



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Departamento de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE SISTEMA  
DE TRATAMIENTO SEQUENTIAL ANAREOBIC AND ALGAL MEMBRANE  
BIOREACTOR (A2MBR) PARA GENERACIÓN DE AGUA Y SU APLICACIÓN EN  
REÚSO DIRECTO POTABLE EN CHILE: CASO ESTUDIO CUENCA DEL RÍO  
MAIPO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

**BEATRIZ IGNACIA ESPINOZA POBLETE**

PROFESOR GUÍA:

**ANA LUCÍA PRIETO SANTA**

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

KATHERINE LIZAMA ALLENDE

FELIPE DÍAZ ALVARADO

SANTIAGO DE CHILE

**2022**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA  
CIVIL  
POR: **BEATRIZ IGNACIA ESPINOZA  
POBLETE**  
FECHA: 2022  
PROF. GUÍA: ANA LUCÍA PRIETO  
SANTA

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO SEQUENTIAL ANAEROBIC AND ALGAL MEMBRANE BIOREACTOR (A2MBR) PARA GENERACIÓN DE AGUA Y SU APLICACIÓN EN REÚSO DIRECTO POTABLE EN CHILE: CASO ESTUDIO CUENCA DEL RÍO MAIPO.**

Dada la actual crisis hídrica que está atravesando Chile, buscar alternativas para aminorar el estrés hídrico es más que urgente. El presente trabajo consiste en un estudio de prefactibilidad técnico-económica de sistema de tratamiento Sequential Anaerobic and Algal Membrane Bioreactor (A2MBR) para tratamiento de aguas servidas municipales y reúso directo en Chile.

El sistema A2MBR está basado en la filtración de membrana, recuperando los nutrientes y la energía incorporados provenientes de las aguas residuales. Para identificar el potencial de reúso directo potable a nivel de cuenca hidrográfica, se caracterizan los caudales y calidad de efluentes en plantas de tratamiento de la cuenca del Río Maipo, a través de información proporcionada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Posteriormente, se diseñó la línea de tratamiento del sistema A2MBR, que consiste en un reactor anaeróbico, un reactor de algas, las unidades de desinfección y el sistema de bombeo y distribución. El escalamiento de la planta de tratamiento se restringe según las tecnologías del mercado, la cual limita el caudal a 1000 [ $m^3/día$ ], se evalúa su costo de instalación y mantención en la localidad de San Antonio, ubicado en la cuenca del Río Maipo y Viña del Mar, en la Cuenca Costera entre Aconcagua y Maipo, con el objetivo de comparar ambos escenarios.

Con el objetivo de comparar la tecnología con los sistemas de tratamiento utilizados actualmente y sus costos asociados, se utilizó la metodología del D.S.453/90, para las empresas modelo de regulación, la tarifa es \$5.686 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ] en el caso de E.S de San Antonio y \$5.680 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ] en el E.S Dos Norte, alejándose de los valores fijados por la SISS a ESVAL en el período 2020-2025 en las localidades respectivas, que son cercanos a \$800 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ].

*“Esta memoria la dedico a mi mamá,  
Marcela Poblete, solo ella sabe el camino recorrido  
y los obstáculos superados para llegar a donde estoy.”*

## Agradecimientos

El final de este capítulo de mi vida no sería el mismo sin mi familia, no existen palabras para agradecerle a mi mamá; si bien nuestra historia y relación no es convencional, el amor existente lo es. El esfuerzo hecho por ella para que nada me impidiera alcanzar lo que me propusiera fue único. También, debo agradecer el apoyo incondicional dado por mi abuela Beatriz, por quien llevo su nombre con mucho orgullo, mi abuelo Juan y mi tía Jaxza.

A mi compañera de vida Jena, con su mirada incondicional y siempre saber que necesitaba en el momento, le agradeceré por siempre; mi razón de siempre seguir adelante, aunque todo se viera oscuro. No puedo no mencionar a mis otros gordos bestias, Elsa, Reinaldo, Koda, Kenai, Fermina, Facundo, Kiara, Max y Kali quienes son mis alegrías y mis rabias.

Gracias a quienes ya no están conmigo en lo físico, pero siempre creyeron en mí y siempre me acompañaran. A Jean Marie, mi figura paterna, quien sin obligación alguna me quiso; a mi Tata Pedro, quien me regalo tantas enseñanzas y sabiduría; y a Gigo, mi tío quien nos dejo tan joven y con quien compartía tantos intereses.

Gracias a Tania, Matías y Kari, por ser mi pequeña familia en Santiago y contar con ustedes estos años. También a Francisca y Chris, por llegar a mi vida y por todas las historias que hemos tenido.

Agradecer a Miguel es poco, mi gran amigo, confidente y apoyo en el camino de la universidad. A Villagrán, Benja, Graci, Tami y todos los amigos que me ha dejado Beauchef en estos años que se han sentido eternos, pero sin ellos, no se hubiera logrado.

Gracias Bárbara y Catalina, por ser mis amigas hace 16 años, por estar en todas las etapas que eso conlleva. Se me deben quedar muchas personas en el tintero, que sin ellas no estaría en el lugar donde me encuentro hoy, sin embargo, les agradezco con todo el corazón por el apoyo y la compañía.

A todos los profesores de mi trayectoria educacional, gracias, en especial, a mi profesora guía Ana Lucía, por las oportunidades entregadas tanto para ser parte de su equipo docente y para trabajar junto a ella en CAPTA.

Finalmente, me veo en la obligación de agradecer a este proceso, que me enseñó que no es malo tener que detenerse antes de seguir avanzando, que no todo es inmediato y no todo está bajo el control de uno como se quisiera. Y eso está bien.

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	1
1.1	Objetivos .....	2
1.1.1	Objetivo general .....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
2.	Marco teórico .....	3
2.1	Reúso en Chile .....	3
2.2	Tecnologías de tratamiento para reúso en Chile.....	6
2.3	Diagnóstico Cuenca Río Maipo.....	8
3.	Metodología.....	11
3.1	Disponibilidad de aguas residuales municipales en la Cuenca .....	11
3.2	Prefactibilidad técnico-económico Sistema A2MBR .....	11
4.	Resultados y discusiones.....	17
4.1	Disponibilidad de aguas residuales municipales en la Cuenca .....	17
4.2	Prefactibilidad técnico-económica sistema A2MBR .....	20
4.2.1	Emisario submarino San Antonio .....	21
4.2.2	Emisario submarino Dos Norte .....	24
4.2.3	CAPEX.....	26
4.3	OPEX.....	29
4.4	VPN.....	31
4.5	Empresa modelo de regulación .....	32
5.	Recomendaciones y conclusiones .....	34
6.	Bibliografía .....	36
	Anexo A .....	39
	Anexo B .....	45
	Anexo C .....	48
	Anexo D.....	49
	Anexo E .....	50

## Índice de tablas

Tabla 2.1: Normativas en desarrollo dentro de la legislación chilena.....	3
Tabla 2.2: Balance agua superficial futuro año 50% probable y 85% probable. (Dirección General de Aguas, 2015).....	9
Tabla 2.3: Balance agua subterránea futuro. (Dirección General de Aguas, 2015). .....	10
Tabla 4.1: Calidad sugerida de aguas residuales tratadas, NCh3456. ....	19
Tabla 4.2: Sistema de impulsión Emisario submarino Viña del Mar. ....	24
Tabla 4.3: Sistema de impulsión Emisario submarino Viña del Mar. ....	26
Tabla 4.4: CAPEX sistema A2MBR .....	26
Tabla 4.5: Costo total de inversión [USD] .....	28
Tabla 4.6: OPEX sistema A2MBR .....	29
Tabla 4.7: Valor presente neto escenario San Antonio .....	31
Tabla 4.8: Valor presente neto escenario Jardín Botánico .....	32
Tabla 4.9: Tarifa eficiente empresa modelo de regulación.....	32
Tabla 7.1: Resumen cuerpo normativo aplicable al recurso hídrico. ....	39
Tabla 7.2: Población y viviendas en Cuenca Río Maipo. (Instituto nacional de Estadística de Chile, 2017).....	46
Tabla 7.3: Resumen año promedio (probabilidad de excedencia del 50%) y año seco (probabilidad de excedencia del 85%) .....	48
Tabla 7.4: Proyección demanda de producción (L/s) distribución por subcuencas. DGA,2015 .....	49
Tabla 7.5: Plantas de aguas servidas en Cuenca Rio Maipo. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2021).....	50

## Índice de ilustraciones

Figura 2.1: Línea de tiempo leyes y/o cuerpos normativos en Chile sobre aguas residuales. ....	4
Figura 2.2: Flujo de material en sistema A2MBR. Prieto, 2011. ....	7
Figura 3.1: Línea de tratamiento. ....	14
Figura 4.1: Interfaz de mapa interactivo de Qgis, PTAS de Curacaví. ....	17
Figura 4.2: Valores promedios calidad efluentes PTAS a) DBO5, b) Solidos disueltos totales, c) Coliformes fecales.(Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2021). ....	18
Figura 4.3: Mapa derechos de agua superficiales otorgados en Cuenca Río Maipo y zonas cercanas. ....	20
Figura 4.4: Trazado tuberías y perfil de elevación caso San Antonio. ....	23
Figura 4.5.:Perfil piezométrico de impulsión sistema emisario submarino San Antonio .....	23
Figura 4.6: Trazado tuberías y perfil de elevación caso Viña del Mar. ....	25
Figura 4.7: Cota piezométrica de impulsión sistema emisario submarino Dos Norte. .	26
Figura 7.1: Ubicación Cuenca Río Maipo. ....	45

## 1. Introducción

En la actualidad, Chile vive una de las peores crisis hídricas dado el cambio climático y la mega sequía que atraviesa hace aproximadamente 10 años y se prevé que esta no termine pronto, provocando que cerca de 10 embalses entre la Región de Atacama y la Región del Maule estén en niveles críticos (Diario Universidad de Chile, 2020). En el territorio nacional, el 47,2 % de la población rural no cuenta con abastecimiento formal de agua, equivalente a 1.014.550 habitantes. De ese 47,2%, el 58,8% se abastece de agua desde pozos, el 25,8% de fuentes superficiales como esteros o ríos y el 15,4% a través de camiones aljibes, sin ningún control de calidad (Fundación Amulén, 2020).

La reutilización de aguas residuales tratadas, en ámbitos como la agricultura, minería, potable u ornato presenta una posibilidad para disminuir el estrés hídrico actual y futuro. Lamentablemente, la normativa chilena para el reúso de las aguas residuales tratadas solo existe para las aguas grises y está destinada para el riego ornamental, riego de áreas recreativas, recarga de inodoros y uso industrial (Ministerio de Salud, 2018); de manera que se pierde posible potencial de reúso en otros sectores, como el riego de cultivo, uso potable y/o recarga de acuíferos.

Dados los avances a nivel internacional en países como Estados Unidos, Namibia, Israel y Singapur en el reúso de agua residuales municipales (Santillán & Rivera, 2021), se busca estudiar un nuevo sistema avanzado de tratamiento de aguas servidas aplicado en Chile, con el objetivo de que el efluente de esta sea apto para el consumo humano según la norma NCh409, proponiendo una alternativa a una de las problemáticas originadas por la actual crisis que afecta a grandes territorios del país, estudiando su prefactibilidad tecnológica y económica. La alternativa propuesta es el sistema de tratamiento Sequential Anaerobic and Algal Membrane Bioreactor (A2MBR) (Prieto, 2011).

El principal caso de estudio se encuentra en la Cuenca del Río Maipo, esto por su importancia nacional, dado que es la cuenca con mayor número de habitantes y con la mayor cantidad de plantas de tratamiento de aguas servidas, con un total de 29 PTAS y un emisario submarino (Anexo B, Anexo E). También, con el objetivo de comparar los resultados del análisis, se incluye en el trabajo el Emisario submarino Dos Norte, de la Cuenca Costera entre Aconcagua y Maipo.

El presente trabajo de título, se enmarca en el proyecto de Reutilización y revalorización de aguas sanitarias, del Centro Avanzado para Tecnologías del Agua (CAPTA), que investiga la implementación de un tratamiento de aguas servidas que permita el reúso flexible.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Determinar la prefactibilidad técnico-económica de un sistema A2MBR para tratamiento de aguas servidas y reúso directo de agua potable en Chile, usando como caso de estudio la Cuenca del Río Maipo.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar la disponibilidad y calidad de aguas servidas municipales para identificar el potencial de reúso potable en la Cuenca del Río Maipo y sus alrededores.
- Realizar el escalamiento y análisis de costos del sistema A2MBR con respecto a instalación y mantención, según un caudal de diseño fijo.
- Evaluar la prefactibilidad técnico-económica de la tecnología A2MBR, usando como casos de estudios el Emisario San Antonio en la ciudad del mismo nombre, ubicado en la Cuenca del Río Maipo y el Emisario Dos Norte en la ciudad de Viña del Mar, ubicado en la Cuenca Costera entre Aconcagua y Maipo.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Reúso en Chile

El tratamiento de aguas servidas en Chile fue formalizado en el año 2000 junto al Decreto Supremo N°90, que regula la descarga de contaminantes en las aguas superficiales continentales y aguas marinas (Ministerio de Salud, 2001). Anterior a este decreto, si bien existían reglamentos y normas, estos no eran suficientes para una seguridad en el manejo en las aguas residuales. Se estima que la cobertura de saneamiento en las zonas urbanas domiciliarias alcanzó el 99,98% el año 2019 (SISS, 2019).

Para un análisis detallado de la situación actual del reúso en Chile, a continuación, Figura 1.1, se mencionan las leyes y/o cuerpos normativos que hacen alusión sobre la contaminación de aguas y reúso del recurso a lo largo de la historia del país. En el Anexo A, se encuentra una tabla resumen con la información del organismo fiscalizador y breve descripción del cuerpo normativo. Se debe destacar, que la primera norma para regular parámetros de calidad fue la NCh1333, la cual entró en funcionamiento a fines de la década de los 80 y continúa vigente.

En la actualidad, se encuentran en desarrollo normativas relacionadas al reúso de agua, a cargo el Instituto Nacional de Normalización de Chile (Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b) En la Tabla 1.2, se señalan estas últimas.

*Tabla 2.1: Normativas en desarrollo dentro de la legislación chilena.*

Normativa	Detalle
prNCh3486	Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y aguas residuales – Gestión de crisis de las empresas de agua.
prNCh3523	Actividades de servicios relacionados con los sistemas de suministro de agua potable y sistemas de aguas residuales – Gestión de crisis – Buenas prácticas en aspectos técnicos.

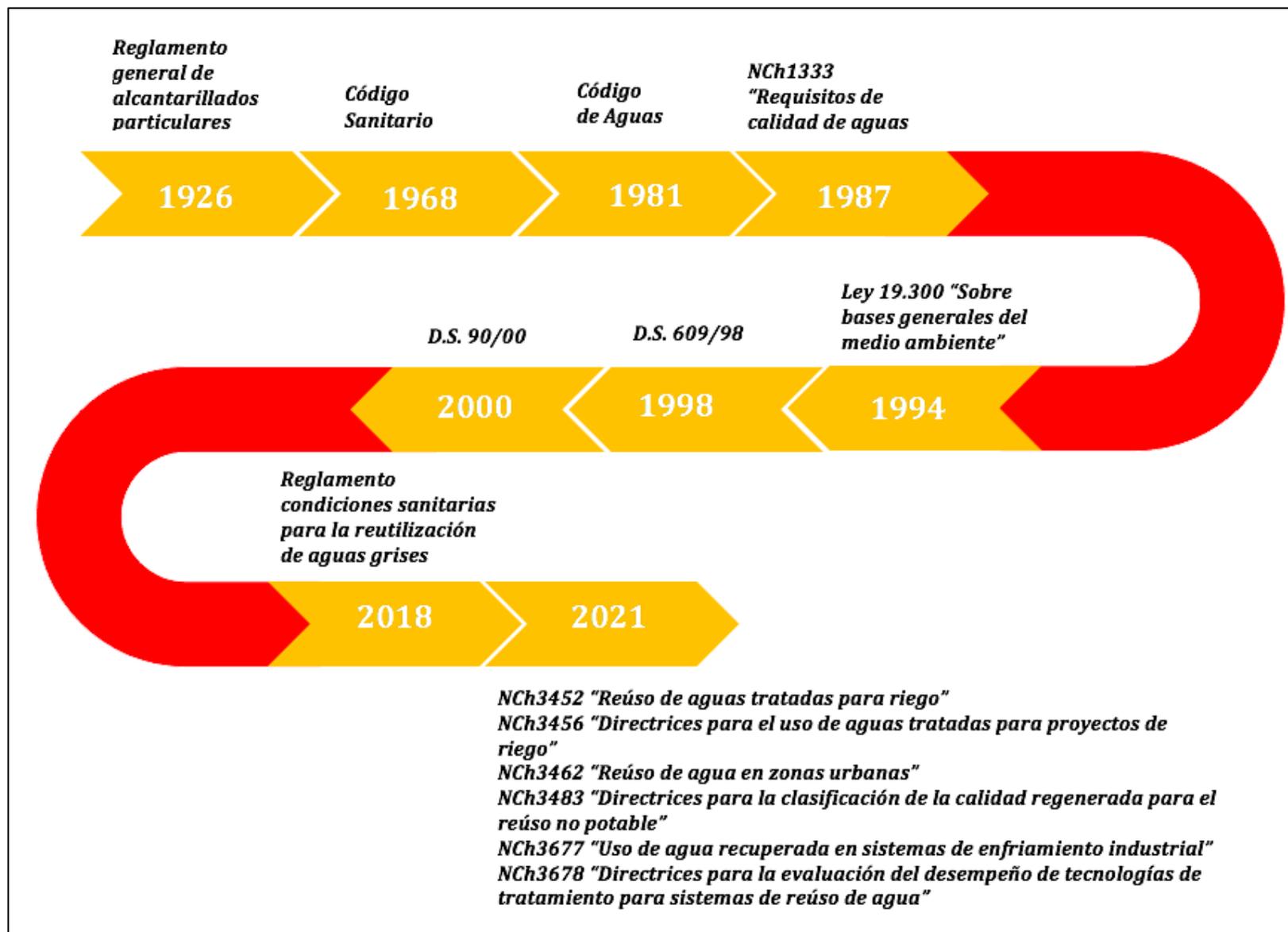


Figura 2.1: Línea de tiempo leyes y/o cuerpos normativos en Chile sobre aguas residuales.

