



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

RACIONALIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA  
CUENCA DEL RÍO MAPOCHO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL

NATALIA PAZ URZÚA ARANEDA

PROFESOR GUÍA:  
JUAN CARLOS SANHUEZA NAVARRETE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
GERARDO AHUMADA THEODULOZ  
MARÍA PÍA MENA PATRI

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por Aguas Andinas S.A.

SANTIAGO DE CHILE  
2017



RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL  
POR: NATALIA PAZ URZÚA ARANEDA  
FECHA: 2017  
PROF. GUÍA: JUAN CARLOS SANHUEZA NAVARRETE

## RACIONALIZACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CUENCA DEL RÍO MAPOCHO

El sistema de producción Mapocho, perteneciente a las empresas del grupo AGUAS, presenta variados problemas: calidad irregular de las aguas afluentes a las plantas, limitaciones en el suministro de agua cruda, problemas operativos y de infraestructura. Con el objetivo de dar solución a estos problemas, surge el estudio de racionalización de plantas de tratamiento de agua potable en la cuenca del río Mapocho.

En primer lugar, se realiza un diagnóstico de los recintos que posee el Sistema de Producción Mapocho, considerando los gastos de operación y mantenimiento, el estado de la infraestructura, la dificultad en la operación, entre otros. De acuerdo a estos resultados se plantean tres alternativas de racionalización (reducción de plantas): Eliminación del tranque y la planta La Dehesa, eliminación del complejo Los Domínicos, eliminación de la planta Lo Gallo y del recinto Predecantadores y adecuación de la planta Vitacura para el tratamiento del agua de los pozos de los tres recintos.

A partir de la evaluación técnica se determinó infactible la eliminación del tranque y la planta La Dehesa por la importancia del tranque al ser un elemento de regulación y amortiguación de crecidas y al no ser posible la enajenación de terrenos. Por otra parte, en relación a la eliminación del recinto predecantadores y la planta Lo Gallo, la alternativa no es conveniente debido a la necesidad de conservar los pozos ubicados en estos recintos, no pudiendo ser tratados en la planta Vitacura por restricciones de espacio y tampoco siendo posible su uso mediante dilución en los estanques por las concentraciones de arsénico presentes.

La eliminación del recinto Los Domínicos es la única alternativa técnicamente factible. Sin embargo, en las condiciones actuales de oferta y demanda, al eliminar este recinto no se logra abastecer a este sector dado que no existe la infraestructura de transporte necesaria. La implementación de esta alternativa requiere tres inversiones: la ampliación en la planta San Enrique, la construcción de una conducción entre la planta San Enrique y el complejo Los Domínicos y la construcción de estanques de regulación con un volumen total de 50.000 m<sup>3</sup>, estas obras representan una inversión estimada de 478.037 UF. Por otra parte, esta alternativa genera una reducción en los costos operativos y de mantenimiento significativa, al no requerir mantención en los tranques. Además de facilitar la gestión del sistema, fortalecer la producción en la parte alta de la cuenca y eliminar el riesgo de contaminación en el canal que abastece actualmente al Complejo. Adicionalmente, al eliminar el complejo Los Domínicos existe la posibilidad de enajenar este terreno, con un valor de tasación máximo de aproximadamente 12,8 UF/m<sup>2</sup>.



# Agradecimientos

En primer lugar agradezco a mi familia, por el cariño que me han entregado siempre, por apoyarme, alentarme y comprenderme en todo momento.

A Mario, por su apoyo, sus buenos consejos y su cariño permanente.

A mis amigas, Javiera, Coté y Maire, han sido fundamentales en mi vida durante todos estos años y les agradezco estar presente siempre que lo he necesitado.

A los amigos que hice en mi paso por la Universidad; Iván, Fabi, Toro, Tavo, Meli, Feña, Rorro, Nati, Leandro, Pancho y Suso. Por todos los buenos momentos que hemos compartido y que han hecho de mi etapa universitaria algo que recordaré con mucho cariño.

A Don Juan Carlos, David y Juan Ramón, por darme la oportunidad de realizar este trabajo para Aguas Andinas y apoyarme en el transcurso.

A los profesores de mi comisión Gerardo Ahumada y María Pía Mena, por su buena disposición, y su colaboración en el desarrollo de este trabajo.



# Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Ilustraciones	xiii
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>3</b>
2.1. Marco Regulatorio . . . . .	3
2.2. Disponibilidad de las fuentes de abastecimiento en el Sistema de producción Mapocho . . . . .	4
2.2.1. Disponibilidad natural de las fuentes superficiales . . . . .	4
2.2.2. Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales . . . . .	8
2.2.3. Disponibilidad de las fuentes subterráneas . . . . .	12
2.3. Calidad de las fuentes de abastecimiento . . . . .	13
2.3.1. Calidad de las fuentes superficiales . . . . .	13
2.3.2. Calidad de las fuentes subterráneas . . . . .	17
2.4. Sistema de Producción Mapocho . . . . .	17
2.5. Sistema de Transporte . . . . .	19
<b>3. Diagnóstico del sistema de producción Mapocho</b>	<b>22</b>
3.1. Descripción general de los recintos productivos . . . . .	24
3.1.1. PTAP San Enrique . . . . .	24
3.1.2. PTAP Padre Hurtado . . . . .	25
3.1.3. Recinto Predecantadores . . . . .	27
3.1.4. PTAP Lo Gallo . . . . .	29
3.1.5. PTAP Vitacura . . . . .	31
3.1.6. Complejo Los Domínicos . . . . .	33
3.1.7. PTAP Punta de Águilas . . . . .	35
3.1.8. PTAP Arrayán . . . . .	37
3.1.9. PTAP Quebrada de Ramón . . . . .	39
3.1.10. PTAP La Dehesa . . . . .	41
3.2. Costos de operación . . . . .	43
3.2.1. Costos en energía eléctrica e insumos químicos . . . . .	43
3.2.2. Costos en mantenimiento . . . . .	46
3.3. Cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable . . . . .	48

3.4.	Análisis Operativo y de Infraestructura . . . . .	50
3.4.1.	PTAP San Enrique . . . . .	50
3.4.2.	PTAP Padre Hurtado . . . . .	50
3.4.3.	Recinto Predecantadores . . . . .	51
3.4.4.	PTAP Lo Gallo y Vitacura . . . . .	51
3.4.5.	Complejo Los Domínicos . . . . .	52
3.4.6.	PTAP Punta de Águilas . . . . .	53
3.4.7.	PTAP Arrayán . . . . .	53
3.4.8.	PTAP Quebrada de Ramón . . . . .	53
3.4.9.	PTAP La Dehesa . . . . .	54
3.5.	Análisis FODA de las plantas de tratamiento de agua potable del sistema de producción Mapocho . . . . .	54
3.5.1.	PTAP San Enrique . . . . .	54
3.5.2.	PTAP Padre Hurtado . . . . .	55
3.5.3.	Recinto Predecantadores . . . . .	56
3.5.4.	PTAP Vitacura . . . . .	56
3.5.5.	PTAP Lo Gallo . . . . .	57
3.5.6.	Complejo Los Domínicos . . . . .	58
3.5.7.	PTAP Punta de Águilas . . . . .	59
3.5.8.	PTAP Arrayán . . . . .	59
3.5.9.	PTAP Quebrada de Ramón . . . . .	60
3.5.10.	PTAP La Dehesa . . . . .	60
3.6.	Conclusiones . . . . .	61
<b>4.</b>	<b>Evaluación de alternativas de racionalización y selección de solución óptima</b>	<b>64</b>
4.1.	Análisis Oferta - Demanda . . . . .	64
4.1.1.	Aguas Manquehue . . . . .	65
4.1.2.	Aguas Cordillera . . . . .	66
4.1.3.	Aguas Andinas . . . . .	68
4.1.4.	Resultados . . . . .	71
4.2.	Evaluación de alternativas de racionalización . . . . .	71
4.2.1.	Eliminación del tranque y la planta La Dehesa . . . . .	71
4.2.2.	Eliminación del recinto Predecantadores y de la planta Lo Gallo . . . . .	74
4.2.3.	Eliminación del recinto Los Domínicos . . . . .	79
4.2.4.	Comparación de alternativas . . . . .	87
4.3.	Selección de solución óptima . . . . .	91
<b>5.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>92</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>94</b>
	<b>Anexos</b>	<b>95</b>
<b>A.</b>	<b>Productos no conformes generados en las plantas de tratamiento de agua potable del sistema de producción Mapocho</b>	<b>96</b>
<b>B.</b>	<b>Presupuesto Inversiones Modificación Tranque La Dehesa</b>	<b>100</b>

B.1. Modificación Tranque La Dehesa . . . . .	100
B.2. Limpieza Tranque La Dehesa . . . . .	103
<b>C. Concentraciones de arsénico en pozos y efluentes de PTAP</b>	<b>105</b>
C.1. Concentraciones de arsénico en pozos de recintos Lo Gallo, Predecantadores y Vitacura . . . . .	105
C.2. Concentraciones de arsénico en efluentes de PTAP Padre Hurtado, Vitacura y San Enrique . . . . .	111
<b>D. Presupuesto Inversiones Eliminación Complejo Los Domínicos</b>	<b>113</b>
D.1. Presupuesto construcción ampliación PTAP San Enrique . . . . .	113
D.2. Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos . . . . .	114
<b>E. Catastro de propiedades en venta cercanas al complejo Los Domínicos</b>	<b>115</b>

# Índice de Tablas

2.1. Derechos Permanentes Río Maipo Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011) . . . . .	8
2.2. Derechos Permanentes Quebrada de Ramón . . . . .	9
2.3. Derechos eventuales Quebrada de Ramón . . . . .	9
2.4. Derechos Permanentes Río Mapocho Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011) . . . . .	10
2.5. Derechos Eventuales Río Mapocho Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011) . . . . .	11
2.6. Derechos Permanentes Estero Arrayán (Fuente: Actualización PGPT, 2011) .	11
2.7. Derechos Eventuales Estero Arrayán (Fuente: Actualización PGPT, 2011) . .	12
2.8. Derechos Permanentes Otros Esteros (Fuente: Actualización PGPT, 2011) .	12
2.9. Caudales de extracción de pozos operativos de Gran Santiago, Aguas Cordillera y Aguas Manquehue sur (Fuente: Planes de desarrollo Aguas Cordillera, Aguas Manquehue y Aguas Andinas - Gran Santiago). . . . .	13
2.10. Concentraciones de hierro en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,3 mg/l) (Fuente: Elaboración propia) . . . . .	15
2.11. Concentraciones de manganeso en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,1 mg/l) (Fuente: Elaboración propia). . . . .	15
2.12. Concentraciones de cobre en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 2 mg/l) (Fuente: Elaboración propia) . . . . .	16
2.13. Concentraciones de arsénico en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,01 mg/l) (Fuente: Elaboración propia) . . . . .	16
2.14. capacidades máximas de diseño y las capacidades máximas de operación . .	18
3.1. Costos históricos en energía eléctrica por metro cúbico de producción para recintos del estudio (Enero 2015 - Junio 2016) . . . . .	43
3.2. Gastos históricos en insumos químicos por metro cúbico de producción para recintos del estudio (Enero 2015 - Junio 2016) . . . . .	44
3.3. Gastos promedio en insumos químicos y energía eléctrica para recintos de estudio	45
3.4. Costos de Mantenimiento por volumen de producción (asociados a la Gerencia de Mantenimiento) . . . . .	47
3.5. Costos de Mantenimiento por volumen de producción en periodo enero 2016 - junio 2016 (asociados a la Subgerencia de Producción) . . . . .	48
3.6. Criterios Producto No Conforme . . . . .	48
3.7. Tabla Resumen criterios para el planteamiento de alternativas de racionalización.	62

4.1.	Balance Oferta-Demanda Sistema Santa María. . . . .	65
4.2.	Balance Oferta-Demanda Sistema Los Trapenses. . . . .	66
4.3.	Balance Oferta-Demanda Aguas Cordillera. . . . .	67
4.4.	Presupuesto obras e inversiones modificación tranque La Dehesa. . . . .	73
4.5.	Estimación del tiempo de autonomía del tranque en situación actual y proyectada	74
4.6.	Caudales de extracción de pozos según derechos de aprovechamiento,ubicados en recinto Predecantadores y las plantas Lo Gallo y Vitacura (Fuente: Victor Sepúlveda). . . . .	75
4.7.	Características recinto San Antonio (Fuente: Osvaldo Rubilar). . . . .	76
4.8.	Concentraciones de arsénico en pozos y salidas de plantas de tratamiento de agua potable (Fuente: Elaboración propia). . . . .	77
4.9.	Concentración máxima de arsénico, caudal de extracción segun derechos de aprovechamiento y carga másica de arsénico en pozos . . . . .	78
4.10.	Estimación de concentraciones de arsénico en estanques Lo Gallo y Rosa Elena Kennedy realizando dilución de pozos (Fuente: Elaboración propia). . . . .	79
4.11.	Presupuesto inversiones requeridas frente a eliminación del recinto Los Domí- nicos. . . . .	82
4.12.	Estimación de superficie atribuida a usos de suelo – Complejo Los Domínicos (Fuente: Elaboración propia). . . . .	83
4.13.	Valores de tasación sector 135b (Fuente: Trivelli P., 2015. Boletines N°1, 2 y 3. Estudio del mercado de suelo urbano) . . . . .	84
4.14.	Catastro de propiedades ubicadas en las cercanías del complejo Los Domínicos, superficie y precio unitario asociado (Fuente: Elaboración Propia). . . . .	85
4.15.	Estimación del área enajenable con uso de suelo de equipamiento (Fuente: Elaboración propia). . . . .	86
4.16.	Tiempo de construcción obras - Alternativa eliminación Complejo Los Domínicos	87
4.17.	Presupuesto upgrade de plantas (Fuente: Felipe Sánchez). . . . .	88
4.18.	Costos y año de ejecución adoptado de las obras necesarias para la eliminación del complejo Los Domínicos. . . . .	89
4.19.	Evaluación económica de alternativas y determinación del valor de tasación mínimo del terreno. Tasa de descuento utilizada: 7%. (Fuente: Elaboración propia). . . . .	90
B.1.	Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modifi- cación tranque La Dehesa, 2005) . . . . .	101
B.2.	Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modifi- cación tranque La Dehesa, 2005) . . . . .	102
B.3.	Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modifi- cación tranque La Dehesa, 2005) . . . . .	103
B.4.	Estimación del costo de limpieza del tranque La Dehesa . . . . .	104
D.1.	Presupuesto construcción PTAP San Enrique (Presupuesto actualizado por precios unitarios y presupuesto sin considerar edificios existentes. . . . .	113
D.2.	Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos (Fuente: Estudio de alternativas para el abastecimiento sector San Carlos de Apoquindo, 2004) .	114
D.3.	Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos (Conversión a UF) . .	114

E.1. Catastro propiedades en venta cercanas al recinto Los Domínicos (Fuente: Portal Inmobiliario). . . . . 115

# Índice de Ilustraciones

2.1. Esquema sistema de producción Mapocho. . . . .	5
2.2. Curvas de variación estacional - Río Maipo. . . . .	6
2.3. Curvas de variación estacional - Río Mapocho. . . . .	6
2.4. Curvas de variación estacional - Estero Arrayán. . . . .	7
2.5. Curvas de variación estacional - Quebrada de Ramón. . . . .	7
2.6. Turbiedad en fuentes de abastecimiento superficial - Sistema de Producción Mapocho. . . . .	14
2.7. Plantas de tratamiento de agua potable - Sistema de Producción Mapocho .	18
2.8. Sistema de distribución Mapocho (Fuente: Visualizador TopKapi). . . . .	20
3.1. Vista Satelital PTAP San Enrique (Fuente: Google Earth). . . . .	24
3.2. Esquema de funcionamiento PTAP San Enrique. . . . .	25
3.3. Captación planta Padre Hurtado(Fuente: Google Earth) . . . . .	26
3.4. Vista satelital PTAP Padre Hurtado (Fuente: Google Earth) . . . . .	26
3.5. Esquema de funcionamiento PTAP Padre Hurtado. . . . .	27
3.6. Vista satelital unidades recinto Predecantadores (Fuente: Google Earth) . . .	28
3.7. Esquema de funcionamiento Recinto Predecantadores. . . . .	29
3.8. Vista satelital PTAP Lo Gallo(Fuente: Google Earth) . . . . .	30
3.9. Esquema de funcionamiento PTAP Lo Gallo. . . . .	31
3.10. Vista satelital PTAP Vitacura (Fuente: Google Earth) . . . . .	32
3.11. Esquema de funcionamiento PTAP Vitacura. . . . .	33
3.12. Vista satelital Complejo Los Domínicos (Fuente: Google Earth) . . . . .	34
3.13. Esquema de funcionamiento Complejo Los Domínicos. . . . .	35
3.14. Vista satelital PTAP Punta de Águilas (Fuente: Google Earth) . . . . .	36
3.15. Esquema de funcionamiento PTAP Punta de Águilas. . . . .	37
3.16. Vista satelital PTAP Arrayán (Fuente: Google Earth) . . . . .	38
3.17. Esquema de funcionamiento PTAP Arrayán. . . . .	39
3.18. Vista satelital PTAP Quebrada de Ramón (Fuente: Google Earth) . . . . .	40
3.19. Esquema de funcionamiento PTAP Quebrada de Ramón. . . . .	41
3.20. Vista satelital PTAP La Dehesa (Fuente: Google Earth) . . . . .	42
3.21. Esquema de funcionamiento PTAP la Dehesa. . . . .	43
3.22. Costos totales mensuales (Energía eléctrica e insumos químicos) – Recintos del Sistema de Producción Mapocho. . . . .	45
3.23. Productos no conformes generados en plantas de tratamiento de agua potable del Sistema de Producción Mapocho (2010-2016). . . . .	49

4.1. Proyección de pérdidas hidráulicas en Aguas Cordillera, Aguas Manquehue Sur y Gran Santiago (Fuente: Elaboración propia). . . . .	69
4.2. Demandas medias anuales proyectadas considerando pérdidas constantes y considerando el plan de eficiencia hidráulica(Aguas Andinas - Sistema Gran Santiago)(Fuente: Elaboración propia). . . . .	70
4.3. Demandas medias anuales proyectadas considerando pérdidas constantes y considerando el plan de eficiencia hidráulica (Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur)(Fuente: Elaboración propia). . . . .	70
4.4. Imagen Satelital PTAP Vitacura (Fuente: Google Earth). . . . .	75
4.5. Esquema Configuración de uso de pozos (Fuente: Elaboración Propia). . . . .	78
4.6. Trazado aproximado aducción desde PTAP San Enrique a complejo Los Dominicos (Fuente: Elaboración propia). . . . .	82
4.7. Delimitación Usos de Suelo complejo Los Dominicos (Fuente: Elaboración propia). . . . .	83
4.8. Propiedades registradas cercanas al complejo Los Dominicos. . . . .	85
4.9. Cronograma de implementación – Eliminación del complejo Los Dominicos. . . . .	87
A.1. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP San Enrique. . . . .	96
A.2. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Padre Hurtado. . . . .	97
A.3. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Lo Gallo. . . . .	97
A.4. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Vitacura . . . . .	98
A.5. Productos no conformes (2010-2016) - Complejo Los Dominicos. . . . .	98
A.6. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Punta de Águilas. . . . .	98
A.7. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Arrayán. . . . .	99
A.8. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Quebrada de Ramón. . . . .	99
A.9. Productos no conformes (2010-2016) - PTAP La Dehesa. . . . .	99
C.1. Concentraciones históricas de arsénico en pozo . . . . .	105
C.2. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Vitacura 2 . . . . .	106
C.3. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Gallo 4A . . . . .	106
C.4. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Gallo 5. . . . .	107
C.5. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Predecantadores 10. . . . .	107
C.6. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Predecantadores 11. . . . .	108
C.7. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Predecantadores 12. . . . .	108
C.8. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Villa Los Estanques. . . . .	109
C.9. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Rosa Elena Kennedy 11. . . . .	109
C.10. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Matta 7. . . . .	110
C.11. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Matta 8. . . . .	110
C.12. Concentraciones históricas de arsénico en pozo Campanario. . . . .	111
C.13. Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP Vitacura. . . . .	111
C.14. Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP San Enrique. . . . .	112
C.15. Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP Padre Hurtado. . . . .	112

# Capítulo 1

## Introducción

El sector nororiente de la región Metropolitana tiene como fuentes de abastecimiento de agua potable al río Mapocho, el estero Arrayán, la Quebrada de Ramón y al río Maipo, en donde las empresas del grupo AGUAS son las encargadas de la potabilización, producción, distribución, recolección y disposición del agua consumida por de los clientes.

Las plantas de tratamiento de agua potable ubicadas en el sector nororiente son: San Enrique, Padre Hurtado, Arrayán, Quebrada de Ramón, Lo Gallo, El Sendero - Montecasino (Complejo Los Domínicos), La Dehesa, Vitacura y Punta de Águilas. Las tres primeras por encontrarse a cabecera de cuenca, resultan imprescindibles para el sistema productivo, mientras que el resto presenta variados problemas operativos y de infraestructura, entre los cuales están la vulnerabilidad y baja seguridad del suministro de agua cruda e irregular calidad de las aguas afluentes a las plantas, lo cual se traduce en vulnerabilidad del sistema y dificultades en la gestión. Con el fin de dar solución a los problemas antes mencionados, en este trabajo se realiza un análisis técnico, económico y de sustentabilidad para mejorar la situación actual, reduciendo el número de instalaciones productivas, realizando ampliaciones de la infraestructura y optimizando el traspaso de fuentes alternativas de agua potable entre distintos sistemas de abastecimiento.

La motivación de este trabajo es evaluar y proponer mejoras en la configuración actual del sistema, tanto en la continuidad, calidad y cantidad del recurso hídrico, con el objetivo de facilitar la gestión del sistema productivo y proporcionar un mejor servicio para los clientes del sector nororiente de la región Metropolitana.

El objetivo principal es proponer un Plan de Racionalización de Plantas de Tratamiento de Agua Potable en la cuenca del río Mapocho, cuyo abastecimiento y distribución de agua potable sea óptimo y factible, y que satisfaga la demanda existente y futura en la red de distribución de la cuenca del río Mapocho.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Elaborar un diagnóstico físico y operativo de las plantas de tratamiento de agua potable en la cuenca del río Mapocho.
- Identificar las fortalezas y debilidades más relevantes en cada una de las plantas de tratamiento de agua potable.
- Identificar y plantear alternativas de racionalización.
- Evaluar alternativas, mediante un análisis técnico, económico y de sustentabilidad (ambiental, territorial, alternativas de abastecimiento, etc).
- Elección de una alternativa cuyo abastecimiento y distribución de agua sea óptima y factible, y que satisfaga la demanda existente y futura en la red de distribución de la cuenca del río Mapocho.

El alcance de este trabajo es la evaluación a nivel de factibilidad de aspectos técnicos, económicos y de sustentabilidad de alternativas de racionalización de plantas de tratamiento de agua potable de la cuenca del río Mapocho, compatible con la optimización de trasposos de agua potable entre los sistemas de distribución.

## **Contenido de Capítulos**

1. **Antecedentes:** Este capítulo contiene las principales características de los cauces que se encuentran en la cuenca del río Mapocho, el marco regulatorio que rige al sector sanitario, los derechos de aprovechamiento que posee el Grupo Aguas en el sector de estudio, la calidad y disponibilidad en las fuentes de abastecimiento y una descripción general del Sistema de Producción y distribución en la cuenca del río Mapocho.
2. **Diagnóstico del sistema de producción Mapocho:** Este capítulo contiene los siguientes temas:
  - Estado actual de los recintos.
  - Análisis operativo y de infraestructura.
  - Cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable.
  - Análisis de costos de operación (Mantenimiento, insumos químicos y energía eléctrica).
  - Análisis FODA.
  - Planteamiento de alternativas de racionalización de plantas.
3. **Evaluación de alternativas de racionalización de plantas y selección de solución óptima:** En este capítulo se evalúan las alternativas de racionalización que den respuesta a la continuidad, calidad y cantidad de agua potable de la cuenca del río Mapocho.

Las alternativas serán evaluadas técnicamente, económicamente y en el ámbito de la sustentabilidad.

Finalmente, se selecciona la alternativa más adecuada acorde a las distintas evaluaciones y se propone un cronograma de implementación para dicha alternativa.

# Capítulo 2

## Antecedentes

### 2.1. Marco Regulatorio

El marco regulatorio está conformado por el conjunto de leyes y reglamentos, que regulan al sector sanitario y que son considerados para el desarrollo de este estudio. Los principales cuerpos legales son los siguientes [2]:

- Ley que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios (Ley N°18.902/1990) y sus modificaciones (Ley N°19.549/1998 y Ley N° 19.521/2002). Establece como organismo regulador a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), cuya misión es la fiscalización de los prestadores de servicios sanitarios y del cumplimiento de las normas relativas a dichos servicios.
- Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (Ley N° 19.300/1994) y su Reglamento (DS N° 95/2001 del Ministerio Secretaría General de Gobierno)

El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regulan por las disposiciones de esta ley. Define los instrumentos de gestión ambiental concernientes a la realidad nacional, dentro de los cuales se encuentra el Sistema de Evaluación Ambiental (SEA). A través del cuál deben pasar los diversos proyectos o actividades susceptibles a causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases. En esta clasificación se enmarcan los proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistema de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos de origen domiciliario, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos, entre otros (Art. 10° Ley N°19.300).

Asimismo, esta ley hace referencia a la fijación de las normas de calidad ambiental, tanto primarias como secundarias, que son de aplicación general en todo el territorio nacional y definen los niveles que originan situaciones de emergencia o contaminación (Art. 32° Ley N°19.300).

- Código de Aguas (Ley 20.017 de 2005) Este cuerpo legal rige todos los aspectos referentes a los derechos de aguas, la protección del medio ambiente y la relación entre usuarios, así como la de estos con el estado.

## **2.2. Disponibilidad de las fuentes de abastecimiento en el Sistema de producción Mapocho**

### **2.2.1. Disponibilidad natural de las fuentes superficiales**

Las fuentes de abastecimiento de las plantas de tratamiento de agua potable son principalmente aguas superficiales que provienen de ríos, esteros, canales y tranques:

- Las plantas alimentadas por el río Mapocho son San Enrique, Lo Gallo, Vitacura, y Los Dominicos (El Sendero y Montecasino). En el caso de Lo Gallo y Vitacura, a través del canal Lo Gallo y en el caso de los Domínicos a través del canal El Bollo.
- Las plantas Arrayán y Quebrada Ramón son alimentadas por esteros del mismo nombre.
- La planta La Dehesa es abastecida por el tranque del mismo nombre, que es alimentado por dos canales: Las Quiscas y La Poza, provenientes del estero Hualtatas y el estero Arrayán, respectivamente.
- La planta Punta de Águilas se abastece principalmente del canal La Dehesa que lleva aguas provenientes del estero Arrayán y del río Mapocho.
- La Planta Padre Hurtado es alimentada por el canal Las Perdices cuyas aguas provienen del Río Maipo.

En la figura 2.1 se muestra un esquema de los recintos del sistema de producción Mapocho y los cauces que los abastecen.

