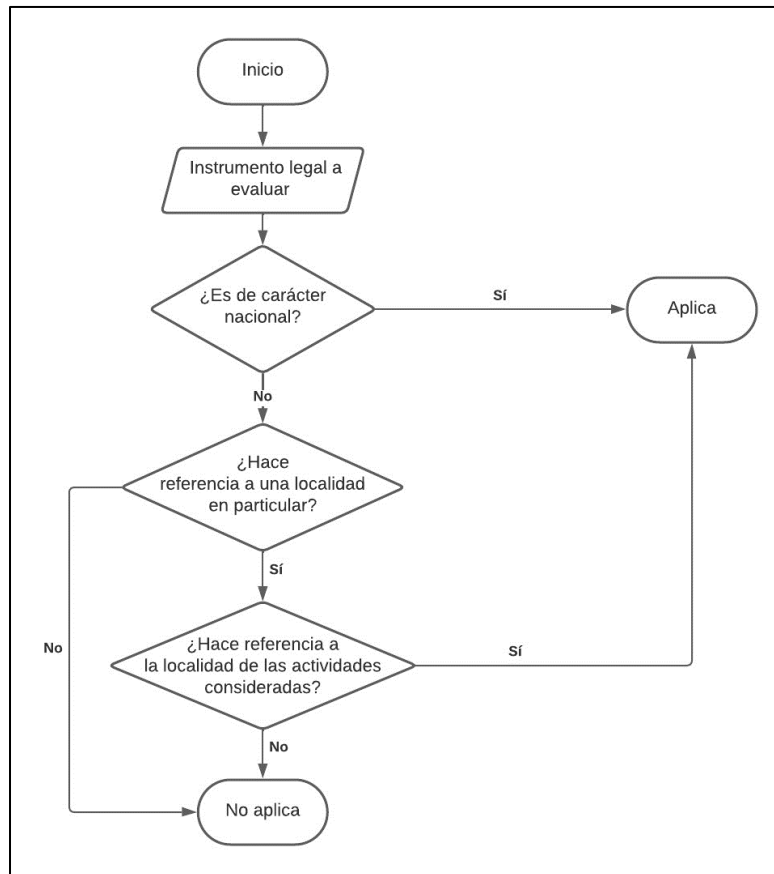


Figura 4.4 Metodología de discriminación según la localización del proyecto (Elaboración propia).

4.2 Caracterización de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto - Miramar

A continuación, se expone la metodología que se empleó para caracterizar las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar, ya sea tanto para identificar la calidad de esta, como también para comprender la manera en que actúan dentro de esta misma estructura perteneciente al metro EFE Valparaíso.

4.2.1 Revisión bibliográfica

Con el fin de obtener información con respecto a la calidad que poseen las aguas subterráneas, se realizó una investigación bibliográfica mediante la recopilación de información de las distintas instituciones involucradas en esta investigación. Se contactó con la Empresa Sanitaria de Valparaíso (ESVAL), con el Departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Viña del Mar y con la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) para obtener información de la naturaleza y características de estas aguas subterráneas, esto debido a que estas instituciones se han encargado de realizar

mediciones con anterioridad en el sitio en cuestión. Por otro lado, se buscó información relacionada en revistas, tesis antiguas, informes, diagnósticos, entre otros con respecto a la calidad del agua subterránea del sector.

4.2.2 Métodos cuantitativos

Para los métodos cuantitativos, se tomó en consideración el caudal que posee estas aguas en su correntía natural dentro del túnel, y, además, una actividad *in vitro*, la cual se realizó un análisis en laboratorio de muestras correspondientes a estas aguas.

4.2.2.1 Caudal

Para realizar un análisis directo del comportamiento de estas aguas subterráneas en el túnel Soterrado Salto - Miramar, se calculó el caudal que ésta presenta, el cual se obtuvo cuantitativamente mediante la **Ecuación 1**.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1 Fórmula para calcular el caudal que poseen las aguas subterráneas (Valdivielso, 2023).

Q; hace referencia a Caudal.

V; hace referencia a Volumen [L].

t; hace referencia a Tiempo [s].

Según Alberto Valdivielso en su artículo “¿Qué es un caudal?” (2023) un caudal significa que es el volumen de agua que atraviesa una superficies en un determinado tiempo, por lo tanto, es un dato fundamental para comprender la velocidad en que actúa esta agua por debajo del túnel y así realizar un correcto dimensionamiento del posible sistema de aprovechamiento de estas aguas.

Como base, se expuso la **Tabla 4.1** Datos de la correntía de las aguas subterráneas dentro de las Sentinas en el metro EFE Valparaíso para ordenar los datos de volumen y tiempo de su respectiva estación, para posteriormente calcular el resultado del caudal en [L/s], siendo estos obtenidos mediante una búsqueda bibliográfica, en donde la empresa EFE Valparaíso realizó un procedimiento de medición en las sentinas de cada una de las estaciones del metro dentro del túnel, mediante la utilización de un recipiente de 20 [L] (balde). Estos datos están expuestos en el inciso de **Caudal**.

Tabla 4.1 Datos de la correntía de las aguas subterráneas dentro de las Sentinas en el metro EFE Valparaíso (Elaboración propia).

Estación	Volumen [L]	Tiempo [s]	Caudal [L/s]
Chorrillos			
Hospital			
Viña del Mar			
Miramar			

4.2.2.2 Actividad *in vitro*

Además de tener los resultados de las mediciones de manera teórica a través de las empresas mencionadas en el inciso Revisión bibliográfica para posteriormente ser analizados y comparados con respecto a los requisitos de las normativas pertinentes, es que manera paralela, se realizó un análisis de tipo *in vitro* utilizando muestras provenientes de las napas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar perteneciente a las conexiones ferroviarias del metro EFE Valparaíso, con el fin de obtener ciertos resultados con la intención de conseguir apoyo en caso de no obtener la respuesta esperada por parte de estas instituciones.

- **Materiales utilizados para las mediciones *in vitro***

A continuación, en la **Tabla 4.2** y en la **Tabla 4.3** se describen los instrumentos y/o equipos que se utilizaron para realizar las mediciones de las aguas subterráneas.

Tabla 4.2 Instrumentos y/o equipos con su respectiva descripción que serán utilizados en el análisis *in vitro* (Elaboración propia).







Instrumentos y/o equipos	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Tester de pH, TDS y Conductividad - HI98130 • Descripción: Este equipo, es un medidor de pH, de temperatura en °C el cual es muy preciso e impermeable. También tiene la capacidad de medir la conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos en un intervalo alto de 0,00 a 20,000 [mS/cm/TDS] de 0,00 a 10,00 [ppt] respectivamente. Es a prueba de agua y fácil de leer por su pantalla LCD.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Fotómetro Multiparamétrico de Análisis de Nutrientes – HI83209 • Descripción: Es un fotómetro compacto multiparámetro adaptado para usar tanto en laboratorio como en terreno. Tiene un diseño óptico que utiliza un detector de referencia y lentes de enfoque para eliminar errores de los cambios en la fuente de luz y de las imperfecciones en cubeta de vidrio. Mide aproximadamente ocho parámetros diferentes de calidad de agua.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Medidor de pH modelo SM-25cw • Descripción: Equipo adaptado para ser utilizado en laboratorio, incluyendo un brazo de soporte de electrodo y/o de la sonda de temperatura con el propósito de optimizar el tiempo de trabajo. También contiene un adaptador de corriente DC 9V, electrodo de pH. Presenta ocho teclas de función junto con un panel electrónica a prueba de agua. Mide pH entre 1,0 – 15,0.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Electrodo de pH. • Descripción: Es un sensor utilizado en equipos de alta precisión para determinar el pH en solución acuosa, además permite medir el valor potencial del electrodo (mV). Permite una respuesta rápida y estable, adaptado para utilizarlos en empresas mineras, agricultura, medicina, entre otros.

Tabla 4.3 Instrumentos y/o equipos con su respectiva descripción que serán utilizados en el análisis *in vitro* (Continuación) (Elaboración propia).

Instrumentos y/o equipos	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Reactivos para Fotómetro de análisis de Nutrientes. • Descripción: Son reactivos de alta calidad utilizador para determinar mediciones rápidas y precisas. Están diseñados para ser utilizados con muestras de agua dulce.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Cubetas de Vidrio y Tapas para Colorímetros Checker HC • Descripción: Son cubetas de vidrio con tapas de plásticos con una marca de nivel de 10 [mL] para medir el volumen apropiado para las muestras en el Fotómetro Multiparamétrico de Análisis de Nutrientes.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Vaso Precipitado • Descripción: Material de vidrio graduado hasta 1000 [mL] utilizado para contener las muestras de las aguas subterráneas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Piseta • Descripción: Material de laboratorio plástica con una abertura utilizado principalmente para contener algún solvente. En este caso se utilizará para contener agua destilada para lavar y desinfectar los instrumentos de laboratorio.

- **Cálculo de los parámetros**

En el caso de obtener muestras de las napas y de estos obtener más de un resultado para un determinado parámetro, considerando que son cuatro las estaciones del túnel Soterrado Salto – Miramar (Chorrillos Hospital, Viña del Mar y/o Miramar) es que, para realizar una comparación de parámetros con un único resultado, se realizó un método de muestra compuesta mediante la **Ecuación 2**.

Para obtener el resultado final, se realizó una sumatoria de las multiplicaciones de cada concentración del determinado parámetro con su respectivo caudal, esto dependiendo de la estación, y luego dividir este resultado por la suma de los caudales.

$$\bar{C} = \frac{(\alpha * A) + (\beta * B) + (\gamma * C) + (\delta * D)}{A + B + C + D}$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$; hace referencia a la determinada concentración de la muestra.

A, B, C, D; hace referencia a al caudal de la muestra [L/s].

\bar{C} ; hace referencia a la concentración de la muestra compuesta.

Ecuación 2 Fórmula para calcular una determinada concentración en una muestra compuesta (Elaboración propia).

4.2.3 Método cualitativo

Con respecto al método cualitativo, se describió el espacio físico de la contención de estas aguas subterráneas dentro del túnel Soterrado Salto – Miramar, y de esta manera, obtener mayor conocimiento con respecto a cómo la empresa EFE Valparaíso gestiona la infiltración de ésta (Ver **Figura 5.3**, **Figura 5.4**, **Figura 5.5** y **Figura 5.6**).

4.2.4 Sistema de Tratamiento

Una vez caracterizadas las aguas subterráneas, y en caso de no cumplir con la calidad estipulada por las normativas seleccionadas para propósito de su utilización, estas deben ser sometidas a un sistema de tratamiento previo a emplearlas en sus respectivas actividades. En el diagrama de la **Figura 4.5** se representa la metodología a seguir para la utilizar este recurso.

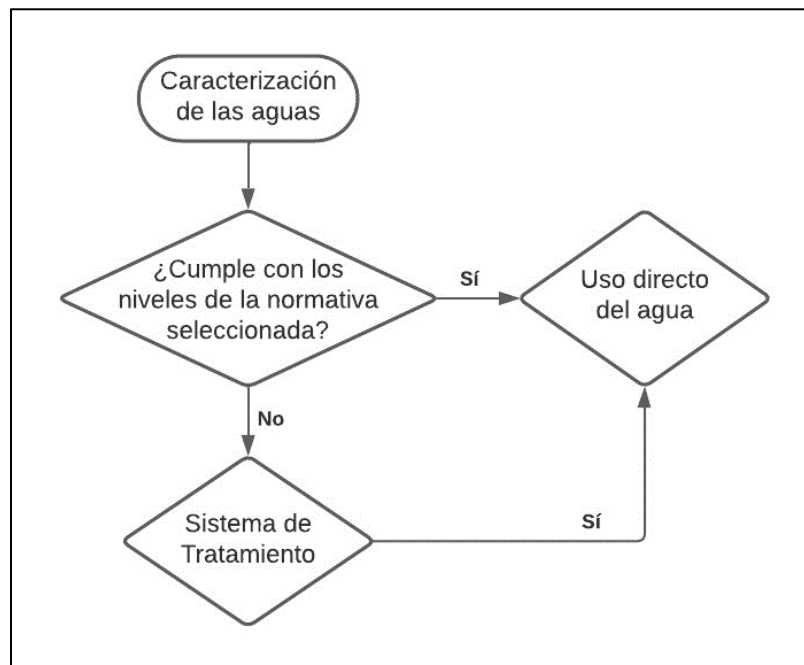


Figura 4.5 Diagrama de la metodología a emplear para utilizar las aguas directamente en la respectiva actividad seleccionada (Elaboración propia).

4.3 Evaluación económica de la tecnología a emplear para el aprovechamiento las aguas subterráneas.

El propósito de esta metodología fue realizar una comparación entre las actividades de depositar directamente estas aguas en el Estero Viña del Mar con el lavado de vagones, mediante una evaluación económicas de las tecnologías que se apliquen para cada actividad.

4.3.1 Selección de la tecnología aplicable

En una primera instancia, mediante una recopilación bibliográfica, se seleccionaron aquellas principales tecnologías, equipos y/o maquinarias que sean apropiadas para ser implementadas en los sistemas de mejor aprovechamiento de estas aguas para cada actividad propuesta, estos ya sean para ser depositados en el Estero Viña del Mar o para lavar los vagones. Se realizó una descripción general de cada opción, considerando sus características, los materiales y/o componentes si fuese necesario y la imagen de referencia. Además, se consideró la evaluación de la necesidad de contratar mano de obra calificada tanto en la implementación como también en la operación de esta tecnología.

4.3.2 Evaluación económica

Una vez establecidas las tecnologías aplicables para cada propuesta seleccionada, se procedió a realizar un procedimiento de inversión de equipamientos el cual se refiere a todas las inversiones que permitan la operación normal del proyecto, esto ya sean maquinarias, herramientas, vehículos, mobiliarios y equipos en general (Sapag et al., 2018). A continuación, se definió la depreciación para cada equipamiento y de esta manera realizar un flujo de caja y finalmente calcular la VAN y el TIR.

4.3.2.1 Estimación de costos

Se realizó una estimación de costos mediante la cotización para cada tecnología seleccionada en el inciso de **Selección de la tecnología aplicable** en Unidad de Fomento (UF) y se seleccionarán aquellas que presente la mayor factibilidad económica para la empresa EFE Valparaíso, es decir, aquel que presente el valor más bajo entre los cotizados. La estimación de costos consiste principalmente en un proceso de evaluar y calcular recursos financieros para llevar a cabo un proyecto, actividad o una tarea específica. Este proceso es importante en la planificación y gestión de proyectos, debido a que proporciona una base para la asignación de recursos financieros, de decisiones y para realizar una evaluación de la viabilidad económica del proyecto (Sapag et al., 2018).

4.3.2.2 Flujo de caja

Luego de obtener los costos de las tecnologías, se confeccionó un flujo de caja para cada una de las actividades utilizando la vida útil estipulada por el SII para cada una de las maquinarias y equipos requeridas. El flujo de caja es un método financiero para organizar los ingresos y egresos monetarios que se dan en una empresa en un determinado tiempo, y de esta manera obtener la acumulación neta de activos líquidos. Si el resultado es positivo, quiere decir que los ingresos son mayores que los egresos, por ende, tiene ganancias y el proyecto es factible económicamente. Caso contrario ocurre cuando el resultado del flujo de caja es negativo, puesto que los egresos son mayores que los ingresos de la empresa (Urzúa, 2022).

Son varios los ítems que se pueden agregar a un flujo de caja considerando los ingresos y egresos, sin embargo, para este caso se tomarán en cuenta los valores de los equipos a utilizar, la mano de obra, el ahorro de pago de agua por parte de la empresa EFE Valparaíso hacia ESVAL, y, por último, la depreciación de los equipamientos, el cual se calcula mediante la **Ecuación 3**.

$$\text{Depreciación lineal} = \frac{\text{Costo inicial}}{\text{Vida útil}}$$

Ecuación 3 Fórmula para obtener la depreciación lineal de un equipo o de una máquina en específico.

4.3.2.3 VAN y TIR

En base a los resultados obtenidos con el flujo de caja, se calculó los índices de la VAN y el TIR. El Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) son indicadores financieros que permiten determinar qué tan viable es invertir en un nuevo proyecto para la empresa en un futuro, y si bien son complementarios, estos conceptos son distintos. La VAN tiene por objetivo dar a conocer la posible rentabilidad del proyecto mediante una fórmula matemática, el cual está expresado en la **Ecuación 4**. Para obtener este resultado, se utilizaron los valores resultantes del flujo de caja, con una tasa de interés determinada, y este resultado está expresado en términos de unidades de valor monetario (Ramírez, 2022).

Para el caso de la VAN, se tienen tres posibles resultados:

- **VAN > 0** Se acepta ya que se asume que el proyecto es rentable.
- **VAN = 0** Es indiferente ya que se asume que no habrá ganancias ni pérdidas.
- **VAN < 0** Se rechaza ya que se asume que el proyecto no es viable.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} = -I_0 + \frac{F_n}{(1+r)^n}$$

Ecuación 4 Fórmula matemática para obtener el resultado de la VAN.

I_0 ; hace referencia a la inversión inicial

n ; hace referencia al periodo

r ; hace referencia a la tasa de descuento*

*Se consideró la tasa de descuento social que según el Ministerio del Desarrollo Social (2023) es de un 6%, sin embargo, se tomó un 8% con el fin de estar levemente sobre el mínimo y de esta manera no obtener ganancias bajo cero y ganar rentabilidad.

Por otro lado, la TIR es bastante similar a la VAN puesto que se utiliza para determinar la viabilidad del proyecto y ver si este resulta ser beneficioso o no, sin embargo, este utiliza la $VAN = 0$ de un flujo de beneficios neto, es por esto que en su fórmula matemática expresada en la **Ecuación 5** es llevada a 0, para que de esta manera se pueda demostrar el valor del rendimiento de la inversión realizada y compararse con la tasa de interés en porcentaje (Ramírez, 2022).

Al igual que la VAN, sus resultados se pueden interpretar de tres maneras, considerando a "i" como la tasa de mercado:

- **TIR > i** Se acepta la inversión ya que el proyecto se asume que es viable.
- **TIR = i** Es indiferente, pero es un proyecto que se asume que no conviene y debe ser rechazada.
- **TIR < i** Se rechaza la inversión ya que el proyecto se asume que no es viable.

$$TIR = -I_0 + \frac{F_n}{(1+r)^n} = 0 = VAN = 0$$

Ecuación 5 Fórmula matemática para obtener el resultado de la TIR.