Pese a los avances en normativas, aún hay diferentes desafíos en el ámbito del reúso de aguas residuales tratadas. Según Donoso & Rivera, 2020; la reutilización de las aguas residuales presenta múltiples beneficios, siempre y cuando se realicen los tratamientos de manera correcta. Uno de estos es la economía circular, que trae beneficios como la generación de ingresos no operacionales, venta de agua tratada, venta de biogás, venta de fósforo o biosólidos como fertilizantes, y reducción de costos operacionales. Sin embargo, se nombran cinco desafíos para potenciar el reúso de las aguas residuales tratadas, de tipo jurídico, ambiental, financiero, económico y social; los que se detallan a continuación.

- Tipo jurídico: Al no existir legislación particular y propia, la discusión correspondiente ha quedado detenida respecto a la definición de la propiedad y la disposición de las aguas servidas tratadas. Existen dos posiciones, por un lado, las empresas sanitarias, quienes demandan la propiedad de las aguas servidas mientras estas aún se encuentren en sus instalaciones, en cambio, los agricultores, afirman que las sanitarias deben verter las aguas residuales tratadas al cauce natural. Por lo tanto, se requiere de un marco regulatorio que incentive el desarrollo de esta fuente alternativa, tanto como en su diseño como implementación.
- Tipo ambiental: La reutilización del agua no tratada conlleva riesgos ambientales, como contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y la degradación de ecosistemas acuáticos junto a su eutrofización. Sin embargo, el tratamiento de aguas residuales correctamente ejecutados antes de la reutilización permite disminuir los riesgos de daño ambiental, pero no existen valores límites universales en materia de calidad y, a consecuencia de esto, aumenta la incertidumbre y disminuye la inversión en el sector. A nivel nacional, las legislaciones han tenido históricamente como objetivo normar la calidad del agua residual, no el potencial de reúso. Dado lo anterior, los lineamientos deben adaptarse a las necesidades actuales, promoviendo la reutilización y la recuperación de recursos.
- Tipo financiero y económico: El insuficiente financiamiento de infraestructura de saneamiento y la recuperación de sus costos presenta un gran desafío por sí solo, ya que en la práctica se ha comprobado que, mientras más altos los niveles de tratamiento, más altos los costos asociados; de momento solo los proyectos de reúso con objetivos industriales, como mineros, resultan factibles económicamente. En paralelo, esta la necesidad de un nuevo tipo de evaluación que sea más allá de lo económico, mostrando que son proyectos atractivos desde el punto de vista social, considerando beneficios que son difíciles de cuantificar, como lo es la reducción de contaminación en el recurso hídrico, liberación de recursos que podrían ser utilizados en la producción de agua potable, o menor dependencia de los efectos del cambio climático, en el corto y largo plazo.

- Tipo social: La aceptación de parte del consumidor y sus propias percepciones de riesgo al consumir o utilizar las aguas residuales tratadas presenta dificultades, pese a las investigaciones y tecnologías que demuestran que el reúso de aguas servidas tratadas es seguro. Se deben crear las oportunidades para informar de manera correcta, con el fin de cambiar la percepción pública respecto a la calidad efectiva del recurso hídrico, en otras palabras, la educación de la población es una herramienta necesaria para fomentar el reúso sostenible de aguas residuales tratadas.

Finalmente, en las zonas rurales dado al costo asociado al tratamiento tradicional, la población no paga por este servicio y optan por soluciones no formales, en consecuencia, las plantas construidas quedan abandonadas; provocando un gran efecto en ríos y en las zonas cercanas, tanto en la flora y fauna por las reacciones biológicas del efluente (Mancilla, 2015). Por lo que los costos asociados a nuevas tecnologías y el valor del  $m^3_{tratado}$  a pagar por los consumidores, presentan un desafío extra a considerar en la reutilización de las aguas residuales tratadas.

## 2.2 Tecnologías de tratamiento para reúso en Chile

Hoy en día, en el territorio nacional existen dos plantas de tratamiento de aguas servidas para reúso. En la región de Antofagasta se encuentra el proyecto Planta de reúso de Aguas Servidas Salar del Carmen de la empresa ECONSSA Chile, que recolecta las aguas servidas pretratadas proveniente del emplazamiento de todas la aguas servidas de Antofagasta, como las dirigidas a la PTAS Lodos Antofagasta (tratamiento aproximado 120 [l/s]) o al Emisario submarino de Antofagasta (capacidad máxima 1500 [l/s]) y así reutilizar las aguas tratadas en la nueva PTAS, con el objetivo de entregar como insumo de aguas de proceso a diferentes industrias de la zona, principalmente al sector minero, en consecuencia la nueva planta de tratamiento no cuenta con un sistema de evacuación de efluente a algún cuerpo receptor (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A, 2019).

El proyecto de Aguas Servidas Salar del Carmen, cuenta con las siguientes unidades para tratar un total de 900 [l/s]: dos cámaras de distribución de caudal, reactores biológicos, clarificadores secundarios, planta elevadora de Lodos RAS-WAS, planta elevadora de sobrenadantes del clarificador, planta elevadora de excesos, cámara de contacto, espesadores gravitacionales, edificio de lodos, sala de cloración, galpón almacenamiento de cal y sistema de tratamiento de olores (Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A, 2019).

Mientras tanto, en la región de Coquimbo, provincia de Limarí, se ubica la planta de aguas servidas de Cerrillos de Tamaya. Construida el año 2005, trata un caudal aproximado de 6 [l/s]. La planta utiliza un sistema de lodos activados, generando un efluente que cumple con el Decreto Supremo 90/2000, que es una norma de calidad suficiente para generar aguas para riego. Después de asambleas y votaciones, la localidad de Cerrillos de Tamaya, se decidió implementar la reutilización de las aguas residuales tratadas para riego, seleccionando el cultivo de alfalfa como primer caso,

dado a que es un cultivo rápido, de bajo costo y utilizado para alimentación animal (Fundación Chile, 2018).

Como se observa, los casos de reúso en Chile sólo consideran aplicaciones no potables. Sin embargo, existen algunos proyectos a nivel mundial para potabilización, como lo es la planta de tratamiento de Vinjuc en Namibia, la cual transforma 21.000  $[m^3]$  diarios de agua residual en agua potable para asegurar la provisión del recurso hídrico en la ciudad de Windhoek. En la planta de tratamiento en cuestión, se plantea la construcción de una nueva estación que incorporará la tecnología de reactores biológicos de membrana aeróbica (MBR) con el fin de seguir con el proceso evolutivo de la experiencia y solucionar la progresiva acumulación de sales por la reutilización del agua. (Mujeriego Sahuquillo, 2015). Los MBRs aeróbicos consumen mucha energía, lo que se aleja del concepto de economía circular que se quiere llegar en un futuro cercano. Existen otros tratamientos, que involucran procesos anaeróbicos y de algas en reactores, como la configuración del A2MBR que, además de generar aguas de alta calidad, tienen el potencial de generar energía y recuperar nutrientes.

### Sistema de tratamiento Sequential Anaerobic and Algal Membrane Bioreactor (A2MBR)

Prieto, (2011) estudió una nueva configuración de reactores para tratamientos de aguas residuales municipales evaluada por su potencial para recuperar recursos valiosos de las aguas servidas como energía y fertilizantes.

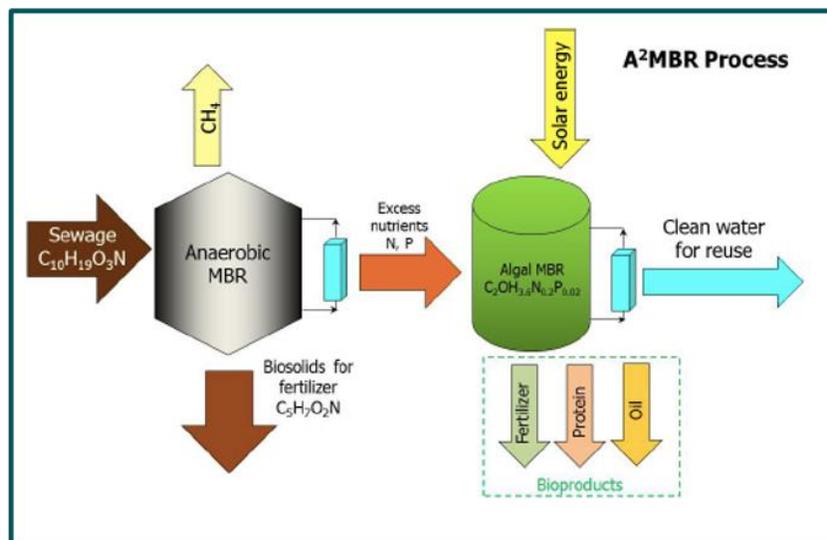


Figura 2.2: Flujo de material en sistema A2MBR. Prieto, 2011.

La configuración de Prieto (2011), en primer lugar, el caudal ingresa al reactor MBR anaeróbico donde el nitrógeno y el fósforo de las aguas residuales se convierten en amonio y fosfato, los cuales se pueden aplicar de manera directa como fertilizantes. En esta etapa, la digestión anaerobia produce metano, que se puede utilizar como fuente

de energía (combustión directa, conversión de energía eléctrica o térmica). En el ciclo de recuperación continua, el último paso es el biorreactor de fotomembrana de algas (APMBR). Las microalgas productoras utilizan el dióxido de carbono y los nutrientes restantes del proceso anterior para el crecimiento de la biomasa, la cual se puede convertir en biocombustibles.

Se señala que el porcentaje esperado de remoción del sistema en el caso de la demanda química de oxígeno es cercano al 98%, carbono orgánico total de 95%, nitrógeno como amoníaco  $NH_3$  cerca al 100% al igual que el fósforo como fosfato  $PO_4$  (Prieto, 2011).

El proceso de tratamiento secuencial de dos fases, el MBR anaeróbico/algas (A2MBR) es una tecnología de tratamiento prometedora por su potencial para recuperar energía, fertilizantes y el recurso hídrico en sí, por lo que se considera una alternativa para la generación de agua y aplicación en reúso directo potable.

### **2.3 Diagnóstico Cuenca Río Maipo**

Las características de la Cuenca del Río Maipo, como su ubicación, clima, geografía, población, se pueden encontrar en la sección Anexo B.

En el caso de la disponibilidad hídrica, el estudio *“Diagnóstico Plan maestro de recursos hídricos Región Metropolitana de Santiago”* realizado por la DGA, es el más actualizado de la zona a la fecha (Dirección General de Aguas, 2015). Se consideran dos tipos de años según la disponibilidad hídrica, estos son: año promedio o probabilidad de ocurrencia de la situación es de una vez cada dos años (probabilidad de excedencia del 50%) y año seco o 17 veces cada 20 años (probabilidad de excedencia del 85%).

A continuación, se muestra el resultado de la proyección de la demanda al año 2025 realizada por la DGA según el tipo de recurso hídrico, superficial y subterránea, y la subcuenca respectiva (Tabla 2.2 y Tabla 2.3). En el caso del agua superficial se realiza la diferencia entre año 50% probable y 85% probable.

En la subsección Anexo C, se incluye una tabla resumen de año promedio y año seco. Además, de la proyección de demanda de producción [l/s] por subcuenca hasta el año 2025 realizada en por la DGA.

a) Agua superficial

Tabla 2.2: Balance agua superficial futuro año 50% probable y 85% probable. (Dirección General de Aguas, 2015)

Subcuenca	Elemento del balance	Semestre 50%		Anual 50%	Semestre 85%		Anual 85%
		Húmedo	Seco		Húmedo	Seco	
Maipo Alto	Oferta [ $m^3/s$ ]	58,76	144,76	101,76	42,69	96,74	69,71
	Demanda [ $m^3/s$ ]	18,39	24,62	21,51	18,39	24,62	21,51
	Balance [ $m^3/s$ ]	40,36	120,14	80,25	24,30	72,12	48,21
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	100	100
Maipo Medio	Oferta [ $m^3/s$ ]	68,06	79,39	73,72	36,43	49,42	42,92
	Demanda [ $m^3/s$ ]	26,88	63,02	44,95	26,88	63,02	44,95
	Balance [ $m^3/s$ ]	41,18	16,37	28,78	9,55	-13,60	-2,03
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	78,42	95,49
Maipo Bajo	Oferta [ $m^3/s$ ]	155,02	117,78	136,40	64,00	60,05	62,03
	Demanda [ $m^3/s$ ]	23,85	31,61	27,73	23,85	31,61	27,73
	Balance [ $m^3/s$ ]	131,17	86,17	108,67	40,15	28,44	34,30
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	100	100
Mapocho Alto	Oferta [ $m^3/s$ ]	4,68	7,71	6,20	1,96	3,39	2,68
	Demanda [ $m^3/s$ ]	1,00	1,52	1,26	1,00	1,52	1,26
	Balance [ $m^3/s$ ]	3,68	6,19	4,94	0,97	1,87	1,42
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	100	100
Mapocho Bajo	Oferta [ $m^3/s$ ]	61,75	88,37	75,06	30,52	54,30	42,41
	Demanda [ $m^3/s$ ]	20,58	29,34	24,96	20,58	29,34	24,96
	Balance [ $m^3/s$ ]	41,17	59,03	50,10	9,94	24,96	17,45
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	100	100
Estero Alhúe	Oferta [ $m^3/s$ ]	5,86	1,48	3,67	1,69	0,48	1,08
	Demanda [ $m^3/s$ ]	0,38	0,35	0,36	0,38	0,35	0,36
	Balance [ $m^3/s$ ]	5,48	1,13	3,30	1,31	0,13	0,72
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	100	100
Estero Yali	Oferta [ $m^3/s$ ]	4,15	0,98	2,56	1,34	0,33	0,84
	Demanda [ $m^3/s$ ]	0,07	0,58	0,32	0,07	0,58	0,32
	Balance [ $m^3/s$ ]	4,08	0,40	2,24	1,28	-0,25	0,52
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100	100	57,56	100

- Aguas subterráneas

Tabla 2.3: Balance agua subterránea futuro. (Dirección General de Aguas, 2015).

Subcuenca	Elemento del balance	Semestre		Anual
		Húmedo	Seco	
Maipo Alto	Oferta [ $m^3/s$ ]	0,00	0,00	0,00
	Demanda [ $m^3/s$ ]	0,13	0,31	0,22
	Balance [ $m^3/s$ ]	-0,13	-0,31	-0,22
	Satisfacción Demanda [%]	0,00	0,00	0,00
Maipo Medio	Oferta [ $m^3/s$ ]	8,59	8,59	8,59
	Demanda [ $m^3/s$ ]	1,42	7,94	4,68
	Balance [ $m^3/s$ ]	7,17	0,65	3,91
	Satisfacción Demanda [%]	100	100	100
Maipo Bajo	Oferta [ $m^3/s$ ]	5,02	5,02	5,02
	Demanda [ $m^3/s$ ]	1,05	6,43	3,74
	Balance [ $m^3/s$ ]	3,97	-1,41	1,28
	Satisfacción Demanda [%]	100	78,02	100
Mapocho Alto	Oferta [ $m^3/s$ ]	0,47	0,47	0,47
	Demanda [ $m^3/s$ ]	1,01	1,18	1,09
	Balance [ $m^3/s$ ]	-0,54	-0,71	-0,62
	Satisfacción Demanda [%]	46,73	39,72	42,94
Mapocho Bajo	Oferta [ $m^3/s$ ]	27,47	27,47	27,47
	Demanda [ $m^3/s$ ]	12,27	29,22	20,74
	Balance [ $m^3/s$ ]	15,20	-1,75	6,73
	Satisfacción Demanda [%]	100	94,03	100
Estero Alhúe	Oferta [ $m^3/s$ ]	0,91	0,91	0,91
	Demanda [ $m^3/s$ ]	0,22	1,92	1,07
	Balance [ $m^3/s$ ]	0,69	-1,01	-0,16
	Satisfacción Demanda [%]	100	47,33	85,09
Estero Yali	Oferta [ $m^3/s$ ]	2,31	2,31	2,31
	Demanda [ $m^3/s$ ]	0,42	3,36	1,89
	Balance [ $m^3/s$ ]	1,89	-1,05	0,42
	Satisfacción Demanda [%]	100	68,65	100

Como se observa en las tablas anteriores, hay un déficit en las proyecciones tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales con la demanda actual. Por lo tanto, cualquier nueva demanda no podrá ser cubierta con los recursos disponibles actualmente, lo que hace que se consideren nuevas fuentes del recurso hídrico como lo es la reutilización de las aguas servidas tratadas.

### **3. Metodología**

#### **3.1 Disponibilidad de aguas residuales municipales en la Cuenca**

Bajo el contexto de la reutilización del recurso y considerando los posibles conflictos de derechos de agua continental de la cuenca aguas abajo de las PTAS, la SISS considera la posibilidad de usar los emisarios submarinos con el fin de la reutilización de agua (Gutiérrez, 2020). En la misma línea se definen dos casos de estudios, uno dentro de la Cuenca del Río Maipo, Emisario de San Antonio (caudal máximo puntual 540 [l/s] y caudal medio 270 [l/s]) y otro fuera de la cuenca, Cuenca Costera entre Aconcagua y Maipo, Emisario Dos Norte en Viña del Mar (caudal máximo puntual 2.600 [l/s] y caudal medio 1.444 [l/s]). Estos escenarios fueron escogidos con el fin de comparar las factibilidades en cada caso, pese a la falta de normativa para reúso con fin potable.