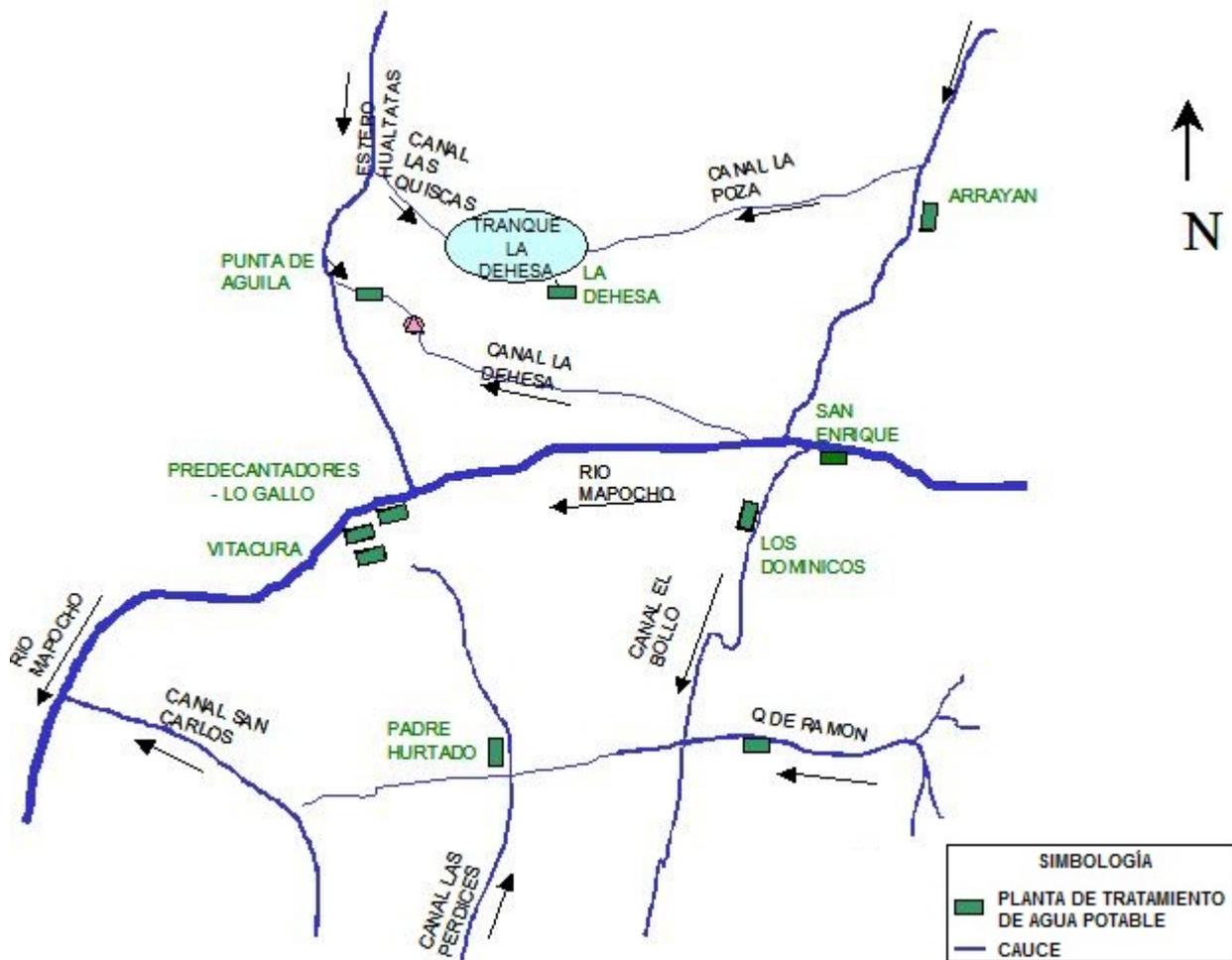


Figura 2.1: Esquema sistema de producción Mapocho.

En las Figuras 2.2, 2.3, 2.4 y 2.5 se muestran las curvas de variación estacional del río Maipo, río Mapocho, el estero Arrayán y la Quebrada de Ramón, principales cauces naturales que abastecen a las plantas de tratamiento de agua potable de Aguas Andinas. Los caudales mensuales bajo distintas probabilidades de excedencia se obtuvieron del “Estudio Hidrológico de Fuentes Superficiales Grupo Aguas” realizado por el DICTUC en noviembre de 2013 [3]. El registro fluviométrico utilizado para el río Mapocho y Estero Arrayán se obtuvo de las estaciones “Río Mapocho en los Almendros” y “Arrayán en la Montosa”, respectivamente. En el caso del río Maipo, el registro fluviométrico corresponde a la estación “Maipo en el Manzano” y en el caso de Quebrada de Ramón, las series fueron estimadas mediante procedimientos indirectos basados en relaciones de precipitación y escurrimiento.

Río Maipo - Curvas de variación estacional

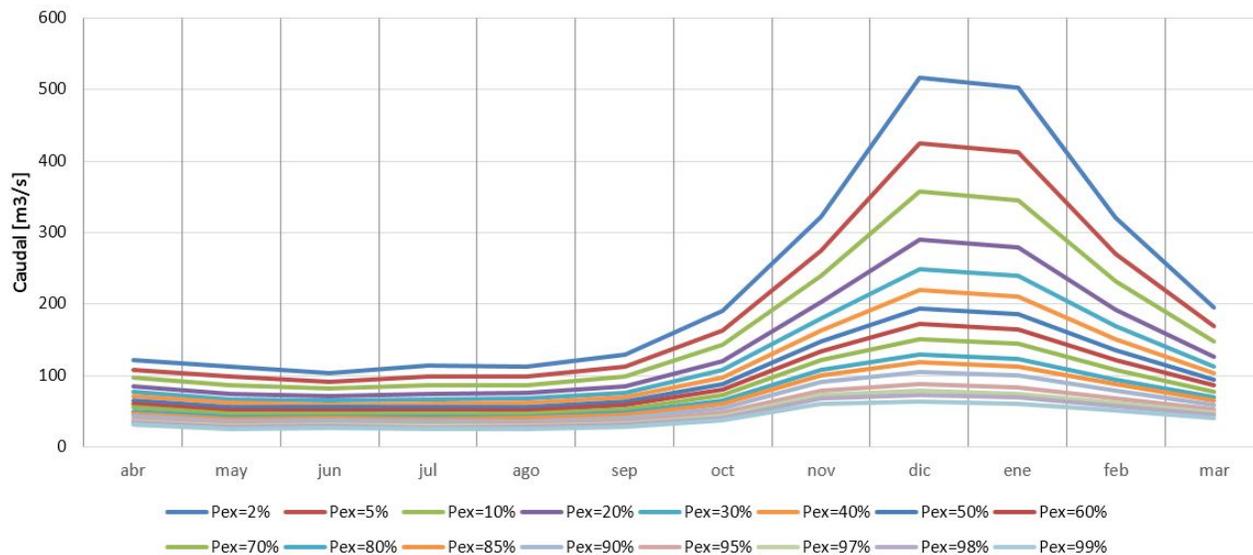


Figura 2.2: Curvas de variación estacional - Río Maipo.

Río Mapocho - Curvas de variación estacional

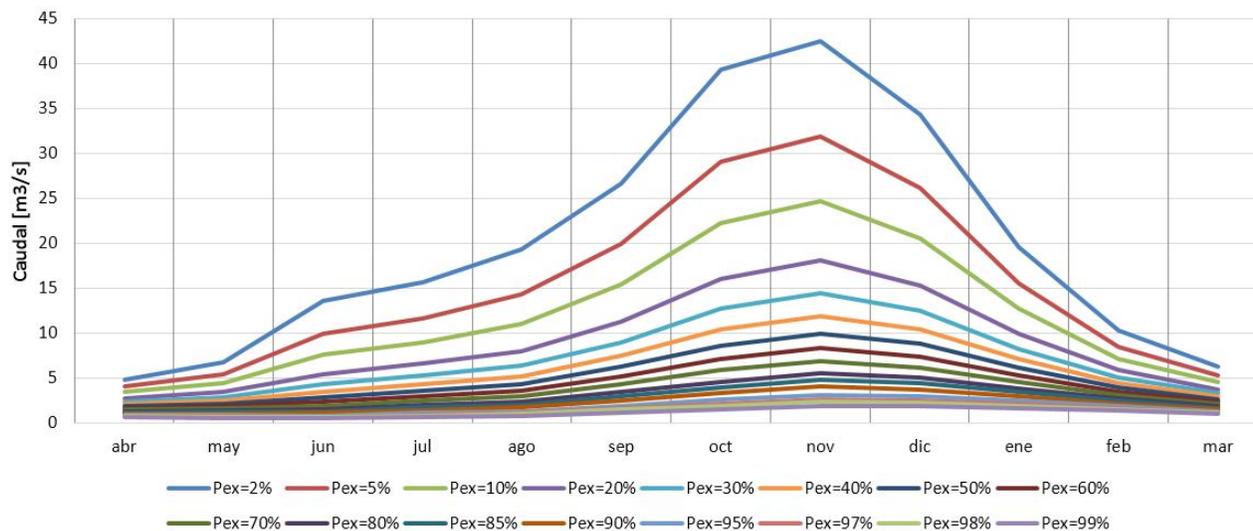


Figura 2.3: Curvas de variación estacional - Río Mapocho.

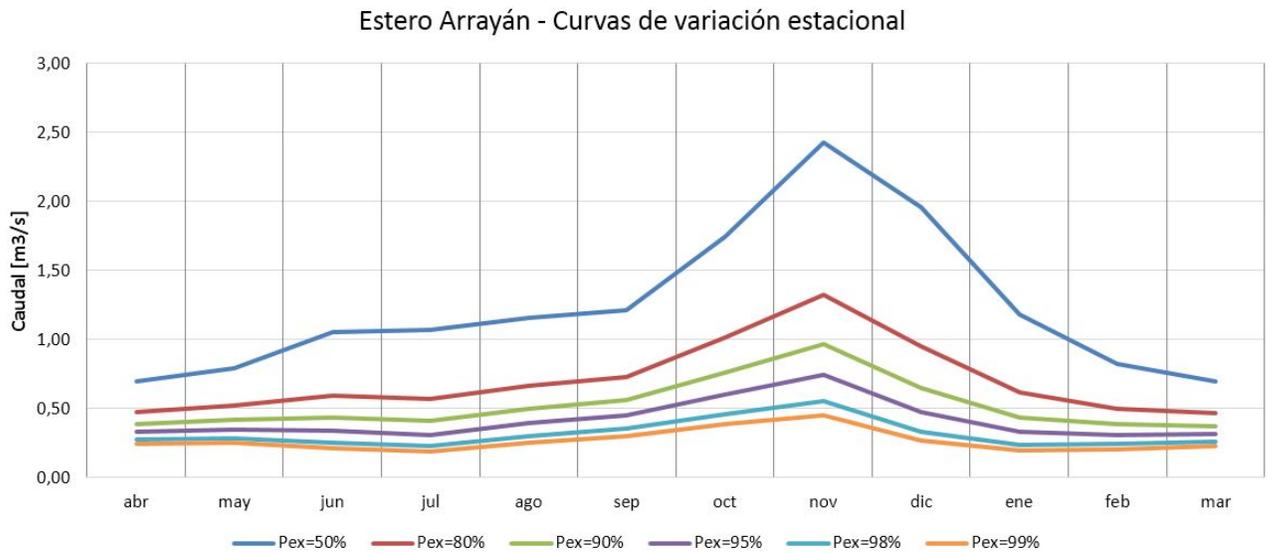


Figura 2.4: Curvas de variación estacional - Estero Arrayán.

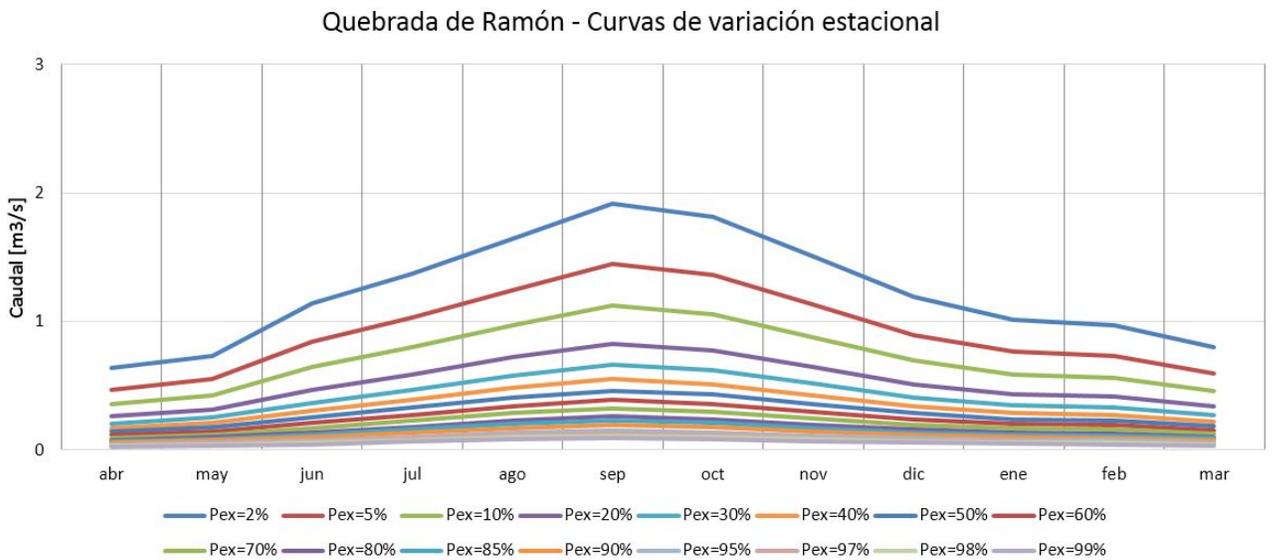


Figura 2.5: Curvas de variación estacional - Quebrada de Ramón.

El Maipo, río Mapocho y el estero Arrayán presentan un régimen hidrológico de tipo nival, con caudales máximos en el mes de noviembre. Por otra parte, Quebrada de Ramón posee caudales máximos en el mes de septiembre.

## 2.2.2. Derechos de aprovechamiento de aguas superficiales

A continuación se presentan los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales de las fuentes que abastecen a las plantas del sistema de producción Mapocho actualizados a Diciembre del año 2010.

### Derechos de aprovechamiento río Maipo

Tabla 2.1: Derechos Permanentes Río Maipo Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

Empresa	Captación	Derechos		Derechos en acciones de río
		Regadores	En acc. de río	
<b>Aguas Andinas</b>	Bocatoma Independiente	178,209	76,739	1174,448 (1)
	Sociedad del Canal del Maipo			301,989
	Asociación Canales de Maipo			76,739 (2)
	Asociación Canales Unidos de Buin			1,817
	Asociación Canal de Pirque			2,05
<b>Total Aguas Andinas</b>			<b>1557,042</b>	
<b>Aguas Cordillera</b>	Acciones en el río (Convenio con S.C.M) (3)	19.712		136,868
	Sociedad del Canal de Maipo			136,860 (4)
	Asociación canal El Carmen			33,404
<b>Total Aguas Cordillera</b>			<b>308,989</b>	
<b>ex Aguas Los Domínicos (5)</b>	Sociedad del Canal de Maipo	2,024		3,43
	<b>Total Aguas Los Domínicos</b>			<b>3,43</b>
<b>Aguas Manquehue</b>	Sociedad del Canal de Maipo	20,755	3,695	35,171
	Asociación canal El Carmen	5,794		9,818
	Asociación Canales de Maipo			3,695 (2)
<b>Total Aguas Manquehue</b>			<b>250,731</b>	

Notas:

1. Se cuenta con respaldo para un total 1.174,45 acciones, sin embargo, la Junta de Vigilancia actualmente entrega 1188,2699 acciones, producto de ajustes provisorios del Rol de accionistas.
2. Derechos en trámite de traslado hacia Bocatoma San Carlos, para que puedan ser utilizados por la Compañía.
3. Se cuenta con respaldo para 273,7276 acciones (=136,8676 + 136,86), sin embargo, en el Rol de la Junta de Vigilancia se registra un total de 276,9486 acc., producto de ajustes provisorios.
4. A. Cordillera entregó en comodato, a A. Andinas, 136,86 acc. de su total de 273,7276 acciones en el río.
5. Aguas Los Domínicos fue traspasada a Aguas Cordillera (Enero 2009), sin embargo la información de derechos aún se trata por separado.

## Derechos de aprovechamiento Quebrada de Ramón

Tabla 2.2: Derechos Permanentes Quebrada de Ramón

Empresa	Captación	Derechos permanentes [l/s]
Aguas	Quebrada de Ramón	650
Andinas	<b>Total</b>	650

Tabla 2.3: Derechos eventuales Quebrada de Ramón

Empresa	Captación	Ejercicio (1)	Derechos eventuales [l/s]
Aguas Andinas	Quebrada de Ramón	Eventual, continuo/discontinuo, Enero	118
		Febrero	274
		Marzo	370
		Abril	538
		Mayo	884
		Junio	1174
		Julio	1030
		Agosto	790
		Septiembre	562
		Octubre	430
		Noviembre	154
		Diciembre	226
	<b>Total</b>	6550	

Notas:

1. Estos derechos son resultado de la suma de derechos de ejercicio continuo y discontinuo.

## Derechos de aprovechamiento río Mapocho

Tabla 2.4: Derechos Permanentes Río Mapocho Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

Empresa	Captación	Derechos		Derechos en acciones de río
		Acciones de agua potable	Acciones de riego	
<b>Aguas Cordillera</b>	Bocatoma San Enrique	500		500
	Bocatoma Lo Gallo	685,6	164,391 (1)	849,991
	Otras Bocatomas			
	Asoc. Canal Vitacura (Canales: Lo Curro, Metropolitano y Conchalí Unificado)		17,870 (2)	17,87
	Asoc. Canal La Dehesa		6,406	6,406
	Asoc. Canal el Bollo (Canales : Fontecilla, Las Condes, La Reina, Alta Reina y Villa Dominicos)		32,902	32,902
	<b>Total Aguas Cordillera</b>	<b>1185,6</b>	<b>221,569</b>	<b>1407,169</b>
<b>Ex Aguas los Domínicos</b>	Plantas Sendero-Montecasino	169,400 (3)	62,820 (4)	232,22
	Otras Bocatomas			
	Asoc. Canal Vitacura (Canales: Lo Curro, Metropolitano y Conchalí Unificado)		5,940 (5)	5,94
	Asociación Canal La Dehesa		5,225	5,225
	Asoc. Canal El Bollo (Canales: Fontecilla, Las Condes, La Reina; 2 Alto Reina y Villa Dominicos)		18,797	18,797
	Río Molina		7,500 (5)	7,5
	<b>Total Aguas Domínicos</b>	<b>169,4</b>	<b>100,282</b>	<b>269,682</b>
<b>Aguas Manquehue</b>	Bocatoma la Dehesa	20	226,431	246,431
	Otras Bocatomas			
	Asoc. Canal Vitacura (Canal Metropolitano)		3,300 (6)	3,3
	Asoc. Canal El Bollo		1,000 (6)	1
	<b>Total Aguas Manquehue</b>	<b>20</b>	<b>230,731</b>	<b>250,731</b>

Notas:

1. Se cuenta con respaldo en títulos para un total de 164,3914 acciones de riego, en tanto que la Junta de Vigilancia reconoce un total de 173,1059 acciones. La diferencia está en estudio para ser aclarada.
2. Derechos a ser trasladados hacia bocatoma San Enrique.
3. Se cuenta con respaldo para un total de 169,4 acciones de agua potable, en tanto que la Junta de Vigilancia reconoce un total de 174,29 acciones. La diferencia está en estudio para ser aclarada.
4. Se cuenta con respaldo para un total de 62,8797 acciones de riego en punto de entrega a sus plantas de producción, en tanto que lo registrado por la Junta de Vigilancia es 61,7597 acciones. La diferencia está en estudio para ser aclarada.
5. Derechos a ser trasladados hacia bocatoma San Enrique.
6. Derechos a ser trasladados hacia bocatoma La Dehesa que utiliza A.Manquehue.
7. Aguas Los Domínicos fue traspasada a Aguas Cordillera (Enero 2009), sin embargo esta información aún se trata por separado.

Tabla 2.5: Derechos Eventuales Río Mapocho Primera Sección (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

<b>Empresa</b>	<b>Captación</b>	<b>Ejercicio</b>	<b>Derechos eventuales (l/s)</b>
<b>Aguas Cordillera</b>	En el río	Eventual y continuo	42
	Bocatoma Lo Gallo	Eventual y continuo	500
		Eventual discontinuo:	
		Agosto	150
	Septiembre a Diciembre	1000	
<b>Ex Aguas los Dominicos</b>	En el río	Eventual y continuo	100
	Bocatoma El Bollo	Eventual discontinuo Septiembre a Diciembre	500

Notas:

Aguas Los Dominicos fue traspasada a Aguas Cordillera (Enero 2009), sin embargo la información de derechos aún se trata por separado.

### Derechos de aprovechamiento Estero Arrayán

Tabla 2.6: Derechos Permanentes Estero Arrayán (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

<b>Empresa</b>	<b>Captación</b>	<b>Acciones de agua potable</b>	<b>Acciones de riego</b>	<b>Derechos en acciones de río</b>
<b>Aguas Cordillera</b>	<b>Bocatoma Canal La Poza</b>			
	Propias	16	42,5	58,5 (2)
	Acciones en contrato de comodato	22 (1)		22,0 (2)
	<b>Bocatoma Planta El Arrayán</b>	120	18,531	138,531
	<b>Otras Bocatomas</b>			
	Canal Arrayán		1,63	1,63 (3)
	Totales Aguas Cordillera	158	62,661	220,661

Notas:

1. Derechos en comodato suscrito con la titular Inmobiliaria Parque del Sol.
2. Estos derechos captados en canal la Poza son conducidos hasta el Embalse La Dehesa.
3. Derechos deben someterse a proceso de perfeccionamiento judicial para su posterior traslado.

Tabla 2.7: Derechos Eventuales Estero Arrayán (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

<b>Empresa</b>	<b>Captación</b>	<b>Ejercicio</b>	<b>Derechos eventuales (1/s]</b>
<b>Aguas Cordillera</b>	<b>Bocatoma Canal La Poza</b> (Para conducir al Embalse La Dehesa)	Eventual discontinuo, de Junio a Sept.	120
		de Junio a Noviembre	30
		de Octubre a Diciembre de 7 a 24 hrs.	58,6 350 (1)
	<b>Bocatoma planta El Arrayán</b>	de Mayo a Agosto de a 7 hrs	270 350

Notas:

1. Asociación Canal La Poza reconoció 175 acciones al incorporar este derecho a sus registros.

## Derechos de aprovechamiento en otros esteros

Tabla 2.8: Derechos Permanentes Otros Esteros (Fuente: Actualización PGPT, 2011)

<b>Empresa</b>	<b>Captación</b>	<b>Derechos Permanentes (%) (3)</b>
<b>Aguas Cordillera</b>	Estero Las Hualtatas	100 %
	Estero El Gabino	100 %
	Estero El Manzano (Mapocho Alto)	100 %
	<b>Total Aguas Cordillera</b>	100 %
<b>Aguas Manquehue (2)</b>	Estero Las Hualtatas, Mayo a Agosto	100 %
	<b>Total Aguas Manquehue</b>	100 %

Notas:

1. Derechos utilizados por Aguas Manquehue.
2. Título permanece a nombre de Fundación Cultural y Agrícola La Dehesa. Se encuentra en trámite la suscripción de contrato por el que se concreta la cesión de los derechos en el estero a Aguas Manquehue S.A.
3. Derechos fueron constituidos por la totalidad de las aguas de los respectivos esteros, para ser embalsados, y destinados al riego con una tasa de 14.700 m<sup>3</sup>/há/año.

### 2.2.3. Disponibilidad de las fuentes subterráneas

Las fuentes subterráneas son fundamentales ya que permiten suplir la escasez de agua superficial en escenarios críticos (generalmente en verano). Los derechos de extracción son

valores de caudal constante durante todos los meses, sin embargo, el aprovechamiento está condicionado por el nivel de la napa y por los pozos que se encuentran operativos. Por efecto de las recargas que se produjeron durante el año 2016, los registros de los últimos meses de dicho año indican que hay suficiente disponibilidad para realizar las extracciones de acuerdo a los derechos de aprovechamiento (V. Sepúlveda, Comunicación personal, 2016), sin embargo, el caudal de extracción se encuentra acotado por los pozos que se encuentran operativos. De acuerdo a esto, los caudales de extracción de los pozos operativos de Gran Santiago, Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9: Caudales de extracción de pozos operativos de Gran Santiago, Aguas Cordillera y Aguas Manquehue sur (Fuente: Planes de desarrollo Aguas Cordillera, Aguas Manquehue y Aguas Andinas - Gran Santiago).

<b>Empresa</b>	<b>Cantidad de pozos</b>	<b>Caudal de extracción de pozos operativos [m<sup>3</sup>/s]</b>
Aguas Andinas (Gran Santiago)	165	2,903
Aguas Cordillera	32	1,476
Aguas Manquehue (Sin Trapenses y Santa María de Manquehue)	26	0,405
<b>Total:</b>	<b>386</b>	<b>3,95</b>

## 2.3. Calidad de las fuentes de abastecimiento

### 2.3.1. Calidad de las fuentes superficiales

Las aguas crudas que abastecen a las plantas de tratamiento de agua potable provienen de distintas fuentes. La calidad de estas fuentes está determinada por características naturales e influenciada por factores antropogénicos.

Para el río Mapocho, el estero Arrayán y el río Maipo, el parámetro más relevante que afecta calidad del agua para cumplir con la normativa de agua potable es la turbiedad, condicionando los sistemas de tratamiento a la reducción de este parámetro.

#### **Turbiedad**

A continuación se muestran los resultados para el análisis de las turbiedades probables para las distintas plantas del Sistema de producción Mapocho en partir del registro del periodo 01/2014 - 06/2016 (Figura 2.6).

### Turbiedad en Fuentes de Abastecimiento Superficial

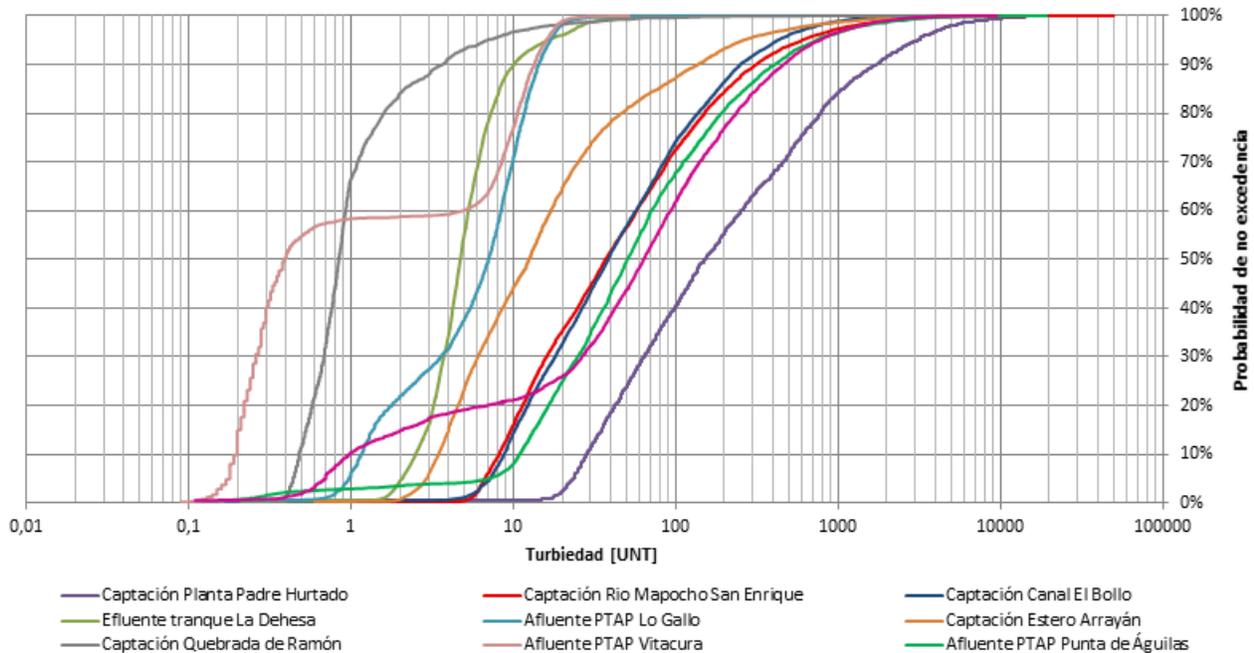


Figura 2.6: Turbiedad en fuentes de abastecimiento superficial - Sistema de Producción Mapocho.