I_0 ; hace referencia a la inversión inicial

n ; hace referencia al periodo

r ; hace referencia a la rentabilidad

5. Resultados

5.1 Identificación de normativas y/o legislaciones vinculantes a la calidad de las aguas subterráneas

Como ya se mencionó en el inciso **Identificación de normativas y/o legislaciones vinculantes a la calidad de las aguas subterráneas**, con el propósito de poder emplear las actividades establecidas para aprovechar de mejor manera estas aguas subterráneas, ya sea para el depósito directo en el Estero de Viña del Mar o por otro lado para ser utilizada en el lavado de vagones de la empresa EFE Valparaíso, es que se tomaron en cuenta normativas relacionadas con la calidad ambiental y de esta manera establecer que concentraciones de parámetros y/o elementos deben poseer estas napas para el determinado empleo.

A modo de excepción, se tomó en consideración para el proceso de selección de normativas atinentes a las actividades, la norma de emisión del Decreto 90/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia el cual “Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales”, puesto que surge como potencial opción a emplear para el proceso de depósito en el Estero Marga – Marga por el hecho de regular las descargas de riles a aguas marinas y continentales.

5.1.1 Análisis de normativas y/o legislaciones chilenas vinculantes a las actividades seleccionadas

Para garantizar el propósito de las actividades seleccionadas, es que solamente se consideraron normativas de carácter ambiental vigentes, siendo estas definidas por la SEIA como *“aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental”* excluyendo aquellas que no imponen obligaciones o exigencias directamente del titular. En Chile existen aproximadamente 255 Leyes, Decretos, Normativas y Resoluciones de carácter ambiental según la BCN, pero en base a la Normativa Aplicable del SEIA, se reduce a una cantidad de 89 entre Leyes, Normativas de Calidad, Normativas de Emisión y Planes de Prevención y Descontaminación. Como se mencionó con anterioridad, es que, para lograr reducir las opciones de normativas aplicables, es que de estas 89 que son de carácter ambiental, se tomaron en consideración las normativas de calidad ambiental para garantizar las actividades seleccionadas, reduciéndose de esta manera a 21 normativas aplicables.

5.1.2 Normativa no aplicable

De los aproximadamente 255 instrumentos legales de carácter ambiental que existen en Chile, solo se consideraron 89 normativas para realizar la discriminación legal, reduciendo esta cantidad a 21 normativas siendo estas las Normas de Calidad Ambiental. Finalmente, de estos, solo se aplicaron dos; uno para cada actividad establecida, lo que implica que se discriminaron 18 normativas en total. De modo de simplificación, se mencionaron estas 18 normativas no aplicables en la **Tabla 5.1**, **Tabla 5.2** y en la **Tabla 5.3** junto con su determinado criterio de no aplicabilidad y la justificación de su discriminación.

Tabla 5.1 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad (Elaboración propia).

Normativa no aplicable	Criterio de no aplicabilidad	Justificación de discriminación
Decreto 1: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Continentales Superficiales De La Cuenca Del Río Valdivia	Localización	Artículo 2º.- Ámbito de aplicación. El ámbito de aplicación territorial de las presentes normas corresponde a la cuenca del río Valdivia, ubicada en las regiones Novena de La Araucanía y Decimocuarta de Los Ríos.
Decreto 9: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Continentales Superficiales De La Cuenca Del Río Biobío	Localización	Artículo 2º.- Ámbito de aplicación. El ámbito de aplicación territorial de las presentes normas corresponde a la cuenca del río Biobío, ubicada en las regiones Octava de Biobío y Novena de la Araucanía.
Decreto 53: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Continentales Superficiales De La Cuenca Del Río Maipo	Localización	Artículo 2º.- Ámbito de aplicación. El ámbito de aplicación territorial de las presentes normas corresponde a la cuenca del río Maipo, ubicada en las regiones Metropolitana de Santiago, de Valparaíso y del Libertador General Bernardo O'Higgins.
Decreto 20: Establece Norma De Calidad Primaria Para Material Particulado Respirable MP10 En Especial De Los Valores Que Definen Situaciones De Emergencia Y Deroga Decreto N° 59 De 1998 Del Ministerio Secretaría General De La Presidencia (Derogada)	Rubro	Artículo 1º.- Establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, cuyo objetivo es proteger la salud de las personas de los efectos agudos de dicho contaminante, con un nivel de riesgo aceptable.
Decreto 19: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Continentales Superficiales Del Lago Villarrica	Localización	Artículo 2º.- Ámbito de Aplicación. El ámbito de aplicación territorial del presente decreto corresponde a la cuenca del lago Villarrica de la Región de La Araucanía.
Decreto 38: Aprueba Reglamento Para La Dictación De Normas De Calidad Ambiental Y De Emisión	Rubro	Artículo 1º.- El procedimiento para la dictación de normas de calidad ambiental primarias y secundarias y el procedimiento y los criterios para la revisión de dichas normas, se sujetarán a las disposiciones del presente reglamento.

Tabla 5.2 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad (Elaboración propia) (Continuación).

Normativa no aplicable	Criterio de no aplicabilidad	Justificación de discriminación
Decreto 12: Establece Norma Primaria De Calidad Ambiental Para Material Particulado Fino Respirable MP2.5	Localización	Artículo 1°. Establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino, MP2,5 cuyo objetivo es proteger la salud de las personas de los efectos agudos y crónicos de dicho contaminante, con un nivel de riesgo aceptable.
Decreto 122: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Del Lago Llanquihue	Localización	Artículo 2°. - El ámbito de aplicación territorial de la presente norma corresponde al lago Llanquihue.
Decreto 22: Establece Norma De Calidad Secundaria De Aire Para Anhídrido Sulfuroso (So2)	Rubro	Artículo 1°. - El objetivo de la norma secundaria de calidad de aire para dióxido de azufre es la protección y conservación de los recursos naturales renovables del ámbito silvoagropecuario y de vida silvestre, de los efectos agudos y crónicos generados por la exposición a dióxido de azufre en el aire.
Decreto 75: Establece Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para La Protección De Las Aguas Continentales Superficiales De La Cuenca Del Río Serrano	Localización	Artículo 2°. - Los cauces a ser regulados en la cuenca hidrográfica del río Serrano son los siguientes: Río Serrano, río Paine, río Grey, río Baguales, río Vizcachas, río De Las Chinas, río Tres Pasos y río Don Guillermo.
Decreto 144: Establece Normas De Calidad Primaria Para La Protección De Las Aguas Marinas Y Estuarinas Aptas Para Actividades De Recreación Con Contacto Directo	Rubro	Artículo 1°. - El presente decreto establece las normas primarias de calidad ambiental de las aguas marinas y estuarinas, en el territorio de la República, aptas para actividades de recreación con contacto directo. Las normas de calidad contenidas en el presente decreto tienen por objetivo general proteger la calidad de las aguas marinas y estuarinas de manera de salvaguardar la salud de las personas
Decreto 114: Establece Norma Primaria De Calidad De Aire Para Dióxido De Nitrógeno (No2)	Rubro	Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de nitrógeno en el aire.
Decreto 110: Deja Sin Efecto Norma Primaria De Calidad De Aire Para Partículas Totales En Suspensión (Pts)	Rubro	Artículo único. - Déjese sin efecto la norma primaria de calidad de aire para partículas totales en suspensión (PTS) contenida en la resolución N° 1.215 de 1978, del delegado del Gobierno en el Servicio Nacional de Salud.
Decreto 112: Establece Norma Primaria De Calidad De Aire Para Ozono (O ₃)	Rubro	Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos generados por la exposición a niveles de concentración de ozono en el aire.
Decreto 113: Establece Norma Primaria De Calidad De Aire Para Dióxido De Azufre (SO ₂)	Rubro	Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos y crónicos generados por la exposición a niveles de concentración de dióxido de azufre en el aire.

Tabla 5.3 Normativas no aplicables que fueron discriminados mediante los criterios de aplicabilidad (Elaboración propia) (Continuación).

Normativa no aplicable	Criterio de no aplicabilidad	Justificación de discriminación
Decreto 115: Establece Norma De Calidad Primaria Para Plomo En El Aire Para Monóxido de Carbono (CO)	Rubro	Artículo 1.- La presente norma de calidad ambiental tiene por objetivo proteger la salud de la población de aquellos efectos agudos generados por la exposición a niveles de concentración de monóxido de carbono en el aire.
Decreto 59: Establece Norma De Calidad Primaria Para Material Particulado Respirable MP10 En Especial De Los Valores Que Definen Situaciones De Emergencia	Rubro	Artículo 2º La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal (150 µg/m ³ N) como concentración de 24 horas.
Decreto 4: Establece Normas De Calidad Del Aire Para Material Particulado Sedimentable En La Cuenca Del Río Huasco III Región (Exento)	Rubro	Artículo 1º: Todas las fuentes emisoras actualmente en operación o que se instalen en fecha posterior a la publicación de este decreto en la cuenca del Río Huasco, III Región, que emitan una cantidad igual o superior a una tonelada diaria de material particulado al aire, deberán dar cumplimiento a las disposiciones establecidas en el presente decreto. Además, este decreto será aplicable a toda fuente emisora de material particulado existente en la cuenca mencionada, cuando ésta se clasifique como zona saturada o latente, según lo dispuesto en los artículos 9º y 10º del decreto No. 185, de 1991, del Ministerio de Minería.
Decreto 90: Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales	Rubro	Artículo 1º; Punto 3.6: Descarga de residuos líquidos: Es la evacuación o vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora.

Con respecto a la excepción de la norma de emisión del Decreto 90/2001, se tomó como una normativa no aplicable debido que esta se descarta por medio del criterio de “rubro” según la definición de descarga de residuos líquidos, puesto que la empresa EFE Valparaíso no desecha estas aguas subterráneas luego de emplearlas en un determinado proceso, actividad o servicio, sino más bien, son eliminadas sin alterar su composición inicial con el cual fueron depositadas en las estaciones del metro.

5.1.3 Normativa aplicable

Luego de realizar el análisis correspondientes de las Normativas de Calidad Ambiental aplicando los criterios, se optaron por dos normativas vinculantes ya sea por localización o por rubro, siendo estos descritos en la **Tabla 5.4**.

Tabla 5.4 Normativas aplicables vinculantes con las actividades seleccionadas según el criterio de aplicabilidad (Elaboración propia).

Normativa no aplicable	Criterio de aplicabilidad	Justificación de discriminación
Decreto 143: Establece Normas De Calidad Primaria Para Las Aguas Continentales Superficiales Aptas Para Actividades De Recreación Con Contacto Directo.	Rubro	Artículo 1°.- El presente decreto establece las normas primarias de calidad ambiental de las aguas continentales superficiales en el territorio de la República, aptas para actividades de recreación con contacto directo. Las normas de calidad contenidas en el presente decreto tienen por objetivo general proteger la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar la salud de las personas.
Decreto 41: Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua.	Localización	Artículo 1°.- Objeto. El presente decreto establece las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Aconcagua. El objetivo de las mismas es la conservación o preservación de los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos, a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca. Artículo 2°.- Ámbito de aplicación. El ámbito de aplicación territorial de las presentes normas corresponde a la cuenca del río Aconcagua, ubicada en su totalidad en la Región de Valparaíso.

La primera actividad contemplada sería depositar estas napas subterráneas directamente en el Estero Viña del Mar desde el túnel para agregar valor al estero, beneficiando a los ecosistemas acuáticos y promover la biodiversidad, por ende, para este caso se utilizó el Decreto 41/2023 el cual *“Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua”* puesto que el presente estero presenta características geomorfológicas, climáticas, entre otras, similares con el río Aconcagua. Por otro lado, para la segunda actividad considerada que es utilizar estas aguas para realizar el proceso de lavado de los vagones del metro EFE Valparaíso en su lugar respectivo de lavado, siendo ésta ubicada en la estación El Belloto, en la comuna de Quilpué, esto ya que en la actualidad la empresa utiliza agua de ESVAl para realizar este procedimiento de lavado, es decir, que se abastecen de agua potable para tal procedimiento, es que se utilizó el Decreto 143/09, el cual *“Establece Normas de Calidad Primaria para las Aguas Continentales Superficiales Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo”* puesto que existe la posibilidad de que la persona encargada de emplear el proceso de lavado de vagones tenga contacto con el agua, por ende, hay que asegurar que la calidad de esta sea apta para el contacto humano.

5.1.4 Depósito directo en el Estero Viña del Mar

Como se mencionó con anterioridad, una de las opciones de aprovechamiento de estas aguas subterráneas, es depositarlas directamente al Estero Viña del Mar, el cual se encuentra ubicada en la superficie cercana al túnel Soterrado Salto – Miramar. Para fines de este propósito es que se tomaron en consideración dos opciones; una es ser depositada cerca de la desembocadura del estero hacia el océano, siendo esta opción entre las estaciones Viña del Mar y Miramar, donde las características del agua en esta ubicación son de carácter salina debido a la interacción con el mar. La segunda opción es depositarla en dirección norte, es decir, entre las estaciones Chorrillos y Hospital, en donde las características del agua del estero siguen siendo más dulce que en la desembocadura debido al origen esta misma. Por lo anterior, es que a continuación se describen los Decretos seleccionados para cada actividad y el método a emplear.

- **Decreto 41/23 del Ministerio del Medio Ambiente**

El presente Decreto se origina como un instrumento para prevenir o remediar la contaminación ambiental mediante la regulación de presencia de contaminantes en cualquier medio a partir del Título II de la Ley N°19.300. Por ende, su principal objetivo es mantener o mejorar la calidad de las aguas superficiales para la cuenca del río Aconcagua, estableciendo niveles de calidad ambiental de un respectivo parámetro, con fines de conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

Para lograr que el cumplimiento y fiscalización del presente Decreto sea más prolijo, es que en el artículo 4° del presente Decreto, se dividió la cuenca del río Aconcagua en 16 áreas de vigilancias según su delimitación y ubicación (Véase **Anexo 2**). De estas 16 áreas, se consideraron dos de éstas, como se puede observar en la **Tabla 5.5**; el AC – 5, debido a que su ubicación tiene límites entre el estuario y la desembocadura con el mar, teniendo características similares con el agua superficial del estero Viña del Mar entre las estaciones Viña del Mar y Miramar. Por otro lado, se tomará en cuenta el área de vigilancia QUI – 1, ubicada en el nacimiento Estero Quilpué y Confluencia río Putaendo, teniendo de esta manera condiciones similares al sector norte del Estero de Viña del Mar, considerando que este último es alimentado por el mismo Estero Quilpué.

Tabla 5.5 División de las estaciones del metro con respecto al área de vigilancia del Decreto 41/23 según sus características similares.

Área de Vigilancia	Cauce	ID	Estación del metro
AC – 5	Río Aconcagua	E.M – 1	Miramar
			Viña del Mar
QUI – 1	Estero Quilpué	E.M – 2	Hospital
			Chorrillos

Para cada área de vigilancia se establecieron niveles de calidad ambiental para una cantidad respectiva de parámetros normados, sin embargo, en vista de que sólo se consideraron dos áreas de vigilancias para analizar las aguas subterráneas, es que en la **Tabla 5.6** se estipulan los niveles de calidad ambiental para el área AC – 5 y QUI – 1 pertenecientes a la cuenca del río Aconcagua según el artículo 5° del Decreto 41/23 del Ministerio del Medio Ambiente. Como se ha mencionado, esta norma estipula los niveles máximos permisibles que pueden poseer las aguas que se pretenden analizar, y si bien, estos parámetros están definidas para aguas superficiales, en este caso se considerarán estos valores para las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar.

Tabla 5.6 Niveles de calidad ambiental para las áreas de vigilancia del AC – 5 y QUI – 1 para cada parámetro normado por el Decreto 41/23 (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

Parámetro	Unidad	Área de Vigilancia	
		AC – 5	QUI – 1
Aluminio total	[mg/L]	-	14,2
Arsénico total	[mg/L]	0,005	0,0013
Aceites y Grasas	[mg/L]	10,0	-
Coliformes fecales	[NMP/100 mL]	1320,0	-
Conductividad eléctrica	[μ S/cm]	-	635,0
Cloruros	[mg/L]	-	49,0
Cromo total	[mg/L]	-	0,05
Cobre total	[mg/L]	0,07	0,48
Demanda Bioquímica de Oxígeno	[mg/L]	4,0	4,0
Demanda Química de Oxígeno	[mg/L]	-	21,0
Hierro total	[mg/L]	7,95	13,77
Hierro Disuelto	[mg/L]	0,204	0,354
Mercurio total	[mg/L]	-	0,0020
Manganeso total	[mg/L]	-	0,48
Molibdeno total	[mg/L]	0,13	0,05
Níquel total	[mg/L]	-	0,05
N-amonio	[mg/L]	0,68	-
N-Nitrato	[mg/L]	-	2,0
Nitrógeno total	[mg/L]	3,4	-
Oxígeno disuelto	[mg/L]	7,1	7,1
Plomo total	[mg/L]	-	0,070
pH máximo	-	9,0	9,0
pH mínimo	-	6,0	6,0
Fósforo de fosfatos	[mg/L]	-	0,69
Fósforo total	[mg/L]	0,9	-
Sulfatos	[mg/L]	257,0	257,0
Zinc total	[mg/L]	-	0,08
Clorofila "a"	[μ g/L]	20,0	-

La Superintendencia del Medio Ambiente, será la encargada de realizar un informe técnico en base al Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental del Agua de los reportes realizado por la DGA y la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región de Valparaíso, estableciendo los niveles de calidad según las condiciones de excedencias establecidas en el artículo 7° del presente Decreto. Sin embargo, para estos análisis, es que se consideró que, para constatar la calidad del agua subterránea, se tomará como

sobrepasada la norma secundaria, cuando uno o más parámetros superen el percentil 85 de los valores de las concentraciones de las muestras analizadas, siendo el percentil definido en su artículo 3° como “*al valor en la posición “k” de la serie de valores medidos y ordenados de forma creciente para cada área de vigilancia y parámetro*”. Esto se definió, debido a que en el artículo 7°, se constatan mediciones y periodos de más de un año, sin embargo, para esta propuesta solo es necesario realizar una sola medición de los parámetros para establecer su calidad actual. Cabe mencionar, que en el caso de que los niveles estipulados por la **Tabla 5.6** son superados, quiere decir que el agua no presenta un nivel de calidad apta para su depósito en el Estero Viña del Mar.

5.1.5 Procedimiento de lavado para los vagones del metro EFE Valparaíso

La segunda opción considerada para poder aprovechar de mejor manera las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar, es utilizarlas para realizar el proceso de lavado de los mismos vagones pertenecientes a la empresa EFE Valparaíso, y como se mencionó en la **Normativa aplicable**, es que para esta actividad se empleará el Decreto 143/09.