Para conocer la disponibilidad de aguas residuales, tanto provenientes de emisarios submarinos y plantas de tratamiento de aguas servidas, se solicitó vía transparencia a la SISS la información correspondiente a la Región de Valparaíso, Región Metropolitana y Región de O'Higgins. En específico, las coordenadas UTM respectivas, calidad de sus efluentes de los primeros meses del año 2021, empresas correspondientes, año de construcción, tipo de tratamiento y decreto utilizado para su monitoreo.

Al tener la información señalada anteriormente compilada, se crea un mapa interactivo formato GIS (Qgis3, software de libre acceso), con el objetivo de una mejor visualización de la información como los derechos de agua otorgados, emisarios submarinos y plantas de tratamiento de aguas servidas, y gráficas resumen, ambos mostrados en la sección Resultados y Discusiones del presente informe.

#### **3.2 Prefactibilidad técnico-económico Sistema A2MBR**

Se define una línea de procesos a fin de poder aplicar el sistema A2MBR para el reúso y distribución de las aguas, que se aplica en las zonas seleccionadas como posibles escenarios para el análisis de costos. El diseño representa los componentes que integran el sistema de reúso y distribución, comenzando en la oferta de las aguas residuales de los emisarios submarinos, el tratamiento idóneo y distribución final a los sectores que utilizarán el agua de reúso en este caso, en específico a las plantas de aguas potables más cercanas de cada emisario submarino.

Como primer paso, se define una línea de tratamiento basado en la literatura, que consiste en la unidad de pretratamiento, reactor AnMBR, reactor AlgalMBR, unidad de lodos, unidad de desinfección y sistema de conducción a plantas de tratamiento de agua potable (ACCIONA, n.d.; Prieto, 2011) (Figura 3.1). La calidad del efluente tratado se define a partir de normativas actuales como la NCh409 y la NCh1105, que establece

los parámetros de agua potable y el diseño de redes de alcantarillado respectivamente (Ministerio de Obras Públicas, 2008; Ministerio de Salud, 2005).

La unidad de pretratamiento no se considera en ambos escenarios, ya que los emisarios submarinos estudiados cuentan con estas unidades. Los tratamientos posteriores se investigan en el mercado internacional y literatura a nivel mundial (Tabla 3.3), considerando un caudal máximo de diseño fijo en cada emisario de 1000 [ $m^3/dia$ ] dada las restricciones en los equipos de las membranas del reactor MBR anaeróbico. El caudal del diseño equivale a un 4% del caudal promedio en el caso del Emisario de San Antonio y a un 0,8% en el Emisario Dos Norte, el cual es un porcentaje muy inferior, pero suficiente para realizar un estudio de prefactibilidad.

Cabe destacar que, en el caso de los lodos, se considera la producción de lodos clase B, según el Decreto N°4/2009 para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, con el fin de que estos sean depositados en un relleno sanitario cercano con la respectiva autorización sanitaria (CONAMA, 2009).

Para la desinfección, se estudia el tratamiento por hipoclorito de sodio/calcio, porque la planta de tratamiento al tener membranas en su sistema, la tecnología cuenta con unidades de filtración granular para la remoción de sólidos y la microfiltración para la eliminación de coloides. La desinfección por cloro es elegida por ser obligatoria en la normativa chilena, como lo es también la presencia de cloro residual en el agua potable (Ministerio de Salud, 2007).

Para el sistema de distribución se considera el traslado de las aguas servidas tratadas a las plantas de producción de agua potable, Pozo Azul en el caso del Emisario Dos Norte, y San Juan de Lolleo en el caso del Emisario San Antonio. Para el diseño de las conducciones se considera una velocidad máxima de 2,5 [ $m/s$ ]. La carga friccional se calcula según la ecuación de Hazen-Williams.

$$J = 10,67 * \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87} * C^{1,85}} * L$$

Donde:

- $J$ = Pérdida de carga [ $m/m$ ]
- $Q$ = Caudal [ $m^3/s$ ]
- $D$ = Diámetro interior [ $m$ ]
- $C$ = Coeficiente de rugosidad [-]
- $L$ = Largo de tubería [ $m$ ]

El valor del coeficiente de rugosidad viene dado por el material de la tubería. En este caso se utilizará un valor de 140 para tuberías de PVC, de acuerdo con el catálogo técnico.

En el caso de las pérdidas singulares, al determinarse de manera experimental, se suponen como un 5% de las pérdidas friccionales.

Al determinar la información de elevación de diseño, el caudal a impulsar y sus pérdidas asociadas, se procede a calcular las presiones de diseño, para elegir las tuberías a utilizar que cumplan con los requerimientos, y el número de estaciones de bombeo necesarias para impulsar el caudal hasta las plantas de tratamiento de agua potable. El valor de la presión, en cada tramo se determina con la ecuación de Bernoulli. Se restringe a que la presión mínima sea igual a 5 [Pa], porque es la presión mínima exigida en la NCh 691 (Ministerio de Obras Publicas, 1998).

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2 + \Lambda_{1-2}$$

Donde:

- $P_i$ = Presión en punto i [Pa]
- $\rho$ = Densidad [ $kg/m^3$ ]
- $v_i$ = Velocidad en punto i [ $m/s$ ]
- $h_i$ = Altura en i [ $m$ ]
- $g$ = Constante gravitatoria [ $m^2/s$ ]
- $\Lambda_{1-2}$ = Pérdidas entre 1 y 2 [Pa]

Por último, la elevación de aguas residuales municipales tratadas estarán compuestas por bombas de impulsión, las que se dimensionan según el caudal y la altura de elevación del tramo correspondiente. La potencia de las bombas se calcula según la siguiente expresión:

$$Potencia\ bomba = \frac{H * Q * g * \rho}{1000 * \left(\frac{n}{100}\right)} [kW]$$

Donde:

- $H$ = Altura total de elevación [ $m$ ]
- $\rho$ = Densidad [ $kg/m^3$ ]
- $Q$ = Caudal de elevación [ $l/s$ ]
- $n$ = Rendimiento de bomba [%]
- $g$ = Constante gravitatoria [ $m^2/s$ ]

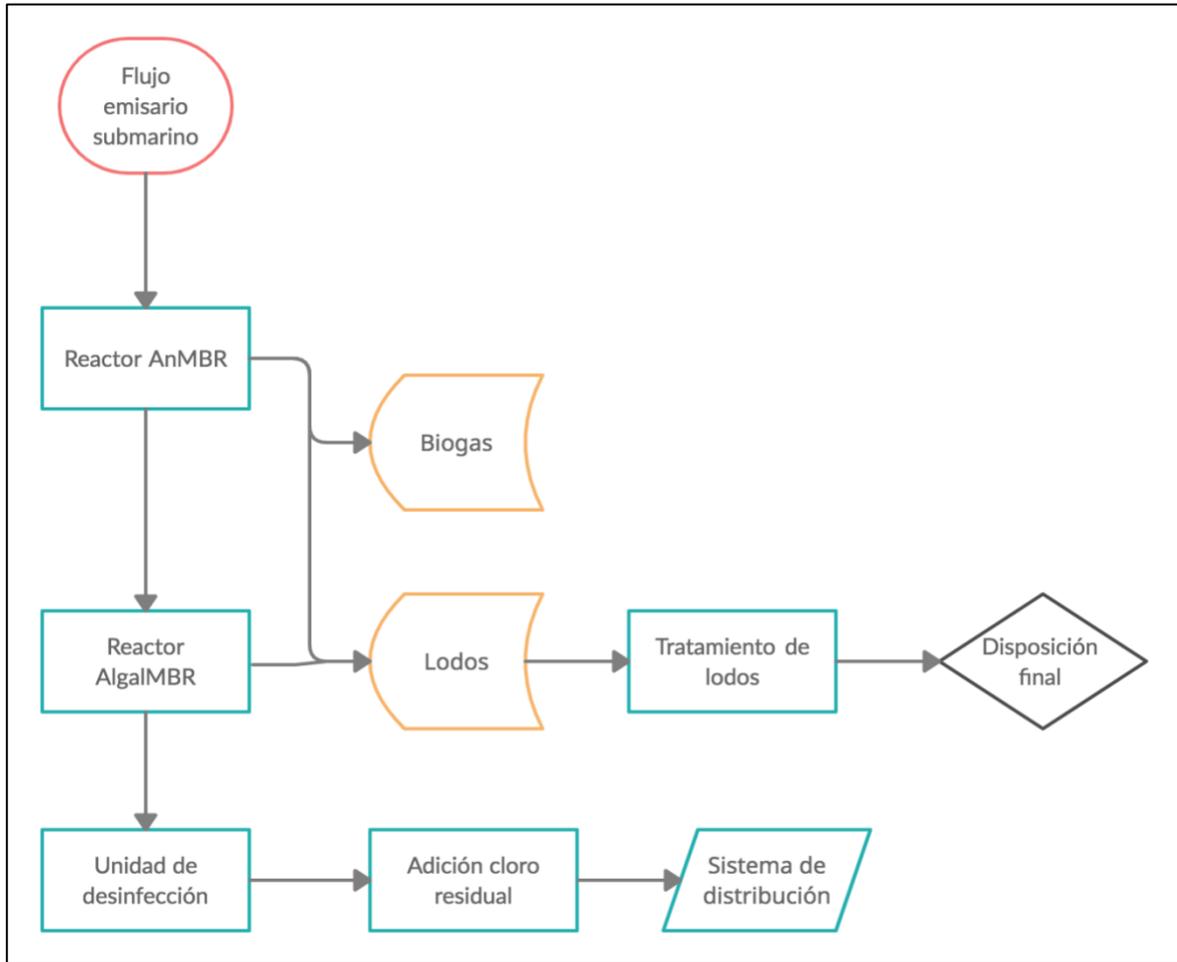


Figura 3.1: Línea de tratamiento.

Se realiza un análisis de prefactibilidad de costos, donde no se consideran los posibles impuestos al importar los equipos (reactor AnMBR y reactor AlgalMBR), como tampoco el transporte que se necesita para los mismos, ni el costo de traslado y disposición de los lodos al relleno sanitario correspondiente. En el caso del sistema de distribución, el agua tratada se desvía a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) más cercana, en ambos casos, correspondientes a la empresa sanitaria ESVAL, la que es la encargada de la distribución a la población, por lo que el costo no es considerado en el análisis.

Con el objetivo de un completo análisis de costo del sistema se consideran cuatro indicadores: CAPEX, OPEX, VPN y el costo de  $m^3_{tratado}$ , según el modelo aplicado de regulación.

El CAPEX corresponden a grandes gastos a largo plazo como la compra de bienes o servicios importantes, por ejemplo: Plantas, equipos y maquinaria de fabricación, mejoras a la infraestructura y compras de terreno, en caso de ser necesario. Se consideran las siguientes unidades: Reactor AnMBR, reactor AlgalMBR, unidad de

desinfección por gas cloro y adición cloro residual, tratamiento de lodos e incorporación al sistema de distribución para el traslado a la PTAP más cercana, según el escenario.

En cambio, el OPEX corresponde a costos a corto plazo, considerados como costos diarios que incurre la empresa para que la industria se mantenga operativa. Como lo son los sueldos de los trabajadores, los alquileres, mantención de equipos y energía.

El VPN, es el valor presente neto, su fin es realizar comparaciones entre los periodos del proyecto para determinar si conviene o no invertir en él. Para este indicador se realizan dos proyecciones, el caso ideal de devolución de lo invertido en 5 años y el caso general para los proyectos sanitarios equivalente a 15 años, que se estima es la vida útil de los equipos en promedio (AKROS Ing., 2014). La tasa de descuento utilizada corresponde a la entregada por el Ministerio de Desarrollo Social para la industria en marzo de 2021 igual a 6% (Subsecretaría de Evaluación Social, 2021).

Por último, se utiliza el modelo aplicado que regula la fijación de tarifas del sector sanitario dado su Reglamento el D.S. N°453 (Ministerio de Economía, 1990), en el caso de este trabajo se utilizan los casos de tarifas de eficiencia correspondientes a la etapa de disposición de aguas servidas. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

- a) Costo por metro cúbico asociado a volumen, en períodos punta.

$$CVP2 = \frac{\sum_{i=1}^{35} \frac{(GAL_i - GAL_o)}{(1+r)^i}}{\sum_{i=1}^{35} \frac{(MCAL_i - MCAL_o)}{(1+r)^i}} \left[ \frac{\$}{m^3} \right]$$

- b) Costo por metro cúbico asociado a la capacidad del sistema, en períodos punta.

$$CVP3 = \frac{\sum_{i=1}^j \frac{IAL_i}{(1+r)^i} - \frac{RAL}{(1+r)^{35}} - t * \sum_{i=1}^{35} \frac{DAL_i}{(1+r)^i}}{(1-t) * \sum_{i=1}^{35} \frac{(MCAL_i - MCAL_o) * Mp}{(1+r)^i}} \left[ \frac{\$}{m^3} \right]$$

- c) Tarifa eficiente disposición de aguas servidas, cargo variable por metro cúbico en período punta:

$$\frac{\$}{m^3_{tratado}} = CVP2 + \left( \frac{Mp}{12} \right) * CVP3$$

Donde:

- $MCAI_i$  = Promedio mensual de metros cúbicos de aguas servidas descargadas, en el año  $i$ .
- $MCAI_o$  = Promedio mensual de metros cúbicos de aguas servidas descargadas, en la situación base.
- $Mp$  = Número de meses del período punta.
- $GAL_o$  = Promedio mensual de gastos de operación y mantención del sistema de recolección de aguas servidas, asociados al número de metros cúbicos descargados en el período punta, incurridos en la situación base.
- $GAL_i$  = Promedio mensual de gastos de operación y mantención del sistema de recolección de aguas servidas, asociados al número de metros cúbicos descargados en el período punta, incurridos en el año  $i$ .
- $IAl_i$  = Inversión anual correspondiente al plan de expansión del sistema de recolección aguas servidas.
- $RAL$  = Valor residual de las inversiones asociadas a la expansión del sistema de recolección de aguas servidas.
- $DAL_i$  = Depreciación anual correspondiente a las inversiones del plan de expansión del sistema de recolección de aguas servidas.
- $r$  = Tasa de costo de capital.
- $t$  = Tasa de impuesto vigente.
- $j$  = Número de años considerados en el período de expansión.

En el caso del presente trabajo, se considera que, la inversión se deprecia en su totalidad a lo largo de los 35 años, con una tasa de depreciación lineal acelerada, es decir, 1/3 de la vida útil contable de cada ítem de inversión y que el periodo punta, es el consumo registrado entre las fechas 1 de diciembre y 31 de marzo. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2019).

## 4. Resultados y discusiones

### 4.1 Disponibilidad de aguas residuales municipales en la Cuenca

De la información solicitada por ley de transparencia, en la Figura 4.1, se muestran las plantas de tratamiento de aguas servidas de la Cuenca Río Maipo y sus alrededores. La información obtenida incluye datos como año de construcción, tipo de tecnología del tratamiento, cuerpo receptor, ubicación de la descarga y parámetros físicoquímicos máximos informados en los primeros meses del 2021. Los datos corresponden a 29 PTAS en la cuenca del Río Maipo y las PTAS Santa María del Mar y Santo Domingo, ES - Dos Norte y ES - Loma Larga. Algunos parámetros de calidad de efluente informados son: DBO5, SDT, TKN, coliformes fecales, entre otros. La información completa se presenta en el Anexo E.

Con los datos, se genera un mapa interactivo que muestra la información georreferenciada de las obras sanitarias. En la Figura 4.1, se muestra un ejemplo de la interfaz en el programa.

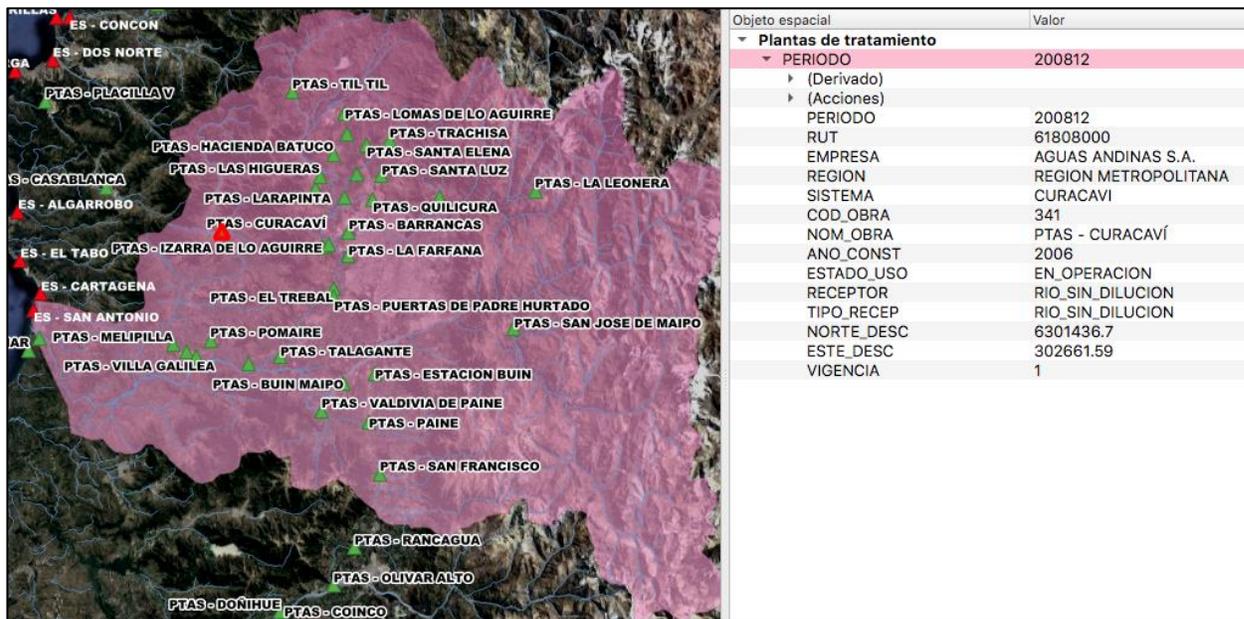


Figura 4.1: Interfaz de mapa interactivo de Qgis, PTAS de Curacavi.