La mejor calidad de agua cruda en términos de turbiedad es la proveniente de la Quebrada de Ramón, y la peor calidad según este parámetro es la del canal Las Perdices que alimenta la planta de Padre Hurtado, en donde la turbiedad máxima registrada en el periodo de análisis está en torno a las 10.000 UNT.

Además, se realizó un análisis para los demás parámetros de calidad relevantes en las aguas superficiales del Sistema Mapocho: el hierro, el manganeso, el cobre y arsénico. En las tablas siguientes se presentan los valores mínimos, promedio y máximo para estos parámetros en cada fuente del sistema de producción Mapocho. El valor mínimo se consideró como el centil 5%, el valor promedio como el centil 50% y el valor máximo como el centil 95%. Los valores destacados corresponden a aquellos que exceden los límites de la Norma Chilena NCh409/1.

## Hierro

Tabla 2.10: Concentraciones de hierro en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,3 mg/l) (Fuente: Elaboración propia)

Fuente	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo	Número de datos
Captación Río Mapocho San Enrique	0,029	0,320	2,649	03-01-2014 / 07-06-2016	30
Captación Canal El Bollo	0,048	0,770	2,584	07-01-2014 / 08-06-2016	29
Captación Embalse La Dehesa	0,034	0,100	0,516	03-01-2014 / 17-06-2016	29
Captación Planta Padre Hurtado	0,412	1,480	28,010	13-01-2014 / 08-06-2016	25
Captación Río Mapocho Lo Gallo	0,020	0,160	5,847	03-01-2014 / 04-11-2014	43
Captación Estero Arrayán	0,052	0,300	2,538	03-01-2014 / 14-06-2016	29

A partir de los resultados obtenidos para los niveles de hierro, se observa que el canal las Perdices presenta las concentraciones más altas entre las fuentes analizadas, mientras que el resto de fuentes también presenta niveles que exceden el límite de la norma chilena de agua potable (0,3 mg/l) ya sea en la condición promedio o máxima. El agua proveniente del tranque La Dehesa presenta las menores niveles de hierro.

## Manganeso

Tabla 2.11: Concentraciones de manganeso en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,1 mg/l) (Fuente: Elaboración propia).

Fuente	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo	Número de datos
Captación Río Mapocho San Enrique	0,068	0,236	0,500	03-01-2014 / 07-06-2016	30
Captación Canal El Bollo	0,068	0,256	0,569	07-01-2014 / 08-06-2016	29
Captación Embalse La Dehesa	0,016	0,016	0,088	03-01-2014 / 17-06-2016	29
Captación Planta Padre Hurtado	0,031	0,143	3,149	13-01-2014 / 08-06-2016	25
Captación Río Mapocho Lo Gallo	0,019	0,256	0,688	03-01-2014 / 07-06-2016	24
Captación Estero Arrayán	0,036	0,068	0,235	03-01-2014 / 14-06-2016	29

Con respecto a los resultados para el manganeso, las aguas crudas de La Dehesa y El Arrayán son las de mejor calidad en este parámetro, sin embargo, el valor máximo de las aguas del estero arrayán excede el límite de la norma chilena de agua potable para este parámetro (0,1 mg/l). La diferencia de concentraciones entre estas fuentes se debe al proceso de remoción en el tranque La Dehesa. El resto de las aguas crudas exceden el límite de la norma chilena de agua potable en el valor promedio y máximo.

## Cobre

Tabla 2.12: Concentraciones de cobre en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 2 mg/l) (Fuente: Elaboración propia)

Fuente	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo	Número de datos
Captación Río Mapocho San Enrique	0,058	0,355	2,109	03-01-2014 / 07-06-2016	30
Captación Canal El Bollo	0,097	0,585	2,274	07-01-2014 / 08-06-2016	29
Captación Embalse La Dehesa	0,002	0,002	0,017	03-01-2014 / 17-06-2016	29
Captación Planta Padre Hurtado	0,002	0,016	0,198	13-01-2014 / 08-06-2016	25
Captación Río Mapocho Lo Gallo	0,016	0,392	2,473	03-01-2014 / 07-06-2016	24
Captación Estero Arrayán	0,002	0,007	0,023	03-01-2014 / 14-06-2016	29

El relación a los niveles de cobre, las aguas del río Mapocho presentan los valores más altos, excediendo el valor límite de la norma chilena de agua potable para este parámetro (2 mg/l). Por otra parte, se observan menores concentraciones para las aguas provenientes del tranque La Dehesa.

## Arsénico

Tabla 2.13: Concentraciones de arsénico en fuentes superficiales del Sistema Mapocho (Límite de la NCh409: 0,01 mg/l) (Fuente: Elaboración propia)

Fuente	Mínimo	Promedio	Máximo	Periodo	Número de datos
Captación Río Mapocho San Enrique	0,001	0,003	0,006	03-01-2014 / 22-07-2014	109
Captación Canal El Bollo	0,002	0,003	0,006	07-01-2014 / 08-06-2016	27
Captación Embalse La Dehesa	0,004	0,010	0,014	06-01-2014 / 15-09-2014	62
Captación Planta Padre Hurtado	0,007	0,017	0,119	13-01-2014 / 08-06-2016	25
Captación Río Mapocho Lo Gallo	0,003	0,020	0,090	03-01-2014 / 30-03-2014	112
Captación Estero Arrayán	0,006	0,015	0,020	03-01-2014 / 14-06-2016	30

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 2.13, el canal Las Perdices presenta los niveles más altos de arsénico, mientras que en el estero Arrayán, en el embalse la Dehesa y en el río Mapocho (en la captación del recinto Predecantadores) las concentraciones media y máxima exceden al límite de la Norma Chilena de Agua Potable NCh409.

Además de los aspectos de calidad descritos, existen otros problemas adicionales:

- Los canales Las Perdices, El Bollo, La Poza, Las Quiscas y Lo Gallo, al tener tramos abiertos y pasar por áreas urbanas, se encuentran expuestos y presentan riesgo de contaminación por parte de terceros.

- Por otra parte, en el tranque de La Dehesa y los tranques que posee el recinto Los Domínicos se produce proliferación de algas, lo que genera problemas de olor y sabor en el agua producida.

### 2.3.2. Calidad de las fuentes subterráneas

Las fuentes subterráneas del sector de Mapocho actualmente presentan concentraciones de arsénico que en ocasiones exceden al límite de la Norma Chilena de Agua Potable (NCH409).

La presencia del arsénico tiene como origen las características geológicas de los rellenos naturales del acuífero en determinados sectores.

Según el área de Calidad de Aguas, no se han realizado estudios recientes sobre la tendencia de la concentración de arsénico en los pozos, sin embargo, se ha observado que cuando se producen recargas en el acuífero, las concentraciones de arsénico disminuyen por efecto de la dilución (F. Aburto, Comunicación personal, Mayo 2017).

Actualmente existen las siguientes alternativas para utilizar las fuentes subterráneas:

- Tratamiento convencional en las plantas de tratamiento de agua potable, generalmente se trata como una mezcla de agua superficial y agua subterránea.
- Tratamiento en plantas de arsénico, que utilizan un medio absorbente para la remoción.
- Descarga directa de los pozos a los estanques, en donde se genera una disminución de la concentración por efecto de la dilución.

## 2.4. Sistema de Producción Mapocho

La cuenca del río Mapocho tiene como principal fuente de abastecimiento las fuentes superficiales de los cauces mencionados en el apartado anterior, y como fuente secundaria, las aguas subterráneas del acuífero del Gran Santiago.

El sistema de producción Mapocho posee once recintos cuyo abastecimiento es principalmente superficial. En la Figura 2.7 se muestra la ubicación de los recintos en la zona de estudio.

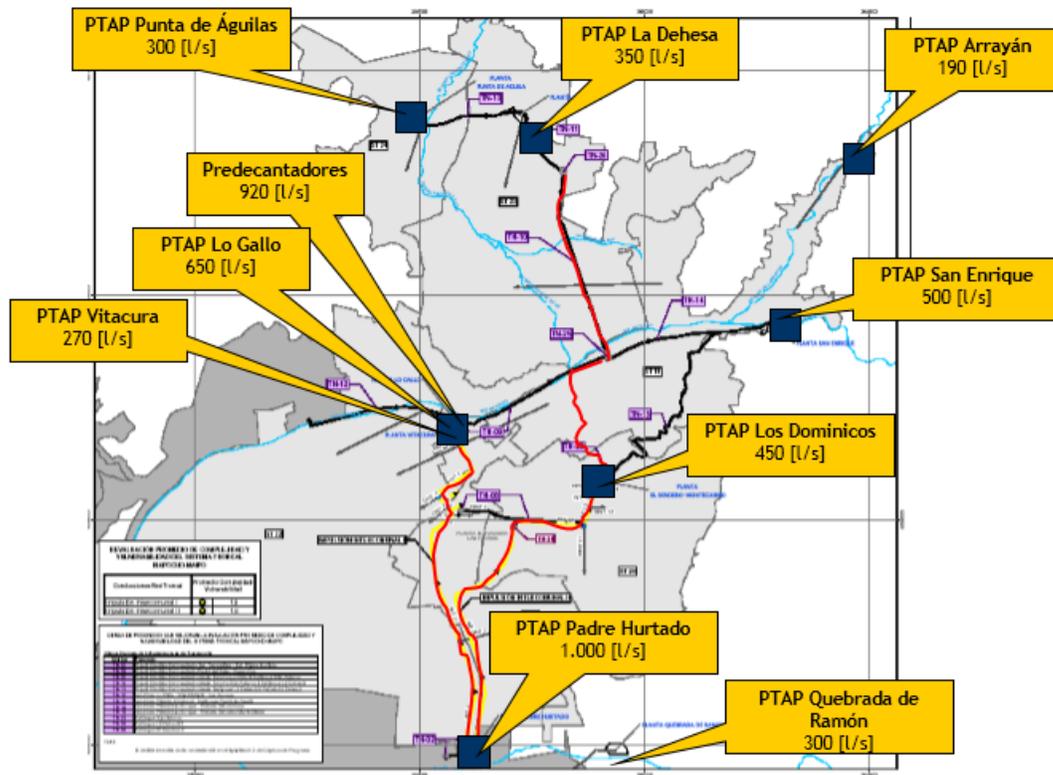


Figura 2.7: Plantas de tratamiento de agua potable - Sistema de Producción Mapocho

En la tabla 2.14 se muestran las capacidades máximas de diseño y las capacidades máximas de operación de las plantas de tratamiento de agua potable del sistema de producción Mapocho.

Tabla 2.14: capacidades máximas de diseño y las capacidades máximas de operación

PTAP	Capacidad de diseño [l/s]	Capacidad de operación máxima [l/s]
San Enrique	500	500
Lo Gallo	650	650
Vitacura	340	270
El Sendero	180	250
Montecasino	130	200
La Dehesa	250	350
Punta de Águilas	300	300
Padre Hurtado	1000	1000
Arrayán	250	190
Quebrada de Ramón	543	300

Como se observa en la Tabla 2.14, la mayoría de las plantas el caudal de operación excede al caudal de diseño. Esta forma de operación tiene ciertas implicancias como una mayor frecuencia en el lavado de filtros y en lavado de las plantas.

El criterio de reparto del río Mapocho considera que pueden repartirse entre las distintas plantas todos los derechos del Grupo Aguas en la Primera Sección del río Mapocho. La primera prioridad es la planta San Enrique, luego Sendero-Montecasino, en tercera prioridad la planta Punta de Águilas y por último Lo Gallo - Vitacura.

El aporte del estero Las Hualtatas es asignado prioritariamente a planta La Dehesa y en segunda prioridad a la Planta Punta de Águilas.

Los derechos en el estero Arrayán sumados a los del canal La Poza, se reparten priorizando la entrega a planta Arrayán y el sobrante se asigna a planta La Dehesa. El aporte de los esteros El Gabino y El Manzano es asignado íntegramente a planta La Dehesa.

El reparto de los derechos eventuales se realiza con el mismo criterio de prioridad descrito y respetando el orden de prelación que tiene cada derecho.

La operación del sistema se realiza privilegiando el uso de aguas superficiales debido a que en general el costo de producción asociado es menor en comparación al uso de aguas subterráneas. Cuando la oferta superficial no es suficiente para satisfacer la demanda, se utilizan las fuentes subterráneas.

Debido a los problemas de arsénico, parte de las aguas subterráneas son tratadas en las plantas convencionalmente, mientras que una porción llega directamente a los estanques de agua potable, en donde mediante dilución, se logra una mezcla con niveles de arsénico que cumplen con la norma chilena de agua potable (Norma Chilena NCh409 /1.Of. 2005 Agua Potable - Parte 1: Requisitos).

## 2.5. Sistema de Transporte

Los sectores de abastecimiento del área de estudio son La Reina, San Francisco, Los Trapenses, Los Domínicos, Mapocho-Maipo, La Dehesa, Arrayán - San Enrique y Santa María de Manquehue. En la Figura 2.8 se muestra un esquema del sistema de distribución del sector Mapocho.

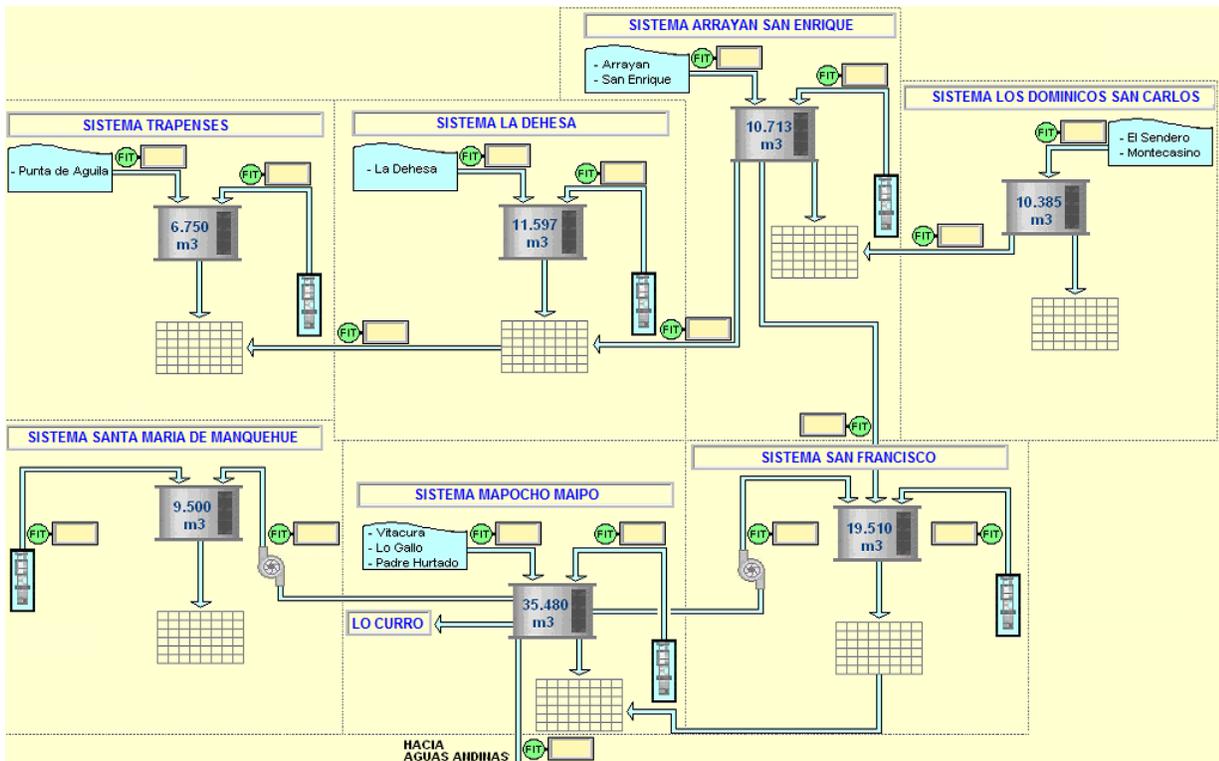


Figura 2.8: Sistema de distribución Mapocho (Fuente: Visualizador TopKapi).

El sistema de distribución se caracteriza por poseer variadas alternativas de traspaso entre sectores y poco volumen de regulación.

A continuación se describen las relaciones entre los distintos sistemas de distribución:

- El sistema San Francisco se abastece desde el sistema Arrayán - San Enrique y recibe apoyo desde el sistema Mapocho - Maipo. En este sector el abastecimiento por aguas subterráneas resulta más relevante que en otros sectores.
- El sistema Maipo-Mapocho se abastece de las plantas Lo Gallo y Vitacura, realiza un traspaso al sistema Santa María de Manquehue y recibe apoyo desde la planta Padre Hurtado.
- El sistema Santa María de Manquehue se abastece desde el sistema Maipo-Mapocho. Además en este sector las fuentes de aguas subterráneas son más relevantes.
- El sistema Los Dominicos se abastece de la producción del complejo Los Dominicos. Cuando está fuente no es suficiente para cumplir la demanda, se apoya al sistema a partir de la impulsión Las Flores proveniente desde la planta Padre Hurtado.
- El sector de los Trapenses se abastece a partir de la planta Punta de Águilas y es apoyado mediante un traspaso desde el sistema La Dehesa y fuentes subterráneas.

- El sistema La Dehesa se abastece desde la planta La Dehesa, recibe un aporte desde el sistema Arrayán - San Enrique y realiza un traspaso hacia el sector los Trapenses.
- El sector de La Reina se abastece a partir de tres fuentes: Agua producida en la planta Las Vizcachas conducidas por el tercer acueducto, la producción de la planta Quebrada de Ramón y parte de la producción de la planta Padre Hurtado.

## Capítulo 3

# Diagnóstico del sistema de producción Mapocho

El presente capítulo contiene un diagnóstico del sistema de producción Mapocho. Los temas abordados para su elaboración son los siguientes:

- Descripción general de los recintos productivos del sistema Mapocho: Se identificaron los procesos de tratamiento, las unidades existentes, los elementos de regulación de caudal, la dosificación de insumos, etc. Este ítem fue elaborado a partir de lo constatado en visitas a las plantas y lo reportado por los supervisores y operadores de las plantas.
- Análisis de costos en energía eléctrica e insumos químicos: Se consideró la información disponible de costos por volumen de producción de cada recinto para el período enero 2015 - Junio 2016.
- Análisis de gastos de mantención: Se realizó un análisis de los gastos de mantenimiento, a partir de la información histórica del periodo enero 2015 – agosto 2016. Se consideraron tanto los gastos en mantención asociados a la Gerencia de Mantenimiento, como los que se atribuyen a la Subgerencia de Producción (desembanques, limpiezas, etc).

Aquellos que se atribuyen a la Subgerencia de mantenimiento corresponden a los gastos varios en las plantas de tratamiento (materiales de mantención operativos, materiales y equipos de seguridad e higiene, herramientas y accesorios de explotación, mantención y reparación de maquinaria y equipos productivos, mantención y reparación de establecimientos productivos y administrativos, retiro de residuos y lodos de plantas, arriendo de máquinas y materiales de mantención en recintos), esta información está disponible para un periodo más acotado (enero 2016-junio 2016).

- Análisis del cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable: Para abordar este tema se analizó la cantidad de productos no conformes (PNC) generados durante el periodo 2010-2016 en cada planta de tratamiento de agua potable. Un producto no conforme es un resultado de un proceso que no cumple los requisitos, en este caso se

produce cuando el agua potable producida no cumple ciertos requerimientos de calidad.

- Análisis físico y de infraestructura: Este aspecto fue elaborado a partir de lo constatado en visitas a las plantas y lo reportado por los supervisores y operadores, identificando el nivel de automatismo de los recintos y el estado físico de las instalaciones.
- Análisis FODA: Se realizó un análisis FODA para cada recinto, incorporando los análisis previos.
- Tipo de tecnología: Se clasifican las plantas dependiendo del nivel de tecnología utilizada, considerando el sistema de lavado de filtros, sistema de dosificación, automatismo de elementos de regulación, etc.

Este capítulo, concluye con el planteamiento de alternativas de racionalización de plantas, a partir de los análisis desarrollados.

## 3.1. Descripción general de los recintos productivos

### 3.1.1. PTAP San Enrique

La planta San Enrique comenzó a operar en el año 1997. Posee un caudal de diseño de 500 l/s, que coincide con el caudal máximo de operación. Su fuente de abastecimiento es el río Mapocho.

La planta se ubica en Camino a Farellones N°16301. En la figura 3.1 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.



Figura 3.1: Vista Satelital PTAP San Enrique (Fuente: Google Earth).

Esta planta tiene como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso. Los procesos de tratamiento que se realizan en la planta son los siguientes:

- Pre-cloración: Cloro gas.
- Aplicación de Reactivos: Cloruro férrico/Sulfato férrico, polielectrolito aniónico (Usualmente), lechada de cal y permanganato de potasio.
- Desarenación
- Decantación con tecnología Pulsator (Manto de lodos)
- Filtración: Lecho de arena.
- Desinfección o post-cloración: Cloro gas.
- Fluoruración: Fluorsilicato de sodio.

En la figura 3.2 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta.

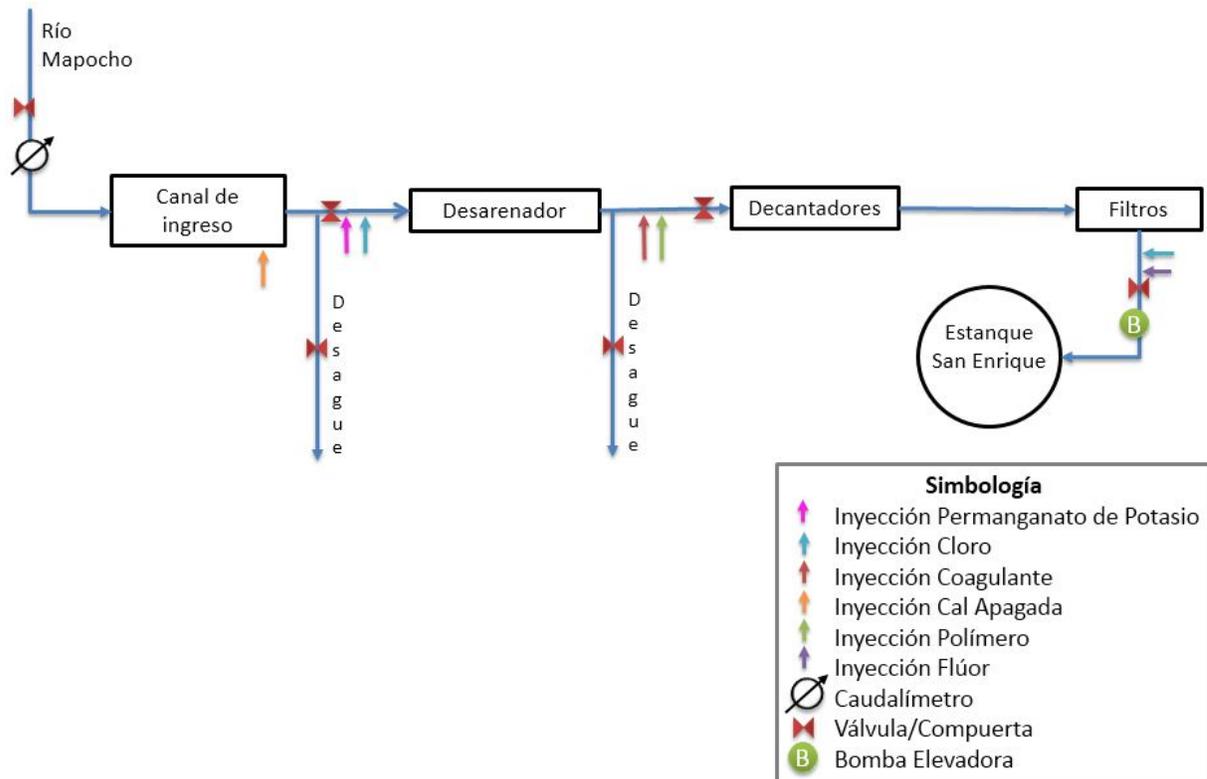


Figura 3.2: Esquema de funcionamiento PTAP San Enrique.

### 3.1.2. PTAP Padre Hurtado

La planta Padre Hurtado es la planta más reciente de Aguas Cordillera (Puesta en marcha en 1998). Se encuentra ubicada en Av. Padre Hurtado N°2639, en terrenos del Parque Intercomunal de la Reina.

La planta es abastecida por el canal las Perdices, que deriva del río Maipo. En las figuras 3.3 y 3.4 se muestra una imagen satelital de la zona de captación y de la planta de tratamiento, respectivamente.



Figura 3.3: Captación planta Padre Hurtado(Fuente: Google Earth)



Figura 3.4: Vista satelital PTAP Padre Hurtado (Fuente: Google Earth)

Esta planta tiene como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como hierro y manganeso. La planta tiene una capacidad de diseño de 1.000 l/s.

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-cloración: Cloro gas
- Pre-decantación de alta tasa
- Aplicación de Reactivos: cloruro férrico y polielectrolito aniónico (Usualmente)
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Decantación de alta tasa
- Filtración: Lecho de Arena y carbón
- Desinfección o post-cloración: Cloro gas
- Fluoruración: Ácido Fluorsilícico

En la figura 3.5 se muestra un esquema del funcionamiento del recinto Predecantadores.

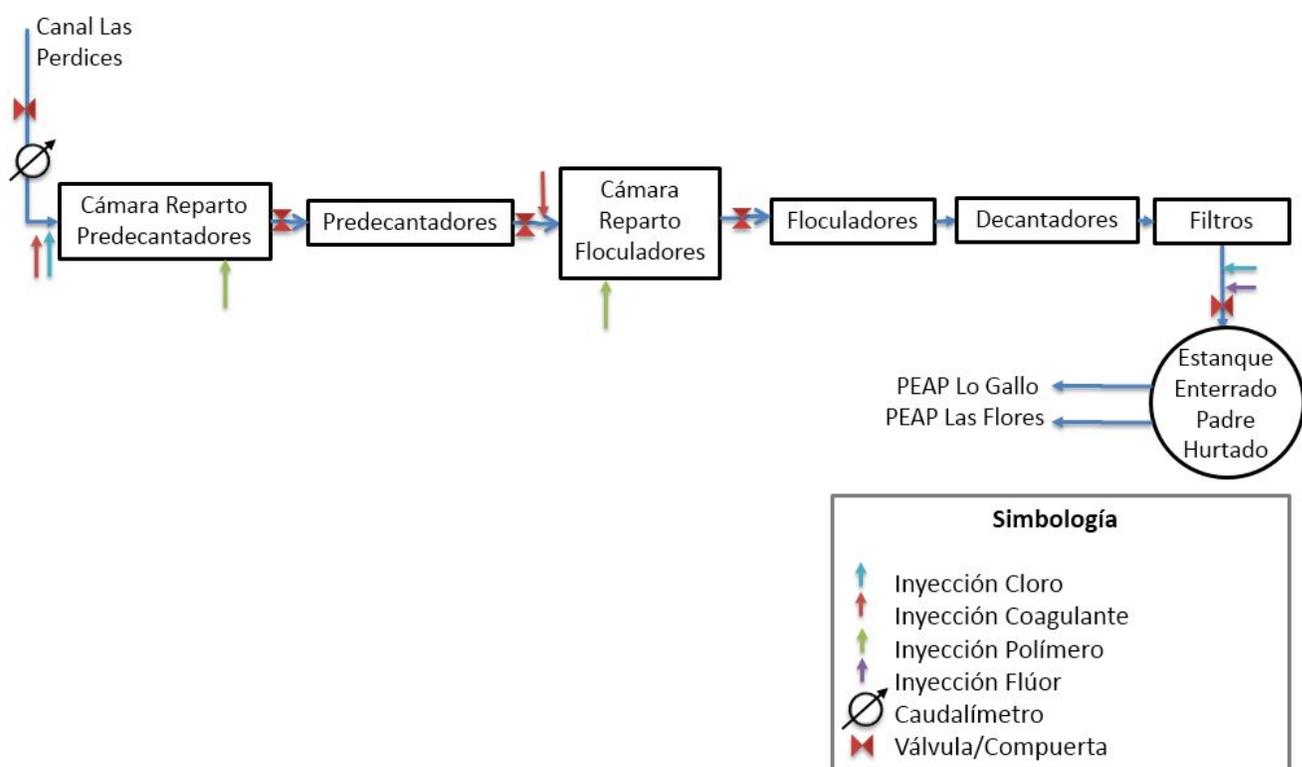


Figura 3.5: Esquema de funcionamiento PTAP Padre Hurtado.