- **Decreto 143/09 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia**

El presente Decreto “*Establece Normas de Calidad Primaria para las Aguas Continentales Superficiales Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo*” el cual establece los niveles de calidad ambiental que deben poseer las aguas continentales superficiales del territorio chileno, aptas para ser utilizadas en actividades de recreación con contacto directo, con el propósito de salvaguardar la salud de la población. Según el Artículo 2° del Código de Aguas (2022), las aguas superficiales son definidas como “*aquellas que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y pueden ser corrientes o detenidas*”

Este determinado Decreto, tal como señala en su título, hace referencia a aquellas actividades en donde, tanto el ser humano como otros seres vivos tendrán contacto directo con el recurso hídrico, esto ya sea natación, buceo, esquí acuático, entre otros, por ende, y por motivos de rubro, es que se consideraron los parámetros establecidos para el lavado de vagones utilizando el agua subterránea.

A continuación, en la **Tabla 5.7** se establecen las concentraciones o unidades totales permisibles de la norma primaria de calidad ambiental anual para cada compuesto o elemento y su respectivo percentil.

Tabla 5.7 Concentraciones o unidades de compuestos o elementos según el Decreto 143/09 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2009).

Compuesto o elemento	Valor	Percentil	Unidad
Color	100	80	Escala Pt-Co
pH	6,0 – 8,5	95	-
Cianuro	0,77	95	[mg/L]
Bifenilos policlorados (PCBs)	0,0055	90	[mg/L]
Diclorometano	0,22	90	[mg/L]
Benzo (a) pireno	0,0022	90	[mg/L]
Tetracloruro de carbono	0,022	90	[mg/L]
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético	0,33	90	[mg/L]
Aldrín y Dieldrín	0,00033	80	[mg/L]
Atrazina	0,022	90	[mg/L]
Carbofurano	0,055	90	[mg/L]
Clordano	0,0022	80	[mg/L]
Clorotalonil	1,21	90	[mg/L]
Cyanazina	0,0066	90	[mg/L]
Heptaclor	0,00033	80	[mg/L]
Lindano	0,022	80	[mg/L]
Simazina	0,022	90	[mg/L]
Trifluralina	0,22	90	[mg/L]
Arsénico	0,11	95	[mg/L]
Cadmio	0,033	95	[mg/L]
Cromo Total	0,55	95	[mg/L]
Mercurio	0,011	95	[mg/L]
Plomo	0,11	95	[mg/L]
Coliformes fecales	1000	100	NMP/100 [mL]

Según el artículo 8° del presente Decreto, se considera que el agua cumple con la norma de calidad cuando el percentil establecido para cada elemento o compuesto sea menor o igual al valor establecido por la **Tabla 5.7**, siendo el percentil definido por el artículo 2° como “al valor “q” calculado a partir de los valores efectivamente medidos para cada compuesto o elemento en cada estación de monitoreo, aproximados a la unidad de medida correspondiente más próxima. Todos los valores se anotarán en una lista establecida por orden creciente para cada área determinada: $X_1 < X_2 \dots < X_k \dots < X_{n-1} < X_n$.” Cabe mencionar que, si esto no se cumple, quiere decir que el agua no es apta para ser utilizada en el proceso de lavado de vagones del metro EFE Valparaíso.

5.2 Caracterización de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto - Miramar

Con respecto al segundo objetivo, se realizó un análisis a las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar con el fin de obtener sus características naturales.

5.2.1 Revisión bibliográfica

Una de las metas de este objetivo, fue obtener resultados de parámetros, elementos y/o características de estas aguas subterráneas mediante la petición de esta información a empresas e instituciones como lo es ESVAL, el Departamento de Servicios Ambientales de la Municipalidad de Viña del Mar y de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y de esta manera compararlas con las normativas vistas con anterioridad. Sin embargo, no se obtuvo una respuesta por parte de estas instituciones, por lo tanto, no se pudo obtener los resultados esperados.

5.2.2 Métodos cuantitativos

A continuación, se establecieron los resultados cuantitativos obtenidos mediante el análisis de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto – Miramar.

5.2.2.1 Caudal

En base a los datos obtenidos en la **Tabla 5.8**, es que se pudo obtener el valor del caudal, registrados en la misma Tabla, de cada estación que conforman el túnel Soterrado Salto-Miramar con respecto al volumen de las Sentinas y el tiempo en que estas aguas demoran en colmar este espacio, utilizando la fórmula de la **Ecuación 1**. Mediante un análisis de estos resultados, el mayor caudal lo presenta la estación Miramar, y con este dato se puede inferir que esta diferencia con las demás estaciones puede ser debido a que al ser la última estación túnel Soterrado Salto-Miramar, recibe la acumulación de agua desde “arriba”, es decir, desde la dirección Noreste procedente de las estaciones Chorrillos, Hospital y Viña del Mar. Para ver procedimiento del cálculo, véase **Anexo 1**.

Cabe destacar que los datos de la **Tabla 5.8** no están actualizados, puesto que estos fueron obtenidos con fecha el 21 de noviembre del año 2021 por parte de la empresa EFE Valparaíso, y considerando que el actual año estuvo marcado por las alzas en las precipitaciones con respecto al 2021, se hace indispensable realizar nuevas mediciones en las estaciones, puesto que los caudales actuales deben ser distintos a los obtenidos.

Tabla 5.8 Resultados obtenidos sobre el caudal en [l/s] en base a los datos obtenidos de la empresa EFE Valparaíso (Elaboración propia).

Estación	Volumen [L]	Tiempo [s]	Caudal [L/s]
Chorrillos	20	21,06	0,94967
Hospital	20	12,02	1,66381
Viña del Mar	20	8,53	2,34467
Miramar	20	6,13	3,26264

5.2.2.2 Actividad *in vitro*

Con respecto a la actividad *in vitro*, por parte de la empresa EFE Valparaíso facilitó muestras de las napas subterráneas solamente de las estaciones Chorrillos y Miramar, los cuales fueron almacenadas en recipientes plásticos previamente limpiados con agua destilada. Si bien se esperaba obtener la mayor cantidad de parámetros posibles, esto no se cumplió debido a la limitaciones de instrumentos en los laboratorios. Sin embargo, los parámetros que se lograron obtener fueron; Temperatura [°C], Conductividad Eléctrica [mS], Sólidos Disueltos [ppm] y pH, y con respecto a elementos químicos fueron; Cobre (Cu) y Zinc (Zn).

Si bien la cantidad de resultados obtenidos no fueron significativos para analizar la caracterización y la calidad que poseen estas aguas subterráneas, en la **Tabla 5.9** se encuentran los valores obtenidos correspondientes a los parámetros y elementos mencionados con anterioridad.

Tabla 5.9 Valores obtenidos correspondientes a parámetros y elementos medidos en laboratorio dentro del marco de actividad *in vitro* (Elaboración propia).

Parámetro y/o elemento	Estación del metro	
	Chorrillos	Miramar
pH (pHmetro)	7,64	8,04
Temperatura °C	19,0	18,8
Conductividad eléctrica [mS]	0,99	1,01
Sólidos disueltos [ppm]	0,50	0,50
Zinc [mg/L]	0,03	0,0
Cobre [mg/L]	0,02	0,0

Comparando estos resultados con los Decretos anteriormente mencionados, ninguno supera los niveles estipulados, por lo que se podría concluir que esta agua es apta para ser utilizadas en las actividades seleccionadas, sobre todo para ser depositadas directamente en el Estero Viña del Mar. Otro aspecto para considerar es que la colorimetría del agua es prácticamente transparente como se puede observar en la **Figura 5.1**, y a simple vista no se encontraron sólidos suspendidos.

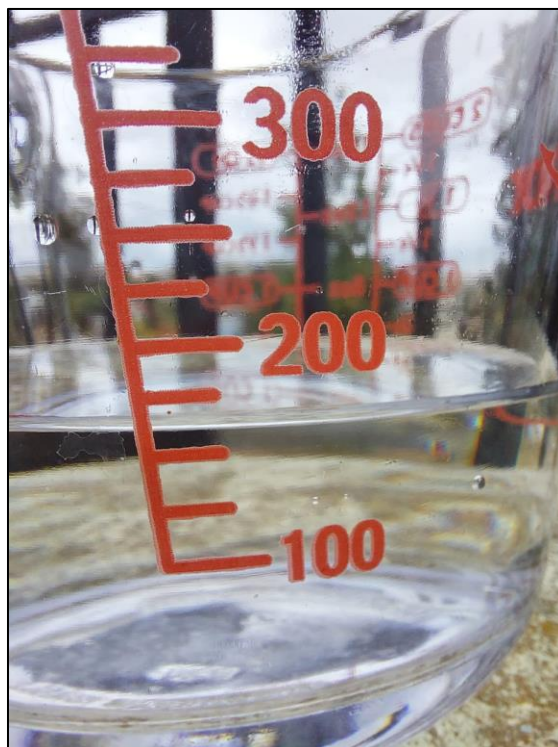


Figura 5.1 Fotografía del submuestreo (aproximadamente 160 [ml]) correspondientes a la muestra que se obtuvo del agua subterránea perteneciente a la estación Chorrillos, en el cual se puede observar un colorimetría totalmente transparente (Elaboración propia).

5.2.3 Método cualitativo

Estas aguas subterráneas, ubicadas en el túnel Soterrado Salto-Miramar, una vez que circulan por las conexiones ferroviarias, son contenidas en pozos de agotamiento, siendo estas denominadas como “**Sentinas**”, las cuales son cubículos de cemento similares a una piscina con una medida de 10 x 4 metros aproximadamente como se puede observar en la representación de la **Figura 5.2**. Para lograr contener estas napas como se puede apreciar en la **Figura 5.3**, las sentinas poseen una altura de 3 metros, y a 0,2 metros de la base (20 cm) se encuentran ubicadas entre 2 a 3 bombas hidráulicas las que se encargan de expulsar el agua hacia la superficie mediante el sistema de tubería. La entrada hacia estas sentinas, son unos cubículos que poseen una medida de 2x2 metros con una profundidad de 3 metros aproximadamente, ubicados en las estaciones del metro dentro del túnel. Véase **Figura 5.4**, **Figura 5.5** y la **Figura 5.6**.

Cabe mencionar, que cada estación dentro del túnel se encuentra a una profundidad distinta, siendo estas de 12 [m], 14 [m], 16 [m] y 18 [m] para las estaciones de Chorrillos, Hospital, Viña del Mar y Miramar respectivamente. Por lo anterior, es que la cañería hacia el alcantarillado tiene diferentes medidas, siendo la de Chorrillos, tal como se ve representada en la **Figura 5.2**, de 9 [m]. Para el caso de las estaciones de Hospital, Viña del Mar y Miramar son de 11 [m], 13 [m] y de 15 [m] respectivamente.

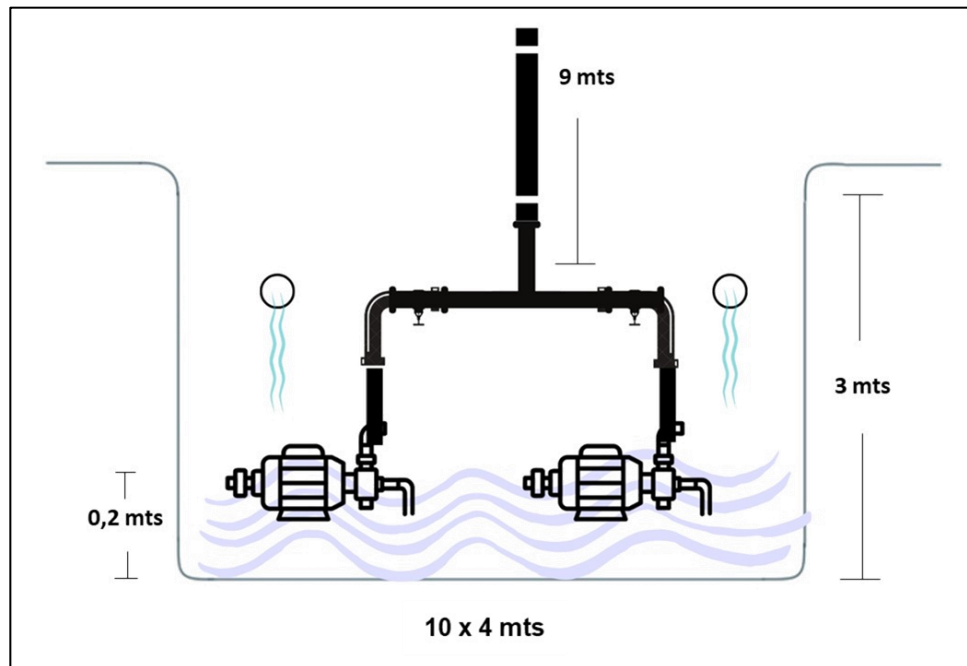


Figura 5.2 Representación de las dimensiones que presentan las sentinas por debajo de cada estación del túnel Soterrado Salto – Miramar para contener la infiltración de las aguas subterráneas (Elaboración propia).

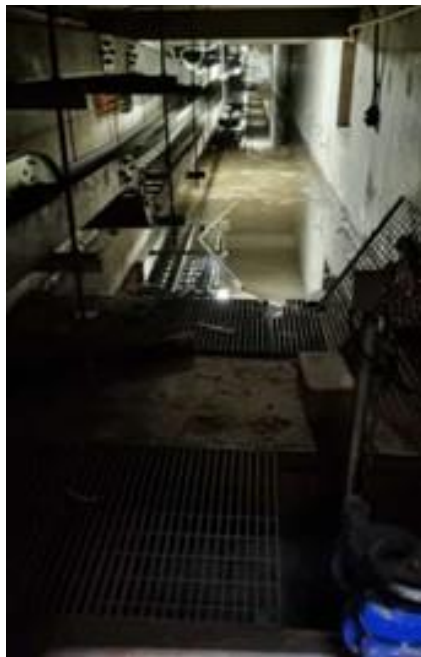


Figura 5.3 Distancia de la Sentina una vez dentro de ella, con una longitud de 10 metros aproximadamente.



Figura 5.4 Entrada a una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso con una medida de 2x2 metros.



Figura 5.5 Profundidad de una Sentina de aproximadamente tres metros.



Figura 5.6 Vista desde arriba del arribo de estas aguas subterráneas hacia las Sentinas del metro EFE Valparaíso.

En la base de estas Sentinas, se encuentran las bombas de color azul las que están representadas en las **Figura 5.7** y **Figura 5.8**, siendo estas las encargadas de transportar esta agua subterránea hacia la superficie por parte de la empresa EFE Valparaíso, en donde son depositados finalmente en el alcantarillado de la comuna de Viña del Mar.



Figura 5.7 Bomba de agua luego de ser extraída de las aguas subterráneas depositadas en una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso.



Figura 5.8 Bomba de agua nueva para ser localizada dentro de una de las Sentinas del metro EFE Valparaíso.

5.2.4 Sistema de Tratamiento

En vista de que no fue posible obtener los resultados esperados para lograr caracterizar las aguas subterráneas con respecto a los parámetros de las normativas seleccionadas, siendo estas el Decreto 41/23 y el Decreto 143/09, y no poseer la calidad que presentan estas aguas, es que se consideró no establecer un sistema de tratamiento. Sin embargo, en las **Figura 5.9**, **Figura 5.10** y en la **Figura 5.11** se encuentran representados los diagramas correspondientes a cada normativa para comprender en qué circunstancias se debe considerar un sistema de tratamiento.

5.2.4.1 Depósito para E.M – 1

Para que estas aguas se depositen directamente en el Estero de Viña del Mar en el tramo de E.M – 1, debe cumplir con los niveles estipulados en el Decreto 41/23 para los parámetros del área de vigilancia AC – 5. No obstante, si no cumple con estos niveles, se debe realizar un tratamiento previo a su depósito. Para entender este procedimiento, en la **Figura 5.9** está representada el diagrama para el aprovechamiento de estas aguas para el depósito del E.M – 1.

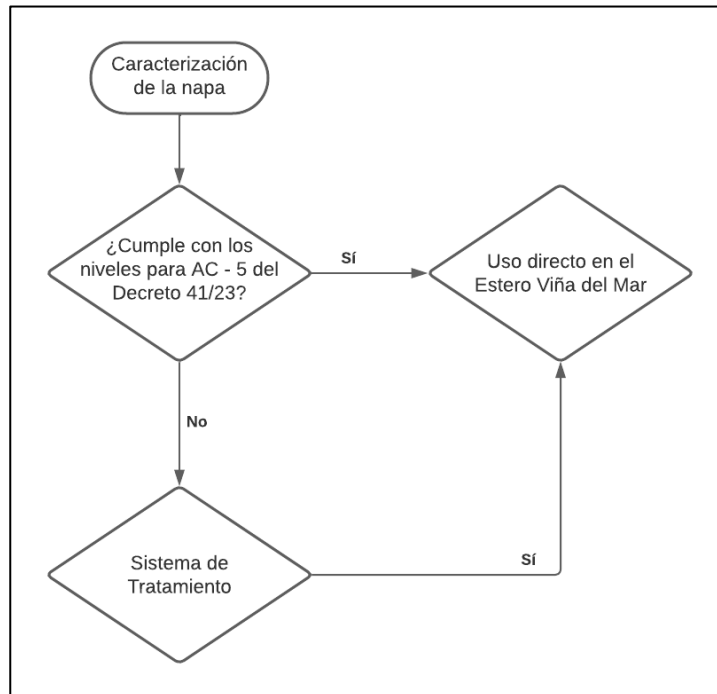


Figura 5.9 Diagrama de la metodología a realizar para depositar el agua subterránea directamente en el Estero de Viña del Mar según las características del AC – 5 basándose en los niveles establecidos por el Decreto 41/23 (Elaboración propia).

5.2.4.2 Depósito para E.M – 2

En el caso del depósito E.M – 2, debe cumplir con los niveles estipulados en el Decreto 41/23 para los parámetros descritos del área de vigilancia QUI – 1 para depositar directamente estas aguas subterráneas en el Estero de Viña del Mar, sin embargo, al igual que en el opción anterior, es que, en el caso de no cumplir con estos niveles, se debe realizar un tratamiento previo a su depósito. Para entender este procedimiento, en la **Figura 5.10** está representada el diagrama para el aprovechamiento de estas aguas para el depósito del E.M – 1.