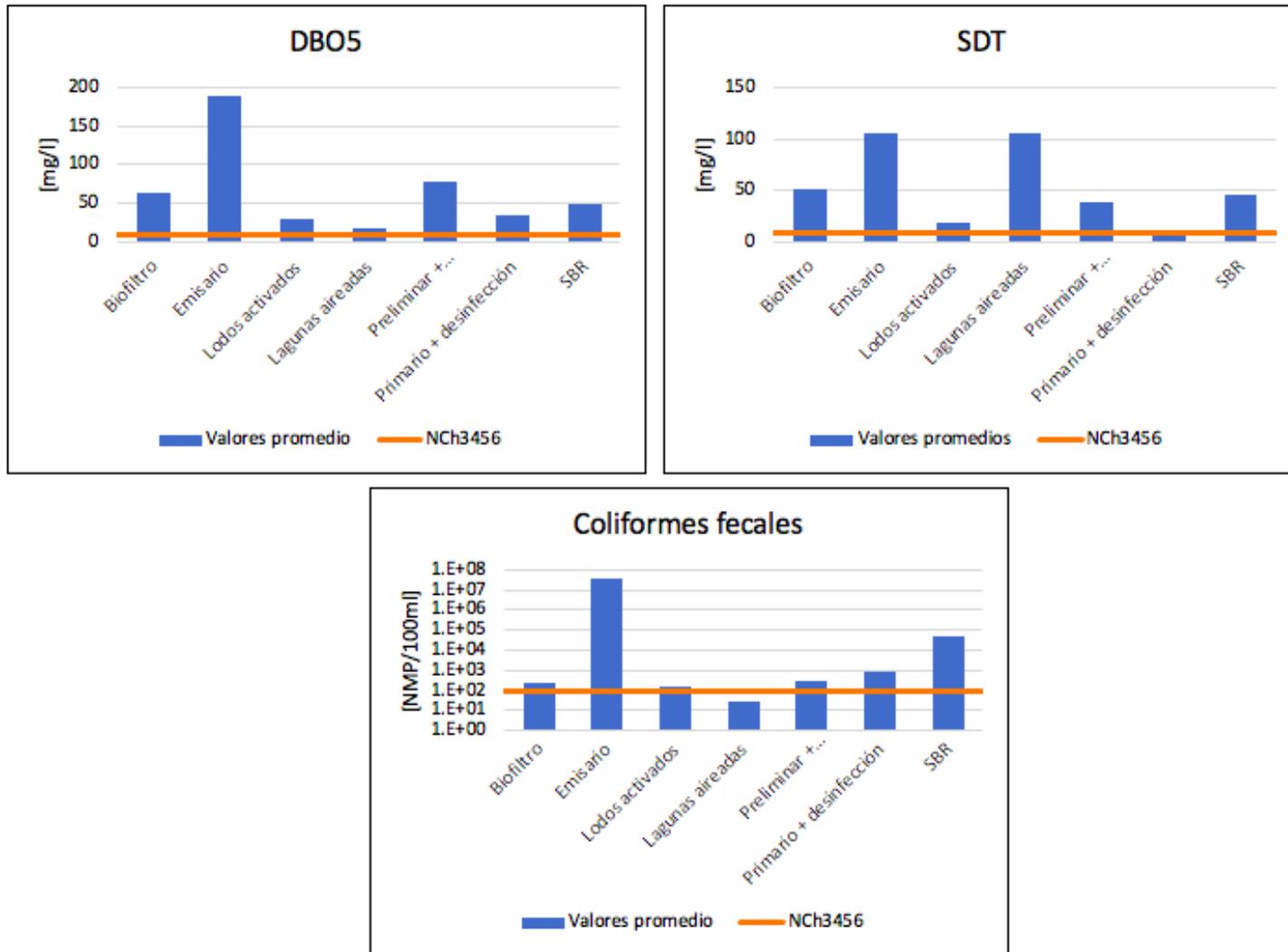


Figura 4.2: Valores promedio calidad efluentes PTAS a) DBO5, b) Solidos disueltos totales, c) Coliformes fecales. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2021).

Con los datos de calidad de efluente, tanto de PTAS como de los emisarios submarinos, se puede evidenciar que la calidad es muy diferente. Comparando algunos parámetros (Figura 4.2), con la normativa NCh3456 (Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021a), la calidad de los efluentes esperada es muy inferior, lo que se explica por las diferentes restricciones en el decreto D.S.90/00 según el cuerpo de aguas receptor. Sin embargo, estas restricciones, son insuficientes para un posible reúso directo de las aguas servidas tratadas, Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Calidad sugerida de aguas residuales tratadas, NCh3456.

Categoría	Tipo de agua regenerada	DBO5 [mg/l] Máx.	SST [mg/l] Máx.	Coliformes termotolerantes [NMP/100ml] Máx.	Usos potenciales sin barreras	Posible trat. corres.
A	Aguas regeneradas de muy alta calidad	10	10	100	Riego urbano sin restricciones y riego agrícola de cultivos alimenticios.	Secundario, filtrado por contacto o por membrana y desinfección.
B	Aguas regeneradas de alta calidad	20	25	1000	Riego urbano restringido y riego agrícola de cultivos procesados.	Secundario, filtración y desinfección.
C	Aguas regeneradas de buena calidad	35	50	10000	Riego agrícola de cultivos no alimentarios	Secundario y desinfección.
D	Aguas regeneradas de mediana calidad	35	80	10000	Riego restringido de cultivos industriales y sembrados	Secundario o clarificación de alta velocidad con coagulación, floculación.

Respecto, al parámetro de los coliformes fecales (Fig 4.2), donde lo informado por los emisarios submarinos supera por casi seis escalas logarítmicas a la concentración máxima permitida por la normativa, tipo A, usos en riego urbano sin restricciones y uso agrícola de cultivos alimenticios consumidos crudos. Solamente en el caso de las lagunas aireadas se cumple con la normativa para riego de muy alta calidad.

Se muestra en la Tabla 4.1 que, para regenerar aguas de muy alta calidad, solo para riego sin restricciones, es necesario de tratamientos avanzados, como filtración por membranas más la unidad de desinfección, restricciones que en la actualidad ningún tratamiento cumple en la zona de estudio. Cabe señalar que, para el consumo humano y cumplir con la normativa NCh409, requiere de una configuración aún más

avanzada como lo es el A2MBR, el cual tiene filtración por membrana, reactor de microalgas y unidad de desinfección.

Como se observa en la Figura 4.1, existe potencial de reúso en todos los sectores de la cuenca del Maipo. Sin embargo, como se observa en la Figura 4.3, solo los emisarios submarinos no compiten por derechos de agua, por lo que son los que se pueden aprovechar para reúsos sin incurrir en conflictos legales con los usuarios y/o las empresas sanitarias que se encuentran aguas debajo de las plantas de tratamiento.

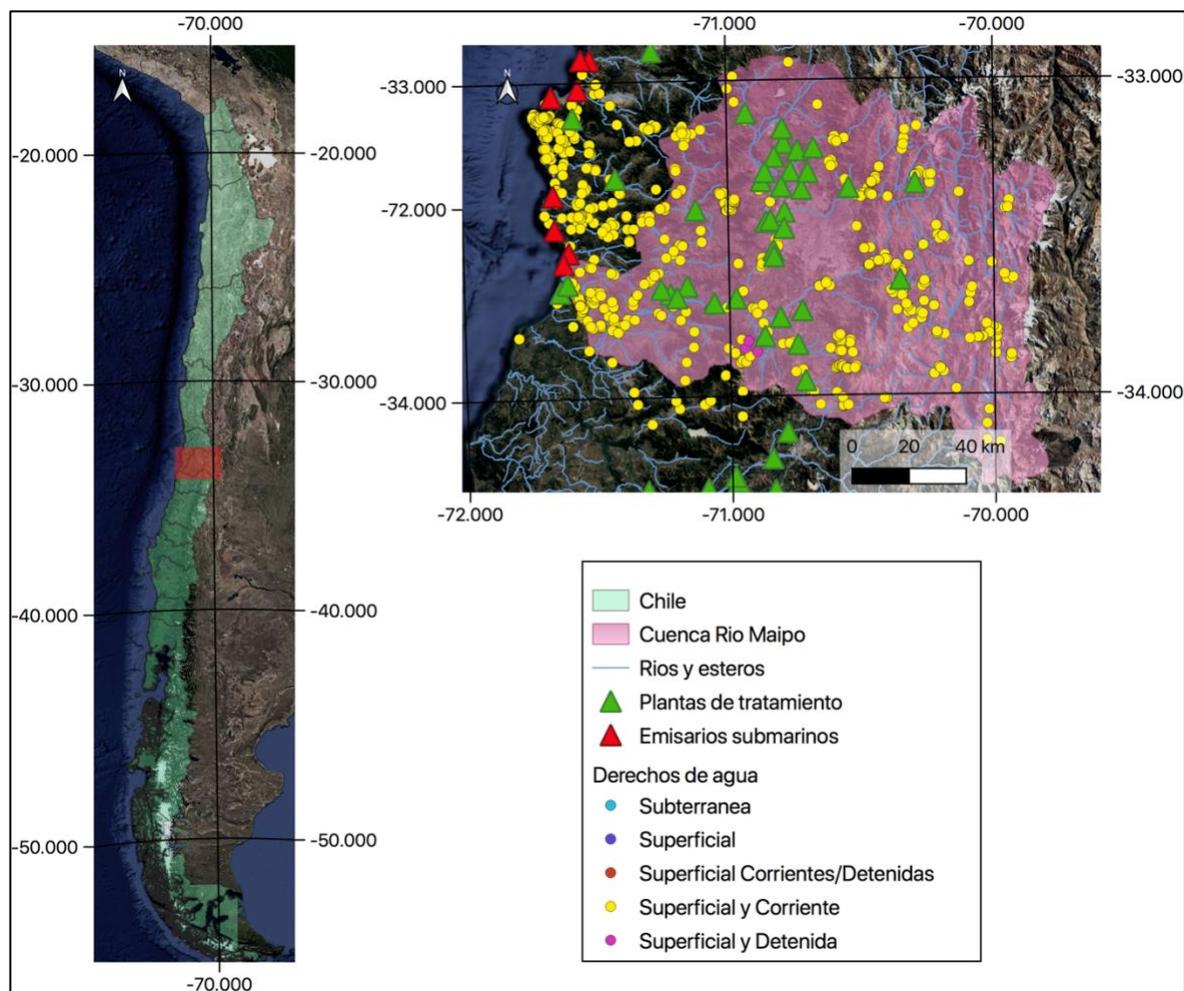


Figura 4.3: Mapa derechos de agua superficiales otorgados en Cuenca Río Maipo y zonas cercanas.

Por lo tanto, el desafío es llevar la calidad de los emisarios submarinos a estándares aptos para actividades de reúso, o como en el caso del presente estudio, garantizando su uso en aplicaciones potables según la NCh409.

## 4.2 Prefactibilidad técnico-económica sistema A2MBR

Para evaluar la prefactibilidad de la tecnología, se evalúa por escenario. Como se señaló anteriormente, el escenario principal está localizado en la desembocadura de la Cuenca Río Maipo, Emisario Submarino San Antonio; además se estudia la

prefactibilidad en el Emisario Submarino Dos Norte, con el objetivo de analizar dos casos, correspondiente al sistema Emisario Loma Larga. Ambos emplazados en la Región de Valparaíso, donde el volumen anual de las descargas de todos los emisarios submarinos es suficiente para regar 27 mil hectáreas de uvas o 10.250 hectáreas de paltos en la región (Fundación Chile, 2016).

Dada las restricciones de la tecnología, se trabaja con un único caudal de 1000  $[m^3/día]$  en ambos escenarios, de manera que, la diferencia entre ambas factibilidades corresponde a los costos de terreno y sistema de distribución. La línea de tratamiento definida consiste en reactor AnMBR, reactor AlgalMBR, unidad de desinfección y sistema de distribución.

Tanto en el escenario del Emisario San Antonio como en el escenario de Emisario Dos Norte, el sistema A2MBR se ubica en las cercanías de la planta de tratamiento preliminar de cada uno.

#### **4.2.1 Emisario submarino San Antonio**

Localizado en la comuna de San Antonio, provincia de San Antonio, sector de Pelancura Sur, la superficie utilizada por la planta de tratamiento físico equivale a 2035  $[m^2]$ . El emisario descarga aproximadamente 0,2  $[m^3/s]$ , correspondiente al 8% a nivel regional. Las coordenadas del sistema son las siguientes:

- Planta de tratamiento de aguas servidas: 256.532,52 E; 6.282.118,69 N
- Emisario Submarino: 256.521,40 E ; 6.282.996,21 N
- Coordenadas punto de descarga: 255.495,46 E ; 6.282.995,65 N

El sistema cuenta con las siguientes instalaciones, (COREMA Región de Valparaíso, 2005):

- Tratamiento preliminar: Rejas gruesas, rejas finas, desarenador y desgrasador.
- Sistema de tratamiento de olores.
- Medición de caudal: Efluente y by pass.
- Emisario submarino.
- Grupo electrógeno.

El caudal de diseño de la planta de tratamiento físico es de 540  $[l/s]$ , considerando cinco módulos de 120  $[l/s]$  de capacidad cada uno. La población de diseño es 117.971  $[hab]$ , valor mayor al señalado en el estudio preliminar de la cuenca (Anexo B), según el censo de 2017, por lo que el sistema de tratamiento no se ve colapsado.

El tratamiento preliminar posee una tasa de captura o nivel de remoción de sólidos de 90% para sólidos de diámetro mayor que 0,2  $[mm]$ . Su funcionamiento consta de una primera etapa compuesta por una reja gruesa que permite la eliminación

de sólidos gruesos (basuras, plásticos, trapos, entre otros). En la etapa siguiente, el caudal es dirigido hacia un sistema de rejas finas donde son extraídas las arenas, grasas y aceites. En ambos casos, los sólidos separados son dispuestos en contenedores, los cuales son llevados a un vertedero autorizado.

Los residuos sólidos, tanto como arenas y grasas recogidos por el sistema, son compactados y deshidratados automáticamente en el interior de las máquinas correspondientes.

### **Sistema de distribución**

El sistema de distribución diseñado en este escenario se observa en la Figura 4.4, se elaboró según la ubicación de la planta de pretratamiento del emisario submarino, la posible ubicación de la configuración A2MBR y las rutas viales existentes con destino a la planta de producción de agua potable San Juan de Lollo, para sumarse el caudal tratado al sistema de distribución de ESVAL. El trayecto hasta la planta de producción de agua potable San Juan de Lollo es de 11,2 [km], entonces, basándose en la norma NCh1105 (Ministerio de Obras Públicas, 2008) se necesitan 94 cámaras de inspección junto a tuberías de 200 [mm] de diámetro exterior. Se nota que en la mayoría del trazado la pendiente es negativa, sin embargo, al comienzo del trazado existe una pendiente de 4% aproximadamente que debe ser elevada por bombas, ubicadas en el comienzo del tramo por recorrer.

Para el dimensionamiento del sistema de impulsión, se determina el perfil de elevación en cada tramo, como los límites de presión y velocidad, pérdida asociada y diferencias de cotas. En la Figura 4.5, se observa la cota piezométrica obtenida.

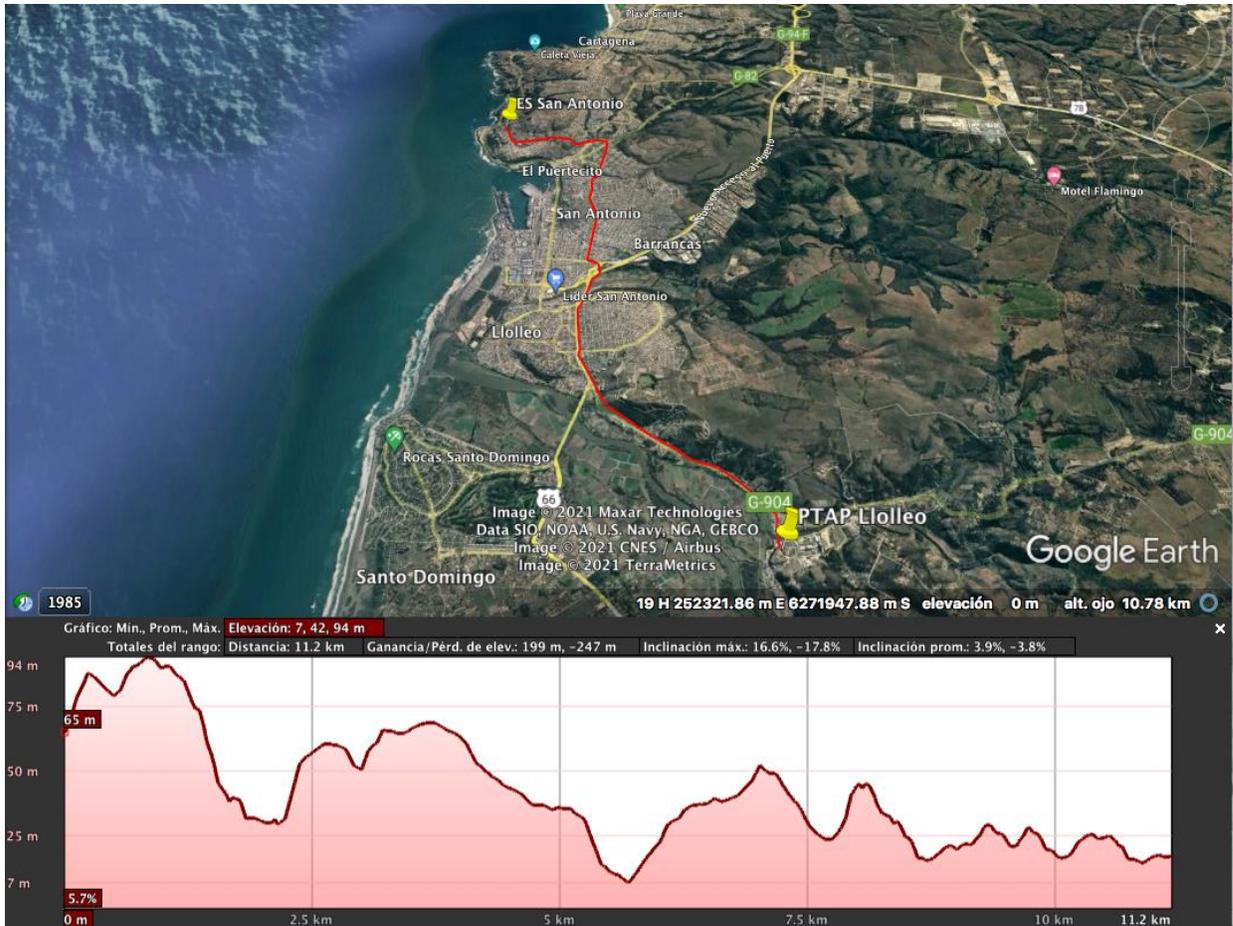


Figura 4.4: Trazado tuberías y perfil de elevación caso San Antonio.