### 3.1.3. Recinto Predecantadores

El recinto pre-decantadores se encuentra en la calle Tabancura N°12220, comuna de Vitacura. Como su nombre lo indica, este es un recinto de pre-tratamiento, que se abastece de las aguas del río Mapocho y cuya agua pretratada alimenta a las plantas de tratamiento Lo Gallo y Vitacura.

En la figura 3.6 se muestra una imagen satelital de las unidades.



Figura 3.6: Vista satelital unidades recinto Predecantadores (Fuente: Google Earth)

El objetivo de este recinto es remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso. Los procesos de tratamiento empleados en este recinto son:

- Aplicación de Reactivos: Cal apagada, permanganato de potasio, polímero y coagulante
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Sedimentación convencional (Baja tasa)

En la figura 3.7 se muestra un esquema del funcionamiento del recinto Predecantadores.

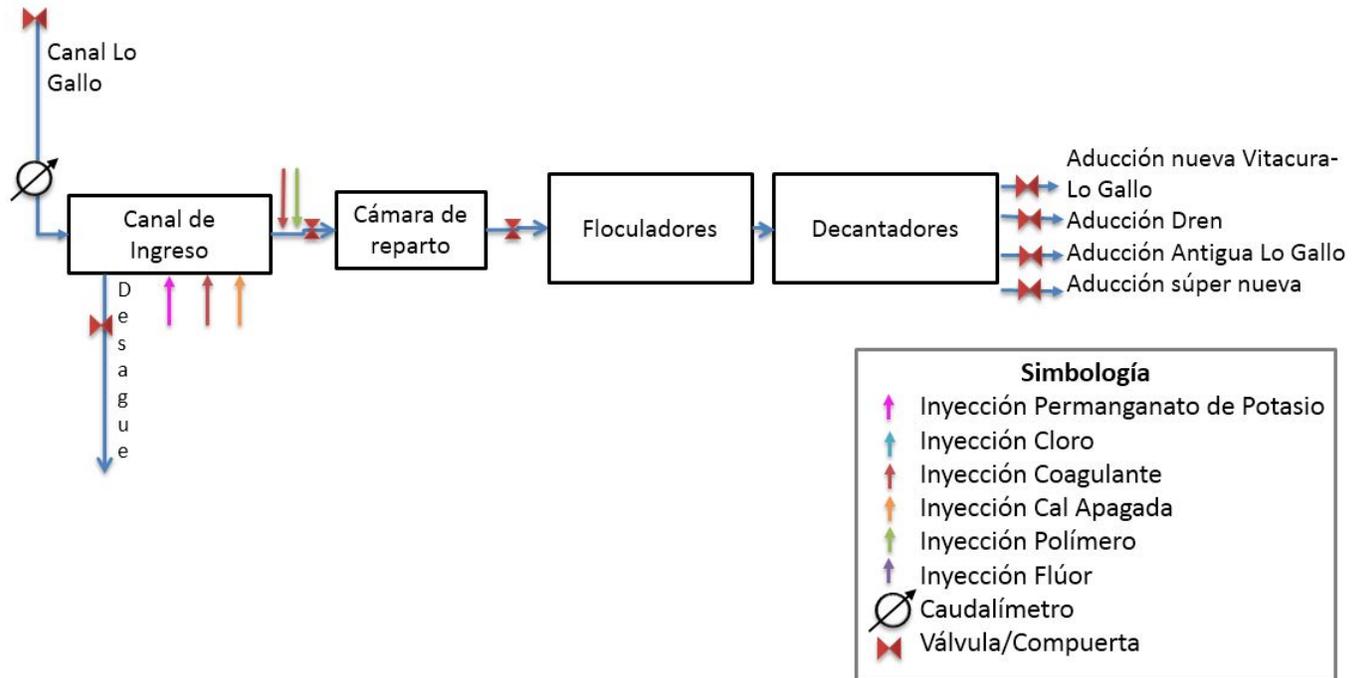


Figura 3.7: Esquema de funcionamiento Recinto Predecantadores.

### 3.1.4. PTAP Lo Gallo

El recinto productivo posee dos plantas: La planta nueva y la planta antigua, puestas en marcha en los años 1981 y 1953, respectivamente.

La planta tiene una capacidad máxima de diseño de 650 l/s. Se abastece de las aguas pretratadas en el recinto Predecantadores, que son transportadas mediante la conducción nueva, la conducción antigua, la conducción súper nueva y el Dren de la planta Lo Gallo. Ambas plantas tienen como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso. Además, cuando se incorpora agua de pozos se remueve arsénico.

En la figura 3.8 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.

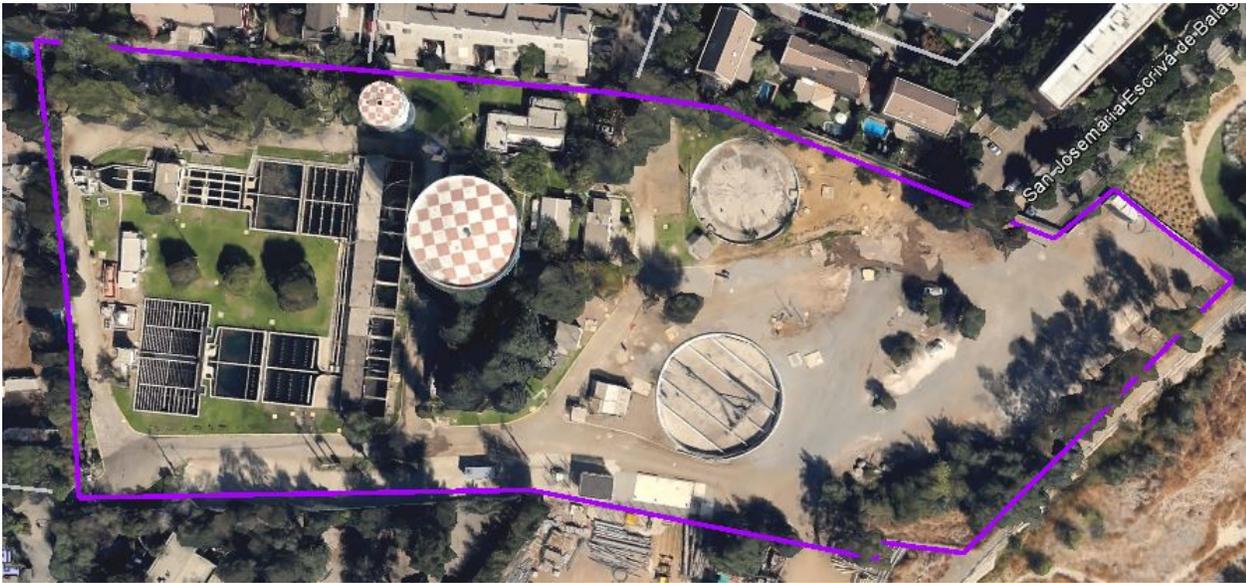


Figura 3.8: Vista satelital PTAP Lo Gallo(Fuente: Google Earth)

### **Planta Nueva**

La planta nueva tiene un caudal de diseño de 250 l/s y se abastece de las aguas pretratadas en el recinto Predecantadores, que son transportadas mediante la Conducción nueva, la conducción súper nueva y el Dren de la planta Lo Gallo.

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Aplicación de reactivos: Cal apagada seca, coagulante, floculante.
- Pre-cloración: Hipoclorito
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Decantación convencional de baja tasa
- Decantación de alta tasa con placas lamelares
- Filtración: Lecho mixto
- Desinfección o post-cloración: Hipoclorito
- Fluoruración: Fluorsilicato de sodio

### **Planta Antigua**

La planta antigua tiene un caudal de diseño de 400 l/s y se abastece mediante cuatro conducciones: Conducción nueva, conducción súper nueva, Dren de la planta Lo Gallo y conducción antigua.

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Aplicación de reactivos: Cal apagada seca, coagulante, floculante.

- Pre-cloración: Hipoclorito
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Decantación convencional de baja tasa
- Decantación de alta tasa con placas lamelares
- Filtración: Lecho mixto
- Desinfección o post-cloración: Hipoclorito
- Fluoruración: Fluorsilicato de sodio

En la figura 3.9 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta Lo Gallo.

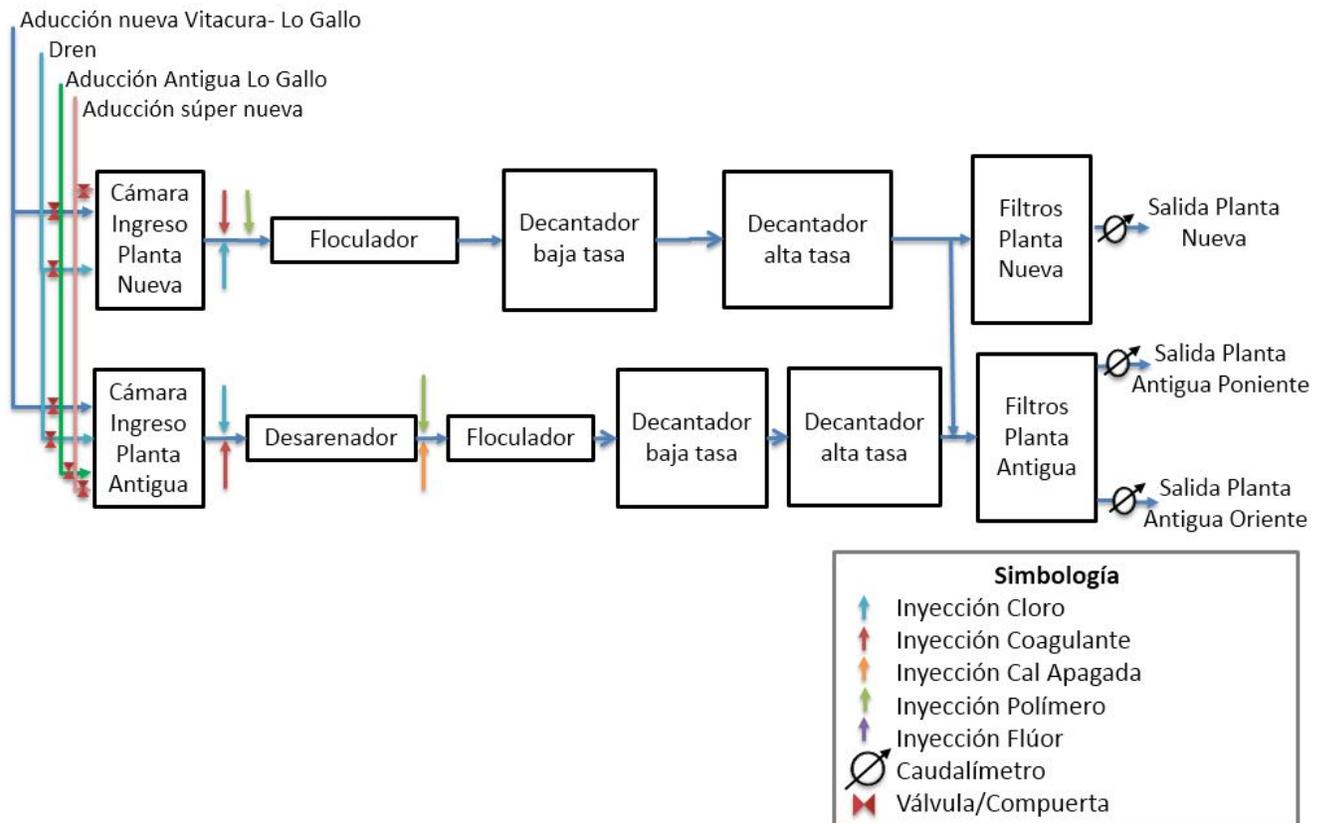


Figura 3.9: Esquema de funcionamiento PTAP Lo Gallo.

### 3.1.5. PTAP Vitacura

La planta Vitacura es una de las plantas más antiguas del sector: fue puesta en marcha en 1960. Tiene una capacidad máxima de 200 l/s y se abastece del agua de la conducción nueva, proveniente del recinto predecantadores. En la figura 3.10 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.

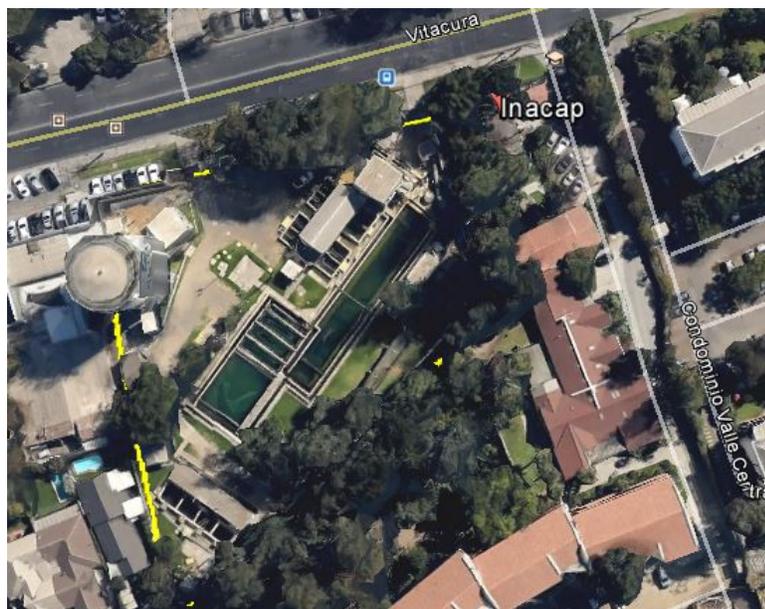


Figura 3.10: Vista satelital PTAP Vitacura (Fuente: Google Earth)

La planta tiene como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso. Además, cuando se incorpora agua de pozos se remueve arsénico. Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-cloración: hipoclorito
- Aplicación de reactivos: Cal apagada en polvo, sulfato férrico/cloruro férrico y polímero aniónico (Usualmente).
- Floculación hidráulica
- Sedimentación de baja tasa
- Filtración: Lecho mixto.
- Desinfección o post-cloración: Hipoclorito
- Fluoruración: Fluorsilicato de sodio.

En la figura 3.11 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta Vitacura.

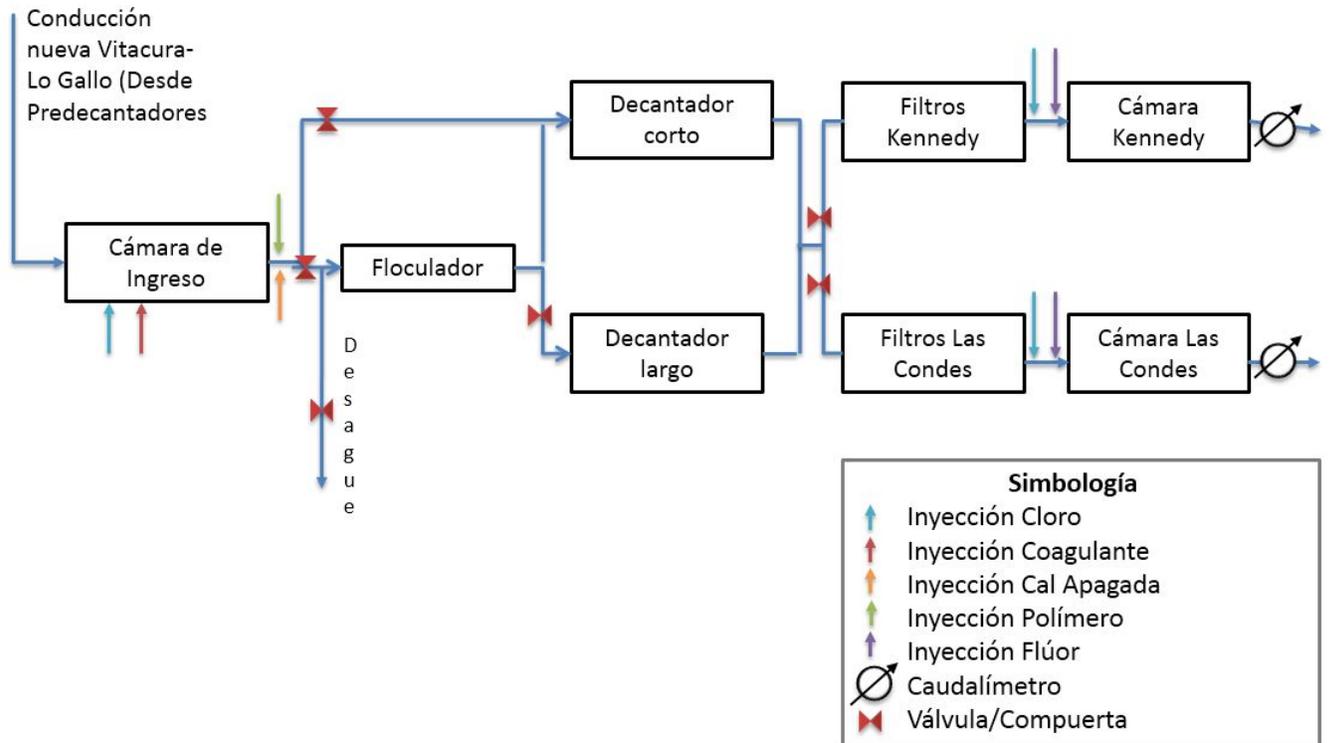


Figura 3.11: Esquema de funcionamiento PTAP Vitacura.

### 3.1.6. Complejo Los Domínicos

El complejo Los Domínicos se abastece de las aguas del canal el Bollo, este canal nace en el río Mapocho, en las cercanías de la planta San Enrique y termina en la captación del complejo.

Las aguas provenientes del canal El Bollo ingresan a los tranques menor ( $10.000 \text{ m}^3$ ) y mayor ( $40.000 \text{ m}^3$ ), en donde mediante la inyección previa de reactivos (Carbón Activado, Hipoclorito, Polímero, Coagulante y Cal apagada seca), se realiza un pretratamiento, facilitando la remoción de turbiedad en las plantas. Desde los tranques Mayor y Menor el agua es conducida hacia las plantas del recinto: la planta El Sendero y la planta Montecasino. Ambas plantas tienen como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso.

En la figura 3.12 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.

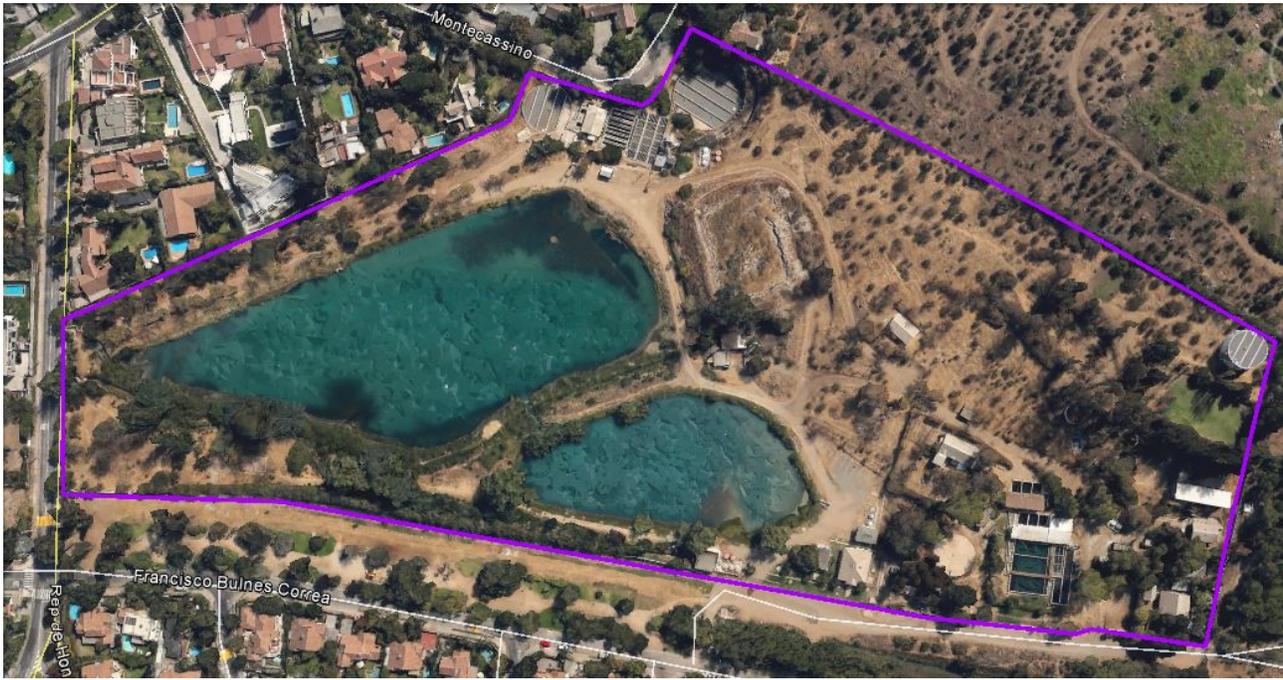


Figura 3.12: Vista satelital Complejo Los Domínicos (Fuente: Google Earth)

### **PTAP El Sendero**

La planta Sendero fue puesta en marcha en 1952, tiene una capacidad de diseño de 180 l/s, sin embargo opera con caudales que alcanzan los 250 l/s (Auditoría Suez).

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-cloración: Hipoclorito
- Aplicación de Reactivos: Cal apagada, cloruro férrico, carbón activado y polielectrolito catiónico (Usualmente)
- Floculación: Hidráulica de flujo horizontal /Mecánica de eje vertical - Tres floculadores mecánicos de eje vertical, alimentados por el agua que sale del vertedero de 60°; - Un floculador hidráulico, alimentado por el agua que sale del vertedero de 90°.
- Decantación de baja tasa
- Filtración: Lecho mixto.
- Desinfección o post-cloración: Cloro gas.
- Fluoruración: Silicofluoruro de sodio.

### **PTAP Montecasino**

La planta Montecasino inicialmente tenía una capacidad de 90 l/s, en 1955 la planta fue ampliada a 200 l/s.

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-cloración: Hipoclorito
- Aplicación de Reactivos: Cal apagada, cloruro férrico y carbón activado.
- Floculación: Hidráulica de flujo horizontal.
- Decantación de alta tasa.
- Filtración: Lecho mixto.
- Desinfección o post-cloración: Cloro gas.
- Fluoruración: Silicofluoruro de sodio.

En la figura 3.13 se muestra un esquema del funcionamiento del Complejo Los Domínicos.

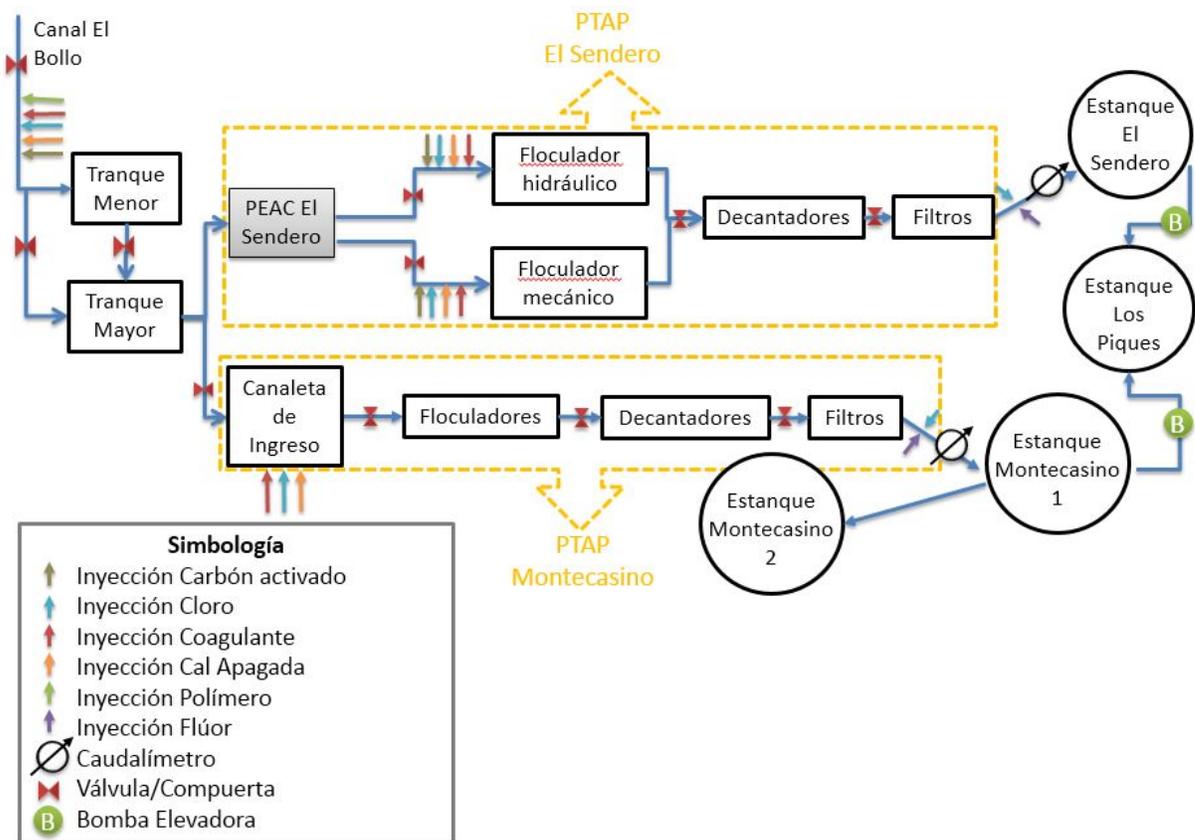


Figura 3.13: Esquema de funcionamiento Complejo Los Domínicos.

### 3.1.7. PTAP Punta de Águilas

La planta Punta de Águilas se ubica en Camino Los Trapenses/El golf de Manquehue. Su caudal de diseño es 300 l/s , en la práctica la planta es operada respetando este límite.

La planta trata aguas provenientes de cuatro fuentes: agua cruda del canal La Dehesa, las cuales llegan a la planta mediante la impulsión de la planta elevadora de agua cruda Las

Pataguas (fuente utilizada la mayor parte del tiempo), aporte gravitacional desde el estero hualtatas, aguas subterráneas, las cuales son ingresadas mediante una tubería a cabecera de planta y agua potable proveniente desde el estanque La Dehesa.

En la figura 3.14 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.



Figura 3.14: Vista satelital PTAP Punta de Águilas (Fuente: Google Earth)

La planta tiene como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el cobre, hierro y manganeso. Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-cloración: Hipoclorito
- Aplicación de Reactivos: Cloruro férrico/Sulfato férrico, polielectrolito catiónico (Usualmente), lechada de cal y permanganato de potasio.
- Floculación: Hidráulica de flujo horizontal
- Decantación de alta tasa
- Filtración: Lecho mixto.
- Desinfección o post-cloración: Hipoclorito
- Fluoruración: Ácido Fluorsilícico

En la figura 3.15 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta.