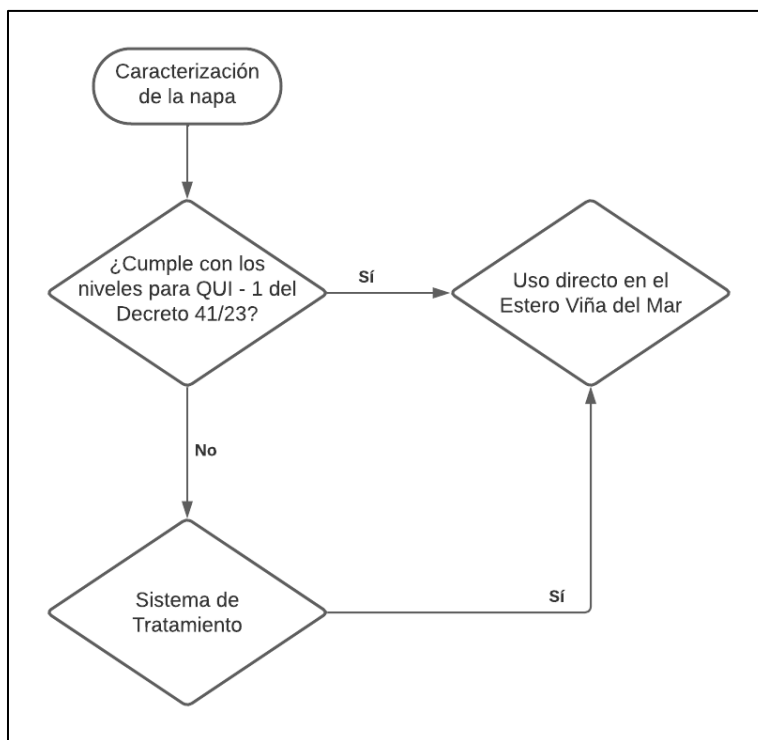


Figura 5.10 Diagrama de la metodología a realizar para depositar el agua subterránea directamente en el Estero de Viña del Mar según las características del QUI – 1 basándose en los niveles establecidos por el Decreto 41/23 (Elaboración propia).

5.2.4.3 Procedimiento de lavado para los vagones del metro EFE Valparaíso

Al igual que para el **Depósito directo en el Estero Viña del Mar**, para que estas aguas se puedan utilizar directamente para el propósito de lavar los vagones, debe cumplir con los niveles estipulados en el Decreto 143/09, y en el caso de no cumplir con estos niveles, se debe realizar un tratamiento previo a su depósito. Para entender este procedimiento, en la **Figura 5.11** está representada el diagrama para el aprovechamiento de estas aguas para el depósito del E.M – 1.

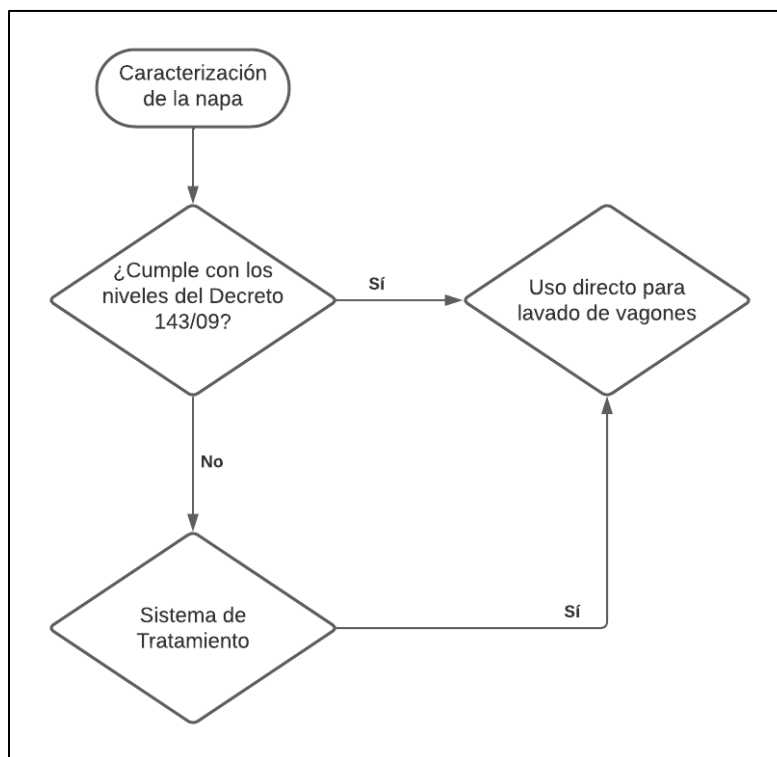


Figura 5.11 Diagrama de la metodología a realizar para utilizar el agua subterránea directamente para lavado de vagones del metro EFE Valparaíso basándose en los niveles establecidos del Decreto 143/09 (Elaboración propia).

5.3 Evaluación económica de la tecnología a emplear para el aprovechamiento las aguas subterráneas.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos mediante la evaluación económica que se realizó mediante las tecnologías, equipos, herramientas, etc., que se proponen utilizar para emplear un mejor aprovechamiento de estas aguas subterráneas.

5.3.1 Selección de la tecnología aplicable

Para realizar la selección de las tecnologías o equipos aplicables, es que se tomó en cuenta las consideraciones para cada alternativa, es decir, el depósito directo en el Estero Viña del Mar y el Procedimiento de lavado de vagones en la estación Belloto. Por otro lado, se obtuvo información relevante para la investigación por parte de la empresa EFE Valparaíso, los cuales son descritos en la **Tabla 5.10**.

Tabla 5.10 Datos relevantes de la empresa EFE Valparaíso (EFE Valparaíso, 2023).

Descripción	Valor	Unidad	
Largo metro-tren	Metro-tren "antiguo"	48	Metros [m]
	Metro-tren "nuevo"	42	Metros [m]
Agua potable utilizada para lavado de vagón	2.000	[L/día]	
Cantidad de metro-tren lavados (por día)	5	-	

5.3.1.1 Depósito Directo en el Estero Viña del Mar

Como se estableció en el inciso **Depósito directo en el Estero Viña del Mar**, se tomaron en cuenta dos áreas de vigilancia según las características de naturales que posee el Estero a la altura de las estaciones del metro, estos siendo Miramar y Viña del Mar para AC – 5 y Hospital y Chorrillos para QUI – 1. En el caso de AC – 5, se consideró depositar las napas desde la estación Miramar, debido a que, entre las dos opciones, esta presenta un mayor caudal, por ende, se debió medir la distancia entre estos dos puntos, que, según el Google Earth, son de aproximadamente 407,5 metros como se puede observar en la **Figura 5.12**, los que, por efectos de curvaturas, se aproximó a 410 metros, es decir, 0,41 kilómetros.

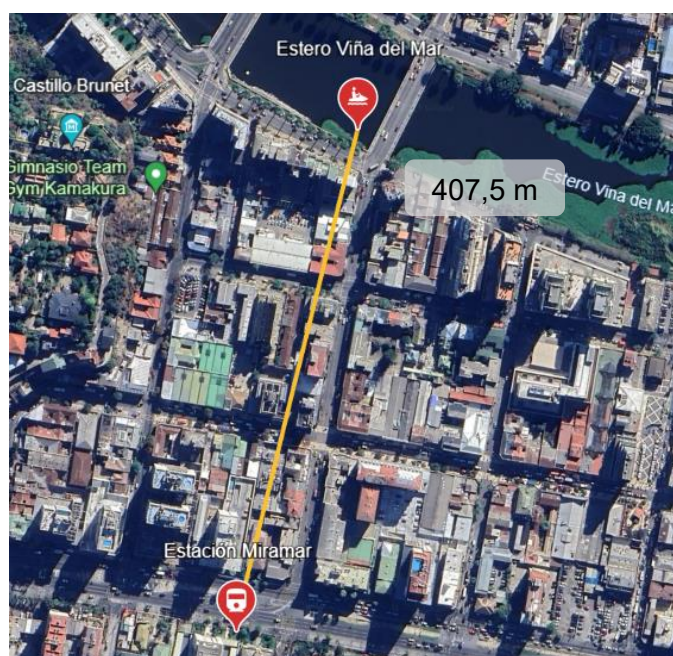


Figura 5.12 Distancia entre la estación Miramar y el Estero Viña del Mar de 407,5 [m] (Elaboración propia).

Por el otro lado, para el caso de QUI – 1 se seleccionó la estación de Hospital para realizar el depósito de las napas, que, al igual que en AC – 5, este presenta un mayor caudal entre las dos opciones. Como se puede observar la **Figura 5.13**, la distancia entre la estación Hospital hacia el Estero Viña del Mar es de 383,6 metros aproximadamente, pero para efectos de ciertas curvaturas, se consideró una distancia total de 385 metros.



Figura 5.13 Distancia entre la estación Hospital y el Estero Viña del Mar de 383,6 [m] (Elaboración propia).

Una vez establecida las distancias, y considerando el proceso de expulsión de las napas subterráneas hacia la superficie en la **Figura 5.2**, es que se pudo establecer que equipos son requeridos para realizar dichas actividades, las cuales se describen a continuación.

Cabe mencionar, que, para ambos casos, se pretende aportar al cauce del Estero de Viña del Mar con 80.000 [L] de agua subterránea o bien 80 [m³] cuando la sentina tenga una capacidad de llenado hasta los 2 [m] de altura (Ver cálculos en **Anexo 4**).

5.3.1.2 Lavado de vagones del metro EFE Valparaíso

La empresa EFE Valparaíso, al día utilizan aproximadamente 2.000 litros de agua potable para proceder con el lavado de 5 trenes, de lunes a sábado, con una duración de aproximadamente 10 minutos cada uno, el cual ocurre en la estación El Belloto de la comuna de Quilpué tal como se observa en la **Figura 5.14**. El pago de la boleta de consumo de agua potable hacia la empresa ESVAL, es mediante el cobro de consumo cliente y no como empresa, por ende, mediante los cálculos realizados en el **Anexo 3**, y considerando que con fecha 9 de diciembre del 2023 el valor del UF es de \$36.608 según el Servicio de Impuestos Internos (SII), se obtuvo que el gasto en lavado de vagones al mes es de 3,23 UF, lo que al año es un gasto de 38,77 UF aproximadamente.

En vista de la distancia, y considerando que se pretende utilizar el sistema de bombeo de la empresa (Ver **Figura 5.2**) desde la estación Miramar, esto debido a que este presenta el caudal más alto en comparación con las otras tres estaciones, es que se tomó en cuenta depositar estas aguas en un camión aljibe para que este se encargue de transportar el agua hacia la estación El Belloto.

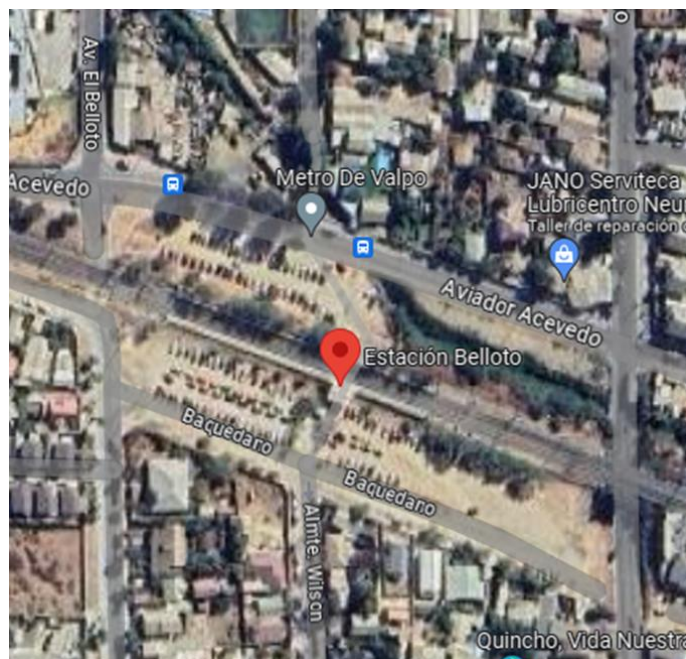


Figura 5.14 Ubicación de la estación Belloto en la comuna de Quilpué (Elaboración propia).

Una vez en la estación, esta agua sería depositada en un tanque de almacenamiento de agua previamente instalada en el sitio. Para que el agua pueda salir del tanque con presión, se consideró instalar una bomba y una manguera para limpiar los vagones adecuadamente, puesto que tomando en cuenta las grandes dimensiones del equipo, no sería muy adecuado instalarlo en altura para que funcione bajo la acción de la gravedad.

Por otro lado, considerando que el volumen de agua depositada en las sentinas es indefinido, esto debido a que su disponibilidad depende de diversos factores, estos ya sean condiciones climáticas, características del Estero de Viña del Mar, entre otros, es que tomaron las dimensiones de las sentinas para poder calcular un estimado de agua subterránea depositada en la sentina de la estación Miramar. No obstante, a pesar de que estas poseen 3 [m] de altura, solo se consideró una altura de [m], obteniendo de esta manera que el agua disponible se encuentra en un volumen de 80 [m³], lo que es equivalente a 80.000 [L] de agua subterránea (Ver **Anexo 4**).

5.3.1.3 Equipos seleccionados

Según los datos entregados por la empresa EFE Valparaíso, es que se seleccionaron equipos y/o maquinarias según los requerimientos de cada actividad propuesta, siendo estos caracterizados, descritos y establecido las cantidades necesarias.

Cabe destacar que, para cada actividad, se le asignó un código de identificación (Ver **Tabla 5.11**) para simplificar la distinción de estas con respecto a los equipos a emplear. Dando un ejemplo, las bombas se utilizan en las tres alternativas seleccionadas.

Tabla 5.11 Códigos de identificación para cada actividad establecida (Elaboración propia).

Alternativa		ID
Depósito directo en el Estero de Viña del Mar	Depósito según AC – 5 (estación Miramar)	DM – 1
	Depósito según QUI – 1 (estación Hospital)	DH - 2
Procedimiento de lavado de vagones de la empresa EFE Valparaíso	Procedimiento de lavado de vagones (estación Belloto)	LV - 3

- **Bombas hidráulicas**

Para el propósito de expulsar esta agua hacia la superficie, es que por parte de la empresa utilizan bombas hidráulicas marca Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50, siendo sus características descritas en la **Tabla 5.12**.

Tabla 5.12 Características de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50 (Ecoaqua, 2023).

Características	Valor	Unidad
Potencia	3	HP
Voltaje	380	V
Amperaje	5,7	Amperes
Frecuencia	50	Hz
Descarga	2 ½"	Pulgadas
Dimensiones	59 x 35 x 54	Centímetros [cm]
Peso	56	Kilogramos [Kg]
Diámetro de paso sólidos	50	Milímetros [mm]



Por otro lado, para limpiar los vagones del metro, se seleccionó una bomba hidráulica con la potencia de utilizar los 2.000 litros de agua para el lavado de un vagón, por lo que se tomó un caudal de 200 [l/min] siendo este calculado en el **Anexo 5**. A partir de este caudal, se seleccionó la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T, siendo sus características descritas en la **Tabla 5.13**.

Tabla 5.13 Características de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T (SEA INGENIERÍA, 2023)

Características	Valor	Unidad
Potencia	2	HP
Voltaje	380	V
Amperaje	4	Amperes
Frecuencia	50	Hz
Conexión (succión y descarga)	3x3	Pulgadas
Altura máxima	14	Metros [m]
Caudal máximo	1000	[L/min]

A continuación, en la **Tabla 5.14**, se establece una descripción de la bomba Pedrollo VORTEX para la expulsión de agua desde el subterráneo, y de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T para el lavado de vagones, junto con su respectivos códigos de identificación (ID) y la cantidad que se requieren.

Tabla 5.14 Descripción de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50 y la bomba REGGIO SCF2 200T junto a su código de identificación y las cantidades requeridas (FlowCenter, 2021).

Imagen de referencia	Descripción	ID	Cantidad
	<p>Estas bombas están elaboradas a base de hierro fundido de gran espesor, con una gran abrasión y duración. Su impulsor es de tipo VORTEX, es decir, que están adaptadas para el drenado de aguas residuales, mixtas con lodo y para líquidos contenedores de gas o aire. Están fabricadas para poder ser instaladas en sitios subterráneos.</p>	DM - 1	3
		DH - 2	3
		LV - 3	3
	<p>La bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T son especializadas en centrifugar grandes caudales a baja presión de descarga, utilizados principalmente para la agricultura, como también para actividades domésticas e industriales. Presentan acoplamiento directo motor-bomba y eje único con un rodete. Además de un impulso en hierro fundido, eje acero inoxidable.</p>	LV - 3	1


- **Cañería**

Las cañerías utilizadas en el subterráneo de las estaciones son de acero galvanizado 4" x 6m de clase A de la ISO R65 debido a que éstas son aptas para el uso del transporte de líquidos desde las bombas hacia la superficie. A continuación, en la **Tabla 5.15** se encuentran las características de este tipo de cañería. Por otro lado, en la **Tabla 5.16** se encuentra establecida su descripción, y el código de identificación de las actividades en donde se utilizarán. Además de las cantidades requeridas para cada una de ellas.

Tabla 5.15 Características de la cañería de acero galvanizado 4" x 6m Clase A ISO R65 (TECNORED, 2023).

Características	Valor	Unidad
Largo	06,00	Metros [m]
Ancho	10,16	Centímetros [cm]
Alto	10,16	Centímetros [cm]
Diámetro	114,3	Milímetros [mm]


Tabla 5.16 Descripción de la cañería de acero galvanizado 4" x 6m Clase A ISO R65 junto a su código de identificación y las cantidades requeridas (TECNORED, 2023).

Imagen de referencia	Descripción	ID	Cantidad
	<p>Estas cañerías son fabricadas de acero con extremos roscados con hilo BSP y poseen un recubrimiento galvánico lo que le permite obtener una alta resistencia contra la corrosión. Generalmente, son utilizadas para el transporte de líquidos.</p>	DM - 1	68
		DH - 2	64
		LV - 3	4

- **Camión Aljibe**

Considerando que se utilizan 2.000 litros de agua al día para lavar los vagones, a la semana utilizan aproximadamente 12.000 litros (lunes – sábado). Por ende, se estableció que el camión aljibe debe contener una capacidad de 15.000 litros para transportar el agua subterránea requerida desde la estación Miramar hacia la estación El Belloto por semana. A continuación, en la **Tabla 5.17** se encuentran su descripción general, su código de identificación y las cantidades requeridas. Para esa maquinaria, no se realizó una descripción de sus principales características, debido a que todas aquellas que fueron cotizadas, poseen distintos valores.

Tabla 5.17 Descripción general de un camión aljibe de 15.000 litros junto a su código de identificación y las cantidades requeridas (PuraMáquina, 2023).

Imagen de referencia	Descripción	ID	Cantidad
	Los camiones aljibes están capacitados para transportar, contenes y mantener líquidos de forma segura y sin mayores complicaciones. Se pueden encontrar desde 5.000 [L] de capacidad hasta los 40.000 [L].	LV - 3	1


- **Tanque de almacenamiento de agua**

Tomando en cuenta que, el agua depositada en esta será de aproximadamente 12.000 litros semanales, es que se escogió un tanque de almacenamiento de agua con capacidad mínima que satisfaga esta necesidad, seleccionando de esta manera, un equipo de 15.000 litros de capacidad. A continuación, en la **Tabla 5.18** se presentan las características generales que poseen estos tanques de agua, y en la **Tabla 5.19**, la descripción del tanque escogido, junto con su código de identificación y su respectiva cantidad requerida.