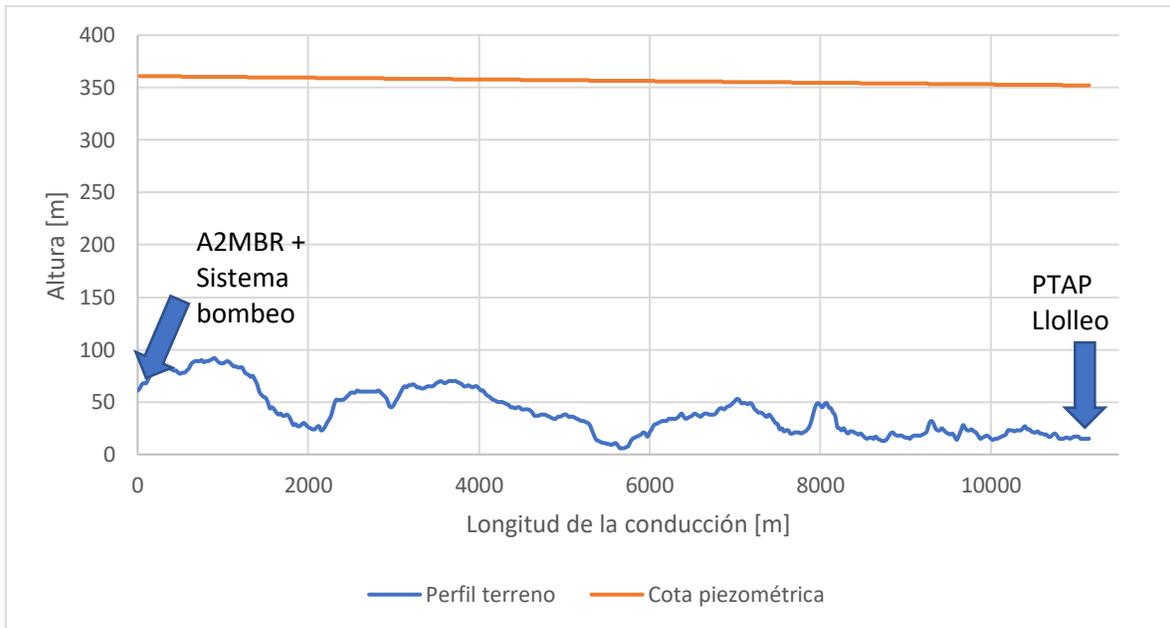


Figura 4.5: Cota piezométrica de impulsión sistema Emisario submarino San Antonio

Según lo expuesto anteriormente, se estima el número de las bombas para el tramo, el sistema de impulsión opera con n+1 bombas, considerando una de respaldo en casos de pérdidas de presión o falla.

Tabla 4.2: Sistema de impulsión Emisario submarino Viña del Mar.

Bomba multietapa Vogel	
Caudal	Hasta 200 [ $m^3/hora$ ]
Altura	Hasta 300 [ $m$ ]
Presión máx.	45 [ $bar$ ]
Eficiencia	73 [%]
Nº total de bombas necesitadas (n+1)	3 [-]
Potencia total	164,3 [ $kW$ ]

#### 4.2.2 Emisario submarino Dos Norte

Localizado en la comuna de Viña del Mar, perteneciente a la provincia y región de Valparaíso. Se encuentra asociado al tratamiento de aguas servidas del Emisario Loma Larga. Informada por la carta de ESVAL S.A. N° 380 recibida por la SISS en junio del año del 2009, se detalla el funcionamiento anual del Emisario Submarino Dos Norte, el cual atiende las localidades de Villa Alemana, Quilpué, Reñaca y parte de Viña del Mar, durante invierno y verano. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2011)

- Operación de verano: Periodo comprendido desde el segundo sábado de octubre hasta el segundo sábado de marzo del año siguiente, el sistema opera solamente como planta elevadora enviando el 100% de las aguas servidas recolectadas hacia el Emisario submarino Loma Larga.
- Operación de invierno: Entre el segundo sábado de marzo hasta el segundo sábado de octubre del mismo año, el sistema opera utilizando el Emisario submarino Dos Norte. Cuando se supera la capacidad máxima de 2600 [ $l/s$ ], se envía los excesos al Emisario submarino de Loma Larga.
- Descripción general de las instalaciones:
  - Rejas gruesas automáticas de paso 4 [ $cm$ ].
  - Rejas finas automáticas de paso 0,6 [ $cm$ ].
  - Medición de caudal al ingreso de la planta de pretratamiento.
  - Equipo de tratamiento de olores para los gases generados en el pretratamiento.

## Sistema de distribución

El sistema de distribución trazado en este escenario se observa en la Figura 4.6, este se elaboró desde ubicación del pretratamiento del emisario y posible ubicación de la configuración A2MBR en el Jardín Botánico de Viña del Mar, utilizando las rutas viales existentes hacia la planta de producción de agua potable Poza Azul. La distancia total es de 15,8 [km], basándose en la norma NCh1105 (Ministerio de Obras Públicas, 2008) se requieren de 132 cámaras de inspección junto a tuberías de 200 [mm] diámetro exterior. En parte inferior de la Figura 4.6, se muestra el perfil de elevación, donde se observa pendientes de hasta 8,14 %, por lo que se necesita de la impulsión por bombas.



Figura 4.6: Trazado tuberías y perfil de elevación caso Viña del Mar.

Para el dimensionamiento del sistema de impulsión, se determina el perfil de elevación en cada tramo, como los límites de presión y velocidad, pérdida asociada y diferencias de cotas. En la Figura 4.7, se observa la cota piezométrica obtenida.

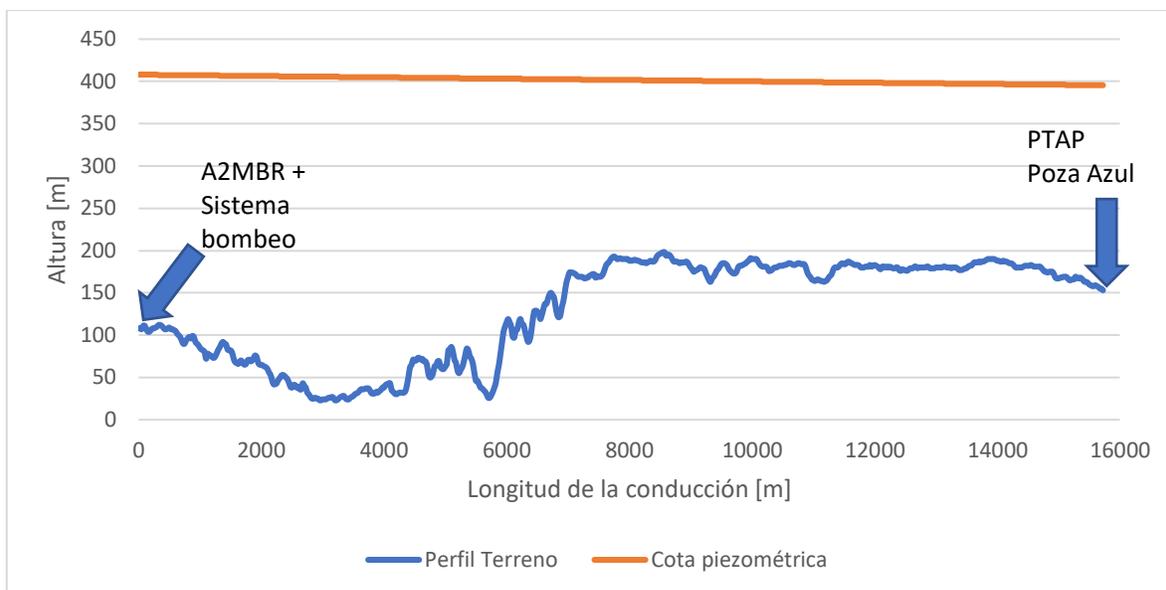


Figura 4.7: Cota piezométrica de impulsión sistema Emisario submarino Dos Norte.

Según lo anterior se estimó el número de las bombas para el tramo, el sistema de impulsión opera con  $n+1$  bombas, considerando una de respaldo en casos de pérdidas de presión o falla.

Tabla 4.3: Sistema de impulsión Emisario submarino Viña del Mar.

Bomba multietapa Vogel	
Caudal	Hasta 200 [m <sup>3</sup> /hora]
Altura	Hasta 300 [m]
Presión máx.	45 [bar]
Eficiencia	73 [%]
Nº total de bombas necesitadas (n+1)	3 [-]
Potencia total	184,5 [kW]

### 4.2.3 CAPEX

La estimación de costos de inversión se basa en la bibliografía encontrada, en la Tabla 4.4 se muestran los costos unitarios en dólares con fecha 9 de diciembre de 2021 (tasa de cambio \$848,2).

Tabla 4.4: CAPEX sistema A2MBR

	Costo [USD]	Unidad	Fuente
Costo terreno San Antonio, [USD/m <sup>2</sup> ]	\$ 14.2	Terreno	(Servicio Impuestos Internos, 2018)

	Costo [USD]	Unidad	Fuente
Costo terreno Jardín Botánico, [USD/m <sup>2</sup> ]	N/A	Terreno	N/A
Blower (ELEKTOR RD 84, QB= 5400 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ; Lifetime: 5,7 años), USD	\$ 6.785	AlgalMBR	(Pretel et al., 2016)
Rotary Lobe pump (INOXPA, QP 140) [m <sup>3</sup> /h]	\$ 25.000	AnMBR/Algal MBR	(Pretel et al., 2016)
PBR Algal 6 (250 m <sup>2</sup> , 12,5 m <sup>3</sup> ) [m <sup>3</sup> /día]	\$ 3.375	AlgalMBR	(Algasol renewables, 2021)
Tubular membrane MO 315G 66.03 I8 LE (>750 l/m <sup>2</sup> h 100 kPa) [m <sup>3</sup> /h]	\$ 2.179	AnMBR/Algal MBR	(Berghof membranes, 2021)
Tratamiento desinfección (hipoclorito de sodio/calcio) [m <sup>3</sup> /s]	\$ 639.406	Desinfección	(Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2018)
Controlador de cloro libre (L0690003)	\$ 4.071	Desinfección	(Veto, 2021)
Galpón encalado de lodos, [ton/día]	\$ 206.522	Lodos	(BIODIVERSA S.A Filial ESSBIO, 2016)
Bomba Vogel con impulsor cerrado, eficiencia=0,73. Volumen bombeado=333.698 [m <sup>3</sup> /año]	\$3.877	Sistema de distribución	(Polanco, 2018)
Cámara de inspección sinfónica, de PVC, con un cuerpo de Ø 315 mm, tres entradas (dos de Ø 160 mm y una de Ø 200 mm) y una salida de Ø 200 mm, sobre solera de hormigón simple, incluyendo la excavación mecánica y el relleno del trasdós.	\$146	Sistema de distribución	(CYPER Ingenieros, 2021a)
Tubo de policloruro de vinilo orientado (PVC-O), de 200 mm de diámetro exterior, PN=12,5 atm. El precio incluye los equipos y la maquinaria necesarios para el desplazamiento y la disposición en obra de los elementos. 6 [m] largo	\$20	Sistema de distribución	(CYPER Ingenieros, 2021b)

Considerando la línea de procesos diseñada para el sistema A2MBR y las unidades de desinfección y distribución asociadas, se obtienen los montos de inversión de la Tabla 4.5:

Tabla 4.5: Costo total de inversión [USD]

	Costo total San Antonio [USD]	Costo total Dos Norte [USD]	Consideraciones
Costo terreno San Antonio	\$142.222	N/A	1 [ha]
Costo terreno Jardín Botánico	N/A	N/A	Se asume que se cederá terreno
Blower (ELEKTOR RD 84, QB= 5400 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> ; Lifetime: 5,7 años), USD	\$13.570	\$13.570	Volumen: 1000 [m <sup>3</sup> /día]
Rotary Lobe pump (INOXPA, QP 140 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	\$250.000	\$250.000	Volumen: 1000 [m <sup>3</sup> /día]
PBR Algal 6 (250 m <sup>2</sup> , 12,5 m <sup>3</sup> )	\$54.000	\$54.000	Volumen: 1000 [m <sup>3</sup> /día]
Tubular membrane MO 315G 66.03 I8 LE (>750 l/m <sup>2</sup> h 100 kPA)	\$242.332	\$242.332	Volumen: 1000 [m <sup>3</sup> /día]
Tratamiento desinfección (hipoclorito de sodio/calcio)	\$7.400	\$7.400	Volumen: 1000 [m <sup>3</sup> /día]
Controlador de cloro libre (L0690003)	\$4.071	\$4.071	Uno por sistema
Galpón encalado de lodos, [ton/día]	\$1.883	\$1.883	Volumen de lodos: 0,009 [ton/día]
Bomba Vogel con impulsor cerrado, eficiencia=0,73. Volumen bombeado=333.698 [m <sup>3</sup> /año]	\$11.630	\$11.630	3 bombas por sistema
Cámara de inspección sinfónica, de PVC, con un cuerpo de Ø 315 mm, tres entradas (dos de Ø 160 mm y una de Ø 200 mm) y una salida de Ø 200 mm, sobre solera de hormigón simple.	\$13.705	\$19.245	Distancia de emisario submarino a planta de agua potable cercana, E.S. San Antonio: 11,1 [km] E.S. Dos Norte: 15,7 [km]

	Costo total San Antonio [USD]	Costo total Dos Norte [USD]	Consideraciones
Tubo de policloruro de vinilo orientado (PVC-O), de 200 mm de diámetro exterior, PN=12,5 atm. El precio incluye los equipos y la maquinaria necesarios para el desplazamiento y la disposición en obra de los elementos. 6 [m] largo	\$37.333	\$51.807	Distancia de emisario submarino a planta de agua potable cercana. E.S. San Antonio: 11,1 [km] E.S. Dos Norte: 15,7 [km]
Total inversión	\$778.148	\$655.940	

### 4.3 OPEX

Costos a corto plazo, considerados como costos diarios que incurre la empresa para que la industria se mantenga operativa. Algunos de estos son:

- Sueldos y salarios
- Alquiler y utilidades
- Honorarios legales.
- Impuestos de propiedad.

Según la bibliografía utilizada en la sección anterior, el OPEX anual en cada escenario es el mostrado en la Tabla 4.6:

Tabla 4.6: OPEX sistema A2MBR

	[USD/año]	Costo total San Antonio [USD/año]	Costo total Viña del Mar [USD/año]	Fuente
Limpieza de membranas [USD m <sup>3</sup> ]	\$ 0,013	\$4.617	\$4.617	(Pretel et al., 2016)

	[USD/año]	Costo total San Antonio [USD/año]	Costo total Viña del Mar [USD/año]	Fuente
Consumo de químico reactivo, Hipoclorito de Sodio y Ácido Cítrico, [USD m <sup>3</sup> ]	\$ 0,041	\$15.111	\$15.111	(Pretel et al., 2016)
Tratamiento de desinfección, considera energía eléctrica, productos químicos, personal de operación, materiales y repuestos de mantenimiento y servicios de laboratorio [m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ].	\$ 74.423	\$861	\$861	(Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2018)
Tratamiento de lodos, incluye productos químicos, energía eléctrica, materiales y repuestos, servicios de laboratorio, transporte y disposición de lodos, servicios de operación y mantenimiento (control de procesos de la PTAS, mantenimiento de la obra civil y mantenimiento) (por m <sup>3</sup> lodo)	\$ 0,47	\$ 171.550	\$171.550	(Godoy Bravo, 2021)
Sistema de distribución, cámara de inspección [unidad]	\$ 7	\$685	\$962	(CYPER Ingenieros, 2021a)
Sistema de distribución, tubería PVC [por unidad]	\$ 1	\$1.836	\$2.590	(CYPER Ingenieros, 2021b)
Costo total de operación [USD/año]		\$194.661	\$195.692	

#### 4.4 VPN

Con el objetivo de visualizar si el proyecto es rentable, se busca el costo de producción de agua [ $\$/m^3_{tratado}$ ] mínimo para un VPN igual a cero. Al momento de tener los costos asociados y el valor del [ $\$/m^3_{tratado}$ ], se compara con las tarifas fijadas por ESVAL y aprobada por la SISS al año 2021 por cada sistema. (ESVAL, 2021)

En el caso del escenario de San Antonio, el valor proyectado que considera la vida útil de 15 años de una obra sanitaria es de \$ 632[ $CLP/m^3_{tratado}$ ], junto a los supuestos realizados señalados en la sección de metodología, como la no consideración de transporte de equipos, transporte de lodos y disposición de estos, entre otros. Sin embargo, la tarifa fijada por ESVAL en la localidad de San Antonio es de \$795 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ], valor cercano a lo estimado para el sistema A2MBR, el último sin considerar ganancias por parte de la empresa.