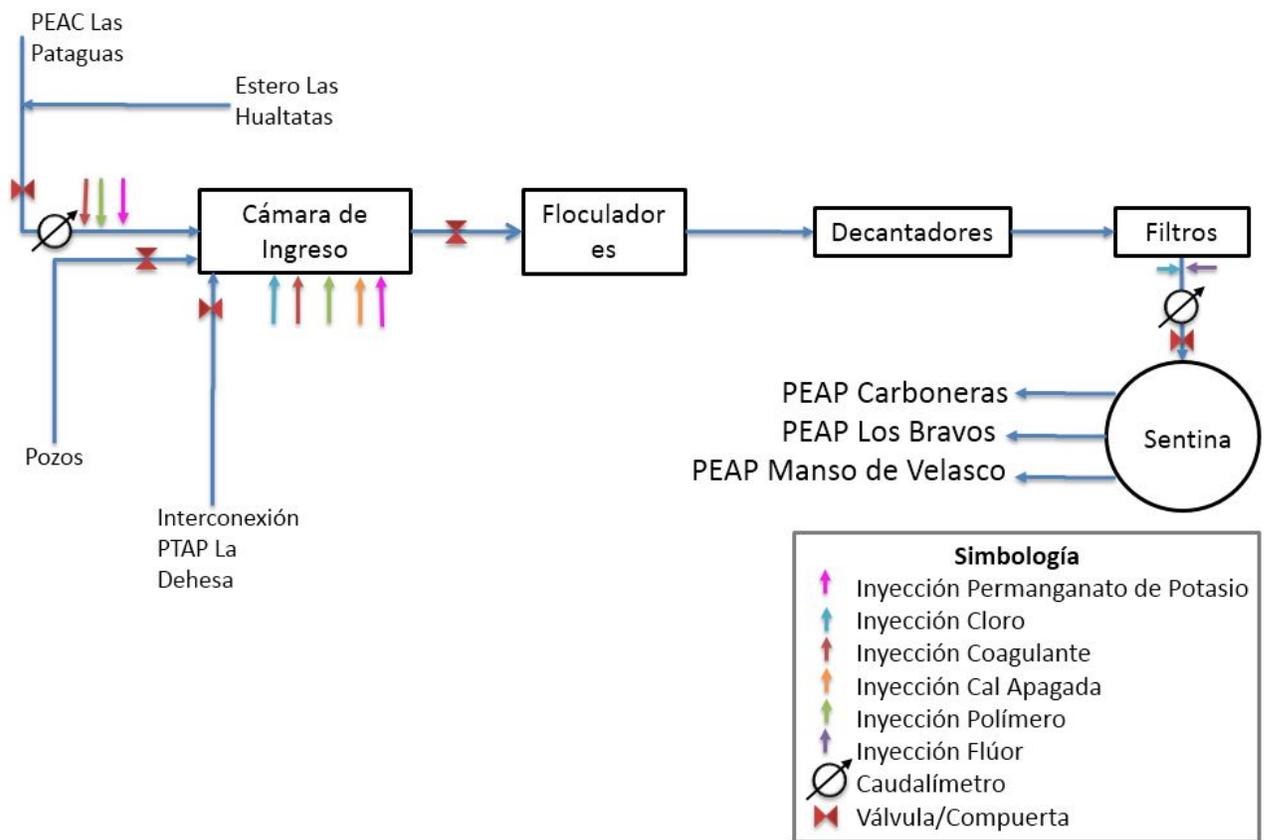


Figura 3.15: Esquema de funcionamiento PTAP Punta de Águilas.

### 3.1.8. PTAP Arrayán

La planta Arrayán se ubica en la comuna de Lo Barnechea. Es una de las plantas más antiguas del sector, fue puesta en marcha en el año 1959. La planta se abastece de las aguas del estero Arrayán y posee una capacidad de diseño de 250 l/s, sin embargo el caudal máximo con la cual se opera es de 190 l/s.

En la figura 3.16 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.

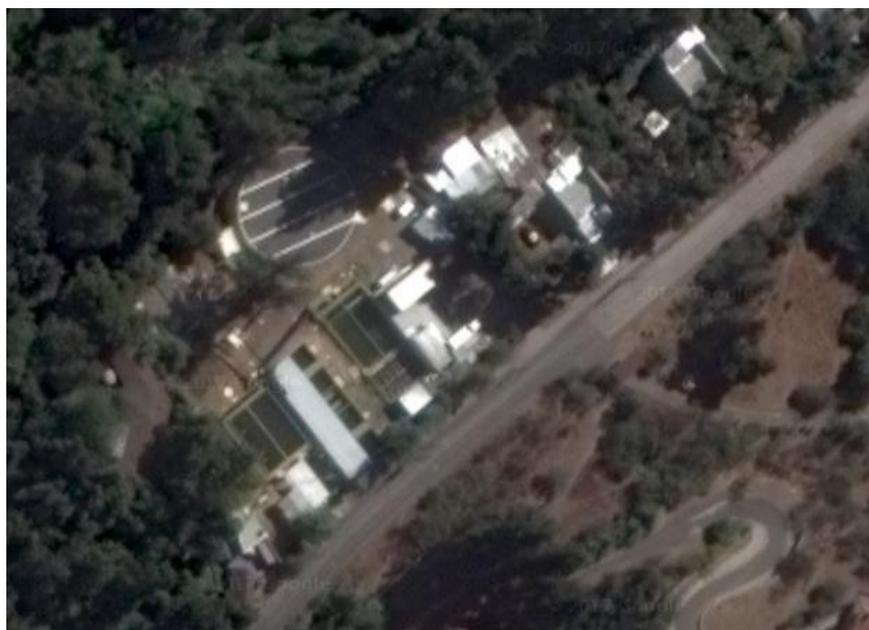


Figura 3.16: Vista satelital PTAP Arrayán (Fuente: Google Earth)

La planta tiene como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el hierro y manganeso. Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-Cloración: hipoclorito.
- Aplicación de reactivos: cal apagada, cloruro férrico/sulfato férrico, polimero (Usualmente catiónico).
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Sedimentación convencional sin placas
- Sedimentación de alta tasa: placas lamelares
- Filtración: lecho mixto
- Desinfección o post-cloración: cloro gas.
- Fluoruración: Ácido fluorsilícico.

En la figura 3.17 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta Arrayán.

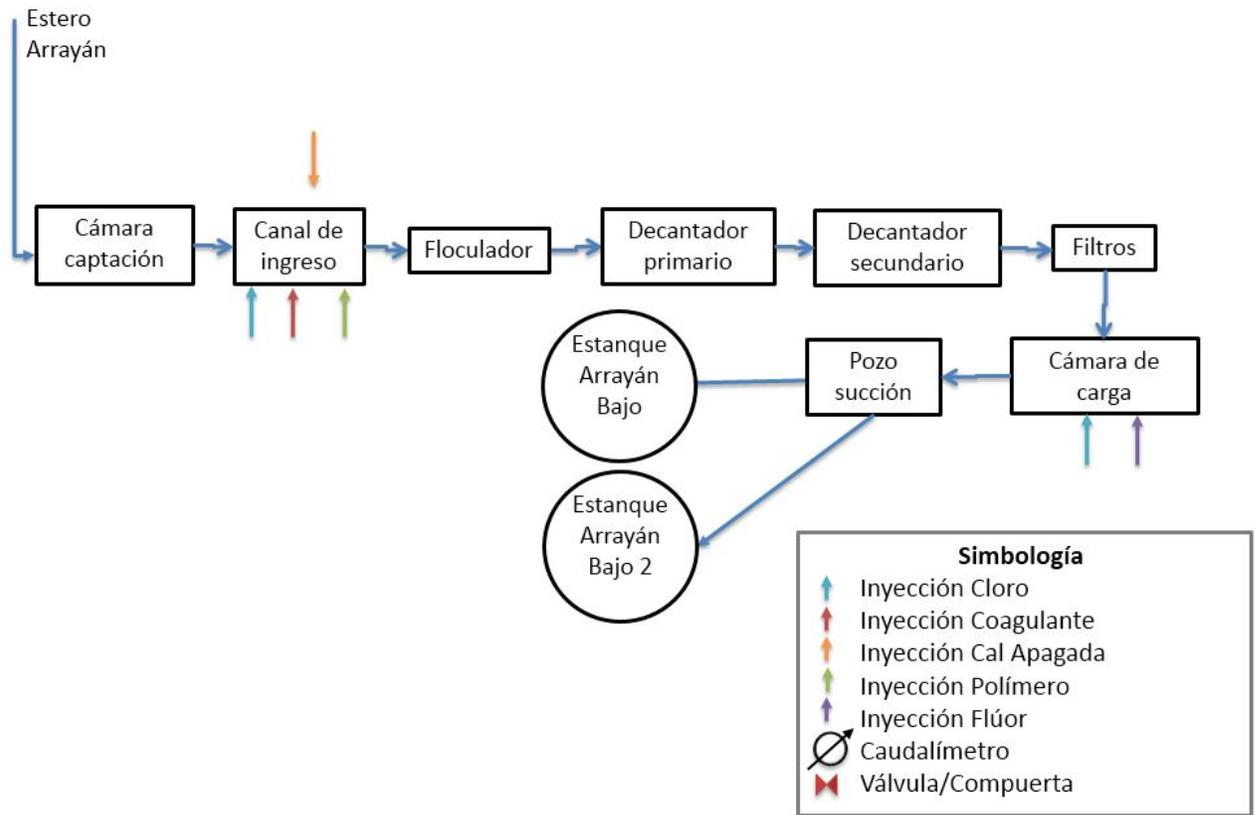


Figura 3.17: Esquema de funcionamiento PTAP Arrayán.

### 3.1.9. PTAP Quebrada de Ramón

La planta Quebrada de Ramón se ubica dentro del parque Aguas de Ramón. Su fuente de abastecimiento es la Quebrada de Ramón y en algunas épocas del año el agua del estero es utilizada completamente para la producción de agua potable. El caudal máximo de operación depende de la turbiedad de entrada de la planta, para turbiedades mayores a 10 UNT el agua es sometida a todos los procesos de la planta y es posible tratar 200 l/s, por otra parte, cuando la turbiedad del agua cruda es menor a 10 UNT, el agua no es sometida al proceso de floculación y se pueden tratar hasta 543 l/s.

En la figura 3.18 se muestra una imagen satelital de las instalaciones.



Figura 3.18: Vista satelital PTAP Quebrada de Ramón (Fuente: Google Earth)

La planta tiene como objetivo remover microorganismos y turbiedad. Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Pre-Cloración: Gas cloro.
- Aplicación de reactivos: lechada de cal, sulfato de aluminio y polimero (Usualmente catiónico).
- Floculación hidráulica de flujo horizontal
- Sedimentación de alta tasa: placas lamelares
- Filtración: lecho mixto
- Desinfección o post-cloración: cloro gas.
- Fluoruración: Ácido Fluorsilícico.

En la figura 3.19 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta Quebrada de Ramón.

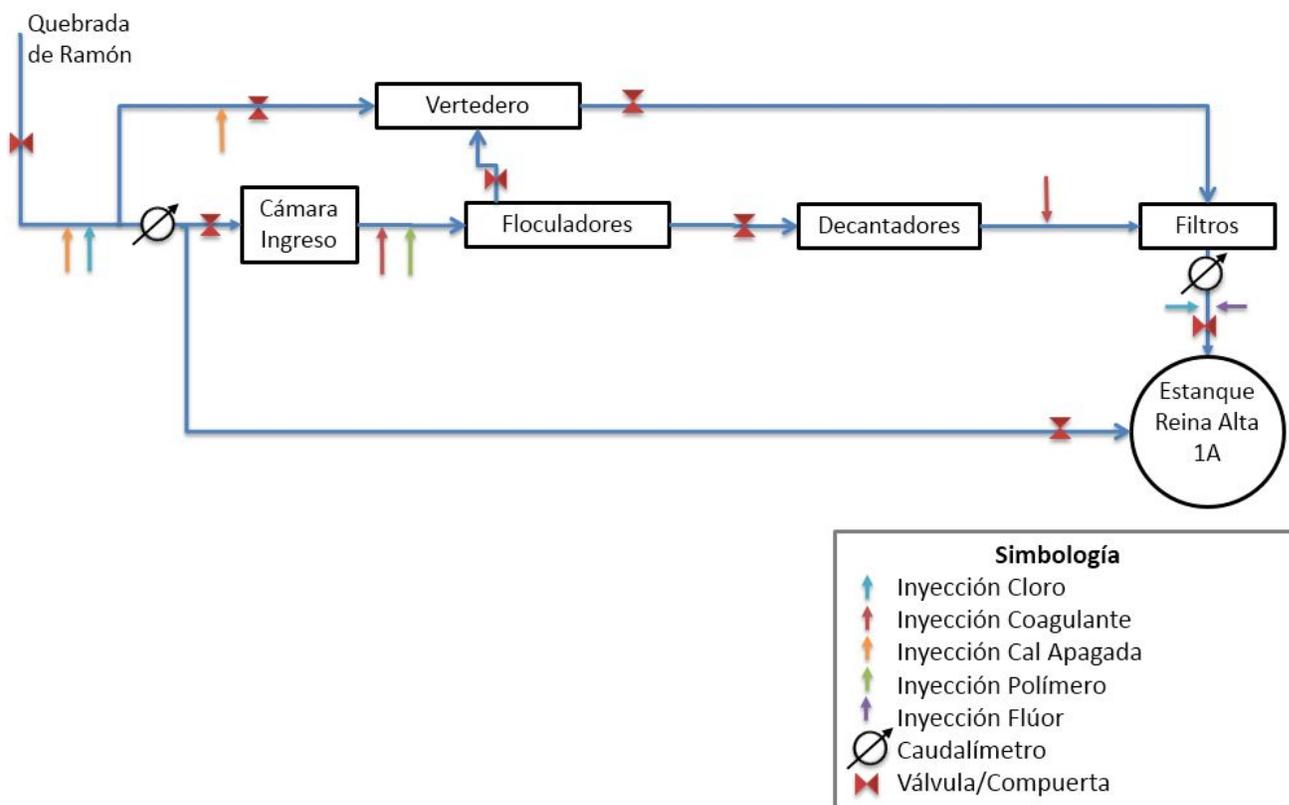


Figura 3.19: Esquema de funcionamiento PTAP Quebrada de Ramón.

### 3.1.10. PTAP La Dehesa

#### Tranque La Dehesa

El tranque La Dehesa se ubica en la comuna de Lo Barnechea. Es alimentado por dos cauces; el canal La Poza y el canal Las Quiscas, posee un volumen máximo de 1.000.000 m<sup>3</sup>.

El canal la Poza, antes de ingresar al tranque, ingresa a un presedimentador de tierra, que consiste en un tranque de menor tamaño en donde se aplica polímero para disminuir la turbiedad.

El presedimentador se conecta al tranque mediante una tubería sin ningún dispositivo de regulación. El tranque posee regletas para controlar del nivel del agua, además de una sonda de ultrasonido para el control del crecimiento de algas, acoplada a un sistema de medición de parámetros de calidad.

El tranque y la planta La Dehesa tienen como objetivo remover microorganismos, turbiedad y metales como el hierro y manganeso. Además, la planta debe remover algas generadas en el interior del tranque.

### Planta de tratamiento de agua potable La Dehesa

La planta La Dehesa fue puesta en marcha en 1982. Se abastece de las aguas del tranque La Dehesa y posee una capacidad de diseño de 250 L/s, sin embargo opera con caudales que alcanzan los 300 l/s.

En la figura 3.20 se muestra una imagen satelital del tranque La Dehesa y la planta La Dehesa.



Figura 3.20: Vista satelital PTAP La Dehesa (Fuente: Google Earth)

Los procesos de tratamiento empleados en esta planta son:

- Oxidación: Oxidación de metales en solución por medio de aplicación de hipoclorito de sodio (cobre, hierro y manganeso).
- Aplicación de Reactivos: Cal, sulfato de aluminio, carbón activado y poli-electrolito.
- Sedimentación convencional de baja tasa.
- Filtración: Lecho de arena y grava.
- Desinfección o post-cloración: Cloro gas.
- Fluoruración: Fluorsilicato de Sodio.

En la figura 3.21 se muestra un esquema del funcionamiento de la planta La Dehesa.

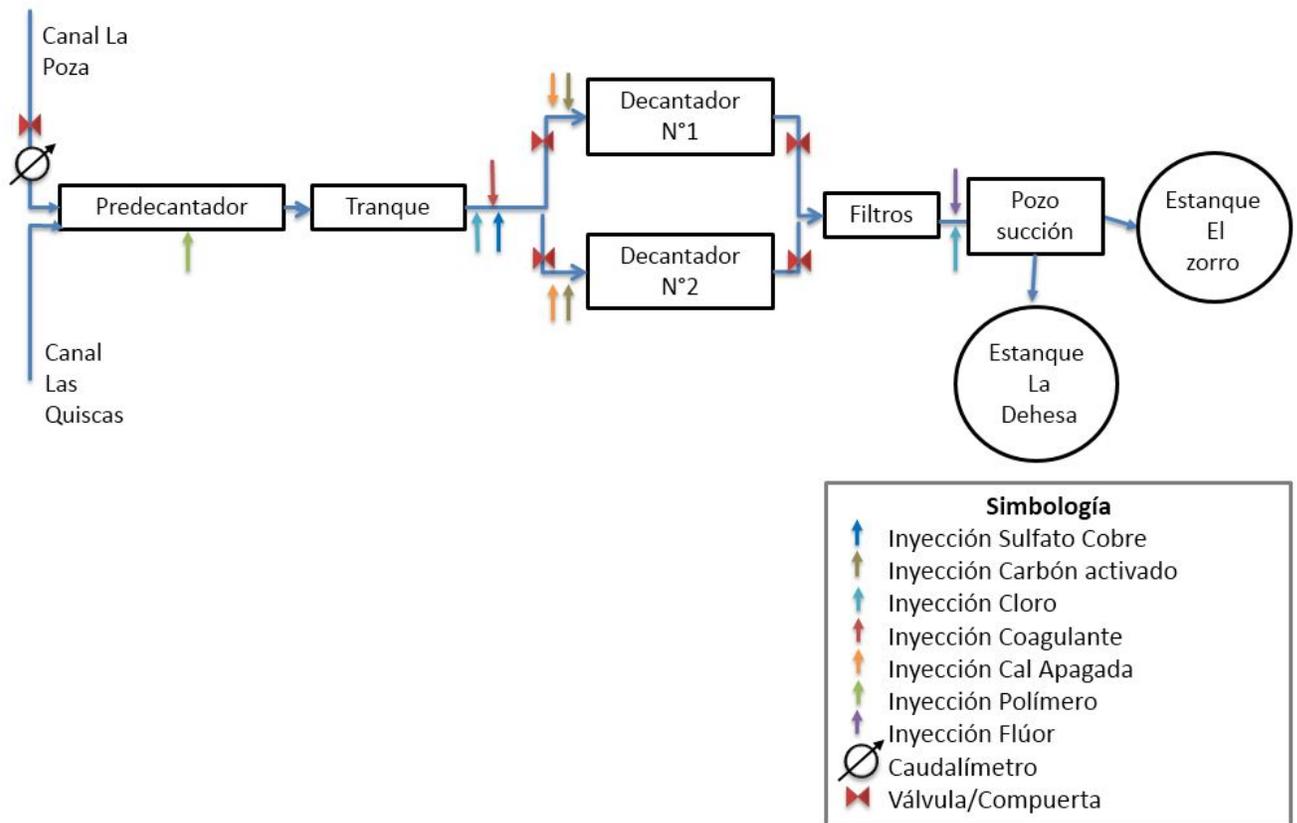


Figura 3.21: Esquema de funcionamiento PTAP la Dehesa.

## 3.2. Costos de operación

### 3.2.1. Costos en energía eléctrica e insumos químicos

En la Tabla 3.1 se muestran los costos de energía eléctrica por metro cúbico de producción para los recintos del estudio.

Tabla 3.1: Costos históricos en energía eléctrica por metro cúbico de producción para recintos del estudio (Enero 2015 - Junio 2016)

Recinto	Costo por EE (\$/m3 de agua producido)																		Estadística	
	Ene 2015	Feb 2015	Mar 2015	Abr 2015	May 2015	Jun 2015	Jul 2015	Ago 2015	Sep 2015	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015	Ene 2016	Feb 2016	Mar 2016	Abr 2016	May 2016	Jun 2016	Promedio	Desviación
Quebrada de Ramón	2,6	2,5	3,0	2,6	2,7	2,9	3,1	2,2	1,3	1,3	1,0	1,4	1,8	1,9	2,1	4,0	3,0	4,4	2,43	0,91
Arrayán	2,5	2,7	2,6	2,9	3,3	3,5	3,6	3,5	2,8	3,0	2,9	2,4	2,1	2,1	2,2	3,2	2,7	3,2	2,85	0,47
La Dehesa	2,6	7,4	11,7	12,3	8,6	8,2	5,4	13,2	5,8	1,6	2,3	1,1	1,8	1,5	1,7	1,8	3,0	2,8	5,15	4,10
San Enrique	2,5	2,8	3,0	2,6	3,3	3,4	3,9	4,2	4,3	4,6	3,4	2,8	3,0	2,6	2,7	3,8	4,3	4,3	3,42	0,70
Predecantadores	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,08	0,05
Lo Gallo	0,6	0,8	1,3	2,5	2,4	2,4	2,0	0,8	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,8	0,5	0,7	1,03	0,74
Vitacura	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	1,3	1,0	0,9	0,7	1,0	5,6	3,9	1,3	3,9	2,08	1,72
Padre Hurtado	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	1,2	0,8	0,9	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,49	0,27
Los Dominicos	10,7	10,6	13,6	12,9	10,8	11,3	13,4	13,8	11,0	10,1	9,4	11,1	11,4	13,2	11,5	13,3	13,9	14,8	12,04	1,57
Punta de Águilas	35,4	28,6	27,0	26,8	25,0	26,5	23,1	29,6	27,4	23,5	21,1	35,6	25,7	22,0	24,1	23,2	20,9	23,6	26,05	4,22

Los recintos que poseen mayores costos asociados a energía eléctrica son Punta de Águilas y Los Domínicos, en la planta Punta de Águilas se atribuye a la impulsión Las Pataguas, que es el principal abastecimiento de agua cruda para la planta. Del mismo modo, en el recinto Los Domínicos se atribuye a la existencia de la PEAC “El Sendero” en su interior, que conduce agua desde el tranque mayor hasta la planta El Sendero.

En la Tabla 3.2 se muestran los gastos en insumos químicos por metro cúbico de producción para los recintos del estudio.

Tabla 3.2: Gastos históricos en insumos químicos por metro cúbico de producción para recintos del estudio (Enero 2015 - Junio 2016)

Recinto	Costo por IQ (\$/m3 de agua producido)																		Estadística	
	Ene 2015	Feb 2015	Mar 2015	Abr 2015	May 2015	Jun 2015	Jul 2015	Ago 2015	Sep 2015	Oct 2015	Nov 2015	Dic 2015	Ene 2016	Feb 2016	Mar 2016	Abr 2016	May 2016	Jun 2016	Promedio	Desviación
Arrayán	4,2	3,8	6,7	6,2	4,5	4,0	8,8	17,7	10,0	17,0	22,0	8,8	5,2	3,4	3,6	15,2	6,9	11,8	8,87	5,65
La Dehesa	10,5	17,2	13,5	11,0	16,8	24,7	20,7	8,5	14,4	13,4	21,1	17,6	14,8	11,8	13,2	15,1	13,7	11,8	15,00	4,11
Lo Gallo	10,6	8,1	9,2	10,2	6,0	5,6	5,7	9,5	12,3	14,0	10,6	6,9	6,6	4,8	5,8	13,4	8,5	11,8	8,87	2,87
Los Domínicos	10,6	9,6	11,3	10,3	6,0	7,4	13,2	25,1	17,0	17,7	16,1	13,0	10,8	7,9	8,8	13,8	14,5	16,0	12,72	4,61
Padre Hurtado	3,2	3,2	2,8	2,8	2,7	2,8	2,6	2,4	4,2	2,8	3,1	3,2	3,4	3,2	2,7	3,7	3,1	3,3	3,07	0,44
Punta de Águilas	8,9	7,7	9,6	9,3	10,8	7,9	4,8	13,4	12,3	12,5	12,2	13,8	7,7	5,7	6,4	8,1	8,7	11,5	9,51	2,70
Quebrada de Ramón	1,5	1,9	2,0	1,9	1,7	1,7	1,7	3,1	1,9	3,3	2,2	1,5	1,8	1,7	1,8	1,9	2,5	4,0	2,12	0,67
San Enrique	5,7	5,2	5,7	3,5	2,6	3,1	4,1	9,6	12,5	14,9	10,7	9,0	7,9	4,4	4,1	9,7	9,3	11,8	7,44	3,66
Vitacura								8,6	11,3	12,5	10,1	5,1	5,5	3,6	23,9	25,4	10,8	12,6	11,76	7,06

Los recintos que poseen mayores costos en insumos químicos son La Dehesa y Los Domínicos, lo cual está asociado al uso de carbón activado, este insumo posee un costo elevado y se utiliza para abatir los problemas de olor y sabor en el agua, generados por el almacenamiento en tranques y la proliferación de algas.

La planta Quebrada de Ramón es la que posee menores costos en insumos químicos, lo cual se atribuye a la buena calidad del agua cruda que abastece a la planta.

El recinto predecantadores no se expone en la Tabla 3.2, ya que los insumos que se utilizan en este recinto se atribuyen a las plantas Lo Gallo y Vitacura, proporcionalmente a las producciones que éstas generen.

La diferencia en los costos en insumos químicos para las plantas Lo Gallo y Vitacura, se debe al uso de agua subterránea como fuente de abastecimiento en la planta Vitacura en los meses de marzo y abril, en estas situaciones se utiliza polypack; un polimero que permite la remoción de arsénico en aguas de bajas turbiedades, el cual posee un elevado costo.

Como complemento, en la Figura 3.22 se muestran las fluctuaciones de los gastos totales y en la Tabla 3.3 se expone el gasto promedio por metro cúbico producido durante el periodo analizado, ordenado decrecientemente, en cada recinto.

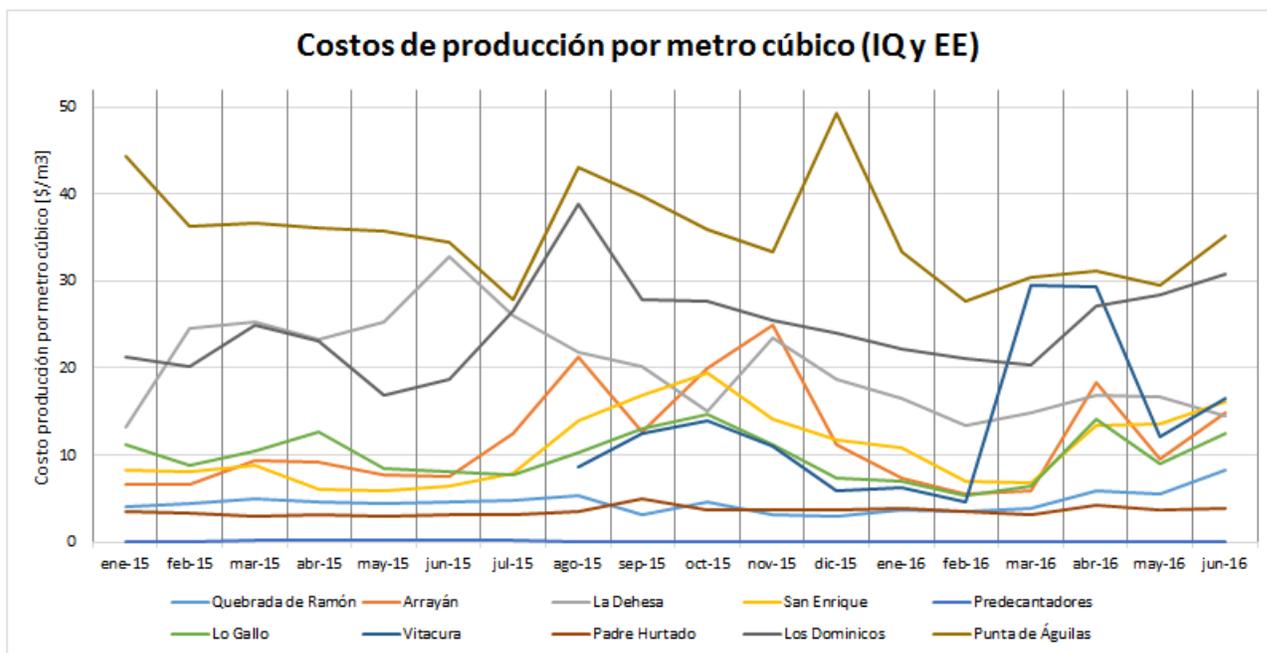


Figura 3.22: Costos totales mensuales (Energía eléctrica e insumos químicos) – Recintos del Sistema de Producción Mapocho.