Tabla 5.18 Características generales de un tanque de agua de 15.000 [l] de capacidad (PURIFICATEC, 2023).

Características	Valor (aproximado)	Unidad
Altura	2,5	Metros [m]
Diámetro	2,4	Milímetros [mm]
Volumen	15.000	Litros [l]
Material	Polietileno	-

Tabla 5.19 Descripción de un tanque de capacidad de 15.000 [l] con su respectivo código de identificación con su respectiva cantidad (PURIFICATEC, 2023).

Imagen de referencia	Descripción	ID	Cantidad
	Los estanques de agua verticales están diseñados para almacenar y mantener líquidos, generalmente de densidad menores o igual a 1. Utilizan colores considerados como protectores de rayos ultravioleta UV, impidiendo la transmisión de luz, evitando procesos fotosensibles, tales como el crecimiento de algas y microorganismos.	LV - 3	1


- **Manguera**

Desde la bomba, va inserto una manguera que tenga conexión de 3" debido a las medidas que posee la bomba seleccionada. El propósito de este será expulsar el agua desde el tanque y la bomba, hacia los vagones para proceder con el lavado de los vagones. Según un artículo de Jerónimo en "Mano a Mano", para una evacuación con las más mínimas pérdidas de presión, es recomendable utilizar una manguera de tubo plano adaptado al diámetro de los conectores de la bomba seleccionada. Además, tomando en cuenta que el metro-tren más largo mide 48 [m], es que, para un proceso de lavado de trenes sin mayores complicaciones, es que se consideró un mínimo de longitud de 80 [m] aproximadamente. A continuación, las características de la manguera seleccionada se encuentran en la **Tabla 5.20**, mientras que su descripción en la **Tabla 5.21**.

Tabla 5.20 Características generales de la manguera plana de 3" marca EDR (HIDROSHOP, 2021).

Características	Valor (aproximado)	Unidad
Material	PVC	-
Diámetro	3	Pulgadas
Marca	EDR	-
Largo	100	Metros [m]
Presión	3	Bar

Tabla 5.21 Descripción de una manguera plana de 3" de conexión, junto su respectivo código de identificación con su respectiva cantidad (HIDROSHOP, 2023).

Imagen de referencia	Descripción	ID	Cantidad
	Las mangueras plana están fabricadas con PVC con un refuerzo firme de hilo de poliéster encapsulado con una cubierta y revestimiento de PVC. Es utilizada generalmente para descargas de agua con baja presión. Es recomendable que no se expongan a temperaturas mayores a 65,5 °C.	LV - 3	1

5.3.2 Evaluación económica

Seguidamente, se llevó a cabo el proceso de evaluación económica mediante la estimación de los costos de los equipos, con el propósito de comparar las distintas alternativas propuestas de aprovechamiento de las aguas subterráneas del túnel Soterrado Salto – Miramar. Este análisis se efectuó utilizando el método de flujo de caja, el valor actual neto (VAN) y finalmente la tasa interna de retorno (TIR).

5.3.2.1 Estimación de costos de los equipos y/o maquinarias seleccionadas

Se realizó un procedimiento de cotización de los equipos y/o materiales requeridos mediante páginas web y por correo electrónico de sucursales (**Ver Anexo 6**) para proseguir con las actividades seleccionadas. En la **Tabla 5.22** se encuentran de manera detallados los precios de cada uno, incluyendo el nombre, dirección de la sucursal y el costo total (UF). En el **Anexo 7**, se presenta la **Tabla 9.4** y en la **Tabla 9.5** los precios de las cotizaciones con mayor detalle considerando el valor total neto y el valor con el IVA incluido, siendo esta última considerada para la comparación entre los precios y seleccionar aquel que represente el menor costo para la empresa los que se encuentran destacados en color. Cabe mencionar que solo fue considerado el costo de la tecnología, y no lo que implica el costo de envío si este fuese necesario.

Tabla 5.22 Detalles de las cotizaciones realizadas para cada equipo y/o maquinaria requerida (Elaboración propia).

Equipo y/o Maquinaria	Proveedor	Costo (UF)
Bomba Sumergible Pedrollo VORTEX modelo PVXC	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: ProService • Dirección: Av. Ventisquero #1204, Bodega 82, Renca, Santiago. 	35,57
Bomba REGGIO SCF2 200T	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Ecoaqua • Dirección: Gabriela Poniente 871 Piso 2, Puente Alto, Santiago. 	14,15
Cañería Acero Galvanizada	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Tecnored • Dirección: Cerro El Plomo 3819, Valparaíso. 	3,63
Camión Aljibe 15.000 Litros	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Económicos El Mercurio • Dirección (web): www. Económicos.cl (La Ligua, Valparaíso) 	655,60
Tanque de agua 15.000 Litros	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Purificatec • Dirección: Lago Brown 1401, San Bernardo, Santiago. 	63,06
Manguera Plana de 3"	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Hidroshop • Dirección (web): www.Hidroshop.cl 	3,60

Se analizó el costo en UF que implicaría emplear los equipos y/o maquinarias seleccionadas por cada actividad propuesta, es decir, que se multiplicó el valor de este por la cantidad requerida para que se emplee la actividad, siendo estos establecidas con anterioridad en la sección de **Equipos seleccionados**. Los resultados de cada uno se encuentran establecidos a continuación en la **Tabla 5.23**.

Tabla 5.23 Costos de los equipos seleccionados según las cotizaciones realizadas con sus respectivas fuentes.

Equipo	Costo (UF)	ID Actividad	Cantidad	Costo (UF)
Bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50	35,57	DM - 1	3	106,71 *
		DH - 2	3	106,71 *
		LV - 3	3	106,71 *
Bomba centrífuga REFFIO SCF2 200T	14,15	LV - 3	1	14,15
Cañería de acero galvanizado 4" x 6m de clase A ISO R65	3,63	DM - 1	68	246,84 - 14, 52 232,32 **
		DH - 2	64	232,32 - 14,52 217,8 **
		LV - 3	4	14,52 *
Camión aljibe 15.000 litros	655,60	LV - 3	1	655,60
Tanque de agua 15.000 litros ECOTANK	63,06	LV - 3	1	63,06
Manguera Plana EDR	3,60	LV - 3	1	3,60

*hace referencia a que estos equipos ya son implementados y utilizados por la empresa, por lo cual, no se consideran como inversión.

** hacer referencia a que al primer valor se le rebajó por la cantidad de cañerías que en la actualidad ya se emplean por empresa EFE Valparaíso para la respectiva actividad, siendo estos 4 (14,52UF), por ende, el valor real de la inversión es la resta.

Para realizar una comparación de costos entre cada actividad, se establecieron los costos totales a invertir en cada una de ellas, siendo estos establecidos con anterioridad en **Tabla 5.23**. En la **Tabla 5.24**, se puede observar que, de las tres actividades propuestas, la que conlleva una mayor inversión en costo es el lavado de vagones con un total de 736,41 UF. Las actividades restantes, poseen un menor costo debido a que no se consideraron los valores de las bombas a utilizar, ni el costo total de las cañerías (Ver **Tabla 5.23**), por ende, obtuvieron un total de 232,32 UF para DM - 1 y 217,80 UF para DH - 2.

Tabla 5.24 Costo total de inversión para cada actividad (Elaboración propia).

ID Actividad	Costo equipo y/o maquinaria (UF)	Costo Total (UF)
DM - 1	232,32	232,32
DH - 2	217,80	217,80
LV - 3	14,15	736,41
	655,60	
	63,06	
	3,60	

5.3.2.2 Estimación de costos de mano de obra

Con respecto a la mano de obra, se consideraron solamente dos para la actividad LV – 3; es decir, para el lavado de vagones, el cual sería el conductor del camión aljibe, quién operaría una vez por semana, y el encargado de instalar los equipos en la Estación Belloto, quién operaría solo una oportunidad. Para el caso del operador del camión aljibe se estableció un pago diario de 1,10 UF, por lo que mensualmente tendría un sueldo de 4,37 UF. En cambio, para el operador de las instalaciones, sería un pagó único de 2,46 UF.

Con respecto a las actividades DM -1 y DH- 2, no se consideró contratar un mano de obra extra, debido a que estas funciones ya son operadas en la actualidad por la empresa EFE Valparaíso.

5.3.2.3 Flujo de caja

En vista de la limitada cantidad de datos que presenta el proyecto, es que se decidió elaborar solamente un flujo de caja correspondiente a la actividad LV – 3, es decir, para el procedimiento de lavado de vagones del metro EFE Valparaíso. Para esto, se tomó en cuenta que el ingreso a la empresa es el ahorro del pago de la boleta de la cuenta de agua potable, siendo este un total de 38,77 UF. Los egresos de la empresa corresponden a los sueldos de la mano obra, siendo estos 1,37 UF en el año 0 para el personal encargado de instalar los equipos en la Estación El Belloto, y, por otro lado, a partir del año 1 se consideró un gasto de 52,45 UF anual correspondiente al pago del personal encargado de conducir el camión aljibe. Por otro lado, la inversión inicial del proyecto se consideró un total de 722,26 UF, siendo este la resta entre el total de las maquinarias a utilizar en la actividad LV – 3 y el total de las cañerías, debido a que éstas ya son consideradas en la actualidad dentro de la empresa EFE Valparaíso.

Además, se tomó en cuenta la depreciación de los equipos y/o maquinarias que se emplearían en la respectiva actividad utilizando el método de depreciación lineal, el cual consiste en dividir el costo del equipo por sus años de vida útil correspondientes **Ecuación 3**. Este último dato, se obtuvo mediante la “Tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado” perteneciente al Servicio de Impuestos Internos (SII) según la Resolución N°43 del 2002, actualizada con fecha el 01-01-2023. Los años de vida útil obtenidos para cada máquina está presentada en la **Tabla 5.25**.

Tabla 5.25 Vida útil de los activos físicos (SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS, 2023).

Equipo y/o maquinaria	Vida útil	Categoría SII
Camión aljibe	7 años	A.- ACTIVOS GENÉRICOS 9) Camiones de uso general
Bomba de agua	20 años	G.- ACTIVIDAD DE LA AGRICULTURA 34) c) Bomba elevadora de agua
Tanque de agua	10 años	A.- ACTIVOS GENÉRICOS 24) Estanques

Para obtener la depreciación anual total, es que en primera instancia se calculó la depreciación anual por cada uno de los equipos para un periodo de 7 años. Cabe mencionar, que se consideró un periodo de siete años, tanto para obtener la depreciación como para el flujo de caja, debido a que se tomó la menor vida útil de entre todas las maquinarias a emplear, siendo este el camión aljibe. Una vez obtenido este valor, se sumaron todos los resultados de las depreciaciones con el objetivo de obtener la depreciación anual de todos los equipos y/o maquinarias.

Para esto, es que tomó en cuenta el camión aljibe, la bomba de agua y el tanque de agua, siendo discriminada la cañería debido a que esta ya se encuentra en operación y no sería inversión para la empresa. En la **Tabla 5.26**, se obtuvo que el valor de la depreciación anual para el camión aljibe fue de 93,66 UF, en cambio para la bomba de agua y para el tanque de agua fue de 0,71 UF y de 6,31 UF respectivamente. De manera anual, la depreciación total fue de 100,68 UF. El procedimiento de obtención de estos resultados, están expresados en el **Anexo 8**.

Tabla 5.26 Resultados de la depreciación anual para cada equipo y para cada año (Elaboración propia).

Año	DEPRECIACIÓN ANUAL (UF)						
	1	2	3	4	5	6	7
Camión aljibe	93,66	93,66	93,66	93,66	93,66	93,66	93,66
Bomba de agua	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Tanque de agua	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31	6,31
Total depreciación	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68

Una vez adquirido estos datos, se procedió a realizar los cálculos correspondientes al flujo de caja, obteniendo como resultado -13,68 desde el año 1 hasta el año 7 expresado de manera negativa tal como se puede apreciar en la **Tabla 5.27**. Este dato lleva por significado que los gastos de la empresa son mayores a los ingresos generados, por ende, se puede concluir que el proyecto no es factible para la empresa EFE Valparaíso.

Dado que los montos están expresados en Unidad de Fomento (F) reajustado hasta la fecha del 9 de diciembre del 2023, se determinó mantener sin variaciones el salario del operador del camión aljibe a lo largo de los siete años que contempla el flujo de caja.

En virtud de la indisponibilidad de la información con respecto a la capital de trabajo que debiese ser proporcionada por la empresa EFE Valparaíso, se ha optado por no considerar este dato para los cálculos del flujo de caja. Además, se consideró inapropiado realizar una estimación de este factor en el presente caso, debido a que los resultados podrían ser poco realistas.

Por otro lado, los costos variables, específicamente relacionado con la mantención de la bomba de agua, no fueron incorporados en el análisis del flujo de caja. Lo anterior se puede justificar considerando que la vida útil de este equipo excede el periodo contemplado por el flujo de caja, razón por la cual no se estimaron dichos costos.

Tabla 5.27 Flujo de caja para la propuesta de lavado de vagones del metro EFE Valparaíso (Elaboración propia).

Año	FLUJO DE AGUA (UF)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
INGRESOS								
Ahorro		38,77	38,77	38,77	38,77	38,77	38,77	38,77
EGRESOS								
Costos fijos	1,37	52,45	52,45	52,45	52,45	52,45	52,45	52,45
Depreciación		100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68
R° DEL EJERCICIO		-114,35	-114,35	-114,35	-114,35	-114,35	-114,35	-114,35
Inversión inicial	722,26							
Depreciación		100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68	100,68
FLUJO DE CAJA	-722,26	-13,68	-13,68	-13,68	-13,68	-13,68	-13,68	-13,68

5.3.2.4 VAN y TIR

Al ser una empresa del Estado, se consideró la tasa de descuento social para obtener la VAN, siendo este un 6% según el Ministerio de Desarrollo Social y Familia en su Informe de Precios Sociales 2023, sin embargo, como se mencionó en el inciso **VAN y TIR** del capítulo de Metodología, se consideró un 8% para no obtener ganancias negativas, dando como resultado 799,98 UF expresado de manera negativa, lo que confirma que el proyecto no es rentable para la empresa.

Por otro lado, analizando los resultados de la VAN, no se calculó el porcentaje de TIR, debido a que este sería un resultado extremadamente bajo, por ende, se rechaza la inversión ya que no sería viable para la empresa.

6. Discusión

Comenzando por una perspectiva jurídica, Chile a pesar de ser un país que presenta una abundancia hídrica en cualquiera de sus fases, suscita el interés que en la actualidad se enfrenta una notoria escasez de cuerpo legal con respecto a las aguas subterráneas, esto enfocado tanto para la calidad y características de estas como también para su gestión y aprovechamiento. Es por esto mismo, que Gabriela Lucero (2021) en su artículo “*Las aguas subterráneas chilenas, un secreto por revelar*” plantea sobre el arduo esfuerzo que deben realizar las autoridades para elaborar normativas acorde con las características geológicas del país, puesto que estas son tan diversas en todo el territorio nacional, tomando en cuenta los factores climáticos, antrópicos, entre otros, y de esta manera establecer una reflexión sobre las opciones que se tiene para darle solución. Por otro lado, comparando esta situación a nivel internacional, la situación en la mayoría de los países con respecto a las normativas de este recurso hídrico no es muy lejano a lo que se observa dentro el territorio nacional, puesto que, en base a lo estipulado por Eduardo Baeza (2020) en su asesoría técnica parlamentaria titulado como “*Importancia de las aguas subterráneas y experiencias chilenas y extranjera sobre su gestión*”, se pudo comprender que principalmente se está enfocado hacia lo que es la gestión, manejo y derecho de aprovechamiento de las aguas subterráneas, al igual que el Código de Aguas. Y si bien, son instrumentos que tienen por objetivo regular su disponibilidad, debido al incremento de las temperaturas, a la disminución de las precipitaciones y al sobreexplotación de las napas, se han estado desapareciendo de manera paulatina, lo que ha despertado la preocupación de las autoridades en la mayoría de los países como Estados Unidos, Brasil y Canadá, provocando la actualización y mejoramiento de sus instrumentos legales con respecto al aprovechamiento de las aguas subterráneas adaptándose a las condiciones actuales. Además, organizaciones como la ONU y la WWF se han comprometido a monitorear cuencas hidrográficas con tecnologías de última generación con el propósito de obtener información al instante de los estados actuales de los acuíferos en gran parte del territorio norteamericano.

Continuando con la situación nacional, durante el desarrollo de este informe se logró analizar que, a pesar de no poseer normativas asociadas a la calidad de las aguas subterráneas, Chile presenta normas primarias y secundarias de calidad ambiental para aguas superficiales enfocados a ciertos cuerpos lénticos y lóticos según el artículo 32° de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, y considerando que las aguas subterráneas son infiltraciones de éstas mismas, es que se pudo asociar la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua para comparar la calidad de las aguas subterráneas ubicadas en el túnel Soterrado Salto – Miramar debido a las características similares del territorio. No obstante, al ser normas enfocadas en las aguas superficiales, no contemplan las posibles infiltraciones de contaminantes que se pueden depositar en las napas mediante el suelo, y en vista de que estas aguas se encuentran ubicadas en una zona de alta manipulación humana, debido a las construcciones y operaciones de la empresa EFE Valparaíso, existe una alta probabilidad de que estas aguas se encuentren con un grado de alteración en su

composición natural, tomando en cuenta los aceites, lubricantes, y entre otros líquidos residuales que se utilizan en su cercanía. Dentro de este contexto, es que se tomó en consideración para la selección de normativas atingentes, la norma de emisión del Decreto 90/2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia el cual “Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales”, sin embargo, este fue descartado por su artículo 1°; punto 3.6, el cual define la descarga de residuos líquidos como *“la evacuación o vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora”*, y considerando que la empresa EFE Valparaíso no emplea estas aguas subterráneas en el desarrollo de sus actividades, es que se descartó esta opción mediante el criterio de rubro.

En base a lo anterior, es que la participación de las empresas e instituciones vinculadas con los análisis previos a estas aguas subterráneas era de gran importancia, debido a que se esperaba obtener los resultados de sus mediciones con el objetivo de realizar una comparación con respecto a los niveles estipulados en las normativas seleccionadas, sin embargo, su escasa respuesta no contribuyó de manera positiva a la ejecución de los resultados deseados. Este procedimiento afectó al segundo objetivo, puesto que se esperaba comparar los valores de las mediciones con los niveles establecidos por los decretos establecido en el presente proyecto. Y si bien por parte de la empresa EFE Valparaíso tuvo la disposición de entregar muestras de agua, estas solamente fueron de dos estaciones, siendo estas la de Chorrillos y Miramar. Además, debido a las limitaciones de instrumentos de laboratorios, solo fue posible medir seis parámetros, y tomando en cuenta la cantidad de muestras de agua, se estableció que estos resultados no fueron representativos como para lograr realizar una comparación con los parámetros normados por los decretos seleccionados.