Tabla 4.7: Valor presente neto escenario San Antonio

Emisario submarino San Antonio (5 años)	
CAPEX [USD]	\$ 778.148
OPEX [USD/año]	\$ 194.661
Tasa descuento	6%
Costo [ $USD/m^3_{tratado}$ ]	\$ 1,15
Costo [ $CLP/m^3_{tratado}$ ]	\$ 968
15 años	
Costo [ $USD/m^3_{tratado}$ ]	\$ 0,75
Costo [ $CLP/m^3_{tratado}$ ]	\$ 632

En el caso del escenario de Viña del Mar, el valor proyectado que considera la vida útil de 15 años de una obra de esta envergadura es de \$ 606 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ], junto a todos los supuestos realizados. En cambio, la tarifa fijada por ESVAL en la localidad de Viña del Mar es de \$830 [ $CLP/m^3_{tratado}$ ], al igual que en el caso anterior, valor similar al del sistema.

Tabla 4.8: Valor presente neto escenario Jardín Botánico

Emisario submarino Dos Norte (5 años)	
CAPEX [USD]	\$ 655.939
OPEX [USD/año]	\$ 195.692
Tasa descuento	6%
Costo [USD/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$ 0,96
Costo [CLP/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$ 808
15 años	
Costo [USD/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$ 0,72
Costo [CLP/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$ 606

#### 4.5 Empresa modelo de regulación

Finalmente, se presenta el resultado de la tarifa eficiente para [CLP/m<sup>3</sup><sub>tratado</sub>] para el anteproyecto del sistema de reúso de aguas servidas y conducción a la PTAP correspondiente.

Tabla 4.9: Tarifa eficiente empresa modelo de regulación.

	Emisario San Antonio	Emisario Dos Norte
Inversión [CLP]	\$655.200.616	\$552.301.424
Tasa costo de capital	0,0338	0,0338
Tasa impuesto	0,27	0,27
Caudal promedio mensual [m <sup>3</sup> ]	30.000	30.000
MP, meses período punta	4	4
Gasto operacional anual [CLP]	\$163.904.562	\$164.772.856
Costo por metro cúbico asociado a la capacidad del sistema, en períodos punta [CLP/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$668	\$562
Costo por metro cúbico asociado a volumen, en períodos punta [CLP/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$5.463	\$5.492
Costo [CLP/m <sup>3</sup> <sub>tratado</sub> ]	\$5.686	\$5.680

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 4.8 y Tabla 4.9, se analizan y comparan los diferentes costos con el sistema actual utilizado en ambos escenarios y sistema de desalación.

En el caso de comparar con los sistemas actuales utilizados en ambas zonas, y el valor de [ $m^3$ ] cobrado al cliente, se encuentran diferencias de hasta ocho veces, como lo es en la tarifa fijada de ESVAL en la comuna de San Antonio, y en la determinada según el D.S.453/90, mostrada en la Tabla 4.9, que sí considera ganancias hacia la empresa sanitaria. Similar situación se observa en el caso de Viña del Mar, donde la tarifa eficiente asociada al sistema A2MBR supera en siete veces el valor fijado de ESVAL.

Al analizar la situación en conjunto al sistema de desalación en Chile, este último utilizado en zonas de actividad minera donde se concentra un importante déficit hídrico. Gran parte de los costos asociados se producen por la conducción desde la fuente a las faenas mineras, ubicadas alejadas y en altura. El Consejo Minero de Chile, estima en el año 2013, que en promedio las firmas chilenas pagan \$5 [ $USD/m^3_{\text{agua de mar}}$ ] llevada a la mina, hoy en día unos \$4.240 [ $CLP/m^3_{\text{agua de mar}}$ ]; costo mayor a los \$2 [ $US/m^3_{\text{agua de mar}}$ ] o \$1.696 [ $CLP/m^3_{\text{agua de mar}}$ ], pagados en Estados Unidos por el mismo tratamiento (García Bernal, 2017). Al comparar el costo en Chile, el valor no está muy lejano a la tarifa eficiente del sistema A2MBR, sin embargo, se debe señalar que, en el caso de las plantas desaladoras, casi un tercio de los gastos asociados corresponden al sistema de elevación, cerca de 2.000 [ $m$ ], y al sistema de conducción, cerca de 120 [ $km$ ]. En el caso de los escenarios estudiados, la elevación necesaria no supera los 60 [ $m$ ] y la distancia los 15 [ $km$ ], por lo que el sistema A2MBR a esta escala y caudal de diseño, no es competitivo versus otra tecnología de membrana como lo es la desalación.

## 5. Recomendaciones y conclusiones

En la actualidad, se han presentado nuevos intereses en la reutilización del recurso hídrico y las tecnologías que esto conlleva, dado el cambio climático que existe a nivel mundial y la sequía como uno de los principales efectos en Chile (Santibáñez, 2017). El uso de membranas en el tratamiento ha aparecido como posible alternativa por sobre los tratamientos convencionales.

Desde la investigación y trabajo realizado en la memoria de título se concluye que el objetivo general de determinar la prefactibilidad técnico-económica del sistema A2MBR para tratamientos de aguas servidas y reúso directo de agua potable en Chile, en dos escenarios ubicados en la Región de Valparaíso, se logró de manera exitosa.

Lo anterior debido a que se logró caracterizar la disponibilidad de las aguas servidas municipales de la Cuenca del Río Maipo y a los alrededores, comparando los parámetros de calidad de los efluentes en los diferentes tratamientos de las PTAS, encontrando diferencias de hasta 5 escalas logarítmicas en el caso de los coliformes fecales, por otro lado, según lo normado por la NCh3456, ninguno de los efluentes cumplen con los límites establecidos para el reúso en riesgo urbano sin restricciones y riego agrícola, concluyendo que para un reúso potable se necesita de un tratamiento extra como lo es el sistema A2MBR.

Al realizar el dimensionamiento del sistema en el escenario de San Antonio y Viña del Mar, se encontraron limitaciones técnicas en los equipos disponibles en el mercado, se diseñó el sistema con un porcentaje del caudal total en ambos casos. El caudal del diseño equivale a un 4% del caudal promedio en el caso del Emisario de San Antonio y a un 0,8% en el Emisario Dos Norte, el cual es un porcentaje muy inferior, pero suficiente para realizar un estudio de prefactibilidad.

Posteriormente, al evaluar la prefactibilidad técnico-económica, se realizó el cálculo del VPN sin considerar ganancias a los inversionistas; se limitó solamente a no tener pérdidas. Sin embargo, para un análisis de competencia contra la situación actual, se obtiene la tarifa eficiente según el modelo de empresa reguladora de la SISS. En el escenario del Emisario submarino Dos Norte y Emisario submarino San Antonio, no se encuentran diferencias importantes en la tarifa eficiente del sistema A2MBR, encontrándose ambos en valores cercanos a \$5.700 [CLP/ $m^3_{tratado}$ ]. Por otro lado, no se consideró la producción de biogás y fertilizante, por ende, no se consideró la venta o el uso de estos, que aportarían ingresos al sistema, por lo que el costo del  $m^3_{tratado}$  podría disminuir en ambos escenarios.

Luego de la investigación, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Repetir el estudio dadas las alternativas de escenarios de la implementación del sistema a lo largo del país, ya que existen cerca de 30 emisarios submarinos que pueden ser posibles fuentes del recurso hídrico.

2. Disminuir los costos de inversión en la implementación del sistema, al considerar posibles fondos públicos concursables. Además, implementar evaluaciones económicas desde un punto de vista social, considerando beneficios difíciles de cuantificar, como reducción de la contaminación de recursos hídricos superficiales, subterráneos o marítimos, y/o depender menos de la variabilidad del cambio climático.
3. Se propone incluir la venta de biogás, venta de fósforo o biosólidos como fertilizante en un nuevo estudio de factibilidad, además de incluir la ingeniería en detalle del sistema con el fin de una evaluación menos conservadora.
4. Se propone, realizar un nuevo anteproyecto con cambios en el caudal tratado, con el final de encontrar el rango desde donde el sistema sea factible; ya que en la mayoría de los casos mientras menor sea la escala, más costosa es la implementación, similar a lo sucedido en dimensionamientos mayores, donde es óptimo hasta un cierto punto.

Finalmente, cabe destacar el aporte que es esta investigación. Debido a la escasez hídrica presente en gran parte del territorio nacional la reutilización de aguas servidas tratadas es una alternativa para aumentar el recurso hídrico disponible en el sistema. Sin embargo, se requiere un mejoramiento del manejo y gestión del agua para avanzar hacia una seguridad hídrica para la población. Algunas de estas mejoras, pueden ser la reducción de las pérdidas de agua potable en el sector sanitario, mejorar la eficiencia de riego, implementación de fuentes alternativas de agua, recargas de acuífero, recirculación del agua en el sector industrial y separación de aguas negras-aguas grises para reutilizar las últimas según la normativa actual.

## 6. Bibliografía

- ACCIONA. (n.d.). *Potabilización del agua*. Retrieved February 2, 2022, from [https://www.accionacom.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?\\_adin=02021864894](https://www.accionacom.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=02021864894)
- AKROS Ing. (2014). *Aguas Andinas Proceso Tarifario 2015 - 2020 Informe Final Modelación Ptas La Farfana Y El Trebal-Mapocho*.
- Algasol renewables. (2021). *Price list*. <http://algasolrenewables.com/price-list/>
- Berghof membranes. (2021). *HyperFlux Tubular Module*. 1-2.
- BIODIVERSA S.A Filial ESSBIO. (2016). *Galpón de Encalado de Lodos Cabrero*. 1-56.
- Centro de Cambio Global UC. (n.d.). *MAPA: Maipo Plan de Adaptación*. Retrieved August 26, 2021, from <http://www.maipoadaptacion.cl>
- CONAMA. (2009). Decreto 4. *Decreto, 4(2009)*, 1-15. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1007456&f=2010-04-26>
- COREMA Región de Valparaíso. (2005). *Resolución Exenta N°349/2005*.
- CYPER Ingenieros, S. A. (2021a). *Generador de precios Camara de inspección*.
- CYPER Ingenieros, S. A. (2021b). *Generador de precios Tubería PVC 200 [mm] diametro exterior*. [http://www.chile.generadordeprecios.info/espacios\\_urbanos/Instalaciones/Urbanas/Redes\\_de\\_agua\\_potable/Tubo\\_de\\_PVC\\_1\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_0\\_3.html](http://www.chile.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Instalaciones/Urbanas/Redes_de_agua_potable/Tubo_de_PVC_1_0_0_0_0_0_0_0_0_0_3.html)
- Diario Universidad de Chile. (2020). *Académicos U. de Chile profundizan sobre escasez hídrica en tiempos de coronavirus*. <https://uchile.cl/u162055>
- Dirección General de Aguas. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Toltén*.
- Dirección General de Aguas. (2015). *Diagnóstico Plan Maestro De Recursos Hídricos Región Metropolitana de Santiago*.
- Donoso, G., & Rivera, D. (2020). Desafíos del reúso de aguas residuales tratadas en Chile. *Gestión de Aguas Residuales: Vertimiento, Tratamiento y Reutilización. Séptimas Jornadas de Derecho de Aguas*, 71-88.
- Empresa Concensionaria de Servicios Sanitarios S.A. (2019). *Declaración de Impacto Ambiental "Nueva Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para reúso de Antofagasta"*. <https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=eb/47/0af41f931841b4ae6d814f164fbb6ec54cd>
- ESVAL. (2021). *Tarifas ESVAL*.
- Ex Ministerio de Higiene, A. y P. S. (1926). *Decreto 236. 1926*, 1-14.
- Fundación Amulén. (2020). *Pobres de agua. Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto*.
- Fundación Chile. (2016). Aguas residuales como nueva fuente de agua. In *ONU-Agua*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Municipios\\_2015/Documento\\_Tecnico-Gestion\\_de\\_Agua\\_y\\_Alcantarillado\\_2015.pdf%0Ahttps://saludurbanaorg.files.wordpress.com/2017/04/informe-mundial-nu-desarrollo-recursos-hc3addrico](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf%0Ahttps://saludurbanaorg.files.wordpress.com/2017/04/informe-mundial-nu-desarrollo-recursos-hc3addrico)

- Fundación Chile. (2018). Claves para la Gestión de Aguas Residuales Rurales. In *Santiago*.
- García Bernal, N. (2017). Análisis Económico De Aspectos Asociados a La Desalinización Del Agua En La Minería. *Biblioteca Del Congreso Nacional*, 56, 1–39.
- Godoy Bravo, J. (2021). *Análisis de disponibilidad de fuentes de agua en la zona centro-norte de Chile: Potencial Reúso de aguas servidas en el sector agrícola y minero* (Vol. 4, Issue 1). <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/182208>
- Gutiérrez, M. (2020). SISS define plan para reutilizar las aguas servidas tratadas que se vierten al mar. *El Mercurio*. <http://www.infraestructurapublica.cl/siss-define-plan-reutilizar-las-aguas-servidas-tratadas-se-vierten-al-mar/>
- Instituto nacional de Estadística de Chile. (2017). *Censo de población y vivienda*. <https://www.ine.cl/>
- Instituto nacional de Normalización de Chile. (2021a). *NCh 3456/2*.
- Instituto nacional de Normalización de Chile. (2021b). *Programa de Estudio de las Normas Chilenas*. <http://www.inn.cl/desarrollo-programa-normas-chilenas>
- Mancilla, C. ; R. U. (2015). *Chile avanza en la descontaminación de aguas residuales*. <https://radio.uchile.cl/2015/02/13/chile-avanza-en-la-descontaminacion-de-aguas-residuales/#:~:text=En Chile%2C el sistema de,subterráneas mediante obras de infiltración.>
- Ministerio de Economía, F. y C. (1990). *Decreto 453. 1989*, 1–27.
- Ministerio de Obras Publicas. (1987). Norma chilena (NCh) 1333. Requisitos de calidad de agua para diferentes usos.Of78. *Norma Chilena Oficial*, 15.
- Ministerio de Obras Publicas. (1998). *NCh691*.
- Ministerio de Obras Publicas. (2008). *Ingeniería sanitaria - Alcantarillado de aguas residuales - Diseño y cálculo de redes*.
- Ministerio de Salud. (1968). *Codigo sanitario*.
- Ministerio de Salud. (2001). Decreto 90. *Biblioteca Del Congreso Nacional*, 17–20.
- Ministerio de Salud. (2005). *NCh409/1.Of2005. Agua potable - Parte 1 - Requisitos*. 13.
- Ministerio de Salud. (2007). *Decreto 131. 2006*, 1–8.
- Ministerio de Salud. (2018). *Proyecto De Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Básicas Para La Reutilización De Aguas Grises*. 12. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Reglamento-Aguas-Gris.es.pdf>
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (1998). *Decreto N°609. 1998*, 1–19.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (2000). Decreto N° 90. *Biblioteca Del Congreso Nacional*.
- Ministerio Secretaria General de la Presidencia. (2018). Decreto N°1122. *Biblioteca Del Congreso Nacional, 1981*, 1–95.
- Mujeriego Sahuquillo, R. (2015, May). Reutilización potable directa en Namibia: Pasado y futuro. *Iagua*.
- Polanco, M. R. (2018). Mejoramiento de eficiencia operacional en planta elevadora de agua potable Andalué. *Universidad Técnica Federico Santa María*, 1–93.
- Pretel, R., Robles, A., Ruano, M. v., Seco, A., & Ferrer, J. (2016). Filtration process cost in submerged anaerobic membrane bioreactors (AnMBRs) for urban wastewater treatment. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 51(3), 517–524. <https://doi.org/10.1080/01496395.2015.1094092>

- Prieto, A. L. (2011). Sequential Anaerobic and Algal Membrane Bioreactor ( A2MBR ) System for Sustainable Sanitation and Resource Recovery from Domestic Wastewater. *System, 2011*.
- Santibañez, & Quezada, F. (2017). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile. *Agricultura Chilena, Reflexiones y Desafíos al 2030, 11*, 147–178. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/01/cambioClim12parte.pdf>
- Santillán, A., & Rivera, A. (2021, August 25). Reúso de aguas residuales, el agua del futuro que ya tiene California. *Diario El Financiero*.
- Servicio Impuestos Internos. (2018). *Reavalúo áreas homogéneas*. <https://www4.sii.cl/mapasui/internet/#/contenido/index.html>
- SISS. (2019). Informe de Coberturas Sanitarias 2019. *Superintendencia de Servicios Sanitarios (SiSS). Gobierno de Chile*, [siss.gob.cl](http://www.siss.gob.cl). [http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/articles-16607\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/articles-16607_recurso_1.pdf)
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2018). *Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural*.
- Subsecretaría de Evaluación Social. (2021). *Precios sociales 2021*.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2011). *Emisario Submarino Dos Norte* (Vol. 1).
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2019). *Bases definitivas estudio tarifario COSSBO*. 1–110.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2021). *Calidad PTAS RM, V y VI 2021*.
- Veto. (2021). *Controlador de cloro libre*. [https://www.veto.cl/medidor-cloro-total-l0690003/p?idsku=13&gclid=Cj0KCQjw5JSLBhCxARIsAHgO2SfX6DUi6sF2mROCbKltck0N3Or7r5UuqIHv9Cycjew5gX1351SX1m0aAkcoEALw\\_wcB](https://www.veto.cl/medidor-cloro-total-l0690003/p?idsku=13&gclid=Cj0KCQjw5JSLBhCxARIsAHgO2SfX6DUi6sF2mROCbKltck0N3Or7r5UuqIHv9Cycjew5gX1351SX1m0aAkcoEALw_wcB)

## Anexo A

### Legislación vigente aguas residuales en Chile.

Tabla 6.1: Resumen cuerpo normativo aplicable al recurso hídrico.