De acuerdo a lo expuesto en la Tabla 3.3, existe una desviación alta en el valor promedio de los costos para la mayoría de las plantas, lo que se debe a las fluctuaciones de los costos en insumos químicos y energía eléctrica a nivel mensual, como se puede apreciar en la figura 3.22.

Tabla 3.3: Gastos promedio en insumos químicos y energía eléctrica para recintos de estudio

Costos por IQ y EE (\$/m3 de agua producido )		
Recinto	Promedio	Desviación
Punta de Águilas	35,56	3,36
Los Dominicos	24,76	5,17
La Dehesa	20,15	5,48
Vitacura	13,65	8,56
Arrayán	11,71	5,86
San Enrique	10,86	4,18
Lo Gallo	9,91	2,77
Quebrada de Ramón	4,55	1,26
Padre Hurtado	3,55	0,52
Predecantadores	0,08	0,05

La desviación del costo promedio en insumos químicos y energía eléctrica de la planta Punta de Águilas es elevado, sin embargo, esta planta presenta los costos más altos del grupo de plantas para cada uno de los meses, lo que se debe al alto costo eléctrico asociado a la PEAC Las Pataguas.

En segundo lugar se encuentran la planta la Dehesa y el complejo Los Domínicos, en el caso de La Dehesa su elevado costo total está asociado principalmente a los costos en insumos químicos, mientras que en el recinto Los Domínicos, el costo total se debe a los altos costos tanto de insumos químicos como de energía eléctrica.

Los costos mensuales históricos del resto de plantas son inferiores a los asociados a la planta La Dehesa y al recinto Los Domínicos en la mayoría de los meses (Figura 3.22).

### **3.2.2. Costos en mantenimiento**

#### **Costos atribuidos a la Subgerencia de Mantenimiento**

Análogamente al análisis de costos eléctricos y de insumos químicos expuesto, a continuación se presenta un análisis para los Costos de mantenimiento, a partir de la información histórica del periodo enero 2015 – agosto 2016, particularmente se consideraron los gastos en mantenimiento correctivo y preventivo, las inversiones y los gastos de recintos, atribuidos a la Subgerencia de Mantenimiento.

Los gastos de mantenimiento correctivo y preventivo son aquellos gastos que tienen como objetivo asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y mantener su vida útil, para así dar continuidad a la producción de agua potable.

Los gastos de inversión se atribuyen a los proyectos de mejora, con el objetivo de aumentar la vida útil de los elementos.

Los gastos de recintos hacen referencias a los gastos para mantener en buen estado los elementos de los recintos que no tienen relación directa con el proceso de tratamiento de agua.

La planta de tratamiento de agua potable que presenta mayores gastos totales en mantenimiento es Padre Hurtado y en segundo lugar la planta Lo Gallo.

Para que estos montos resulten comparables se utiliza el factor entre el costo total de mantenimiento y el volumen de producción del periodo correspondiente.

En la Tabla 3.4 se muestran los gastos totales de mantenimiento (considerando las tres categorías descritas previamente), el volumen de producción en el periodo asociado y el cociente entre ambos.

Tabla 3.4: Costos de Mantenimiento por volumen de producción (asociados a la Gerencia de Mantenimiento)

Recinto	Costos [\$]	Volumen de producción [m3]	Costos/Volumen Producción [\$/m3]
Quebrada de Ramón	69.418.393	6.748.270	10,29
El Arrayan	60.481.753	6.825.402	8,86
La Dehesa	125.048.003	5.239.768	23,87
San Enrique	190.342.475	21.699.148	8,77
Lo Gallo	359.487.463	21.631.033	16,62
Vitacura	67.009.293	3.402.138	19,70
Padre Hurtado	420.890.117	56.785.011	7,41
Los Dominicos	54.135.929	12.180.603	4,44
Punta de Águilas	47.281.758	7.913.059	5,98

De acuerdo a lo expuesto, la planta La Dehesa posee un factor más elevado, mientras que el segundo y tercer valor más elevado corresponde a las plantas Vitacura y la planta Lo Gallo. En estas plantas los altos indicadores no reflejan una buena infraestructura ni buenas condiciones de operación. De acuerdo a lo anterior, es posible afirmar que los niveles de inversión son altos en relación a los niveles de producción en estas plantas, lo que podría atribuirse a la antigüedad de estas plantas.

### Costos atribuidos a la Subgerencia de Producción

Existen costos de mantenimiento que son atribuidos a la Subgerencia de Producción, que consideran los lavados de unidades, desembanques, limpieza de tranques y bocatomas, entre otros. En la Tabla 3.5 se presentan la suma de costos del periodo enero 2016 - junio 2016, los volúmenes de producción y el cociente entre ambos para cada planta.

Tabla 3.5: Costos de Mantenimiento por volumen de producción en periodo enero 2016 - junio 2016 (asociados a la Subgerencia de Producción)

Recinto	Costos [\$]	Volumen de producción [m3]	Costos/Volumen Producción [\$/m3]
Quebrada de Ramón	733.554	1.604.960	0,46
El Arrayan	37.614.661	2.112.340	17,81
La Dehesa	4.095.603	1.944.091	2,11
San Enrique	19.224.565	6.726.536	2,86
Lo Gallo	15.151.026	7.657.320	1,98
Vitacura	864.624	1.272.163	0,68
Padre Hurtado	4.086.593	16.836.443	0,24
Los Dominicos	8.646.283	4.366.710	1,98
Punta de Águilas	2.854.041	2.693.189	1,06

De acuerdo a la tabla 3.5 la planta Arrayán posee el índice más elevado, esto se atribuye a un desembanque que se realizó en el periodo considerado. Muy por debajo del factor para la planta Arrayán, la planta La Dehesa posee el segundo factor más elevado, seguida de la planta Lo Gallo y el complejo Los Domínicos.

### 3.3. Cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable

Para analizar el cumplimiento de los estándares de calidad de agua potable se analizaron los productos no conformes (PNC) generados durante el periodo 2010-2016 en cada planta de tratamiento de agua potable. Un producto no conforme es un resultado de un proceso que no cumple los requisitos, en este caso se produce cuando el agua potable producida no cumple ciertos requerimientos de calidad establecidos internamente en la empresa. Los productos no conformes se definen para agua de salida de una planta de tratamiento de agua potable que no cumple con alguno de los parámetros y los valores máximos establecidos en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Criterios Producto No Conforme

Parámetros	Valor mínimo	Valor máximo	Criterios de Tolerancia
Turbiedad		2 UNT	5 muestras consecutivas en un intervalo de tiempo de 4 horas
Cloro Libre Residual	0,45 mg/L (0,5 mg/L)	2 mg/L	
Fluoruro	0,45 mg/L (0,5 mg/L)	1,1 mg/L	
Hierro Total		0,2 mg/L	
Manganeso Total		0,08 mg/L	

En la figura 3.23 se muestran los productos no conformes generados en cada planta de

tratamiento de agua potable durante el periodo 2010 - 2016. La Cantidad de productos no conformes corresponde a la suma de los PNC generados para los cinco parámetros de calidad establecidos (Turbiedad, Fluoruro, Hierro, Cloro Libre Residual y Manganeseo Total).

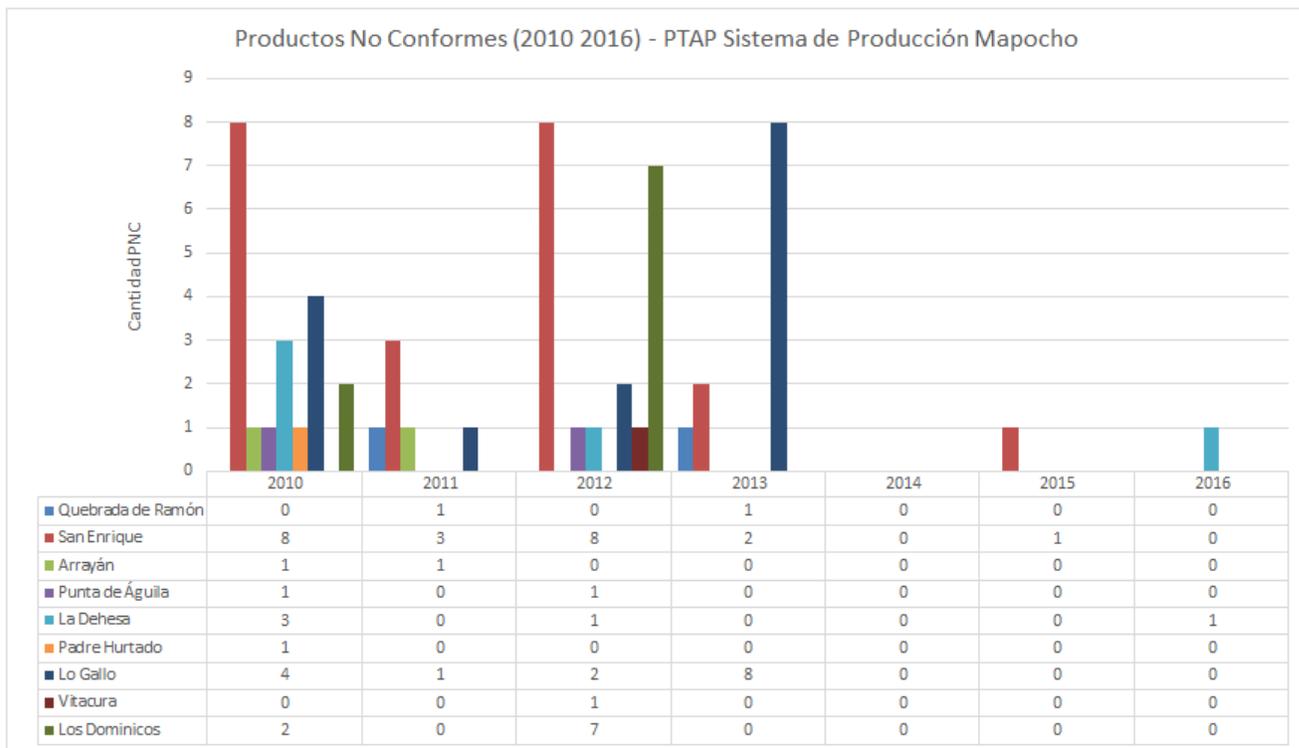


Figura 3.23: Productos no conformes generados en plantas de tratamiento de agua potable del Sistema de Producción Mapocho (2010-2016).

De acuerdo a lo expuesto, las plantas de tratamiento del sector de producción Mapocho presentan una evolución favorable, observándose que en los últimos 3 años han disminuido drásticamente la cantidad de productos no conformes generados, a pesar del deterioro y las dificultades que presentan la mayoría de los recintos.

En el Anexo A se muestran los productos no conformes generados en cada planta de tratamiento del sector de producción Mapocho, desglosado según parámetro de calidad y año en que se generaron.

Por otra parte, respecto al muestreo realizado por la SISS, se debe tener en cuenta que este se realiza en la red de distribución, por lo tanto, no es posible atribuir los incumplimientos a una planta de tratamiento en particular, por las interconexiones existentes en la red y las posibles fuentes de contaminación.

## **3.4. Análisis Operativo y de Infraestructura**

### **3.4.1. PTAP San Enrique**

En relación a la infraestructura de la planta, las unidades de flocculación y filtración se encuentran en buen estado. Los elementos de regulación en general son manuales, sin embargo, la purga de lodos de los decantadores y el lavado automático de filtros facilitan la operación en la planta. De acuerdo a esto, la dificultad en la operación de la planta se clasificó como regular.

El principal aspecto que debe ser mejorado en la planta es la automatización de los procesos de dosificación y regulación de caudal, con el objetivo de facilitar la operación de la planta y aumentar el grado de autonomía.

### **3.4.2. PTAP Padre Hurtado**

En la planta Padre Hurtado si bien los sistemas de dosificación se pueden operar de manera automática en función del caudal que ingresa a la planta, actualmente se está modificando el sistema para incorporar el parámetro de turbiedad de agua cruda en el sistema de dosificación. La dificultad en la operación de la planta se consideró baja.

Uno de los problemas que presenta la planta es que frente a cortes en el suministro eléctrico, la planta elevadora interrumpe su operación, ya que en la planta no se tiene control directo sobre el generador, mientras que la planta de tratamiento continúa operando, esto genera que la sentina eleva su nivel, excediendo su capacidad máxima e inundando parte del recinto.

Una de las dificultades en la operación del recinto es distribuir equitativamente el caudal en ambos módulos, debido principalmente a la poca precisión del sistema de medición de caudal, lo cual genera un proceso de tratamiento heterogéneo en la planta.

El nuevo sistema de dosificación de polímero, los barredores y las válvulas pinch se encuentran conectados al generador eléctrico a cargo del área de transporte, por lo que frente a cortes del suministro eléctrico, el área de producción no tiene control sobre estos elementos.

### 3.4.3. Recinto Predecantadores

En el recinto predecantadores los sistemas de dosificación, las válvulas y compuertas son operadas en forma manual. Además las válvulas y compuertas están deterioradas y son de difícil manipulación.

Una de las dificultades de la operación del recinto predecantadores es que la zona de captación se encuentra muy alejada de las unidades de tratamiento y no existe control a distancia de los elementos en ella.

El riesgo de contaminación en el canal Lo Gallo es uno de los problemas que afecta al recinto predecantadores, además de las obstrucciones en él y el peligro de inmersión que este representa.

El decantador, se encuentra en buen estado, sin embargo, el agua no ingresa de manera homogénea en el ancho de la unidad, por lo que el proceso de sedimentación no ocurre óptimamente y se producen acumulaciones de sedimento en algunos sectores.

El recinto pre-decantadores es de gran importancia, ya que mejora significativamente la calidad del agua que reciben las plantas Lo Gallo y Vitacura, facilitando el tratamiento en éstas.

### 3.4.4. PTAP Lo Gallo y Vitacura

En las plantas Vitacura y Lo Gallo sólo se dosifica automáticamente el hipoclorito en la post-cloración y en la pre-cloración, respectivamente. Además los elementos de regulación de caudal como válvulas y compuertas son manuales, se encuentran deteriorados y son difíciles de manipular. Considerando además que para la planta Lo Gallo existen tres salidas de agua potable (salida oriente, poniente y nueva) y que un único operador está a cargo de la planta Lo Gallo y Vitacura, las labores en cada una de las plantas se dificultan (principalmente por la toma de muestras). De acuerdo a lo descrito, la dificultad en la operación de ambas plantas se clasificó como alta.

El recinto de producción Lo Gallo es un punto neurálgico para el sistema de transporte, ya que permite traspasar el suministro en múltiples direcciones. Además la planta tiene especial importancia ya que en ella se tratan aguas subterráneas, que generalmente se tratan conjuntamente con aguas superficiales.

La planta Vitacura se caracteriza por poseer un diseño básico de sus unidades; el floculador es simple y los decantadores son de baja tasa, lo que explica el bajo límite operacional

de la planta para el parámetro turbiedad (50 UNT).

La planta Vitacura posee dos grupos de filtros; filtros Kennedy y filtros Las Condes, estos últimos no se utilizan hace por lo menos 4 años, por lo que la planta está operando únicamente con los filtros Kennedy.

Ambas plantas poseen tecnología básica y elementos deteriorados como por ejemplo, filtros y compuertas. Además éstos recintos presentan dificultades en el control de los caudales; la planta Vitacura no dispone de un caudalímetro de entrada, por lo que la dosificación de los insumos químicos se basa en las mediciones de caudal en las salidas Kennedy y Las Condes, por otra parte, la planta Lo Gallo posee tres caudalímetros de salida con registros erróneos.

### **3.4.5. Complejo Los Domínicos**

En el Complejo Los Domínicos, todos los elementos de regulación de caudal como válvulas y compuertas son manuales, algunos de ellos muy básicos y en su mayoría difíciles de manipular. La dosificación de insumos químicos también se lleva a cabo en forma manual en ambas plantas. Por otra parte, un operador debe controlar a ambas plantas (El Sendero y Montecasino) y considerando que el recinto es de gran extensión, la dificultad en la operación del complejo se considera alta.

Una consideración adicional para el complejo Los Domínicos es que el tranque menor posee gran cantidad de lodo, por lo que es necesario realizar labores de limpieza en este elemento. El tranque mayor también requieren mantención, lo que representa un elevado costo para la empresa. Particularmente, limpieza de tranques tiene un costo aproximado de 1.050 millones de pesos, la cual debe realizarse cada 2 años.

Las vías de circulación en el recinto son caminos de tierra y no existen barreras de contención a los tranques, lo cual representa un riesgo para el personal.

En las plantas El Sendero y Montecasino se identificó la presencia de elementos deteriorados y elementos o unidades con un diseño básico; en el caso de El Sendero, los tabiques de internit del floculador se encuentran quebrados, el decantador es de baja tasa y algunas compuertas son placas metálicas simples. En la planta Montecasino las placas inclinadas del decantador son de internit y se encuentran curvadas por el deterioro del material.

Uno de los problemas que presenta la planta El Sendero es que el desagüe general de la planta es de baja capacidad por lo que al lavar filtros y unidades se producen inundaciones en el camino de tierra que colinda con la planta, a un costado del canal el Bollo.

### **3.4.6. PTAP Punta de Águilas**

La planta Punta de Águilas posee unidades de tratamiento en buen estado, al igual que la mayoría de las válvulas y compuertas del recinto, las cuales además son de fácil manipulación.

La planta presenta problemas de enlace en los sistemas de dosificación. El coagulante, el polímero, el hipoclorito en la post-cloración operan en forma automática, mientras que la cal, el permanganato de potasio, el hipoclorito en la pre-cloración y el flúor se dosifican manualmente. A pesar de esto, se considera que la dificultad en la operación es baja.

La principal desventaja de la planta Punta de Águilas es su dependencia de bombas de elevación, tanto para abastecer a la planta (PEAC Las Pataguas), como para abastecer a los distintos sectores de distribución (Los Bravos, Las Flores y Manso de Velasco).

Esta planta tiene la particularidad de tratar aguas subterráneas convencionalmente para la remoción de arsénico. Las aguas subterráneas generalmente son tratadas en conjunto con aguas superficiales.

### **3.4.7. PTAP Arrayán**

En relación a la infraestructura, con el transcurso del tiempo la planta ha reducido su capacidad máxima, limitando la producción.

Todos los sistemas de dosificación se controlan manualmente, al igual que las válvulas y compuertas. A pesar de ello, la dificultad en la operación de la planta se considera baja por la cercanía de los elementos.

### **3.4.8. PTAP Quebrada de Ramón**

La planta Quebrada de Ramón es una de las que presenta las mejores condiciones operacionales; por una parte, todos los insumos químicos, a excepción del cloro gas, se dosifican en forma automática, la dificultad en la operación es baja y no requiere un operador a tiempo completo.

En relación a los elementos de regulación, todas las válvulas de la planta son manuales, a

excepción de las que regulan el ingreso al canal de entrada. Lo anterior no representa mayor dificultad ya que el movimiento de estos elementos es menos habitual que en otras plantas. El lavado de filtros, que es una de las actividades que demanda mayor tiempo a operadores, se realiza con menor frecuencia en esta planta dada la buena calidad del agua cruda. De acuerdo a esto, la dificultad en la operación de la planta se clasificó como baja.

Respecto a la infraestructura, las unidades se encuentran en buen estado, sin embargo, uno de los filtros se encuentra inoperativo.

### **3.4.9. PTAP La Dehesa**

La planta La Dehesa posee unidades de proceso deficientes, debido al diseño básico de sus unidades y al poseer sólo procesos de decantación y filtración. Las unidades de decantación son de baja tasa y actualmente se encuentran en buen estado.

En relación a la operación, la planta posee pocos elementos de regulación como válvulas y compuertas, el sistema de lavado automático de filtros facilita la operación en la planta, sin embargo la labor de toma de muestras y control de elementos de regulación demanda mucho tiempo al operador, debido a la gran extensión del terreno. De acuerdo a esto, la dificultad en la operación se clasificó como media.

## **3.5. Análisis FODA de las plantas de tratamiento de agua potable del sistema de producción Mapocho**

### **3.5.1. PTAP San Enrique**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable San Enrique:

#### **Fortalezas**

- Sistema de lavado de filtros automatizado con aire y agua.
- Buen estado unidades de sedimentación y filtros.
- Proyecto de mejoras en curso, que consiste en mejoras a los sistemas de dosificación, medición de caudal y elementos de control (Upgrade San Enrique).

#### **Debilidades**

- Medición imprecisa del caudal de entrada y salida.
- Riesgo de fugas de cloro gas y ausencia de torre de neutralización.
- Dificil control del recinto para operador por gran extensión del terreno.
- No hay control remoto para válvula de ingreso a canal el bollo, lo que genera dificultades para regular el caudal en el canal.

### **Oportunidades**

- Existencia de sistema de tratamiento de lodos, el cual podría ser aprovechado frente a cambios en las exigencias de la legislación en el tratamiento de lodos de las plantas de tratamiento de agua potable.
- Posibilidad de ampliación para aumentar la capacidad de la planta a 1 m<sup>3</sup>/s.

### **Amenazas**

- Problemas de acumulación de lodos en decantador por eventos de polcura.
- Contaminación del río Mapocho por actividades mineras y centros de Sky.
- Dependencia de planta elevadora para abastecer al Estanque San Enrique.

## **3.5.2. PTAP Padre Hurtado**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Padre Hurtado:

### **Fortalezas**

- Alto nivel de automatismo.
- Alta producción de agua potable.
- Alternativa de abastecimiento para la cuenca del río Mapocho, con recursos del río Maipo.
- Sistema automatizado de remoción de lodos en decantadores.
- Conexión con Estanque Terminales para aliviar o abastecer al Estanque Semi-Enterrado Padre Hurtado.

### **Debilidades**

- Altas turbiedades en agua cruda proveniente del canal Las Perdices.
- Control manual de bombas de PEAP Lo Gallo y PEAP Las Flores.
- Turbiedades altas en el agua filtrada en comparación al resto de las plantas (Sin exceder el límite de la Norma Chilena de agua potable).
- Riesgo de fugas de cloro gas y ausencia de torre de neutralización.

### **Oportunidades**

- Posibilidad de ampliación para aumentar la capacidad de la planta a 2 m<sup>3</sup>/s.

#### **Amenazas**

- Dificultad para apoyar a sectores de distribución Maipo-Mapocho y Los Domínicos frente a cortes de suministro eléctrico.
- Eventos de contaminación en canal Las Perdices.

### **3.5.3. Recinto Predecantadores**

A continuación se expone el análisis FODA para el recinto Predecantadores:

#### **Fortalezas**

- Fundamental para facilitar el tratamiento en Lo Gallo y Vitacura.
- Altas remociones de turbiedad en el proceso de tratamiento. Buena estimación de caudal de entrada (Canaleta parshall con sensor de nivel). Suficiente tiempo de reacción frente a eventos de contaminación aguas arriba de captación de San Enrique, por control en esta planta.

#### **Debilidades**

- Bajo nivel de automatismo.
- Gran distancia entre zona de captación en río Mapocho y el recinto Predecantadores lo que dificulta el control.
- Compuerta desripiadora no posee control remoto, por la lejanía de este elemento con la PTAP se requiere al supervisor para controlar la zona de captación.

#### **Oportunidades**

No se identificaron oportunidades para esta planta de tratamiento de agua potable.

#### **Amenazas**

- Eventos de contaminación en canal Lo Gallo y río Mapocho.
- Exceso de material sobrenadante en agua cruda.
- Exceso de sólidos en reja de captación.
- Barrera de material grueso en zona de captación es vulnerable frente a aumentos de caudal en río Mapocho.

### **3.5.4. PTAP Vitacura**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Vitacura:

### **Fortalezas**

- Planta tiene la posibilidad de suplir la falta de agua superficial con aguas subterráneas, las cuales son tratadas convencionalmente para la remoción de arsénico.

### **Debilidades**

- Bajo límite operacional (Turbiedad máxima de entrada: 50 UNT).
- Bajo nivel de automatismo (Dosificación, elementos de regulación y medición de calidad).
- Difícil control de la planta: elementos manuales y un único operador para Lo Gallo y Vitacura.
- Diseño básico.
- Altos costos en mantenimiento por volumen de producción.
- Baja producción de agua potable.

### **Oportunidades**

No se identificaron oportunidades para esta planta de tratamiento de agua potable.

### **Amenazas**

- Dependencia del proceso de tratamiento en Predecantadores.

## **3.5.5. PTAP Lo Gallo**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Lo Gallo:

### **Fortalezas**

- Punto neurálgico en el sistema de distribución.
- Planta tiene la posibilidad de suplir la falta de agua superficial con aguas subterráneas, las cuales son tratadas convencionalmente para el tratamiento de arsénico.
- Alta capacidad de producción.
- Posibilidad de producir por planta Lo Gallo Nueva o Lo Gallo Antigua.
- Agua filtrada con bajos niveles de turbiedad en comparación al grupo de plantas.

### **Debilidades**

- Difícil control de la planta: elementos manuales y un único operador para Lo Gallo y Vitacura.
- Bajo nivel de automatismo (Dosificación y elementos de regulación).

- Tiempo de respuesta insuficiente para control de nivel en estanques enterrados, existe riesgo de rebalse.
- Necesidad de cambio de lecho en filtros.

### **Oportunidades**

- Automatizar PTAP padre Hurtado en función del nivel del estanque.

### **Amenazas**

- Dependencia del proceso de tratamiento en Predecantadores.

## **3.5.6. Complejo Los Domínicos**

A continuación se expone el análisis FODA para el complejo Los Domínicos:

### **Fortalezas**

- Suficiente tiempo de reacción frente a eventos de contaminación aguas arriba de captación de San Enrique, por control en esta planta.
- Autonomía de la planta por almacenamiento de los tranques mayor y menor (1 a 2 días aproximadamente).

### **Debilidades**

- Problemas de inundación por falta de capacidad del desagüe de PTAP El Sendero.
- Bajo nivel de automatismo (Dosificación, elementos de regulación y medición de calidad).
- Unidades de tratamiento deterioradas.
- Difícil control del recinto para un operador (Dos plantas y gran extensión del recinto).
- Requerimiento de uso de carbón activado para el tratamiento, producto de problemas de olor y sabor.
- Necesidad de limpieza periódica en los tranques.
- Ubicación inadecuada del detector de hidrocarburos (Insuficiente tiempo de reacción).
- Necesidad de bombeo para abastecimiento de la planta El Sendero.
- Altos costos en energía eléctrica y insumos químicos por metro cúbico de producción asociado a la PEAC El Sendero y al uso de carbón activado, respectivamente.

### **Oportunidades**

- Espacio disponible para implementación de mejoras o proyectos.

### **Amenazas**

- Eventos de contaminación en canal El Bollo.

### 3.5.7. PTAP Punta de Águilas

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Punta de Águilas:

#### **Fortalezas**

- Nivel medio de automatismo.
- Planta tiene la posibilidad de suplir la falta de agua superficial con aguas subterráneas, las cuales son tratadas convencionalmente para el tratamiento de arsénico.
- Variadas fuentes de abastecimiento (Interconexión con PTAP La Dehesa, pozos, estero Hualtatas e impulsión Las Pataguas).