Mediante un análisis acerca de los resultados del segundo objetivo, es posible afirmar que la metodología propuesta para este no resultó ser la más adecuada, esto debido a que, para alcanzar los resultados esperados, es decir, los resultados de las mediciones de estas aguas subterráneas, se dependió en gran parte de la intervención de terceros. No obstante, de manera complementaria, se recomendaría tomar muestras integradas, es decir, muestras puntuales tomadas al mismo tiempo en cada estación del túnel Soterrado Salto - Miramar en periodos distintos, principalmente en verano e invierno, puesto que las concentraciones y caudales pueden diferir dependiendo de la época. A partir de estas muestras, obtener las mediciones de los elementos y/o parámetros establecidos por el Decreto 143/2009 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y del Decreto 41/2023 del Ministerio del Medio Ambiente con el fin de optar por las propuestas establecidas en el presente informe.

Por otro lado, mencionar, que los datos entregados por la empresa sobre la correntía de las aguas subterráneas dentro de la contención en el túnel Soterrado Salto – Miramar, estos ya sea volumen y tiempo, fueron establecidas en el año 2021 y no han sido actualizadas a la fecha. Es por esto, que se destaca la importancia del monitoreo constante de este recurso debido a los cambios climáticos, esto tomando en cuenta que el presente año estuvo

marcado por las altas precipitaciones, alcanzando un total de 304,90 mm en Valparaíso según lo estipula el Informe Pluviométrico de Valparaíso de la DIRECTEMAR, doblando la cantidad caída en el año 2021 con 152,5 [mm], por lo que el Estero de Viña del Mar presentó una mayor acumulación de agua, debido a que, como se menciona en el informe de Silvana Díaz (2017) en “Pronóstico de crecidas y niveles de agua en estero Marga – Marga, sector Viña del Mar”, este cauce existe debido a la actividad pluvial.

Cabe señalar que, a pesar de realizar un procedimiento de búsqueda bibliográfica entre informes, artículos, investigaciones, papers, entre otros, se destaca el hecho de no encontrar un tema que se le asemeje al objetivo de aprovechar el agua subterránea, como lo es la propuesta de lavar los vagones de la empresa EFE Valparaíso. Por ende, se podría afirmar que, a pesar de que la población y las autoridades se encuentran en estado de preocupación por las condiciones del cambio climático, la temática de utilizar las aguas subterráneas de manera sustentable aún se encuentra en una etapa incipiente, pero que no deja de ser una opción viable para combatir la escasez hídrica. Tal como lo plantea Eduardo Baeza, analizando la gestión de este recurso a nivel internacional, en donde deja en evidencia la falta de gestión y monitoreo de las aguas subterráneas, sin embargo, existen países como Inglaterra que en la actualidad las emplean para uso público.

Sin embargo, tomando en consideración la propuesta de depositar estas aguas al Estero Viña del Mar contribuyendo principalmente con la conservación de esta como servicio ecosistémico, es que se encontró el informe “Parque Estero Marga - Marga, Intervención de recuperación del cauce puente Ecuador a Puente Quillota” elaborado por Valentina Urrea (2022) en donde uno de sus objetivos plantea “la revitalización y rehabilitación del cauce y de los bordes para que sea atractivo tanto para residentes como para turistas” mediante la propuesta de recuperar el cauce ecológico a través de la recanalización y saneamiento de los colectores de aguas presente en el puente Quillota, esto con la finalidad de “recuperar los servicios ecosistémicos que el estero le entrega a la ciudad”. En base a este proyecto y realizando un comparación con las propuestas establecidas entre DM – 1 y DH – 2, es que la opción más factible sería el depósito de las aguas frente a la estación Miramar, esto debido a que, según Urrea, es en el sector sur en donde hay mayor probabilidad de que la rehabilitación del Estero tenga éxito. Lo anterior, se justifica ya que la zona de la desembocadura del estero se considera como la zona que presenta menos alteración por las actividades antrópicas, estos ya sean por la pavimentación de los suelos para utilizarlos de estacionamiento o para la ubicación de la feria libre de la comuna como también por los microbasurales, lo que implica mayor abundancia de biodiversidad en el sector sur.

Por último, realizando un análisis a la evaluación económica, este se elaboró prácticamente mediante un proceso de cotizaciones de los principales equipos y/o maquinarias que se debieran emplear para que estas dos actividades se ejecuten correctamente. Debido a los limitados datos de la empresa, es que sólo le pudo elaborar un flujo de caja con valores estimados durante el desarrollo de este informe, no logrando la finalidad del objetivo tres, que era realizar una comparación de los flujos de caja de las tres opciones estipuladas y analizar aquella que sea más factible de ejecutar para la empresa EFE Valparaíso. El resultado del flujo de caja, incluyendo la VAN y la TIR, fue que el proyecto no es rentable ni

viable para la empresa, debido a que se obtuvieron valores negativos, y esto puede ser producto de varios factores. Una opción es por la falta de información con respecto a lo que la empresa esté apta a aportar para el proyecto, como lo pudo ser la capital de trabajo, utilidad, impuestos, entre otros. Otra opción, sería los valores utilizados en el desarrollo de este informe, como lo fue la cantidad de agua subterránea a utilizar o las estimaciones de ahorro monetario por el lavado de vagones. Además, mencionar, que para la tasa de descuento fue considerado un 6%, que es la utilizada por las empresas del Estado.

7. Conclusión

En primer lugar, se plantearon dos posibles actividades en los que se podrían emplear estas aguas subterráneas para ser aprovechadas de mejor manera, siendo estas ser depositadas directamente en el Estero Viña del Mar o ser utilizadas por la misma empresa EFE Valparaíso en su sistema de lavado de vagones. Con respecto a la identificación de normativas aplicables se tomaron en consideración 255 leyes, normativas, decretos, entre otras herramientas legales que son vinculantes con el medio ambiente, los cuales reducidos a una cantidad de 89 debido a la búsqueda bibliográfica sobre la normativa ambiental aplicable del SEIA. De estos 89 cuerpos legales, se consideraron aquellas que tengan relación con las normativas de calidad debido al objetivo de lograr obtener la calidad que poseen las aguas subterráneas para emplearlas de manera adecuada y sin afectación a la salud humana ni al ecosistema. Una vez realizado este filtro, finalmente se obtuvieron 20 normativas de calidad, entre ellas primarias y secundarias. Para estas 20 normativas, se realizó la discriminación de estos mediante dos principales criterios de aplicabilidad los que fueron por rubro y por localización. Por rubro se pudieron discriminar 11 normativas de calidad, siendo en su mayoría normativas asociadas a la calidad de aire. Una vez realizado este filtro, se discriminaron las normativas que podrían ser aplicables mediante el criterio de la localización, logrando la discriminación de siete normativas. Finalmente, se identificaron dos normativas aplicables, siendo en primer lugar el Decreto 41/23 el cual *“Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua”*, la cual fue seleccionada mediante el criterio de localización debido a que esta normativa toma en cuenta el Estero Quilpué (parte fundamental del Estero Viña del Mar) y por sus características similares a la desembocadura de esta misma, por ende, se estableció que esta normativa estaría asociada para el depósito directo en el Estero Viña del Mar con el fin de asegurar que la calidad del agua subterránea no comprometa las características y calidad del ecosistema. Por el otro lado, se identificó el Decreto 143/09 el cual *“Establece Normas De Calidad Primaria Para Las Aguas Continentales Superficiales Aptas Para Actividades De Recreación Con Contacto Directo”* mediante el criterio de rubro, esto debido a que, al ser una norma de calidad primaria, es aplicable para todo el territorio nacional. Al ser una norma primaria, su principal objetivo es velar por la seguridad y salud humana, por ende, esta normativa fue asociada hacia el sistema de lavado de vagones debido a la interacción del o los encargados de utilizar los equipos, ya que existe una alta probabilidad de que se esté en contacto con el agua subterránea, por ende, se debe asegurar que la calidad sea apta.

Con respecto al segundo objetivo, no se logró obtener los resultados de los análisis realizados por las empresas e instituciones de ESVAL, SISS y la Municipalidad de Viña del Mar debido a su escasa respuesta. Por otro lado, se pudieron obtener muestras de agua subterránea de las estaciones de Chorrillo y Miramar, de las cuales se tomaron mediciones *in vitro* obteniendo los siguientes resultados:

• Chorrillos

pH: 7,64
Temperatura [°C]: 19
Conductividad eléctrica [mS]: 0,99
Sólidos disueltos [ppm]: 0,50
Zinc [mg/l]: 0,03
Cobre [mg/l]: 0,02

• Miramar

pH: 8,04
Temperatura [°C]: 18,8
Conductividad eléctrica [mS]: 1,01
Sólidos disueltos [ppm]: 0,50
Zinc [mg/l]: 0,0
Cobre [mg/l]: 0,0

Si bien la cantidad de parámetros obtenidos no fueron considerados como representativos para tomar una decisión con respecto a la calidad de estas aguas subterráneas, se puede destacar que los valores mediante la actividad *in vitro* estaban dentro de los límites establecidos por las normativas seleccionadas. Además, cabe mencionar que el agua presenta una coloración prácticamente transparente, y sin evidencia de sólidos suspendidos que contaminen o alteren la calidad del agua subterránea.

Por otro lado, mediante la obtención de datos proporcionados por la empresa EFE Valparaíso, se logró calcular el caudal de las correntías de las aguas subterráneas dentro del túnel Soterrado Salto – Miramar siendo estas 0,95 [l/s] para la estación Chorrillos, 1,66 [l/s] para la estación Hospital, 2,34 [l/s] para la estación Viña del Mar y 3,26 [l/s] para la estación Miramar. Se puede observar que a medida que el túnel va en dirección hacia el mar, el valor del caudal va aumentando, lo que se justifica debido a las distintas profundidades en la que se encuentran las estaciones del Metro, ya que, la estación Chorrillo está a 12 [m], Hospital a 14 [m], Viña del Mar a 16 [m] y Miramar [18], por ende, en esta última estación, la acumulación de estas napas es mayor.

Con respecto a las propuestas establecidas, ya sea el depósito de agua subterránea en el Estero Viña del Mar como el lavado de trenes, es que, mediante las dimensiones de las sentinas y considerando una altura de llenado de 2 [m], se pudo obtener que el depósito de agua subterránea en los túneles es de aproximadamente 80 [m³] o de 80.000 [L], siendo esta la cantidad que se recircularía al estero. No obstante, para el caso de lavado de vagones, se consideró el hecho de que al día se utilizan 2.000 [L], por lo que, en un horario de trabajo de lunes a sábado, utilizarían 12.000 [L] de agua a la semana. Para cada actividad propuesta, se analizó los principales equipos y/o maquinarias que se debieran emplear para el correcto funcionamiento de estas, siendo para el depósito en el estero una bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC 30/50 y cañerías de acero galvanizado 4" x 6m Clase A ISO R65, destacando que la empresa EFE en la actualidad ya utilizan estos equipos, por lo que no se consideraron por completo como una inversión. Por el otro lado, estos mismo equipos fueron seleccionado para el procedimiento de lavado de vagones, agregando una bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T, un camión aljibe de capacidad e 15.000 [L], un tanque de almacenamiento de agua de 15.000 [L] y finalmente una manguera con conexión de 3".

Debido a la inversión extra que se debe realizar para el sistema de lavado de vagones utilizando las aguas subterráneas, es que, mediante un proceso de cotizaciones de equipos y maquinarias, se pudo concluir que, para llevar a cabo esta actividad, se requiere de un

costo de inversión más elevado que las otras dos opciones, con un total de 736,41 UF en comparación con los 232,32 UF para DM – 1 y los 217,80 UF correspondiente a DH – 2. Además, mediante la elaboración de un flujo de caja con un periodo de siete años, dando como resultado 13,68 UF expresado en negativo desde el año 1, confirma que esta opción no es factible para la empresa, lo que se justifica ya que como ingresos solo se consideró el ahorro que tendría la empresa al no pagar los servicios de agua potable a ESVAL, siendo este un estimado de 38,77 UF anual, en contraste con los 52,45 UF que se gastaría en la mano de obra en el camión aljibe. En base a esto, cabe la posibilidad de, que en vez de adquirir el camión aljibe, se pague un arriendo mensual de este, lo que disminuiría la inversión de la empresa y podría tener resultados positivos, puesto que mayor valor en la inversión de la empresa sería la compra de esta maquinaria. Ahora, comparando las cotizaciones entre el depósito en Miramar y el depósito en Hospital, la mejor opción económica sería realizar la actividad de LH – 2 debido a que las distancias de esta estación con respecto al estero, es menor que en LM – 1, por lo que se tendría que invertir menos en cañerías. Sin embargo, y tomando en cuenta el objetivo de contribuir con la conservación del Estero Viña del Mar como servicio ecosistémico, tendría más factibilidad que funcione en la Estación Miramar, puesto que, en la zona frente a la Estación Hospital se encuentra con mayor alteración antrópica, por lo que el agua podría escurrir con más facilidad y no tener los resultados esperados. En cambio, en Miramar, se le estaría dando un valor paisajístico mayor, contribuyendo con la coexistencia de la biodiversidad de la zona, y aumentando el cauce hacia la desembocadura del estero hacia el mar, beneficiando así la función de corredor biológico del Estero Viña del Mar. No obstante, en estas dos opciones cabe la posibilidad de que un porcentaje de estas aguas depositadas en el estero se vuelvan a infiltrar hacia el túnel, por ende, desde la mirada de la empresa EFE Valparaíso, esta acción de depositar las aguas subterráneas en el Estero de Viña del Mar, podría no ser conveniente.

8. Bibliografía

20minutos. (2015). *Bangkok se hunde de 10 a 20 milímetros al año y, en menos de 50, podría desaparecer*. Obtenido de <https://www.20minutos.es/noticia/2560101/0/bangkok-capital-tailandia/hundimiento-suelo/ciudad-sumergida/>

Abisaí Aragón, J. R. (2022). *Agua subterránea en Norteamérica, un caso de estudio: riesgo de contaminación y uso de los manantiales en San Simón Almolongo, Oaxaca, México*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-35502022000100014#:~:text=A%20diferencia%20de%20M%C3%A9xico%2C%20en,tiende%20a%20estar%20f%C3%A1cilmente%20disponible.

Academy, K. (2017). *El ciclo del agua*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-water-cycle>

Alberto Valdivielso. (2020). *¿Qué son las aguas subterráneas?* Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-subterraneas>

Alvarado, R. (2022). *Chile lidera la crisis hídrica en América Latina*. Obtenido de <https://fau.uchile.cl/noticias/184761/chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina>

Arcadis. (2001). *Estudio de impacto ambiental interconexión vial Valparaíso - Viña del Mar*.

Azcoiti, J. F. (2019). *Las aguas subterráneas en la legislación iberoamericana: Retos y oportunidades*. Instituto Geológico y Minero de España.

Baeza, E. (2016). *Calidad del agua*. Obtenido de <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>

Baeza, E. (2020). *Importancia de las aguas subterráneas y experiencias chilena y extranjera sobre su gestión*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/28611/1/Informe_Gestion_Aguas_Subterraneas.pdf

Barnett, C. (2022). *La crisis del agua en Europa es mucho peor de lo que pensábamos*. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/12/la-crisis-del-agua-en-europa-es-mucho-peor-de-lo-que-pensabamos>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2020). *Hidrografía región de Valparaíso*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/hidrografia.htm>

Caballero, N. (2018). *Agua, lupanares y el hundimiento de Bangkok*. Obtenido de <https://efeverde.com/agua-lupanares-y-el-hundimiento-literal-de-bangkok/>

Caldes, G. (2017). *Las pérdidas de agua, un tema pendiente. Se resuelve con gestión y uso de tecnologías*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/gabriel-caldes/disminucion-perdidas-agua-no-es-problema-tecnico-es-gestion-y-gobernanza>

Camaño, E., Maqueda, J., Rollano, E., & Oyarzún, J. (2003). *Régimen de Gestión Ambiental de Aguas*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25688-81032/texto>

Camila Cárdenas & Valentina Veloso. (2021). *Crisis hídrica en Chile*. Obtenido de https://freemet.cl/blogs/noticias/crisis-hidrica-en-chile?gclid=EALalQobChMI2YWK_NG2_gIVAuFcCh18bAOYEAMYAAAEgLCEvD_BwE

Camilloni, C. V. (2007). *El ciclo del agua*. Obtenido de <https://sanbenildo.cl/wp-content/uploads/2020/06/GUIA-DE-APOYO-CICLO-DEL-AGUA-IV-Medio.pdf>

Chile, E. T. (2020). *Tren Limache-Puerto - Servicio y Trazado*. Obtenido de <https://www.efe.cl/nuestros-servicios/limache-puerto/servicio-y-trazado/>

Chile, E. T. (2021). *Política de Sostenibilidad* .

Circular, P. (2019). *El 60% de escasez de agua en Chile es causada por una mala gestión del recurso, aumento de demanda y el sobreotorgamiento de derechos* . Obtenido de <https://escenarioshidricos.cl/eh-2030-en-la-prensa/escasez-de-agua-causada-por-mala-gestion/>

Cortés, E. (2021). *Evaluación de tecnologías para la reducción en el consumo de agua en la subcuenta del río Illapel*.

DGA. (2016). *DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO*. Santiago: Gobierno de Chile.

DGA. (2017). *Inventario Nacional de Acuíferos*.

DGA. (2020). *Escasez Hídrica en la Región de Valparaíso*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=677>

DGA. (2022). *Escasez Hídrica para el 47,5% de la población*. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=835>

DGA. (2023). *Decretos declaración zona de escasez vigentes*. Obtenido de https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursos_hidricos/decretosZonasEscasez/Paginas/default.aspx

Díaz, S. (2017). *Pronóstico de crecidas y niveles de agua en Estero Marga - Marga, sector Viña del Mar*.

Dinamarca, C. C. (2013). *Cambio Climático: Riesgo de inundación en el Estero Marga Marga, Viña del Mar, Chile*.

División de Normas del Instituto Nacional de Normalización. (1998). *Calidad del agua - Muestreo - Parte 11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas*. Santiago.