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
1926	Reglamento general de alcantarillados particulares	Servicio de Salud	Refiere a la manera de disponer las aguas residuales domiciliarias que no logran ser descargadas a una red de alcantarillado público. Por lo general, se dispone que las aguas servidas domésticas en algún cuerpo de agua, incluyendo la infiltración, deben ser sometidas a un tratamiento que permita obtener un efluente libre de materia orgánica.	(Ex Ministerio de Higiene, 1926)
1968	Código Sanitario	Servicio de Salud	Establece el cumplimiento de los reglamentos y normas que resguardan las condiciones sanitarias de todos los ambientes con posibilidad de ser contaminados producto de las actividades humanas, de manera de proteger la salud e higiene de la población.	(Ministerio de Salud, 1968)

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
1981	Código de Aguas	Dirección General de Aguas (DGA)	Protección de todos los recursos hídricos. Además, regula el aprovechamiento de aguas.	(Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 2018)
1987	Norma NCh 1333 "Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos"	Dirección General de Aguas (DGA), Servicio de Salud	Indica los parámetros sobre la caracterización que deben cumplir los efluentes de aguas residuales domésticas. Su objetivo es proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen para usos específicos siguientes: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Agua para consumo humano.</li> <li>2. Agua para la bebida de animales.</li> <li>3. Riego.</li> <li>4. Recreación y estética.</li> <li>5. Vida acuática.</li> </ol>	(Ministerio de Obras Públicas, 1987)
1994	Ley N° 19.300 "Ley sobre bases generales del medio ambiente"	Ministerio del Medio Ambiente y los organismos del Estado que participan en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.	Hace referencia a todas las actividades que sean susceptibles de causar algún impacto ambiental. Se especifican las actividades que pueden producir contaminación de recursos hídricos y se establecen áreas de protección de los distintos recursos naturales.	

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
1998	Decreto supremo N°609/1998	Superintendencia de Servicios Sanitarios	Establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado públicos. Los valores característicos propuestos para los parámetros máximos permitidos para descargas de efluentes que se efectúan a redes de alcantarillado que cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas.	(Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 1998)
2000	Decreto supremo N°90/2000	Superintendencia del Medio Ambiente	Regular la descarga de contaminantes hacia cursos de aguas marítimas y continentales superficiales mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos.	(Ministerio Secretaria General de la Presidencia, 2000)
2018	Reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	Establece las condiciones sanitarias que deberán cumplir el diseño y la operación de los sistemas destinados a la reutilización de aguas grises, dentro o fuera de las áreas	(Ministerio de Salud, 2018)

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
			operacionales de las sanitarias.	
2021	NCh3452	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	Reúso de aguas residuales tratadas para riego – Directrices para la adaptación de sistemas y prácticas de riego a aguas residuales tratadas.	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)
2021	NCh3456	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	Directrices para el uso de aguas residuales tratadas para proyectos de riego: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 1: La base de un proyecto de reúso para riego.</li> <li>• Parte 2: Desarrollo del proyecto.</li> <li>• Parte 3: Componentes de un proyecto de reúso para riego.</li> <li>• Parte 4: Seguimiento.</li> </ul>	
2021	NCh3462	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	Reúso de agua en zonas urbanas – Directrices para un sistema centralizado de reúso de agua. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 1: Principio de diseño de un</li> </ul>	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
			<p>sistema centralizado de reúso de agua.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 2: Gestión de un sistema centralizado de reúso del agua.</li> </ul>	
2021	NCh3483	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	Directrices para la clasificación de la calidad del agua regenerada para el reúso no potable	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)
2021	NCh3674	N/A	Reúso de agua - Vocabulario.	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)
2021	NCh3675	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	<p>Método para calcular y expresar el consumo de energía del tratamiento de aguas residuales industriales con el propósito de reusar el agua.</p> <p>Parte 1: Procesos biológicos.</p>	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)
2021	NCh3677	Secretarías Regionales Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	<p>Uso de agua recuperada en sistemas de enfriamiento industrial.</p> <p>Parte 1: Directrices técnicas.</p>	(Instituto nacional de Normalización de Chile, 2021b)
2021	NCh3678	Secretarías Regionales	Directrices para la evaluación del	Instituto nacional de

Año entrada vigencia	Leyes y/o cuerpo normativo	Organismo fiscalizador	Norma	Fuente
		Ministeriales de Salud, Superintendencia del Medio Ambiente.	desempeño de tecnologías de tratamiento para sistemas de reúso de agua. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parte 1: Generalidades</li> <li>• Parte 2: Metodología para evaluar el desempeño de los sistemas de tratamiento en función de las emisiones de gases de efecto invernadero.</li> </ul>	Normalización de Chile, 2021

## Anexo B

### Caso estudio Cuenca del Río Maipo

La Cuenca del Río Maipo abarca casi la totalidad del territorio de la Región Metropolitana, parte de la Región de Valparaíso y la Región de O'Higgins, específicamente entre los paralelos 32°55'-34°15' latitud sur y meridianos 69°55'-71°33' longitud oeste. La Figura 3.1 muestra la ubicación de la cuenca en un mapa de la zona centro del país.

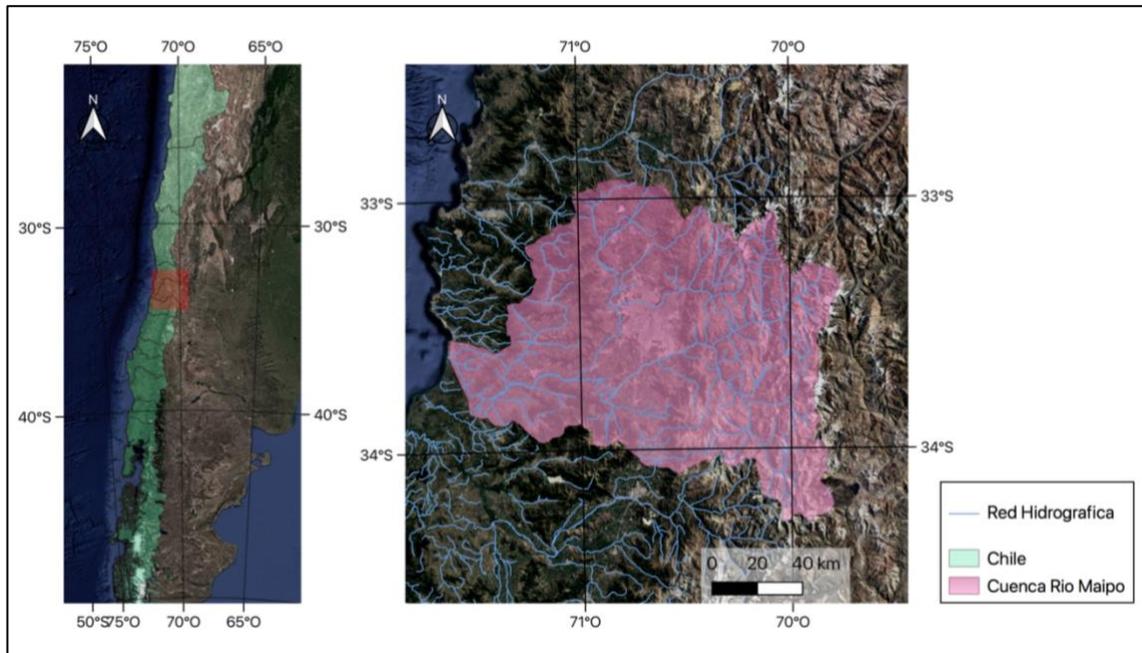


Figura 6.1: Ubicación Cuenca Río Maipo.

### Geografía

Los cuerpos de agua superficiales más importantes de la zona son: Río Maipo, Río Volcán, Río Yeso, Río Colorado, Río Olivares, Río Angostura, Río Mapocho, Estero Yerba Loca, Río San Francisco, Estero Arrayán, Estero Colina, Estero Polpaico y Estero Puangue (Dirección General de Aguas, 2004).

El Río Maipo nace en las laderas del volcán Maipo a 5.523 [m.s.n.m.] y recorre una longitud de 250 kilómetros aproximadamente hasta desembocar en al Océano Pacífico, cubriendo una superficie levemente superior a los 15.000 [km<sup>2</sup>]. En su origen en la cordillera, el río Maipo recibe aportes de los ríos Volcán, Yeso y Colorado, el último es el de mayor importancia al poseer una caudal medio a la salida de la cordillera de 115 [m<sup>3</sup>/s]. En la zona media, el principal afluente es el río Mapocho, que atraviesa la ciudad de Santiago, presentando un caudal medio anual de 35 [m<sup>3</sup>/s]. En el tramo final, recibe aportes de diferentes esteros y cauces menores, desembocando con un caudal medio anual de 150 [m<sup>3</sup>/s] (Centro de Cambio Global UC, n.d.)

## Clima

La zona presenta dos tipos de clima: Templado tipo mediterráneo con estación seca prolongada y Frío de altura en la Cordillera de los Andes.

### a. Clima Templado Mediterráneo con estación seca prolongada

Cubre prácticamente toda la cuenca. Se caracteriza por la presencia de una estación seca, y prolongada y un invierno marcado por bajas temperaturas, que llegan bajo los cero grados Celsius.

La precipitación media anual registra valores promedios de 404 [*mm/año*] y temperaturas cercanas a 14,9 °C en el sector costero de la cuenca. Dado el relieve existente, en el sector centro (estación de monitoreo Quinta Normal) se presentan montos menores de precipitación, cercanos a 300 [*mm/año*]. En cambio, en sectores más altos (San José de Maipo y Las Melosas), las precipitaciones promedio anuales alcanzan valores de 536 [*mm/año*] y temperaturas medias anuales de 14,2 °C (Dirección General de Aguas, 2004)

### b. Clima Frío de Altura

El Clima Frío de Altura, se localiza por sobre los 3.000 metros de altura a nivel del mar en la Cordillera de los Andes. Se caracteriza principalmente por las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas, permitiendo la presencia de campos de hielo permanentes y acumulación de nieve en cumbres y quebradas de la alta Cordillera (Dirección General de Aguas, 2004)

## Población y vivienda

La Cuenca del Río Maipo se encuentra formada por 56 comunas, en detalle la totalidad de las comunas de la Región Metropolitana, dos comunas de la Región de O'Higgins (Mostazal y Codegua) y dos en el caso de la Región de Valparaíso (San Antonio y Quilpué). De acuerdo con el censo del año 2017, la cuenca posee 7.242.489 habitantes divididas en 2.424.437 viviendas. En la Tabla 3.1 se detalla la información por región.

Tabla 6.2: Población y viviendas en Cuenca Río Maipo. (Instituto nacional de Estadística de Chile, 2017)

Región	Población [habitantes]	Número de viviendas
Metropolitana	7.112.808	2.378.442
Valparaíso	91.350	31.493
O'Higgins	38.331	13.502

De acuerdo con el censo del 2017 y la información histórica de la nación, el Gran Santiago concentra el mayor número de habitantes a nivel regional y nacional, ya que es el principal núcleo industrial y comercial del país. La población alcanza un total de

6.119.984 habitantes que corresponde al 34,82% de la población total del país y 1.945.577 hogares.

La Región Metropolitana presenta un alto grado de centralidad en comparación con las otras regiones, ya que es el centro de contacto de Chile con el exterior; centro nacional de integración y articulador geoeconómico de todo el territorio nacional.

Otra de las regiones que forma parte del territorio es la Región de Valparaíso, la que, de la mano con la Región Metropolitana, desarrolla una interacción comercial a través del Puerto de San Antonio ubicada en la comuna del mismo nombre; la cual destaca por el elevado número de habitantes en comparación al resto de los poblados en la cuenca.

## Anexo C

### Tabla resumen año promedio (probabilidad de excedencia del 50%) y año seco (probabilidad de excedencia del 85%)

Tabla 6.3: Resumen año promedio (probabilidad de excedencia del 50%) y año seco (probabilidad de excedencia del 85%)

Subcuenca	P (ex)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	anual
Río Maipo Alto	50%	68,1	56,1	52,2	54,9	57,7	63,5	94,4	149,9	205,4	186,5	135,0	97,3	104,8
	85%	50,7	41,9	40,1	40,1	40,1	45,3	65,2	105,3	130,2	115,3	94,2	70,3	74,3
Río Maipo Medio	50%	1,8	8,1	34,0	66,0	75,0	56,8	32,8	17,4	8,9	4,4	2,5	1,6	30,8
	85%	1,2	1,6	7,7	30,4	31,0	25,9	12,4	6,5	3,2	1,5	0,7	0,6	13,6
Río Maipo Bajo	50%	1,7	15,4	31,2	90,6	77,0	57,2	32,0	16,5	8,3	4,0	2,2	1,6	26,8
	85%	0,6	0,0	6,5	23,3	32,0	23,8	11,1	5,7	2,9	1,3	0,6	0,6	11,5
Río Mapocho Alto	50%	2,7	3,0	4,7	4,7	5,6	7,4	10,8	11,3	10,1	6,3	4,6	3,2	6,3
	85%	1,7	1,3	0,5	1,8	2,6	3,7	4,1	5,1	3,8	3,3	2,4	1,7	3,4
Río Mapocho Bajo	50%	1,3	4,7	14,8	50,8	52,3	39,9	18,5	11,4	5,6	2,7	1,6	1,3	17,6
	85%	0,4	0,9	2,6	10,3	18,4	10,4	7,9	2,6	1,1	0,5	0,1	0,3	7,7
Estero Alhúe	50%	0,4	2,8	13,1	21,9	20,7	15,9	9,2	4,9	2,5	1,2	0,6	0,4	8,6
	85%	0,2	0,5	1,1	3,4	9,4	6,9	3,0	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	3,5
Estero Yali	50%	0,3	2,5	8,6	14,8	15,8	10,9	6,2	3,2	1,6	0,8	0,4	0,3	5,7
	85%	0,1	0,0	0,1	5,0	7,1	4,8	2,1	1,1	0,6	0,2	0,1	0,1	2,5

## Anexo D

### Proyección demanda de producción [L/s] por subcuencas

Tabla 6.4: Proyección demanda de producción (L/s) distribución por subcuencas. DGA,2015

Año	Subcuencas				
	Río Mapocho Alto	Río Mapocho Bajo	Río Maipo Alto	Río Maipo Medio	Río Maipo Bajo
2015	1.133,8	23.334,4	45,7	1.561,0	380,0
2016	1.150,2	23.487,2	46,2	1.575,5	388,6
2017	1.166,3	23.655,9	46,8	1.590,8	396,1
2018	1.183,2	23.834,5	47,1	1.605,9	404,1
2019	1.199,3	24.021,8	47,7	1.621,9	412,7
2020	1.215,7	24.243,4	48,3	1.637,8	421,7
2021	1.224,0	24.387,4	48,1	1.647,4	428,2
2022	1.234,7	24.541,2	48,1	1.657,5	434,6
2023	1.244,8	24.704,1	48,1	1.667,5	440,0
2024	1.257,8	24.876,2	48,0	1.677,5	445,2
2025	1.272,8	25.073,9	48,0	1.687,8	450,6

## Anexo E

### Plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) existentes y emisarios submarinos.

Tabla 6.5: Plantas de aguas servidas en Cuenca Rio Maipo. (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2021)

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
ES San Antonio	ESVAL S.A.	Emisario submarino	2006	Mar	Aceites y grasas	=	18,26 [mg/l]	D.S. 90/00
					Coliformes fecales	=	50.000.000 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	180 [mg/l]	
					Hidrocarburo Volátil	<	0,2 [mg/l]	
					Hidrocarburos Fijos	<	1,4 [mg/l]	
					Hidrocarburos Totales	<	5 [mg/l]	
					Índice de Fenol	=	0,124 [mg/l]	
					pH	=	7,51 [-]	
					SAAM (detergente)	=	3,28 [mg/l]	
					Solidos sedimentables	=	1,5 [ml/h]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	111,4 [mg/l]	
					Sulfuros	<	0,2 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Temperatura	=	25,2 °C	
ES Dos Norte	ESVAL S.A.	Emisario submarino	2009	Mar	Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	D.S. 90 /00
ES Loma Larga	ESVAL S.A.	Emisario submarino	1999	Mar	Aceites y grasas	=	16,67 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	24.000.000 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	197 [mg/l]	
					Hidrocarburo Volátil	<	0,13 [mg/l]	
					Hidrocarburos Fijos	<	1,4 [mg/l]	
					Hidrocarburos Totales	<	5 [mg/l]	
					Índice de Fenol	=	0,046 [mg/l]	
					pH	=	8,19 [-]	
					SAAM (detergente)	=	4,42 [mg/l]	
					Solidos sedimentables	<	1,4 [ml/l/h]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	98 [mg/l]	
Temperatura	=	24 °C						

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
PTAS Barrancas	Aguas Santiago o Poniente S.A.	Lodos Activados	1999	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	230 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	21 [mg/l]	
					Fósforo	=	5,5 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	9,7 [mg/l]	
					pH	=	8,4 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	18 [mg/l]	
					Temperatura	=	26,1 °C	
					Tetracloroetano	<	0,01 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,01 [mg/l]	
PTAS Buin Maipo	Aguas Andinas S.A.	SBR (Reactores biológicos secuenciales)	2009	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	500 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	7 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,68 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	2,4 [mg/l]	
					pH	=	7,4 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	4 [mg/l]	
					Temperatura	=	24,5 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,029 [mg/l]	
PTAS Curacaví	Aguas Andinas S.A.	SBR	2006	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	7 [mg/l]	
					Fósforo	=	5,22 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	6,68 [mg/l]	
					Ph	=	7,9 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	