#### **Debilidades**

- Principal fuente de abastecimiento de agua cruda ingresa a la planta por impulsión (Las Pataguas), lo que genera altos costos de energía eléctrica por metro cúbico de producción.

#### **Oportunidades**

- Reincorporar operación automática para PEAC Las Pataguas para facilitar control.

#### **Amenazas**

- Vulnerabilidad frente a cortes del suministro eléctrico para abastecimiento de agua cruda a la planta, proveniente del canal La Dehesa.
- Vulnerabilidad frente a cortes del suministro eléctrico para abastecimiento de agua potable a sectores de distribución.
- Eventos de contaminación en Canal La Dehesa.

### 3.5.8. PTAP Arrayán

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Arrayán.

#### **Fortalezas**

- Proyecto de mejoras en curso (Upgrade Arrayán).

#### **Debilidades**

- Problemas en zona de captación por alta turbiedad.
- Bajo nivel de automatismo (Dosificación y elementos de regulación).

- Restricciones de espacio para implementación de mejoras o proyectos.
- Tiempos de reacción de los aditivos no son suficientes.
- Control manual de todos los elementos de la bocatoma.
- Poco tiempo de reacción frente a eventos de mala calidad del agua cruda.

#### **Oportunidades**

No se identificaron oportunidades para esta planta de tratamiento de agua potable.

#### **Amenazas**

- Eventos de alta turbiedad por deshielos y precipitaciones a baja altura.
- Riesgo bacteriológico debido a contaminaciones puntuales aguas arriba de la captación.

### **3.5.9. PTAP Quebrada de Ramón**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable Quebrada de Ramón:

#### **Fortalezas**

- Bajas turbiedades en el agua cruda.
- Bajo costo de producción asociado a insumos químicos y energía eléctrica.
- Alto nivel de automatismo.

#### **Debilidades**

- Riesgo de fugas de cloro gas.
- La planta no posee una torre de neutralización para gas cloro.

#### **Oportunidades**

No se identificaron oportunidades para esta planta de tratamiento de agua potable.

#### **Amenazas**

- Problemas de abastecimiento de agua cruda en algunas épocas.
- Vulnerabilidad frente a una emergencia al no disponer de operador.

### **3.5.10. PTAP La Dehesa**

A continuación se expone el análisis FODA para la planta de tratamiento de agua potable La Dehesa:

#### **Fortalezas**

- Planta tiene la posibilidad de suplir la falta de agua superficial con aguas subterráneas, las cuales son tratadas convencionalmente para la remoción de arsénico.
- Lavado de filtros automatizado con aire y agua.
- Existencia de tranque La Dehesa, proporciona autonomía a la planta frente a problemas de abastecimiento de agua cruda.

### **Debilidades**

- Unidades de procesos deficientes.
- Alto costo de producción de agua potable asociado a insumos químicos (Uso de carbón activado).
- Bajo nivel de producción de agua potable.
- Necesidad de limpieza en embalse para mantener su capacidad.
- Proliferación de algas en embalse genera problemas de olor y sabor, a pesar de contar con un equipo que controla la proliferación, este fenómeno incrementa el costo de producción de agua potable.
- Operador de la planta debe recorrer grandes distancias para realizar sus labores, dificultando la operación.
- No existe medidor de caudal en canal Las Quiscas en ingreso embalse.
- Difícil aislación del canal Las Quiscas en eventos de precipitación que provoquen aumentos de turbiedad.
- Altos costos en mantenimiento por volumen de producción.

### **Oportunidades**

- Espacio disponible para implementación de mejoras/proyectos.

### **Amenazas**

- Fácil acceso de terceros al tranque.
- Riesgo de contaminación en canal La poza.

## **3.6. Conclusiones**

- En relación a la infraestructura, el complejo Los Domínicos presenta mayores problemas de infraestructura, asociado al deterioro de los elementos en las plantas y a la necesidad de mantención en los tranques Mayor y Menor, la mantención de los tranques representan un gasto total de aproximadamente 1.050 millones de pesos cada dos años.
- La planta Vitacura y La Dehesa tienen la particularidad de poseer unidades de proceso deficientes, asociadas a su diseño básico. En particular, los elementos de la planta Vitacura se encuentran muy deteriorados.
- En relación a los gastos en insumos químicos y energía eléctrica por metro cúbico de producción, las plantas con gastos más elevados son Punta de Águilas, Los Domínicos y la planta La Dehesa.

- De acuerdo a lo expuesto, se determina que las plantas que poseen mayores dificultades en su operación son Lo Gallo, Vitacura, El Sendero y Montecasino. Debido al poco automatismo y a las distancias que debe recorrer el operador para controlar los recintos. La dificultad en la operación podría generar problemas en situaciones de emergencia y en la calidad del agua generada.
- En relación a la calidad del agua potable generada por las plantas, se ha observado que a pesar de las dificultades que ellas presentan, ha habido un mejoramiento general del sistema en la calidad del agua producida, lo cual se refleja en la disminución en la cantidad de productos no conformes. Por lo tanto, los PNC generados en los años 2015 y 2016 corresponderían a situaciones excepcionales, por lo que este aspecto no se utilizará como criterio para el planteamiento de alternativas a la racionalización de plantas.
- Para el planteamiento de alternativas de racionalización, se debe tener en cuenta que las plantas San Enrique, Arrayán y Padre Hurtado son fundamentales para el sistema, las dos primeras por encontrarse en la parte alta de la cuenca, y la planta Padre Hurtado por permitir el abastecimiento con aguas que provienen del río Maipo.
- En la Tabla 3.7, se presenta un resumen de los aspectos más relevantes de este capítulo, que corresponden a los criterios para el planteamiento de alternativas de racionalización.

Tabla 3.7: Tabla Resumen criterios para el planteamiento de alternativas de racionalización.

Recinto	Tipo de Propiedad	Tecnología	Dificultad Operación	Infraestructura	Costos en Insumos químicos y energía Electrica [\$/m3]	Costos en Mantenimiento [\$/m3]
Los Dominicos	Propio	Básica	Alta	Mal estado	24,8	2,8
Dehesa	Propio parcial	Básica	Regular	Regular	20,2	20,1
Vitacura	Comodato	Básica	Alta	Mal estado	13,7	16,6
Punta de Águilas	Comodato	Intermedia	Baja	Buen estado	35,6	1,1
Arrayán	Comodato	Básica	Regular	Regular	11,7	6,5
San Enrique	Propio	Intermedia	Baja	Buen estado	10,9	6,0
Lo Gallo	Propio	Básica	Alta	Regular	9,9	9,4
Quebrada de Ramón	Propio	Avanzada	Baja	Buen estado	4,5	4,7
Padre Hurtado	Comodato	Intermedia	Baja	Buen estado	3,6	4,9
Predecantadores	Servidumbre	Básica	Regular	Mal estado	0,1	0,4

De acuerdo a lo descrito en este capítulo y considerando los criterios expuestos en la Tabla 3.7, las plantas que poseen más debilidades son el Complejo Los Domínicos, la planta Vitacura y la planta La Dehesa. Además la planta Lo Gallo tiene una dificultad alta en su operación, el recinto predecantadores posee una infraestructura en mal estado y ambos poseen una tecnología básica. Con el objetivo de reducir la cantidad de recintos productivos, las alternativas de racionalización se enfocan en los recintos descritos, al ser los que presentan más debilidades, por lo tanto las alternativas a evaluar serán las siguientes:

1. Eliminación del complejo Los Domínicos
2. Modificación del tranque La Dehesa y eliminación/conservación de la planta La Dehesa.
3. Eliminación de la planta Lo Gallo y del recinto Predecantadores. Con mejoramiento de la planta Vitacura para tratamiento de aguas subterráneas proveniente

de los pozos que se ubican en los tres recintos (Se opta por conservar la planta Vitacura por ser un terreno del cual no se pueden obtener beneficios económicos).

La planta Punta de Águilas no fue considerada entre las alternativas de racionalización debido a que el terreno en donde se encuentra corresponde a un comodato, por lo que frente a la eliminación de la planta no se podrían obtener beneficios económicos asociados a la venta del terreno.

# Capítulo 4

## Evaluación de alternativas de racionalización y selección de solución óptima

### 4.1. Análisis Oferta - Demanda

El objetivo de este análisis es identificar si la oferta en cada uno de los recintos productivos satisface la demanda actual y futura. Además se evaluará el efecto de la eliminación de los recintos productivos.

Este análisis se basa en la información expuesta en los últimos planes de desarrollo de las empresas Aguas Cordillera [5], Aguas Manquehue [6] y Aguas Andinas - Gran Santiago [7], elaborados en septiembre de 2014, octubre de 2015 y octubre de 2015, respectivamente.

Los escenarios evaluados en los balances de oferta y demanda consideran la variación estacional en la disponibilidad superficial de agua, la capacidad máxima de las plantas, los derechos de aprovechamiento que poseen las empresas y la estrategia de operación. Además se considera el aporte de las fuentes subterráneas, las interconexiones entre sistemas y el efecto de regulación de embalses.

De acuerdo a la exigencias de la legislación, para el escenario de disponibilidad natural de 90 % de probabilidad de excedencia, la empresa sanitaria debe poseer derechos de agua que le permitan suplir la demanda de agua potable, es por esta razón que el balance expuesto se estima sólo en este escenario.

A continuación se presentan los principales resultados del balance de oferta-demanda expuesto en los planes de desarrollo de las empresas Aguas Manquehue, Aguas Cordillera y Aguas Andinas (Gran Santiago).

### 4.1.1. Aguas Manquehue

Aguas Manquehue contiene a los sistemas Alto Lampa, Chamisero, Ciudad de Chicureo, Valle Grande III, Santa María de Manquehue y Trapenses. Todos los sistemas se abastecen de pozos, a excepción del sistema Trapenses y Santa María, en el Sistema Trapenses el agua potable proviene de la planta de tratamiento superficial Punta de Águilas, de 300 l/s de capacidad, más una serie de captaciones subterráneas cuyo caudal total de explotación alcanza 171 l/s, mientras que en el Sistema Santa María, el agua potable es producida en una serie de captaciones subterráneas cuyo caudal total de explotación alcanza los 234 l/s, además este sistema posee una interconexión con el sistema Maipo - Lo Curro, perteneciente a Aguas Cordillera.

En la tabla 4.1 se presenta el balance Oferta-Demanda del sistema Santa María para 4 proyecciones (años 2015, 2019, 2024 y 2029), en el mes de máxima demanda.

Tabla 4.1: Balance Oferta-Demanda Sistema Santa María.

Captaciones existentes que abastecen al Sistema Santa María		Demanda Máxima Diaria de Producción (l/s) (3)				Oferta - Demanda (l/s)			
Oferta Fuentes subterráneas (l/s)	Total Oferta Fuentes (l/s)	2015	2019	2024	2029	2015	2019	2024	2029
234	234	169	182	198	214	65	52	36	20

En la Tabla 4.2 se presenta el balance Oferta-Demanda del sistema Trapenses para 4 proyecciones (años 2015, 2019, 2024 y 2029).

Del este balance, se obtiene que a partir del año 2015 se presentará déficit para el sistema Trapenses. Para cubrir este déficit se proyectó una obra de interconexión con Aguas Cordillera con una capacidad máxima de 140 l/s, la cual fue construida en el año 2015. Para asegurar el abastecimiento desde Aguas Cordillera, se considera esta caudal de traspaso en el Plan de Desarrollo de esta Empresa. En la tabla 4.2 se presenta el balance oferta-Demanda considerando dicha interconexión.

Tabla 4.2: Balance Oferta-Demanda Sistema Los Trapenses.

Mes	Captaciones existentes que abastecen al sistema Trapenses				Demanda Máxima				Oferta - Demanda				Requerimiento Interconexión			
	Oferta Fuentes Superficiales (1)		Oferta Fuentes subterráneas (2)	Total Oferta Fuentes (1/s)	Diaria de Producción (1/s) (3)				(1/s)				Aguas Cordillera (1/s)			
	Estero Hualtatas (1/s)	Canal La Dehesa (4) (1/s)			2015	2019	2024	2029	2015	2019	2024	2029	2015	2019	2024	2029
Ene	74	200	147	421	341	399	446	453	80	22	-25	-32	0	0	25	32
Feb	73	171	147	391	333	389	435	443	58	2	-44	-52	0	0	44	52
Mar	60	91	147	298	325	380	424	431	-27	-82	-126	-133	27	82	126	133
Abr	52	45	147	244	261	305	341	347	-17	-61	-97	-103	17	61	97	103
May	74	15	147	236	204	239	267	271	32	-3	-31	-35	0	3	31	35
Jun	98	16	147	261	154	180	201	204	107	81	60	56	0	0	0	0
Jul	118	20	147	285	117	137	153	156	168	148	132	129	0	0	0	0
Ago	177	20	147	344	131	154	172	174	213	190	172	169	0	0	0	0
Sep	186	85	147	418	143	167	186	189	275	251	231	228	0	0	0	0
Oct	134	147	147	428	206	240	269	273	222	188	159	155	0	0	0	0
Nov	108	200	147	447	273	319	356	362	174	128	91	85	0	0	0	0
Dic	86	200	147	433	336	393	439	446	97	40	-6	-13	0	0	6	13

Notas:

1. Disponibilidad en fuente para un año con probabilidad de excedencia 90
2. Captaciones subterráneas Pozos La Dehesa 1A, 2, 11,12, 13, 15, 16 y 17. No incluye el aporte de los Sondajes de Emergencia La Dehesa 6 y 8.
3. Demanda máxima diaria de producción. Incluye pérdidas de producción .
4. Caudal limitado por capacidad PEAP Pataguas.

#### 4.1.2. Aguas Cordillera

El agua potable de Aguas Cordillera es producida en las siguientes plantas de tratamiento superficial: Planta Arrayán (190 l/s), La Dehesa (350 l/s), Lo Gallo (650 l/s), Padre Hurtado (1.000 l/s), San Enrique (500 l/s), Vitacura (270 l/s), El Sendero (250 l/s) y Montecasino (200 l/s), más una serie de captaciones subterráneas cuyo caudal total de explotación alcanza los 1.476 l/s.

Por otra parte, los subsistemas de producción son:

- Arrayán – Barnechea
- San Francisco
- La Dehesa
- San Enrique - Quinchamalí
- San Carlos - Dominicos
- Maipo – Lo Curro

El la Tabla 4.3 se muestra el balance global (considerando todos los subsistemas) de oferta-demanda de agua potable para Aguas Cordillera.

Tabla 4.3: Balance Oferta-Demanda Aguas Cordillera.

Mes	Captaciones existentes que abastecen a Aguas Cordillera						Oferta subterráneas (2)	Total Oferta Fuentes (l/s)	Traspaso Interconexión Aguas Manquehue (l/s)	Demanda Máxima Diaria de Producción (l/s) (3)				Oferta - Demanda (l/s)			
	Oferta Fuentes Superficiales (1)									2015	2019	2024	2029	2015	2019	2024	2029
	Planta Arrayán (l/s)	San Enrique (l/s)	Embalse La Dehesa (l/s)	Sendero-Montecasino (l/s)	Padre Hurtado (l/s)	Lo Gallo-Vitacura (l/s)											
Ene	190	500	170	450	1000	660	1476	4446	0	3942	4015	4108	4203	504	431	313	210
Feb	190	500	170	450	1000	269	1476	4055	0	3733	3802	3891	3981	322	253	121	24
Mar	184	500	170	450	1000	41	1476	3821	27	3755	3824	3913	4003	39	-85	-218	-316
Abr	168	250	170	450	850	83	1476	3447	17	3298	3359	3437	3516	132	27	-87	-172
May	152	380	170	450	0	186	1476	2814	0	2586	2637	2701	2765	229	175	83	14
Jun	152	500	170	450	713	92	1476	3553	0	2414	2459	2516	2574	1139	1094	1037	979
Jul	152	500	170	450	686	369	1476	3803	0	2090	2129	2178	2228	1713	1674	1625	1574
Ago	152	500	174	450	696	369	1476	3817	0	2253	2294	2347	2402	1565	1523	1470	1415
Sep	169	500	250	450	782	456	1476	4083	0	2418	2463	2520	2579	1664	1620	1563	1504
Oct	186	500	272	450	1000	537	1476	4421	0	2552	2599	2660	2721	1868	1821	1761	1699
Nov	190	500	350	450	1000	536	1476	4502	0	3033	3089	3161	3234	1469	1413	1341	1268
Dic	190	500	255	450	1000	738	1476	4609	0	3542	3607	3691	3776	1068	1002	913	820

Notas:

1. Disponibilidad en fuente para un año de probabilidad de excedencia de 90%. Incluye pérdidas de tratamiento.
2. Captaciones subterráneas operativas
3. Demanda máxima diaria de producción a la salida de planta.

De acuerdo al Balance global, para el mes de Marzo se presenta déficit a partir del año 2017. Para cubrir este déficit, se proyectó un aumento de la capacidad en la PTAP Padre Hurtado a 2 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, se realiza un análisis a nivel de subsistemas de producción, los resultados son los siguientes:

Para los subsistemas San Enrique, La Dehesa, Maipo Lo Curro y San Francisco existe capacidad suficiente para abastecer la demanda hasta el final del período de previsión (año 2019), mientras que en el subsistema San Carlos-Domínicos, existe déficit. En el balance de este último subsistema se obtiene que para el mes de máximo consumo se presenta un déficit a partir del año 2023. Para cubrir este déficit se proyecta ampliar la planta elevadora de agua potable Las Flores incrementando su capacidad en 100 (l/s), esta PEAP abastece al subsistema San Carlos-Domínicos con agua potable proveniente desde la planta Padre Hurtado.

Además, se proyecta la adquisición y/o arriendo de derechos de la primera sección del Río Maipo para atender la ampliación de la PTAP Padre Hurtado proyectada para el año 2022. La adquisición se realizará mediante un contrato de arriendo de derechos con la Sociedad del Canal del Maipo.

### 4.1.3. Aguas Andinas

El balance oferta demanda para el sistema Gran Santiago, considera la existencia del Embalse El Yeso y se realiza a partir de un modelo de simulación de escala mensual que determina la seguridad hidrológica de las fuentes superficiales del Sistema Maipo-Yeso en el abastecimiento de agua potable del sistema Aguas Andinas (Gran Santiago).

El modelo es básicamente un balance de masa de los recursos con etapas mensuales en el cual la oferta corresponde a los caudales afluentes al embalse El Yeso y caudales en el río Maipo en el Manzano llevados a la captación La Obra en régimen natural. Los datos de las series de caudales se obtienen del Estudio Hidrológico de Fuentes Superficiales del Grupo AGUAS desarrollado por DICTUC, de diciembre 2013. El modelo asume que al considerar las series de 62 años registradas se presentan todos los escenarios hídricos probables durante el período de simulación, en especial situaciones de escasez.

Conforme a los resultados del balance de producción, a partir del año 2014 en adelante, se deberá incrementar la oferta de producción para “Gran Santiago”, para lo cual se programa la ampliación de la PTAP Vizcachas (1.500 l/s), la habilitación de sondajes, la ampliación de PTAP La Florida (1.000 l/s), además de la implementación de un Plan de Reducción de agua no contabilizada (Plan de eficiencia hidráulica).

Si bien Aguas Andinas tiene derechos superficiales y subterráneos suficientes para garantizar una seguridad hidrológica mayor a un 90 %, hasta el año 5 (año 2019) de operación de la concesión, deberá incrementar sus derechos de agua en el río Maipo en la cantidad de 20 y 75 acciones adicionales en los años de previsión 2024 y 2019 respectivamente.

Un aspecto que resulta relevante en el balance de oferta-demanda son las pérdidas de agua que se producen entre la salida de la planta de tratamiento y el cliente. La pérdida tiene dos componentes, la comercial y la física. La pérdida comercial se atribuye al fraude o a errores en los registros de los medidores, mientras que la pérdida física corresponde a los volúmenes de agua que se pierden como consecuencia de fallas en la infraestructura, como por ejemplo, roturas de tuberías, ésta última componente es la más significativa. En los últimos planes de desarrollo elaborados para las empresas Aguas Cordillera, Aguas Manquehue (Sistema Trapenses) y Aguas Andinas (Sistema Gran Santiago) se ha considerado que las pérdidas se mantienen constantes en el futuro, sin embargo, actualmente se está desarrollando un plan de eficiencia hidráulica, este es un proyecto que tiene como objetivo reducir las pérdidas físicas en las empresas del grupo Aguas desde 30 % a 20 % aproximadamente. Dada la influencia de las pérdidas en la demanda en la salida de las plantas de tratamiento de agua potable, se realiza un análisis sobre el efecto del plan de eficiencia hidráulica en Aguas Andinas (Sistema Gran Santiago), Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur (estas últimas como un conjunto).

En la Figura 4.1 se muestra el registro histórico de pérdidas y su proyección en Gran Santiago, Aguas Manquehue Sur y Aguas Cordillera, éstas dos últimas como un conjunto. Dicha proyección se estimó considerando que en Gran Santiago se tendrá una pérdida del

20 % en el año 2023, mientras que en Aguas Cordillera se espera llegar a este valor en el año 2022 (M. Donoso, Comunicación personal, Noviembre 2016).

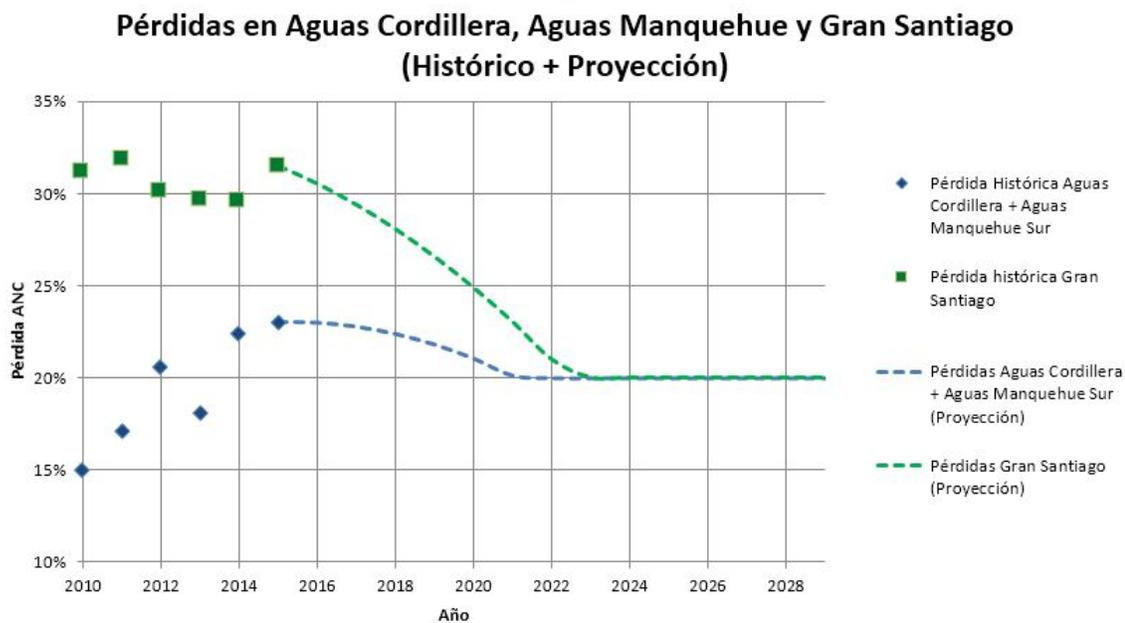


Figura 4.1: Proyección de pérdidas hidráulicas en Aguas Cordillera, Aguas Manquehue Sur y Gran Santiago (Fuente: Elaboración propia).

En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestran las demandas medias anuales proyectadas en Aguas Andinas (Gran Santiago), Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur (Sistema Los Trapenses y Santa María), considerando que las pérdidas se mantienen constantes y considerando el plan de eficiencia hidráulica.

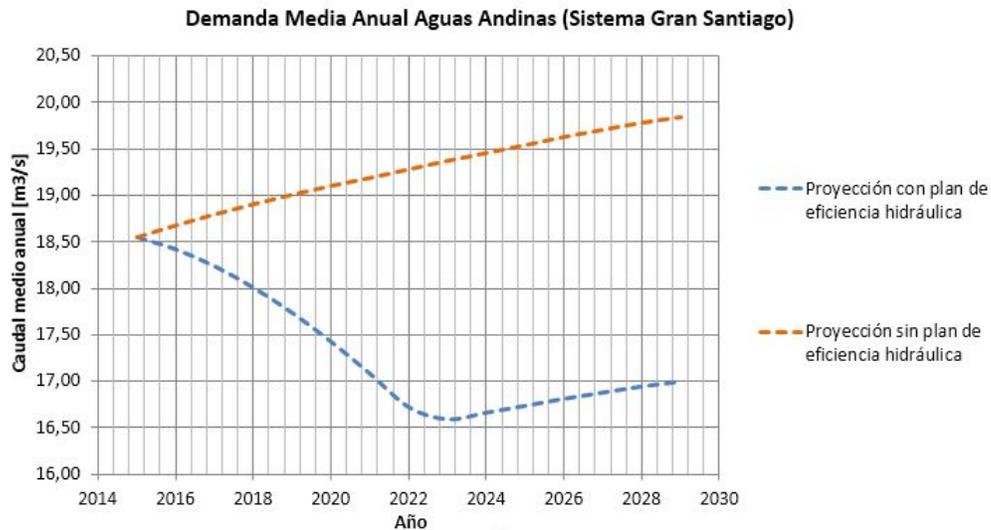


Figura 4.2: Demandas medias anuales proyectadas considerando pérdidas constantes y considerando el plan de eficiencia hidráulica (Aguas Andinas - Sistema Gran Santiago) (Fuente: Elaboración propia).

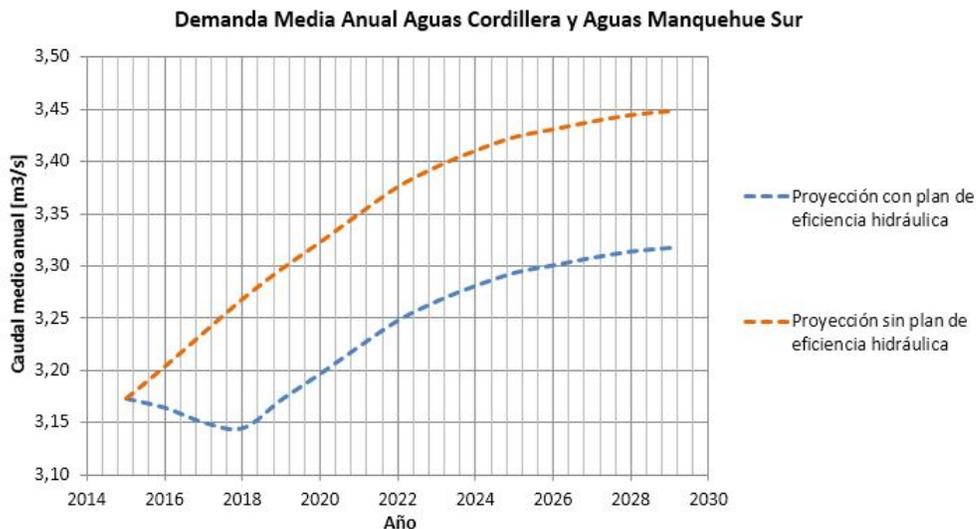


Figura 4.3: Demandas medias anuales proyectadas considerando pérdidas constantes y considerando el plan de eficiencia hidráulica (Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur) (Fuente: Elaboración propia).

Particularmente para Aguas Cordillera y Aguas Manquehue Sur, la demanda futura es creciente, independiente de si se lleva a cabo el plan de eficiencia hidráulica, debido al crecimiento demográfico y la poca influencia del plan de eficiencia hidráulica en este sector, ya que las pérdidas físicas actuales son cercanas al 20 % (Figura 4.3).