Ecoaqua. (2023). *Pedrollo PVXC 30/50*. Obtenido de <https://ecoaqua.cl/producto/pedrollo-pvxc-30-50/>

EFE. (2005). *Empresas Filiales y Coligadas Merval*. Obtenido de <https://web.archive.org/web/20050404015232/http://www.efec.cl/html/filiales/merval.php>

EFE Chile. (2023). *Historia EFE Chile*. Obtenido de <https://www.efec.cl/corporativo/historia/>

EFE Chile. (2023). *Misión-Visión-Valores*. Obtenido de <https://www.efec.cl/corporativo/mision-vision-valores/>

EFE trenes de Chile. (2021). *Políticas del medioambiente*.

elDiario.es. (2018). *La mitad de la línea 12 de Metro se vuelve a cerrar en verano por problemas en la infraestructura*.

Fundación, A. (2023). *Conferencia de la ONU sobre el agua de 2023*. Obtenido de https://www.fundacionaquae.org/conferencia-onu-agua-2023/amp/?gclid=Cj0KCQjw3JanBhCPARIsAJpXTx50BBJW8Jdl13fXJvZSFEOYQSUclCHfg4UsF8MR-0qvy5esexAFA8oaAgvLEALw_wcB

GOB Gobierno de Chile. (2023). *O cuidamos el agua o nos quedamos sin ella*. Obtenido de <https://www.gob.cl/plansequia/>

Gómez, E. B. (2018). *Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema*. BCN Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Gómez, J. L. (2015). *Inversión pública en temas hídricos en la Quinta Región de Valparaíso*.

Gómez, S. D. (2017). *Pronóstico de crecidas y niveles de agua en Estero Marga-Marga, Sector Viña del Mar*.

González, R. (2022). *Diseño de humedales construidos para el control de crecidas en la cuenca del Estero Marga - Marga, Región de Valparaíso, Chile*.

Hernández, L. (2015). *Los impactor ambientales del ferrocarril*. Obtenido de <https://www.trenvista.net/a-fondo/los-impactos-ambientales-del-ferrocarril/>

Infinita. (2022). *Valparaíso vive la peor sequía de su historia: Informe de Esval revela un déficit de agua del 75%*. Obtenido de <https://www.infinita.cl/noticias/2022/02/08/valparaiso-vive-la-peor-sequia-de-su-historia-informe-de-esval-revela-un-deficit-de-agua-del-75.html>

Lucero, G. (2021). *Las aguas subterráneas chilenas, un secreto por revelar*. Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/agua/aguas-subterraneeas-chile-secreto-revelar/>

Martínez, F. G. (2018). *OPINIÓN: ¿Qué tanto perjudica al ecosistema la construcción de ferrocarriles?* Obtenido de <https://expansion.mx/opinion/2018/11/10/opinion-que-tanto-perjudica-al-ecosistema-la-construccion-de-ferrocarriles>

Matas, A. (2018). *Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412018000100038

Michelle Vásconez et. al. . (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana.

Ministerio de Agricultura. (06 de Mayo de 2023). *Acuíferos*. Obtenido de <https://www.cnr.gob.cl/agricultores/infraestructura/infraestructura/acuiferos/>

Ministerio de Justicia. (2022). *Fija texto del código de aguas*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5605>

Ministerio de Obras Públicas . (2022). *Aprueba reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas*.

Ministerio de Obras Públicas. (1998). *Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=121486&idParte=0>

Ministerio de Obras Públicas. (2020). *Mapa Hidrogeológico*. Santiago: República de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2013). *Aprueba Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053036>

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Normas de Calidad*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listado_n_sel?_grupo_aporte=&sub=514&agr=1020&comp=&npagina=3&itemspornpagina=10&totalitems=21&tipoviene=4

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). *Normas de Emisión*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listado_n_sel?_grupo_aporte=&sub=492&agr=1020&comp=&npagina=4&itemspornpagina=10&totalitems=37&tipoviene=4

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). *Planes de Prevención y Descontaminación*. Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listado_n_sel?_grupo_aporte=&sub=503&agr=1020&comp=

Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Establece Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la Cuenca del Río Aconcagua*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1189503>

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2000). *Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descarga de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2003). *Decreto 46 Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=206883>

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2009). *Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=288386&f=2009-03-27>

Museo de Historia Natural de Valparaíso. (2022). *La importancia de los humedales en la mitigación del cambio climático*. Obtenido de <https://www.mhmv.gov.cl/noticias/la-importancia-de-los-humedales-en-la-mitigacion-del-cambio-climatico>

Naciones Unidas. (2023). *¿Qué es el cambio climático?* Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>

NASA. (2020). *ARSET - El monitoreo de aguas subterráneas usando observaciones de las misiones "Gravity Recovery and Climate Experiment" (GRACE) de la NASA*. Obtenido de <https://appliedsciences.nasa.gov/get-involved/training/spanish/arset-el-monitoreo-de-aguas-subterranas-usando-observaciones-de-las>

Nassir Sapag Chain; Reinaldo Sapag Chain; José Manuel Sapag. (2018). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. McGraw Hill Education.

Navarro, V. U. (2022). *PARQUE ESTERO MARGA MARGA: Intervención de recuperación del cauce Puente Ecuador a Puente Quillota*. Universidad de Chile.

Núñez, T. (2021). *Pasos de fauna y corredores biológicos: El desafío de Chile frente a alternativas para proteger la fauna silvestre y conectar hábitats y ecosistemas*. Obtenido de <https://laderasur.com/articulo/pasos-de-fauna-y-corredores-biologicos-el-desafio-de-chile-frente-alternativas-para-protger-la-fauna-silvestre-y-conectar-habitats-y-ecosistemas/>

Oyarzún, A. R. (2006). *Las aguas subterráneas en Chile*. Obtenido de https://www.igme.es/Boletin/2006/117_1_2006/Art.3.PDF

Poveda, D. C. (2015). *Estudio de aprovechamiento de aguas subterráneas bombeadas por los predios del polígono compuesto por las calles Av. 6 de Diciembre, Av. Naciones Unidas, Av. Shyris y Av. Eloy Alfaro*.

Prunes, E. H. (2022). *¿Qué es el agua subterránea y por qué es tan importante?* Obtenido de <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-es-el-agua-subterranea-y-por-que-es-tan-importante>

Ramírez, P. (2022). *VAN y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos*. Obtenido de <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

Rodríguez, C. V. (2014). *Ingeniería en Recursos Naturales llama a tomar conciencia en el día mundial del agua*. Obtenido de <https://noticias.ubiobio.cl/2014/03/27/ingenieria-en-recursos-naturales-llama-a-tomar-conciencia-en-el-dia-mundial-del-agua-2/>

Salcedo, P. (2015). *¿Qué es el Código de Aguas?* Obtenido de <https://www.latribuna.cl/noticias/2015/11/05/que-es-el-codigo-de-aguas.html>

SEA INGENIERÍA. (2023). *SEAING*. Obtenido de <https://seaing.cl/bombas-centrifugas/181-bombas-centrifugas-reggio-scf2-200-t.html>

Servicio de Evaluación Ambiental . (2023). *Normativa ambiental aplicable*. Obtenido de <https://www.sea.gob.cl/documentacion/permisos-autorizaciones-ambientales/normativa-ambiental-aplicable>

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS. (2023). *Nueva tabla de vida útil de los bienes físicos del activo inmovilizado*. Obtenido de https://www.sii.cl/valores_y_fechas/tabla_vida_util_activo_inmovilizado.html

Suárez, C. M. (2013). *Análisis de la legislación aplicable a las aguas subterráneas en Chile*.

Subgerencia Cultural del Banco de la República. (2023). *Imagen del ferrocarril en la numismática colombiana*. Obtenido de https://www.banrepcultural.org/ferrocarriles/secciones/historia_general.htm

Turismo en Tren. (2023). *El origen del ferrocarril: Una aventura de más de dos siglos*. Obtenido de <https://turismoentren.com/blog/noticia-el-origen-del-ferrocarril>

UNESCO. (2015). *Compromiso mundial sobre las aguas subterráneas y el cambio climático*. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000242861_spa

Urzúa, F. (2022). *¿Qué es el flujo de caja y cual es su importancia?* Obtenido de <https://www.chipax.com/blog/que-es-el-flujo-de-caja-y-cual-es-su-importancia/>

Valdivielso, A. (2023). *¿Qué es un caudal?* Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

Veza, J. M. (1999). *Ingeniería Ambiental; Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Gerard Kiely.

Vilaplana, M. (2010). *El agua como nutriente* . Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-el-agua-como-nutriente-actualizacion-X0212047X10540710>

WWF. (2023). *AGUA: AHORRAR AGUA EN AGRICULTURA DE REGADÍO*. Obtenido de https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/agua/ahorrar_agua_en_agricultura/herramientas_digitales_para_la_gestion_de_las_aguas_subterranas/

9. Anexos

Anexo 1. Cálculo del caudal del agua subterránea dentro del túnel Soterrado Salto – Miramar.

En base a la **Ecuación 1** y a los datos de la **Tabla 5.8**, se obtuvieron los resultados mediante la siguiente operación:

Estación	Volumen [L]	Tiempo [s]	Caudal [L/s]
Chorrillos	20	21,06	0,94967
Hospital	20	12,02	1,66381
Viña del Mar	20	8,53	2,34467
Miramar	20	6,13	3,26264

- **Estación Chorrillos**

$$Q = \frac{20 \text{ [l]}}{21,06 \text{ [s]}} = 0,94967 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

- **Estación Hospital**

$$Q = \frac{20 \text{ [l]}}{12,02 \text{ [s]}} = 1,66381 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

- **Estación Viña del Mar**

$$Q = \frac{20 \text{ [l]}}{8,53 \text{ [s]}} = 2,34467 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

- **Estación Miramar**

$$Q = \frac{20 \text{ [l]}}{6,13 \text{ [s]}} = 3,26264 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$$

Anexo 2. Área de vigilancias de la cuenca del río Aconcagua según el Decreto 41/23.

Tabla 9.1 Establece las áreas de vigilancias para el cumplimiento y fiscalización del Decreto 41/23, con sus respectivos caces y coordenadas en UTM (Ministerio del Medio Ambiente, 2023).

Cauce	Área de vigilancia	Límites área de vigilancia	Coordenadas UTM WGS84 19	
			N	E
Río Blanco	BL – 1	De: Naciente río Blanco Hasta: Aguas abajo Estación de la DGA en río Blanco	6332736 6357968	382426 378437
Río Juncal	JU – 1	De: Naciente río Juncal Hasta: río Juncal antes de río Juncalillo	6350684 6362872	395947 391654
Río Colorado	CO – 1	De: Naciente río Colorado Hasta: Confluencia río Aconcagua	6406272 6363094	389406 367429
Río Aconcagua	AC – 1	De: Confluencia río Blanco y Juncal Hasta: Aguas debajo de Estación DGA río Aconcagua en Chacabuquito	6357968 6365623	378437 356577
	AC – 2	De: Aguas abajo Estación DGA río Aconcagua en Chacabuquito Hasta: Aguas abajo Junta río Putaendo	6365623 6377090	356577 333642
	AC – 3	De: Aguas abajo junta río Putaendo Hasta: Estación DGA en Romeral	6377090 6365625	333642 312329
	AC – 4	De: Estación DGA en Romeral Hasta: Límite con estuario	6365625 6354774	312329 268042
	AC – 5	De: Límite con estuario Hasta: Desembocadura con el mar	6354774 6355446	268042 265416
Río Putaendo	PU – 1	De: Naciente río Putaendo aguas arriba	6402874 6377148	351722 334875
	PU – 2	De: Aguas arriba embalse Chacillas Hasta: Confluencia con río Aconcagua aguas abajo DGA en el baden	6402057 6377042	358031 334883
Estero Pocuro	PO – 1	De: Naciente estero Pocuro Hasta: Confluencia río Putaendo	63340995 6373455	359043 338085
Estero Quilpué	QUI – 1	De: Naciente estero Quilpué Hasta: Confluencia río Putaendo	6392898 6377023	367162 334887
Estero Catemu	CA– 1	De: Naciente estero Catemu Hasta: Confluencia río Aconcagua	6388091 6368217	325888 313206
Estero Los Loros	LO – 1	De: Naciente estero Los Loros Hasta: Confluencia río Aconcagua	6358672 6364648	335541 312029
Estero Limache	LI – 1	De: Naciente estero Limache Hasta: Confluencia río Aconcagua	6341553 6354293	303468 270702
Estero Los Litres	LIT – 1	De: Naciente estero El Sauce Hasta: Confluencia río Aconcagua	6391460 6371811	306242 293081

*Aquellos destacados en color naranja, son las áreas de vigilancias seleccionadas.

Anexo 3. Gasto en pagos de agua potable por la empresa EFE Valparaíso para el proceso de lavado de los vagones

Tomando en cuenta que se consideró un gasto de 2.000 litros diarios de agua potable para el lavado de los vagones del metro EFE Valparaíso, y considerando que el mes contiene 30 días, se obtiene que en un mes se consumen 60 m³.

- **Agua potable consumida al mes por el proceso de lavado de vagones:**

$$2000 \frac{[L]}{[día]} * 30 \frac{[día]}{[mes]} * 0,001 \frac{[m^3]}{[L]}$$

$$60 \frac{[m^3]}{[mes]}$$

Por otro lado, la Empresa Sanitaria de Valparaíso (ESVAL) hasta octubre del 2023, el valor unitario del cargo fijo por cliente al mes es de \$1.549, del consumo de agua es de \$1.162,45, por la recolección es de \$404,74 y del tratamiento es de \$378,24, y según estos datos, la boleta electrónica quedaría como en la **Tabla 9.2**.

Tabla 9.2 Boleta electrónica de ESVAL por consumo de agua potable para el lavado de vagones.

Detalle de facturación	Unidades facturadas	Valor unitario (CLP)	Total parcial (CLP)	Total parcial (UF)
Cargo fijo	-	-	\$1.549	0,04
Consumo agua	60 [m ³]	\$1.162,45	\$69.747	1,91
Recolección	60 [m ³]	\$404,74	\$24.284,4	0,66
Tratamiento	60 [m ³]	\$378,24	\$22.694,4	0,62
Subtotal mes	-	-	\$118.274,8	3,23

Con lo anterior, obtenemos que al año el consumo aproximadamente sería de \$1.419.298 aproximadamente.

- **Consumo anual:**

$$\$118.274,8 * 12$$

$$\mathbf{\$1.419,297,6}$$

$$\mathbf{38,77 UF}$$

Anexo 4. Cálculos para obtener los litros de agua disponible en una sentina.

Tabla 9.3 Dimensiones de la sentina ubicada en la estación Miramar.

Dimensiones	Valor	Unidad
Largo	10	[m]
Ancho	4	[m]
Alto	3	[m]

Considerando una altura de 2 metros, se obtiene que:

$$\text{Volumen} = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$\text{Volumen} = 10 \text{ [m]} * 4 \text{ [m]} * 2 \text{ [m]}$$

$$\text{Volumen} = 80 \text{ [m}^3\text{]}$$

Para obtener los litros, se sabe que 1 [m³] equivalen a 1000 litros. Por lo tanto, realizando el cálculo de cambio de unidades se obtiene que:

$$\text{Volumen} = 80 \text{ [m}^3\text{]} * \frac{1000 \text{ [L]}}{1 \text{ [m}^3\text{]}} = 80.000 \text{ [L]}$$

Anexo 5. Cálculo para obtener el caudal de agua empleada para el lavado de cada vagón.

- Volumen por vagón: 2.000 [L]
- Tiempo de lavado por vagón: 10 [min]

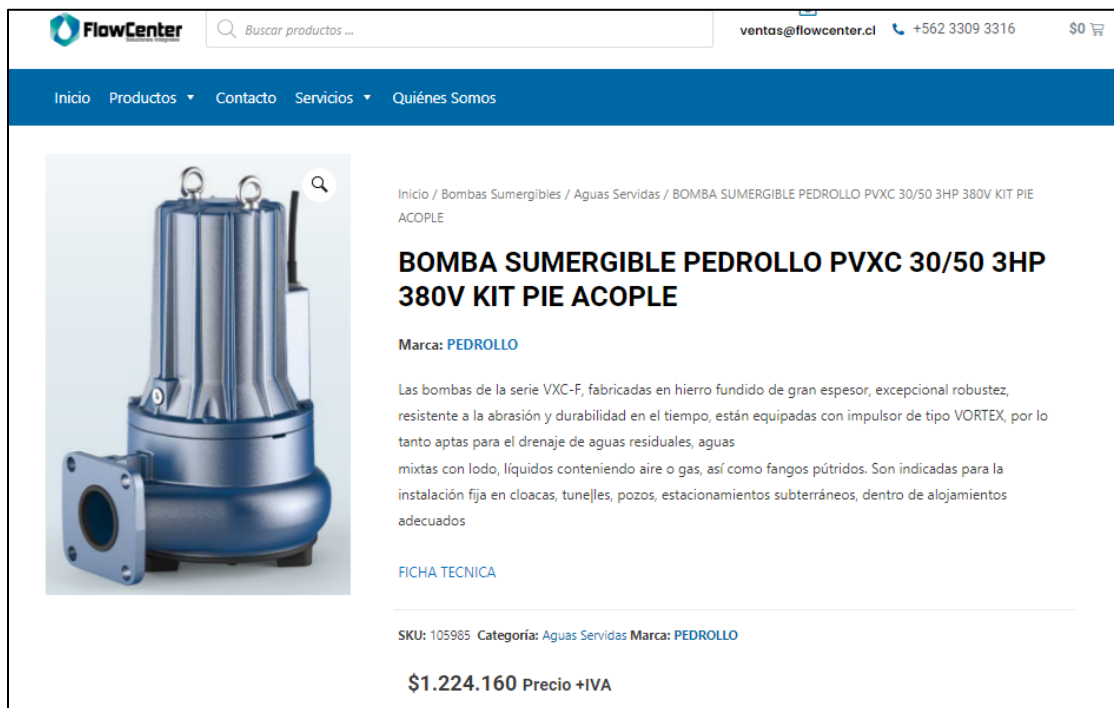
$$\text{Caudal} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$\text{Caudal} = \frac{2.000 \text{ [L]}}{10 \text{ [min]}}$$

$$\text{Caudal} = 200 \frac{\text{[L]}}{\text{[min]}}$$

Anexo 6. Cotizaciones de los equipos seleccionados

1. Bombas Hidráulicas



FlowCenter ventas@flowcenter.cl +562 3309 3316 \$0

Inicio Productos Contacto Servicios Quiénes Somos

Inicio / Bombas Sumergibles / Aguas Servidas / BOMBA SUMERGIBLE PEDROLLO PVXC 30/50 3HP 380V KIT PIE ACOPLE