PTAS	Empres a	Tipo de tecnología	Año Cons trucc ión	Cuerp o Recep tor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Nor ma que apli ca en desc arga de PTA S
					Parámetro	Si g n o	Valor informado	
					Solidos Suspendido s Totales	=	2 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	26,7 °C	
					Tetracloro eno	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorome tano	=	0,083 [mg/l]	
PTAS El Manzano	Huerto s Familia res S.A.	Lodos Activados	2007	Quebr ada seca	Aceites y grasas	=	1,91 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	23 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	33,8 [mg/l]	
					Fósforo	=	4,09 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	56,5 [mg/l]	
					pH	=	8,03 [-]	
					Poder espumogen o	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendido s Totales	=	32 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	26,3 °C	
					Tetracloro eno	<	0,005 [mg/l]	
					Triclorome tano	<	0,005 [mg/l]	

PTAS	Empres a	Tipo de tecnología	Año Cons trucc ión	Cuerp o Recep tor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Nor ma que apli ca en desc arga de PTA S
					Parámetro	Si g n o	Valor informado	
PTAS El Monte	Aguas Andina s S.A.	SBR	2004	Río sin diluci ón	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	9 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,73 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	45,05 [mg/l]	
					pH	=	7,3 [-]	
					Poder espumogen o	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendido s Totales	=	9 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	23,3 °C	
					Tetracloro eno	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorome tano	=	0,022 [mg/l]	
PTAS El Parronal	Empres a de agua potable Melipill a Norte S.A.	Lodos Activados	2009	Derra me	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	22 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,52 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	38,8 [mg/l]	
					pH	=	7,41 [-]	
					Poder espumogeno	=	4,7 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	27 [mg/l]	
					Temperatura	=	26,1 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,002 [mg/l]	
PTAS El Trebal	Aguas Andinas S.A.	Lodos Activados	2001	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Aluminio	=	0,027 [mg/l]	
					Boro	=	0,226 [mg/l]	
					Cadmio	=	0,001 [mg/l]	
					Cianuro	<	0,018 [mg/l]	
					Cloruros	=	250 [mg/l]	
					Cobre total	<	0,011 [mg/l]	
					Coliformes fecales	=	50.000 [NMP/100 ml]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Cromo hexavalente	<	0,02 [mg/l]	
					DBO5	=	21 [mg/l]	
					Fluoruro	=	0,4 [mg/l]	
					Fósforo	=	4,49 [mg/l]	
					Hidrocarburos Fijos	<	1 [mg/l]	
					Hierro disuelto	=	0,056 [mg/l]	
					Índice de Fenol	<	0,01 [mg/l]	
					Manganeso total	=	0,043 [mg/l]	
					Mercurio	<	0 [mg/l]	
					Molibdeno	<	0,01 [mg/l]	
					Níquel	<	0,018 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	66 [mg/l]	
					Pentaclorofenol	<	0,002 [mg/l]	
					pH	=	7,9 [-]	
					Plomo	<	0,012 [mg/l]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Selenio	<	0,01 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	11 [mg/l]	
					Sulfatos	=	298 [mg/l]	
					Sulfuros	<	0,03 [mg/l]	
					Temperatura	=	24,7 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Tolueno	<	0,003 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,004 [mg/l]	
					Xileno	<	0,005 [mg/l]	
					Zinc	=	0,05 [mg/l]	
PTAS Estación Buin	Aguas San Pedro S.A.	Lodos Activados	2010	Riego	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	130 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	9 [mg/l]	
					Fósforo	=	1,64 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	21,7 [mg/l]	
					pH	=	7,96 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	21 [mg/l]	
					Temperatura	=	26,3 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,001 [mg/l]	
PTAS Hacienda Batuco	Aguas Santiago Norte S.A.	Lodos Activados	2015	Río sin dilución	Aceites y grasas	=	1,36 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Cloruros	=	105 [mg/l]	
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	24 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,84 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	13,2 [mg/l]	
					pH	=	7,94 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Sólidos Suspendidos Totales	<	8 [mg/l]	
					Temperatura	=	28 °C	
					Tetracloroetano	=	0,007 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Triclorometano	<	0,005 [mg/l]	
PTAS Izarra de Lo Aguirre	Empresa de agua potable Izarra de Lo Aguirre S.A.	Lodos Activados	2010	Lago	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	79 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	12 [mg/l]	
					Fósforo	=	0,838 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	47,75 [mg/l]	
					pH	=	7,79 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	6 [mg/l]	
					Temperatura	=	27,1 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,004 [mg/l]	
PTAS Jardín Lo Prado	Empresa de Servicios Sanitarios Lo	Lodos Activados	2005	Laguna	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	10 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	10 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS	
					Parámetro	Signo	Valor informado		
PTAS	Prado S.A.				Fósforo	=	2,59 [mg/l]		
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	6,5 [mg/l]		
					pH	=	7,73 [-]		
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]		
					Solidos Suspendidos Totales	=	12 [mg/l]		
					Temperatura	=	26,9 °C		
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]		
					Triclorometano	=	0,043 [mg/l]		
					Aceites y grasas	<	14 [mg/l]		D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]		
DBO5	=	69 [mg/l]							
Fósforo	=	5,8 [mg/l]							
Nitrógeno total Kjeldahl	=	41,5 [mg/l]							
pH	=	7,9 [-]							
Poder espumogeno	<	2 [mm]							

PTAS	Empres a	Tipo de tecnología	Año Cons trucc ión	Cuerp o Recep tor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021		Nor ma que apli ca en desc arga de PTA S	
					Parámetro	Si g n o		Valor informado
					Solidos Suspendido s Totales	=	67 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	25,2 °C	
PTAS La Farfana	Aguas Andina s S.A.	Lodos Activados	2003	Río sin diluci ón	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Aluminio	=	0,035 [mg/l]	
					Boro	=	0,242 [mg/l]	
					Cadmio	=	0,002 [mg/l]	
					Cianuro	<	0,018 [mg/l]	
					Cloruros	=	214 [mg/l]	
					Cobre total	=	0,012 [mg/l]	
					Coliformes fecales	=	2.300 [NMP/100 ml]	
					Cromo hexavalent e	<	0,02 [mg/l]	
					Cromo total	<	0,005 [mg/l]	
					DBO5	=	27 [mg/l]	
					Fluoruro	=	0,431 [mg/l]	
					Fósforo	=	9,87 [mg/l]	
Hidrocarbu ro Volátil	=	0,2 [mg/l]						

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Hidrocarburos Fijos	=	3 [mg/l]	
					Hidrocarburos Totales	=	3 [mg/l]	
					Hierro disuelto	=	0,052 [mg/l]	
					Índice de Fenol	<	0,006 [mg/l]	
					Manganeso total	=	0,043 [mg/l]	
					Mercurio	<	0 [mg/l]	
					Molibdeno	<	0,01 [mg/l]	
					Níquel	<	0,018 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	49,65 [mg/l]	
					Pentaclorofenol	<	0,002 [mg/l]	
					pH	=	7,5 [-]	
					Plomo	<	0,012 [mg/l]	
					Poder espumogeno	=	5 [mm]	
					Selenio	<	0,01 [mg/l]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	21 [mg/l]	
					Sulfatos	=	330 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Sulfuros	<	0,03 [mg/l]	
					Temperatura	=	24,4 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Tolueno	<	0,003 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,008 [mg/l]	
					Xileno	<	0,005 [mg/l]	
					Zinc	=	0,05 [mg/l]	
PTAS La Leonera	Empresa particular de agua potable y alcantarillado La Leonera S.A.	Lodos Activados	2013	Estero	Aceites y grasas	=	1,05 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	23 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	24,3 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,16 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	2,39 [mg/l]	
					pH	=	8,13 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	37 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo o Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Temperatura	=	15,89 °C	
					Tetracloroetano	<	0,005 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,046 [mg/l]	
PTAS Larapinta	Servicios Sanitarios Larapinta Selar S.A.	Lodos Activados	2005	Estero	Aceites y grasas	=	3,09 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	240 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	209 [mg/l]	
					Fósforo	=	5,04 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	96,2 [mg/l]	
					pH	=	7,92 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	38 [mg/l]	
					Temperatura	=	28,7 °C	
					Tetracloroetano	<	0,005 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,009 [mg/l]	
PTAS Las Higueras	SACYR Agua	Lodos Activados	2000	Río sin	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
PTAS	Lampa S.A. (Ex SEMBC ORP Aguas Lampa S.A.)			dilución	Coliformes fecales	=	17.000 [NMP/100 ml]	D.S. 90 /00
					DBO5	=	47 [mg/l]	
					Fósforo	=	4,77 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	47,6 [mg/l]	
					pH	=	7,54 [-]	
					Poder espumogeno	=	4 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	50 [mg/l]	
					Temperatura	=	27,1 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	1,71 [mg/l]	
					PTAS Lomas de Lo Aguirre	Empresa de agua potable Lo Aguirre S.A.	Lodos Activados	
Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]						
DBO5	=	11 [mg/l]						
Fósforo	=	4,24 [mg/l]						
Nitrógeno total Kjeldahl	=	17,8 [mg/l]						

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					pH	=	7,17 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	6 [mg/l]	
					Temperatura	=	25,2 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,005 [mg/l]	
PTAS Los Trapenses	Aguas Manquehue S.A.	Lodos Activados	1997	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90/00
					Coliformes fecales	=	4 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	19 [mg/l]	
					Fósforo	=	4,22 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	13,3 [mg/l]	
					pH	=	7,6 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	14 [mg/l]	
					Temperatura	=	24,9 °C	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Tetracloroe	<	0,001 [mg/l]	
					tricolorome	=	0,018 [mg/l]	
PTAS Melipilla	Aguas Andinas S.A.	SBR	2007	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	31 [mg/l]	
					Fósforo	=	5,53 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	33,75 [mg/l]	
					pH	=	7,3 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	15 [mg/l]	
					Temperatura	=	26 °C	
					Tetracloroe	<	0,001 [mg/l]	
					Tricolorome	=	0,005 [mg/l]	
PTAS Padre Hurtado	Empresa de Servicios Sanitari	Lodos Activados	2013	Río sin dilución	Aceites y grasas	=	1,05 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	130 [NMP/100 ml]	

PTAS	Empres a	Tipo de tecnología	Año Cons trucc ión	Cuerp o Recep tor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Nor ma que apli ca en desc arga de PTA S
					Parámetro	Si g n o	Valor informado	
	os San Isidro S.A.				DBO5	=	21,7 [mg/l]	
					Fósforo	=	4,49 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	2,06 [mg/l]	
					pH	=	7,83 [-]	
					Poder espumogen o	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendido s Totales	<	5 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	25,5 °C	
					Tetracloro eno	=	0,005 [mg/l]	
					Triclorome tano	<	0,005 [mg/l]	
					PTAS Paine	Aguas Andina s S.A.	Lodos Activados	
Coliformes fecales	=	170 [NMP/100 ml]						
DBO5	=	6 [mg/l]						
Fósforo	=	3,63 [mg/l]						
Nitrógeno total Kjeldahl	=	6,05 [mg/l]						
pH	=	7,9 [-]						

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	7 [mg/l]	
					Temperatura	=	23,8 °C	
					Tetracloroe teno	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorome tano	=	0,005 [mg/l]	
PTAS Pomaire	Aguas Andinas S.A.	Lagunas aireadas	1991	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	30 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,66 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	24,95 [mg/l]	
					pH	=	8 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	72 [mg/l]	
					Temperatura	=	25,7 °C	
					Tetracloroe teno	<	0,001 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Triclorometano	=	0,005 [mg/l]	
PTAS Quilicura	Explotaciones Sanitarias S.A.	Lagunas aireadas	1981	Estero sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90/00
					Coliformes fecales	=	50 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	23 [mg/l]	
					Fósforo	=	6,5 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	21,5 [mg/l]	
					pH	=	8,5 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					SAAM (detergente)	=	0,7 [mg/l]	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	138 [mg/l]	
					Temperatura	=	28,3 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
Triclorometano	<	0,001 [mg/l]						
PTAS San Francisco de Mostazal	ESSBIO S.A.	Lodos Activados	2007	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90/00
					Coliformes fecales	=	23 [NMP/100 ml]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					DBO5	=	11,37 [mg/l]	
					Fósforo	<	0,5 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	12,6 [mg/l]	
					pH	=	7,59 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	<	5 [mg/l]	
					Temperatura	=	27,7 °C	
					Tetracloroetano	<	0,005 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,005 [mg/l]	
PTAS San Jose de Maipo	Aguas Andinas S.A.	Lodos Activados	2002	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	130 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	7 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,56 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	8,8 [mg/l]	
					pH	=	8 [-]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	5 [mg/l]	
					Temperatura	=	29,4 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	0,041 [mg/l]	
PTAS Santa Elena	Aguas de Colina	Lodos Activados	2009	Río sin dilución	Aceites y grasas	=	1,45 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	240 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	24,1 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,87 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	4,17 [mg/l]	
					pH	=	7,76 [mg/l]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	34 [mg/l]	
					Temperatura	=	25 °C	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo o Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Tetracloroe	<	0,005 [mg/l]	
					Triclorome	=	0,017 [mg/l]	
PTAS Santa Luz	SACYR Agua Santiago S.A. (Ex SEMBC ORP Aguas Santiago S.A.)	Lodos Activados	2003	Río sin dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	700.000 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	26 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,32 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	42,8 [mg/l]	
					pH	=	7,46 [-]	
					Poder espumogeno	=	4 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	15 [mg/l]	
					Temperatura	=	25,6 °C	
					Tetracloroe	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorome	<	0,001 [mg/l]	
PTAS Santa María del Mar	COOPAGUALTDA.	Primario + Desinfección	1997	Infiltración	Aceites y grasas	<	0,4 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	800 [NMP/100 ml]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					DBO5	=	35 [mg/l]	
					Fósforo	=	1,16 [mg/l]	
					Hierro disuelto	=	0,01 [mg/l]	
					Hierro total	=	0,15 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	31,2 [mg/l]	
					pH	=	7,57 [-]	
					SAAM (detergente)	=	2,27 [mg/l]	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	12,5 [mg/l]	
					Sulfuros	<	0,2 [mg/l]	
					Temperatura	=	22,8 °C	
PTAS Santo Domingo	COOPAGUA LTDA.	Lodos Activados	2001	Río con dilución	Aceites y grasas	<	0,4 [mg/l]	D.S. 90/00
					Coliformes fecales	=	160.000 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	32 [mg/l]	
					Fósforo	=	3,49 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	31 [mg/l]	
					pH	=	8,04 [-]	

PTAS	Empres a	Tipo de tecnología	Año Cons trucc ión	Cuerp o Recep tor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Nor ma que apli ca en desc arga de PTA S
					Parámetro	Si g n o	Valor informado	
					Poder espumogen o	<	1 [mm]	
					Solidos Suspendido s Totales	=	17,1 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	23,9 °C	
					Tetracloro eno	=	0,012 [mg/l]	
					Triclorome tano	=	0,008 [mg/l]	
PTAS Santo Tomás	BCC S.A.	Lodos Activados	2009	Estero	Aceites y grasas	=	1,5 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	13 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	24,1 [mg/l]	
					Fósforo	=	6,27 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	4,33 [mg/l]	
					pH	=	7,09 [-]	
					Poder espumogen o	<	2 [mm]	
					Solidos Suspendido s Totales	=	17 [mg/l]	
					Temperatu ra	=	27,4 °C	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Tetracloroe	<	0,005 [mg/l]	
					tricolorome	=	0,03 [mg/l]	
PTAS Talagante	Aguas Andinas S.A.	Biofiltro	2006	Río con dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	220 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	63 [mg/l]	
					Fósforo	=	5,66 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	61 [mg/l]	
					pH	=	7,4 [-]	
					Poder espumogeno	=	5,7 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	51 [mg/l]	
					Temperatura	=	26 °C	
					Tetracloroe	<	0,001 [mg/l]	
					Tricolorome	=	0,008 [mg/l]	
PTAS Til-Til	Aguas Andinas S.A.	SBR	2007	Río con dilución	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	160.000 [NMP/100 ml]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					DBO5	=	174 [mg/l]	
					Fósforo	=	7,44 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	22,95 [mg/l]	
					pH	=	7,8 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Solidos Suspendidos Totales	=	166 [mg/l]	
					Temperatura	=	28,7 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	=	1,052 [mg/l]	
PTAS Trachisa	Aguas San Pedro S.A.	Lodos Activados	2015	Estero	Aceites y grasas	<	14 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	<	2 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	10 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,4 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	27,5 [mg/l]	
					pH	=	7,82 [-]	
					Poder espumogeno	<	2 [mm]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	5 [mg/l]	
					Temperatura	=	26,4 °C	
					Tetracloroetano	<	0,01 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,01 [mg/l]	
PTAS Valdivia de Paine	Aguas Andinas S.A.	Preliminar + Desinfección	2003	Río con dilución	Aceites y grasas	=	14,3 [mg/l]	D.S. 90 /00
					Coliformes fecales	=	300 [NMP/100 ml]	
					DBO5	=	77 [mg/l]	
					Fósforo	=	2,62 [mg/l]	
					Nitrógeno total Kjeldahl	=	24 [mg/l]	
					pH	=	7,9 [-]	
					Poder espumogeno	<	0,8 [mm]	
					Sólidos Suspendidos Totales	=	39 [mg/l]	
					Temperatura	=	19,5 °C	
					Tetracloroetano	<	0,001 [mg/l]	
					Triclorometano	<	0,001 [mg/l]	

PTAS	Empresa	Tipo de tecnología	Año Construcción	Cuerpo Receptor	Parámetros fisicoquímicos máximo medido enero/febrero 2021			Norma que aplica en descarga de PTAS
					Parámetro	Signo	Valor informado	
PTAS Villa Galilea	Empresa de agua potable Melipilla Norte S.A.	Lodos Activados	2005	Riego	No opera			D.S. 90/00