BOMBA SUMERGIBLE PEDROLLO PVXC 30/50 3HP 380V KIT PIE ACOPLE

Marca: **PEDROLLO**

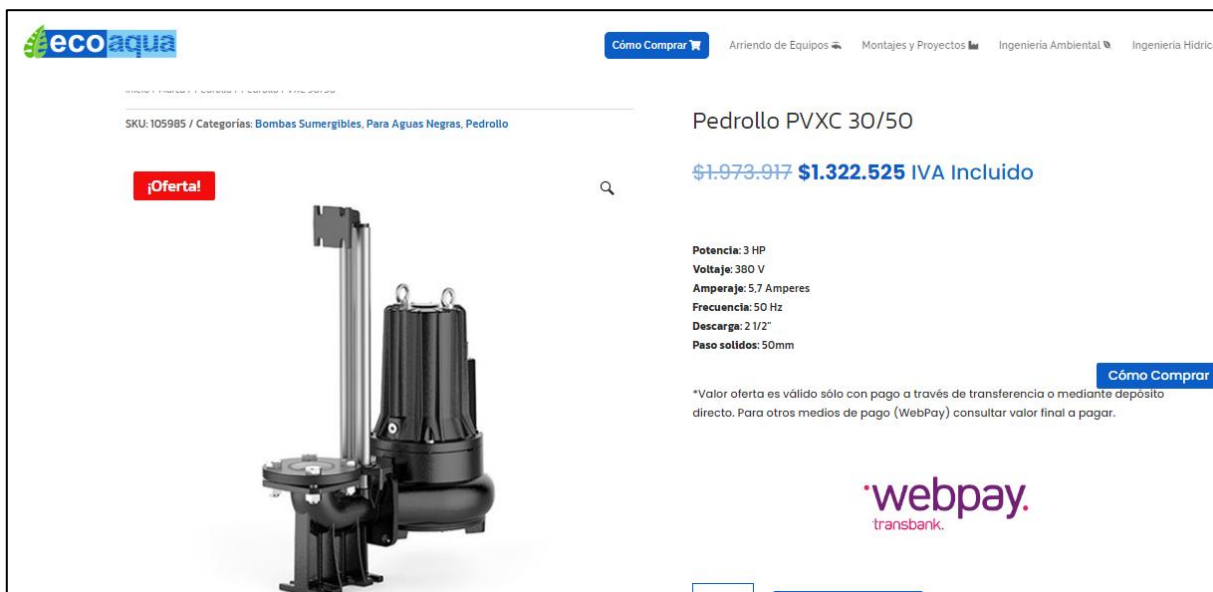
Las bombas de la serie VXC-F, fabricadas en hierro fundido de gran espesor, excepcional robustez, resistente a la abrasión y durabilidad en el tiempo, están equipadas con impulsor de tipo VORTEX, por lo tanto aptas para el drenaje de aguas residuales, aguas mixtas con lodo, líquidos conteniendo aire o gas, así como fangos pútridos. Son indicadas para la instalación fija en cloacas, tuneles, pozos, estacionamientos subterráneos, dentro de alojamientos adecuados

[FICHA TECNICA](#)

SKU: 105985 Categoría: Aguas Servidas Marca: PEDROLLO

\$1.224.160 Precio +IVA

Figura 9.1 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda por FlowCenter.



eco aqua Arriendo de Equipos Montajes y Proyectos Ingeniería Ambiental Ingeniería Hidráulica

SKU: 105985 / Categorías: Bombas Sumergibles, Para Aguas Negras, Pedrollo

¡Oferta!

Pedrollo PVXC 30/50

~~\$1.973.917~~ **\$1.322.525** IVA Incluido

Potencia: 3 HP
 Voltaje: 380 V
 Amperaje: 5.7 Amperes
 Frecuencia: 50 Hz
 Descarga: 2 1/2"
 Paso sólidos: 50mm

[Cómo Comprar](#)

*Valor oferta es válido sólo con pago a través de transferencia o mediante depósito directo. Para otros medios de pago (WebPay) consultar valor final a pagar.

webpay.
transbank.

Figura 9.2 Cotización de la bomba Pedrollo VORTEX modelo PVXC de la tienda por Ecoaqua.

ecoaqua

Cómo Comprar

Ariendo de Equipos Montajes y Proyectos Ingeniería Ambiental Ingeniería Hidrica

Inicio / Marca / Reggio / Reggio SCF2 200 T

SKU: 1022451 / Categorías: Bombas Centrifugas, Bombas Superficie, Gran Caudal, Reggio

¡Oferta!

Reggio SCF2 200 T

~~\$690.438~~ **\$517.829 IVA Includido**

Potencia: 2.0 HP
 Voltaje: 380 V
 Amperaje: 4.0 Amperes
 Frecuencia: 50 Hz
 Succión: 3"
 Descarga: 3"

Cómo Comprar

*Valor oferta es válido sólo con pago a través de transferencia o mediante depósito directo. Para otros medios de pago (WebPay) consultar valor final a pagar.

webpay.
transbank.

Figura 9.5 Cotización de la bomba REGGIO SCF2 200T por Ecoaqua.

HR hidroreparaciones®
El mundo en bombas para agua

Buscar...

Inicio Nosotros Bombas de agua Servicios Marcas Ofertas **Cotizar**

INICIO / BOMBAS DE AGUA / REGGIO SCF2 200T BOMBA CENTRIFUGA DE CAUDAL

Bombas

- + BOMBAS DE SUPERFICIE
- + BOMBAS SUMERGIBLES
- + RECIRCULADORAS
- + ACCESORIOS
- + Tableros Bombas

HR hidroreparaciones®
El mundo en bombas para agua

REGGIO SCF2 200T BOMBA CENTRIFUGA DE CAUDAL
SKU: BOM1022451

REGGIO®
Bombas Reggio

Normal \$ 690.438
- 22% de descuento
Oferta \$ 538.542

Figura 9.6 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por Hidroreparaciones.

CASIM SPA
CAPTACIÓN, IMPULSIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Buscar productos Todas las categorías

Bombas, Centrifugas
BOMBA CENTRÍFUGA SCF2 200T | 2.0 HP | 380V

Disponibilidad: **Disponible para reserva**

♥ Añadir a la lista de deseos ⇄ Comparar

Estas bombas REGGIO son centrifugas de alto caudal y baja presión de descarga. Se utilizan principalmente en agricultura, pero además en aplicaciones domésticas e industriales para trasvasiar y mezclar fluidos.

\$690.438

Añadir al carrito

REGGIO

Figura 9.7 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por Casim Spa.

		COTIZACION N° 202310 E241 Santiago, 31 de octubre de 2023						
www.seaing.cl - contacto@seaing.cl		Ref. Cotización : Bomba de Agua						
Sra. IGNACIA MALHUE E-mail: igmalhue.irri@gmail.com Teléfono: 90741646 Ciudad: QUILPUÉ								
Item	Producto	Cantidad	Valor Unitario	Valor Descuento	Valor Total Neto	IVA	Valor Total	
1	Bomba Centrífuga REGGIO SCF2 200 T Potencia: 2 HP - 1,5 kW Corriente: 380 Volt - 50 Hz - 4 Amp. Diámetro Conexión: 3" x 3" Tipo: Centrífuga de Gran Caudal Origen: Italia	1	\$ 580.200	\$ 98.634	\$ 481.566	\$ 91.498	\$ 573.064	
* Monedas de la cotización CLP: Valores expresados en pesos Chilenos.					Total Ahorro \$ 98.634	Total Neto \$ 481.566	IVA \$ 91.498	Total Cotización \$ 573.064
Vendedor: Eugenio Díaz Bontá Teléfono Fijo: (+56) 2 6469 2436 Teléfono Móvil y WSP: (+56) 9 6568 2060 Correo Electrónico: ediaz@seaing.cl								

Figura 9.8 Cotización de la bomba centrífuga REGGIO SCF2 200T por SEA INGENIERÍA.

2. Cañería acero galvanizada

TECNORED
COMERCIALIZACIÓN DE MATERIALES

Buscar...

Bienvenido
Mi cuenta/registro

Carrito \$0

Seguimiento

CONDUCTORES FERRETERÍA ENERGÍA SOLAR MATERIALES ELÉCTRICOS PROTECCIONES POTENCIA Y CONTROL TRANSFORMADORES ILUMINACIÓN VENTA BODAS

Cañería acero Galvanizado 4"X6M Clase A Iso R65

Cañería acero Galvanizado 4"X6M Clase A Iso R65

☆☆☆☆☆ Sea el primero en dejar una comentario

4"X6M Clase A Iso R65, Roscada Hilo Bsp, Diámetro Ext. 114,3MM. Entrega Ensayos Mecanico

\$132.878 IVA incluido
Precio en sucursal: \$152.809

Disponibilidad: En Stock SKU: 2001041

- 1 + Pieza **AGREGAR AL CARRITO**

Figura 9.9 Cotización de la cañería de acero galvanizado 4"x 6m Clase A Iso R65 por TecnoRed.

3. Camión Aljibe

PURAMAQUINA.cl

Mi Cuenta Crear Cuenta

Publicado 17 de Febrero de 2023 19:40

CAMIÓN ALJIBE IVECO MLC 170 E22
AÑO 2012 4X2 15000 LITROS KM 65924

\$ 27.500.000

Figura 9.10 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Puramáquina.cl

Camión aljibe estanque 15.000 inoxidable, **\$ 24.000.000**
REBAJADO

la ligua La Ligua, Valparaíso



Figura 9.11 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Económicos El Mercurio.

SE VENDE CAMION ALJIBE PARA 15.000 LITROS **\$ 25.000.000**

LO FONTECILLA PARCELA 52 CONDOMINIO LA JAVIERA

Batuco, Metropolitana de Santiago



Figura 9.12 Cotización del camión aljibe con capacidad de 15.000 Litros por Económicos El Mercurio.

4. Tanque de agua 15.000 Litros



[Inicio](#) [Empresa](#) [Productos](#) [Nuestros servicios](#) [Ejecutivos a cargo](#) [Contáctenos](#)

[Inicio](#) / [Almacenamiento de Agua Potable](#) / [Estanques Verticales](#)
 / ESTANQUE DE AGUA VERTICAL AQUATANK 15000 LITROS



ESTANQUE DE AGUA VERTICAL AQUATANK 15000 LITROS

Precio: \$ 2.489.134 + IVA

Cotizar producto




PRECIOS SON REFERENCIALES, SUJETO A CAMBIOS.
 DEBE CONFIRMAR CON VENDEDOR


Modelo: ESTANQUE AQUATANK AQT-15

Disponibilidad: [Consulte disponibilidad](#)

Figura 9.13 Cotización del tanque de agua de capacidad de 15.000 Litros por Purificattec.



[Inicio](#) [Estanques](#) [Tratamiento de aguas](#) [Bombas de agua](#) [Kits y Promos](#) [Servicios](#) [Más](#)



ESTANQUE DE AGUA VERTICAL ESTANDAR 15000 L

SKU: AQT-15

\$2.382.795

Color: PLOMO

Volúmen (Litros)

15000
▼

Línea

Grandes Volúmenes
▼

Densidad del líquido

Hasta 1,0 Kg/L (Agua)
▼

Orientación

Figura 9.14 Cotización del tanque de agua de capacidad de 15.000 Litros por TUPEL.



PURIFICATEC

Inicio Empresa [Productos](#) Nuestros servicios Ejecutivos a cargo Contáctenos

**ESTANQUE VERTICAL
MODELO ECOTANK GRIS
15000 LITROS**

Precio: \$ 1.940.000 + IVA

[Cotizar producto](#)

PRECIOS SON REFERENCIALES, SUJETO A CAMBIOS.
DEBE CONFIRMAR CON VENDEDOR

Modelo: ECOTANK GRIS 15000 LTS

Go To Top

Figura 9.15 Cotización del taque de agua de capacidad de 15.000 Litros por Purificatéc.

5. Maguera plana 3"



HIDROSHOP HOME PRODUCTOS [OFERTAS](#) [BLOG](#) [CONTACTO](#)

MANGUERA PLANA BAFLAT
Mangueras

Imagen	SKU	Descripción	Precio \$ / uni	Cantidad
	170306	BAFLAT 2" - 4 BAR - ROLLO 100 M	\$94.690	<input type="text" value="0"/>
	170284	BAFLAT 3" - 3 BAR - ROLLO 100 M	\$131.890	<input type="text" value="0"/>

Figura 9.16 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por HIDROSHOP.

TC TODOALCOSTO
Tu tienda online con los mejores precios
una empresa del grupo **EL COMERCIO**

Buscar en el catálogo

Iniciar sesión

AGRÍCOLA Y PARCELAS ENERGÍA SOLAR TALLERES ELECTROMOVILIDAD VEHÍCULOS DECOHOGAR GYM BODEGA CONSTRUCCIÓN Y MAQUINARIA HOGAR Y

Inicio / Agrícola y Parcelas / Hidroponía / Manguera Flat 3 Pulgadas

Manguera Flat 3 Pulgadas

Referencia 20130022
\$ 154.990
IVA Incl

Manguera Flat 3 Pulgadas

Venta por rollo
Diámetro: 3 Pulgadas
Largo: 100mt
Presión de trabajo: 87 PSI
Temperaturas de resistencia: -5°C a +60°C
Peso: 25kg
Color: Pared interior azul, pared exterior azul

Figura 9.17 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por TODO AL COSTO.

MOTO BOMBAS S.cl

Buscar productos

CATEGORÍAS

INICIO MOTOBOMBAS GENERADORES ARRIENDO CONTACTO

Inicio / Venta de accesorios / Mangueras / Manguera Plana Azul 3 pulgadas T/Bombero

Manguera Plana Azul 3 pulgadas T/Bombero

☆☆☆☆ (1 valoración de cliente)

\$3.731

Manguera PVC Plana Azul Tipo Lay Flat 3 pulgadas, para agua, valor por metro incluye iva.

- 1 + **AÑADIR AL CARRITO**

Compare Agregar a lista de deseos

SKU: 160206
Categoría: Mangueras

Figura 9.18 Cotización de la manguera plana de conexión de 3" por MOTO BOMBAS.

Anexo 7. Detalles de la cotización de cada equipo y/o maquinaria.

Tabla 9.4 Cotización para cada maquinaria y/o equipos en UF con sus respectivos proveedores (Elaboración propia).

Equipo y/o Maquinaria	Proveedor	Costo (CLP)
Bomba Sumergible Pedrollo VORTEX modelo PVXC	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: FlowCenter • Dirección: Punta Arenas 7635, La Granja, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$1.224.160 • IVA: \$232.590 • Total: \$1.456.750
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Ecoaqua • Dirección: Gabriela Poniente 871 Piso 2, Puente Alto, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$1.111.366 • IVA: \$211.159 • Total: \$1.322.525
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: ProService • Dirección: Av. Ventisquero #1204, Bodega 82, Renca, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$1.094.116 • IVA: \$207.882 • Total: \$1.301.998
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Comercial Hidrobombas • Dirección: Chacabuco 98, Santiago Centro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$1.658.754 • IVA: \$315.163 • Total: \$1.973.917
Bomba REGGIO SCF2 200T	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Ecoaqua • Dirección: Gabriela Poniente 871 Piso 2, Puente Alto, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$435.150 • IVA: \$82.679 • Total: \$517.829
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Hidroreparaciones • Dirección: María del Pilar 2944, Maipú, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$452.556 • IVA: \$85.986 • Total: \$538.542
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Casim Spa • Dirección: Lincoyan 1089, Local 2, Concepción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$580.200 • IVA: \$110.238 • Total: \$690.438
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: SEA INGENIERÍA • Dirección: Sucre 2680, Ñuñoa, Santiago 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$481.566 • IVA: \$91.498 • Total: \$573.064
Cañería Acero Galvanizada	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Tecnoled • Dirección: Cerro El Plomo 3819, Valparaíso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$111.662 • IVA: \$21.215 • Total: \$132.878
Camión Aljibe 15.000 Litros	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Pura máquina • Dirección (web): www. Puramáquina.cl 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$* • IVA: \$* • Total: \$27.500.000
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Económicos El Mercurio • Dirección (web): www. Económicos.cl (La Ligua, Valparaíso) 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$* • IVA: \$* • Total: \$24.000.000
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Económicos El Mercurio • Dirección (web): www. Económicos.cl (Batuco, Santiago) 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$* • IVA: \$* • Total: \$25.000.000
Tanque de agua 15.000 Litros	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Purificatéc • Dirección: Lago Brown 1401, San Bernardo, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$2.489.134 • IVA: \$472.936 • Total: \$2.962.070
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: TUPEL • Dirección: Avenida Suecia 3247, Ñuñoa, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$2.002.349 • IVA: \$380.446 • Total: \$2.382.795

Tabla 9.5 Cotización para cada maquinaria y/o equipos en UF con sus respectivos proveedores (Elaboración propia) (Continuación).

Equipo y/o Maquinaria	Proveedor	Costo (CLP)
Tanque de agua 15.000 Litros	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Purificatec • Dirección: Lago Brown 1401, San Bernardo, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$1.940.000 • IVA: \$368.600 • Total: \$2.308.600
Manguera Plana de 3"	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Hidroshop • Dirección (web): www.Hidroshop.cl 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$110.832 • IVA: \$21.058 • Total: \$131.890
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Todo al Costo • Dirección (web): Padre Orellana 1219, Santiago 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$130.243 • IVA: \$24.746 • Total: \$154.990
	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre: Moto Bombas • Dirección (web): Eloy Rosales 4567, Quinta Normal, Santiago. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subtotal: \$3.135 • IVA: \$596 • Total: \$3.731 (metro) • Total: \$373.100 (100 metros)

* hace referencia a que en la página web de compra y venta no especifica si se consideró o no el precio del IVA.

Anexo 8. Cálculo de la depreciación anual para cada equipo y/o maquinaria.

En base a los siguientes datos, se obtuvo la depreciación anual para cada equipo y/o maquinaria.

Tabla 9.6 Vida útil y valor de cada máquina o equipos a utilizar para LV – 3.

Maquinaria	Vida útil	Valor (CLP)	Valor (UF)
Camión aljibe	7 años	\$24.000.000	655,60
Bomba de agua	20 años	\$517.829	14,15
Tanque de agua	10 años	\$2.308.600	63,06

- **Camión Aljibe**

$$\text{Depreciación} = \frac{24.000.000}{7}$$

$$\text{Depreciación (CLP)} = \$3.428.571$$

$$\text{Depreciación (UF)} = 93,66$$

- **Bomba de agua**

$$\text{Depreciación} = \frac{517.829}{20}$$

$$\text{Depreciación} = \$25.891$$

$$\text{Depreciación (UF)} = 0,71$$

- **Tanque de agua**

$$\text{Depreciación} = \frac{2.308.600}{10}$$

$$\text{Depreciación} = \$230.860$$

$$\text{Depreciación (UF)} = 6,31$$