#### **4.1.4. Resultados**

De acuerdo al balance oferta - demanda de agua potable, se estima que tanto para Aguas Manquehue (Sistema Trapenses), Aguas Cordillera y Aguas Andinas (Sistema Gran Santiago) existirán demandas crecientes de agua potable hasta el año 2029, si se mantienen los niveles de pérdidas actuales en el sistema.

Por otra parte, si se ejecuta el plan de eficiencia hidráulica como está previsto se reducirá la demanda en Aguas Andinas (Sistema Gran Santiago), sin embargo, el efecto en la demanda de Aguas Cordillera y Aguas Manquehue no es significativo y en el largo plazo la demanda será creciente en este sector por efecto del crecimiento demográfico. Es por ello que las alternativas de racionalización de plantas deben permitir el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles del Sistema de Producción Mapocho, para que sean compatibles con las necesidades planteadas en los planes de desarrollo.

## **4.2. Evaluación de alternativas de racionalización**

### **4.2.1. Eliminación del tranque y la planta La Dehesa**

Este recinto posee un tranque con una capacidad máxima de 1.000.000 m<sup>3</sup> y un volumen máximo permitido de 400.000 m<sup>3</sup> (establecido por la DGA). El tranque abastece a la planta de tratamiento La Dehesa. La cuenca vertiente al tranque tiene una superficie de 1,18 km<sup>2</sup>, además recibe aportes del estero Arrayán a través del canal la Poza y del estero Hualtatas, mediante el canal Las Quiscas [8].

El principal aporte al tranque La Dehesa es el canal La Poza, en este canal, la empresa posee derechos de aprovechamiento que son en su mayoría eventuales. Al no embalsar este aporte del canal La Poza, no puede ser considerado para los Planes de Desarrollo, al no ser un recurso continuo. Por lo tanto, frente a la eliminación del tranque, los derechos del canal La Poza pierden relevancia y es necesario reemplazar la producción de la planta La Dehesa (350 l/s) en otro recinto utilizando derechos permanentes (C. Poblete, Comunicación personal, Diciembre 2015), sin embargo, no existe mercado para comprar derechos en el río Mapocho y no es posible tratar este caudal en otra planta, por limitaciones de derechos de agua o capacidad de la recintos productivos.

Por otra parte, el tranque tiene un efecto de amortiguación de caudales punta en eventos de crecidas por lluvias. Para el año en que fue construido, la avenida de proyecto considerada para el dimensionamiento del aliviadero, los órganos de desagüe y las estructuras de disipación de energía, debería ser la correspondiente a 500 años de periodo de retorno, cuyo caudal punta asociado es de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  [8]. Por lo tanto, para la eliminación del tranque La Dehesa, se requeriría infraestructura que sea capaz de conducir caudales de esta magnitud.

Adicionalmente, se desconoce el estado y capacidad del desagüe del tranque en las secciones aguas abajo del recinto, ya que se encuentra bajo zonas urbanas en donde ésta conducción podría haber sufrido alteraciones.

En relación a las unidades de la planta La Dehesa, la eliminación de ellas sólo tiene sentido al eliminar el tranque, ya que actualmente ésta corresponde a la única salida del tranque. Por otra parte, la superficie que ocupan las unidades de tratamiento es despreciable en relación a la superficie del tranque, por lo que la eliminación de la planta no resulta una alternativa tan atractiva para la enajenación de terrenos.

Actualmente el tranque La Dehesa es propiedad de la Asociación de Regantes La Dehesa. Aguas cordillera es el administrador y propietario de una porción del tranque. El resto de los propietarios forma parte de un convenio en el cual se establece el traspaso de derechos de agua y tierra hacia la compañía. Actualmente dicho traspaso se encuentra incompleto y se desconoce la porción del tranque que pertenece a la empresa, por lo tanto, la enajenación de terrenos no sería posible hasta que se complete dicho traspaso de derechos (P. Bustamante, Comunicación personal, Diciembre 2016).

Según lo expuesto, se descarta la alternativa de eliminación del tranque La Dehesa y la planta La Dehesa al no ser factible técnicamente, ya que no permite la enajenación de terrenos y hace necesaria una producción adicional en otro recinto, equivalente a la producción de la planta La Dehesa. Por lo tanto, se plantea y evalúa una alternativa adicional para la enajenación de terrenos; la modificación del tranque La Dehesa y la conservación de la planta La Dehesa. Esta opción consiste en la reducción del volumen y del espejo de agua del tranque, y un mejoramiento de la planta La Dehesa. Esta alternativa tiene como objetivo ajustarse a las condiciones de operación impuestas por la DGA (Volumen máximo de operación  $400.000 \text{ m}^3$ ). El beneficio económico de esta alternativa se produciría por la enajenación de terrenos (En el sector del tranque), es por ello que debe considerarse como una opción conveniente, una vez que se finalice el traspaso de acciones a la empresa, siendo ésta el único propietario del tranque.

La alternativa de modificación del tranque la Dehesa considera la reducción del tranque a un volumen de  $300.000 \text{ m}^3$  y una reducción del espejo de agua a  $56.400 \text{ m}^2$ .

La implementación de esta alternativa requiere las obras que se detallan a continuación

[9]:

- Obras de acondicionamiento del tranque, las cuales consisten en:
  - Rebaje del muro del tranque, el cual deberá ser rebajado hasta la cota 923,15 m en toda su extensión.
  - Construcción de una plataforma para la urbanización que significa que los sectores ribereños a la laguna del tranque se rellenarán con el objeto de subir la cota del terreno para la urbanización.
- Un vertedero de seguridad de la presa, consistente en una obra de hormigón con un umbral de 7 m de longitud, más un rápido de descarga, un colchón disipador de energía, un canal de evacuación y una obra de entrega final.
- Entubamiento de la quebrada El Manzano, con el objeto de urbanizar los terrenos ubicados sobre ella. Consistirá en un sistema de tuberías armadas y cámaras de hormigón in situ, teniendo una obra de entrada al inicio y una obra de entrega al tranque.
- Evacuación de los flujos de la quebrada Las Quiscas mediante una tubería, también con el fin de poder urbanizar los terrenos ubicados sobre esta.

Adicionalmente, se consideró la limpieza del tranque, para conservar el volumen existente al momento del estudio de modificación del tranque La Dehesa y para evitar los problemas de olor y sabor en el agua, que se producirían por la reducción del volumen máximo de operación.

La valorización de estas obras y requerimientos se basan en la estimación de costos del proyecto Modificación Tranque La Dehesa (Anexo B), a partir de la cual se realiza una transformación a UF (Tabla 4.4).

Tabla 4.4: Presupuesto obras e inversiones modificación tranque La Dehesa.

<b>Obra / Inversión</b>	<b>Presupuesto [UF]</b>
Obras de acondicionamiento del Tranque	48.494
Vertedero	10.607
Entubamiento quebrada el Manzano	5.169
Entubamiento quebrada Las Quiscas	3.502
Ducto aliviadero tranque La Dehesa	152.652
Limpieza Tranque La Dehesa	99.493
<b>Total:</b>	<b>319.917</b>

La implementación de esta alternativa tendrá requerimientos adicionales: la tramitación ante la Dirección General de Aguas para la reducción del volumen del tranque y la necesidad de una nueva evaluación de impacto ambiental.

Las implicancias de esta alternativa son las siguientes:

- Reducción del tiempo de autonomía del tranque: Considerando un cambio de volumen de regulación de 400.000 a 300.000 m<sup>3</sup> y la operación de la planta La Dehesa a capacidad máxima, se obtiene una reducción del tiempo de autonomía de 3 días (Tabla 4.5).

Tabla 4.5: Estimación del tiempo de autonomía del tranque en situación actual y proyectada

	Situación actual	Situación proyectada
<b>Caudal máximo producción PTAP [m<sup>3</sup>/s]</b>	0,35	0,35
<b>Volumen máximo [m<sup>3</sup>]</b>	400.000	300.000
<b>Tiempo autonomía [días]</b>	13	10

El cambio en el volumen de regulación aumenta la vulnerabilidad del sistema e incrementa la dependencia del abastecimiento mediante impulsión desde la PEAP La Dehesa, con agua proveniente desde San Antonio.

- Cambios en la calidad del agua tratada: Al reducir el volumen de retención del embalse, se espera mayor turbiedad en el agua afluente a la planta de tratamiento.
- Posibilidad de enajenar una superficie de 82.600 m<sup>2</sup> [2], cuando hayan finalizado los traspasos a la empresa por parte del resto de los propietarios.
- Permite ajustarse a las condiciones de operación establecidas por la Dirección General de Aguas, con límite máximo de operación 400.000 m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2. Eliminación del recinto Predecantadores y de la planta Lo Gallo

El recinto Predecantadores realiza un pretratamiento y abastece a las plantas Lo Gallo y Vitacura, por lo que el funcionamiento de estas plantas está muy relacionado con el recinto Predecantadores.

El terreno en el cual se emplaza la planta Vitacura, se encuentra en comodato, el terreno en el cual se emplaza la planta Lo Gallo es propiedad de la empresa, mientras que el terreno que posee la empresa en el recinto Predecantadores está limitado prácticamente al área utilizada por las unidades.

Los tres recintos que involucra esta alternativa tienen la particularidad de tratar los pozos ubicados en el sector en donde se emplazan, los cuales se tratan convencionalmente para la remoción de arsénico. Los pozos de este sector son fundamentales ya que permiten satisfacer la demanda en escenarios críticos (J. Figueroa, Comunicación personal, Septiembre 2016). En la tabla 4.6 se muestra el caudal de pozos que se trata en cada recinto, según derechos de aprovechamiento.

Tabla 4.6: Caudales de extracción de pozos según derechos de aprovechamiento, ubicados en recinto Predecantadores y las plantas Lo Gallo y Vitacura (Fuente: Victor Sepúlveda).

Recinto	Caudal aguas subterráneas [l/s]
PTAP Lo Gallo	358
PTAP Vitacura	102
Predecantadores	294
Total:	754

A pesar de que no todos los pozos se encuentran actualmente operativos, se debe tener en cuenta que existen traslados de derechos en curso, por lo tanto la suma total de caudales de extracción se mantendrá en el tiempo. La suma de los caudales de extracción de los pozos que se tratan en los tres recintos es de 754 l/s (Tabla 4.6). Por otra parte, la capacidad actual de la planta Vitacura es de aproximadamente 200 l/s, y considerando además, que las unidades actuales ocupan la mayor parte del terreno (Figura 4.4), no resulta posible la ampliación de la planta para alcanzar una capacidad de 754 l/s, debido a las limitaciones de espacio.

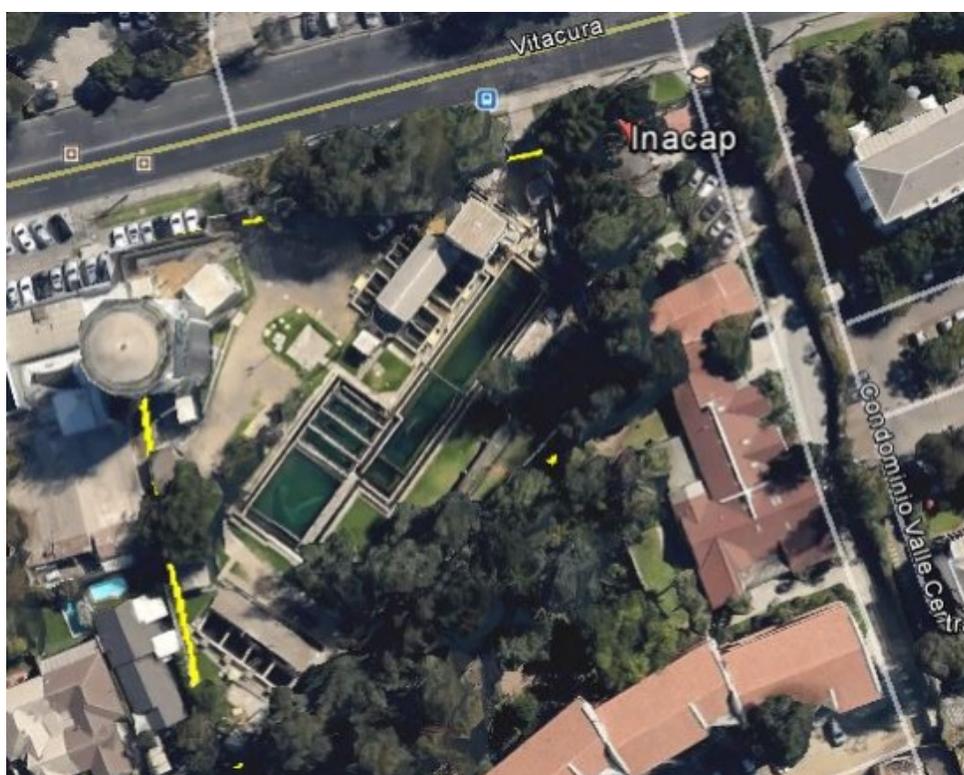


Figura 4.4: Imagen Satelital PTAP Vitacura (Fuente: Google Earth).

Una segunda opción es la construcción de una planta de tratamiento de arsénico en el sitio de la planta Vitacura. Para evaluar esta alternativa se consideraron las características del recinto San Antonio (Tabla 4.7), que es un recinto destinado al abatimiento del arsénico de las aguas subterráneas, para su potabilización. El recinto San Antonio utiliza una superficie

de 8.408 m<sup>2</sup> y posee un caudal de diseño de 500 l/s. Por lo tanto, este recinto ocupa una superficie mayor a la que posee el terreno en que se emplaza la planta Vitacura y un caudal de diseño menor al que se requiere tratar para esta alternativa (754 l/s); lo que no hace posible la construcción de un recinto similar a San Antonio.

Tabla 4.7: Características recinto San Antonio (Fuente: Osvaldo Rubilar).

<b>Caudal de diseño [l/s]</b>	500
<b>Superficie utilizada [m<sup>2</sup>]</b>	8.408
<b>Inversión [MM\$]</b>	5.770
<b>Costo operativo anual [MM\$]</b>	369

Adicionalmente, se evalúa una tercera opción; el tratamiento convencional de parte de los pozos en el recinto Vitacura y la descarga directa del resto de los pozos a los estanques Lo Gallo y Rosa Elena Kennedy, con el objetivo de reducir las concentraciones de arsénico mediante dilución. Los pozos considerados en el análisis son:

- Predecantadores 10, 11 y 12
- Lo Gallo 5, 3A y 4A
- Vitacura 1 y 2
- Lo Matta 7 y 8
- Campanario
- Rosa Elena Kennedy 11

Para incorporar el contenido de arsénico se utilizó el registro de muestras de arsénico del agua producida en las plantas y de los pozos analizados, esta información es proporcionada por ANAM y el periodo de las muestras es de enero 2015 a noviembre 2016. En el Anexo C se expone este registro y en la tabla 4.8 se muestran las concentraciones promedio y máxima de los pozos considerados en el análisis.

Tabla 4.8: Concentraciones de arsénico en pozos y salidas de plantas de tratamiento de agua potable (Fuente: Elaboración propia).

Punto de Muestreo	Concentración Promedio As [mg/l]	Concentración Máxima As [mg/l]
Pozo Vitacura 1	0,024	0,027
Pozo Vitacura 2	0,013	0,026
Pozo Lo Gallo 5	0,022	0,045
Pozo Lo Gallo 3A	-	-
Pozo Lo Gallo 4A	0,028	0,056
Pozo Predecantadoras 10	0,022	0,035
Pozo Predecantadoras 11	0,113	0,164
Pozo Predecantadoras 12	0,029	0,060
Pozo Villa Los Estanques	0,046	0,076
Filtros Kennedy - PTAP Vitacura	0,004	0,019
Estanque - PTAP Padre Hurtado	0,002	0,005
Agua Filtrada - PTAP San Enrique	0,001	0,003
Pozo Rosa Elena Kennedy 11	0,016	0,029
Pozo Rosa Elena Kennedy 12	-	-
Pozo Lo Matta 7	0,036	0,078
Pozo Lo Matta 8	0,009	0,031
Pozo Campanario	0,025	0,046

Para el análisis se considera la concentración máxima de arsénico en los pozos y el caudal de extracción según derechos de aprovechamiento, a partir de estos datos se estima la carga másica de arsénico (Tabla 4.9).

Se consideró además el aporte de agua potable existente proveniente de la planta Padre Hurtado y el aporte proyectado desde la planta San Enrique. El máximo aporte desde Padre Hurtado a los estanques Rosa Elena Kennedy 1 y 2 es de 600 l/s y al estanque Lo Gallo aproximadamente 1000 l/s. Mientras que el aporte de agua potable máximo proyectado desde la planta San Enrique es de 1.000 l/s, que se considera como un aporte al estanque Lo Gallo y que equivale a la producción actual de las plantas Lo Gallo y Vitacura.

En la Figura 4.5 se muestra un esquema de los estanques considerados para la dilución, los pozos que llegarían a éstos y los que serían tratados en la PTAP Vitacura, en el escenario más favorable; en este escenario se tratan los pozos con cargas de arsénico más altas en la planta Vitacura (Villa Los Estanques y Predecantadores 11) y se adopta como concentración del efluente las concentraciones existentes de la planta Vitacura.

Tabla 4.9: Concentración máxima de arsénico, caudal de extracción según derechos de aprovechamiento y carga másica de arsénico en pozos

Pto Muestreo	Caudal extracción [l/s]	Concentración Máxima As [mg/l]	Carga As [mg/s]
Vitacura 1	60	0,027	1,6
Vitacura 2	42	0,026	1,1
Lo Gallo 5	84	0,045	3,8
Lo Gallo 3A	90	0,045	4,1
Lo Gallo 4A	90	0,056	5,0
Predecantadoras 10	70	0,035	2,4
Predecantadoras 11	98	0,164	16,1
Predecantadoras 12	59	0,060	3,5
Villa Los Estanques	94	0,076	7,2
Pozo Rosa Elena Kennedy 11	35	0,029	1,0
Pozo Rosa Elena Kennedy 12	-	-	-
Pozo Lo Matta 7	30	0,078	2,3
Pozo Lo Matta 8	50	0,031	1,6
Pozo Campanario	70	0,046	3,2
<b>Total:</b>	<b>872</b>	<b>-</b>	<b>52,9</b>

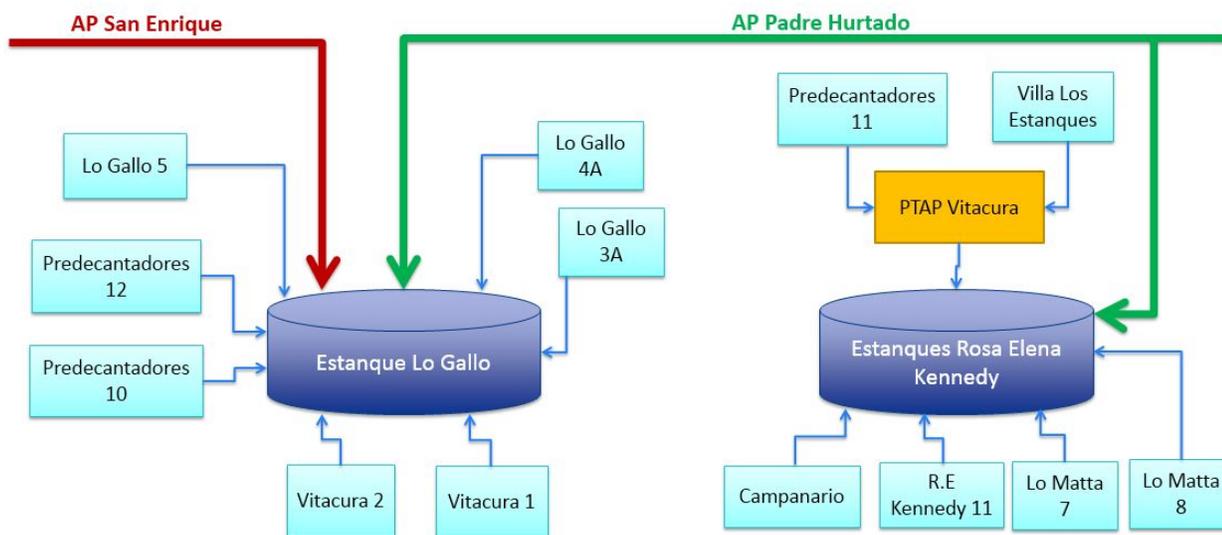


Figura 4.5: Esquema Configuración de uso de pozos (Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4.10: Estimación de concentraciones de arsénico en estanques Lo Gallo y Rosa Elena Kennedy realizando dilución de pozos (Fuente: Elaboración propia).

Estanque	Fuente	Caudal [l/s]	Concentración As [mg/l]	Carga [mg/s]	Carga total [mg/s]	Concentración As estanque [mg/l]
Estanque Lo Gallo	Salida PTAP San Enrique	1000	0,003	2,54	29	0,012
	Salida PTAP Padre Hurtado	1000	0,005	4,63		
	Pozo Vitacura 1	60	0,027	1,64		
	Pozo Vitacura 2	42	0,026	1,10		
	Pozo Lo Gallo 3A	90	0,045	4,07		
	Pozo Predecantadores 10	70	0,035	2,44		
	Pozo predecantadores 12	59	0,060	3,52		
	Pozo Lo Gallo 4A	90	0,056	5,01		
	Pozo Lo Gallo 5	84	0,045	3,80		
Estanques Rosa Elena Kennedy 1 y 2	Salida PTAP Vitacura	192	0,019	3,57	14,46	0,015
	Salida PTAP Padre Hurtado	600	0,005	2,78		
	Pozo Lo Matta 7	30	0,078	2,33		
	Pozo Lo Matta 8	50	0,031	1,57		
	Pozo Campanario	70	0,046	3,21		
	Pozo Rosa Elena Kennedy 11	35	0,029	1,00		
	Pozo Rosa Elena Kennedy 12	0	0,000	0,00		

Por lo tanto, según el análisis realizado para la configuración más favorable, no es posible utilizar todos los pozos en máxima capacidad ya que las diluciones no permiten obtener concentraciones menores a 0,01 mg/l en los estanques .

De acuerdo a lo expuesto, la alternativa de eliminación del recinto Lo Gallo y Predecantadores, con un acondicionamiento de la planta Vitacura no resulta posible por la limitación de espacio en la planta Vitacura para el tratamiento del caudal de aguas subterráneas. Tampoco resulta posible utilizar los pozos de estos recintos mediante dilución en los estanques. Por lo tanto, no es conveniente la eliminación de la planta Lo Gallo y el recinto Predecantadores por la necesidad de conservar los pozos que se tratan en estas plantas.

### 4.2.3. Eliminación del recinto Los Domínicos

Esta alternativa resulta ser factible según una evaluación técnica, por lo tanto, se realiza un análisis de oferta - demanda y se evalúa económicamente.

#### Resultados Balance Oferta-Demanda

El sector de distribución Los Domínicos (Sendero-Montecasino) posee dos fuentes de abas-

tecimiento; mediante la impulsión Las Flores que impulsa agua proveniente de la planta Padre Hurtado y mediante la producción de agua superficial en las plantas El Sendero y Montecasino. La impulsión Las Flores tiene una capacidad máxima de 400 l/s, mientras que las plantas El Sendero y Montecasino tienen una capacidad máxima de aproximadamente 450 l/s.

De acuerdo a lo expuesto en los planes de desarrollo, el sistema Domínicos-San Carlos presentará déficit de agua potable en el año 2023, por lo que se ha proyectado una ampliación de la PEAP Las Flores.

Por lo tanto, frente a la eliminación de las plantas El Sendero y Montecasino, el abastecimiento mediante la impulsión Las Flores sería insuficiente para cumplir con la demanda de este sector de distribución. De acuerdo a esto surgen dos opciones:

1. Aumento de producción en la planta San Enrique y conducción desde ésta al complejo Los Domínicos.
2. Aumento de capacidad en la impulsión Las Flores (Superior al considerado en los planes de desarrollo)

Entre estas opciones, el aumento de producción en la planta San Enrique y posterior conducción, posee ventajas sobre la segunda opción:

- Se debe realizar una solicitud a la DGA para el traslado de derechos superficiales de agua, desde la captación en el complejo Los Domínicos a la captación de la planta San Enrique, con el objetivo de tratar las aguas en éste último, esta alternativa permite conservar los derechos de agua otorgados en el canal el Bollo (en forma parcial o total), que resultan valiosos considerando las limitaciones en el suministro de agua cruda existentes en esta cuenca.
- Fortalecimiento del sistema, se privilegia la producción en la parte alta de la cuenca al optar por abastecimiento gravitacional y no depender de la impulsión Las Flores.
- Posibilidad de abastecer gravitacionalmente a los sectores Los Domínicos - San Carlos mediante derivaciones de la conducción principal.
- Aumento de caudal disponible para la dilución en el recinto San Antonio.

Por los motivos descritos, se evalúa el aumento de producción en la planta San Enrique y posterior conducción hacia el recinto Los Domínicos. Para la implementación de esta opción se requieren cuatro obras:

- Ampliación de la planta San Enrique en 500 l/s.
- Construcción de una conducción gravitacional de agua potable desde la planta San Enrique al complejo Los Domínicos.
- Construcción de un estanque de regulación de 10.000 m<sup>3</sup> en la planta San Enrique.
- Construcción de dos estanques de regulación de 20.000 m<sup>3</sup> en el complejo Los Domínicos.

**1. Ampliación de la planta San Enrique:** Si bien la producción máxima del complejo

Los Domínicos es de 450 l/s, se opta por realizar una ampliación en 500 l/s para duplicar la producción en San Enrique. Para producir los 50 l/s restantes se trasladan parte de los derechos existentes en el recinto Predecantadores.

Para la estimación del costo directo de ampliación de la planta San Enrique en 500 l/s, se utilizó la actualización (mediante precios unitarios) del presupuesto de construcción de la planta San Enrique, sin considerar el costo asociado a los edificios.

**2. Construcción de una conducción gravitacional de agua potable desde la planta San Enrique al complejo Los Domínicos:** Para valorizar esta conducción se utilizó el “Estudio de alternativas para el abastecimiento sector San Carlos de Apoquindo” realizado el año 2004 por IFARLE [10]. En dicho estudio se plantea una alternativa de conducción gravitacional desde la planta San Enrique hacia el Complejo Los Domínicos. Esta conducción comienza en la sentina de la planta San Enrique, siguiendo por el antiguo canal las Condes y la calle Pastor Fernández hasta la plaza San Enrique, siguiendo aproximadamente la dirección del canal El Bollo, hasta llegar al recinto Los Domínicos. Las aducciones mencionadas son San Enrique (Tramo 1), San Enrique-Los Domínicos (Tramo 3) y San Enrique-Montecasino (Tramo 4). El trazado de estas aducciones se muestra en la Figura 4.6.

A continuación se describen los trazados mencionados [10]:

- Aducción San Enrique (Tramo 1): Desde cámara de carga de planta elevadora ubicada en la planta San Enrique, cruzando el canal El Bollo, ubicándose al norte de éste siguiendo por antiguo canal Las Condes, hasta alcanzar la calle Pastor Fernández interior y luego siguiendo por esta hasta la plaza San Enrique.
- Aducción San Enrique - Los Domínicos (Tramo 3): Desde plaza San Enrique por calle San Enrique cruzando camino a Farellones, siguiendo por Av. El Monte, doblando por Av. La Quebrada, siguiendo luego por borde de canal El Bollo hasta Av. La Posada, para seguir por Av. Charles Hamilton hasta su fin siguiendo luego por borde de canal El Bollo hasta llegar al estanque del recinto Los Domínicos.
- Aducción Montecasino (Tramo 4): Desde tubería de conexión con planta elevadora San Carlos, por caminos interiores del recinto Los Domínicos, hasta el estanque Montecasino.

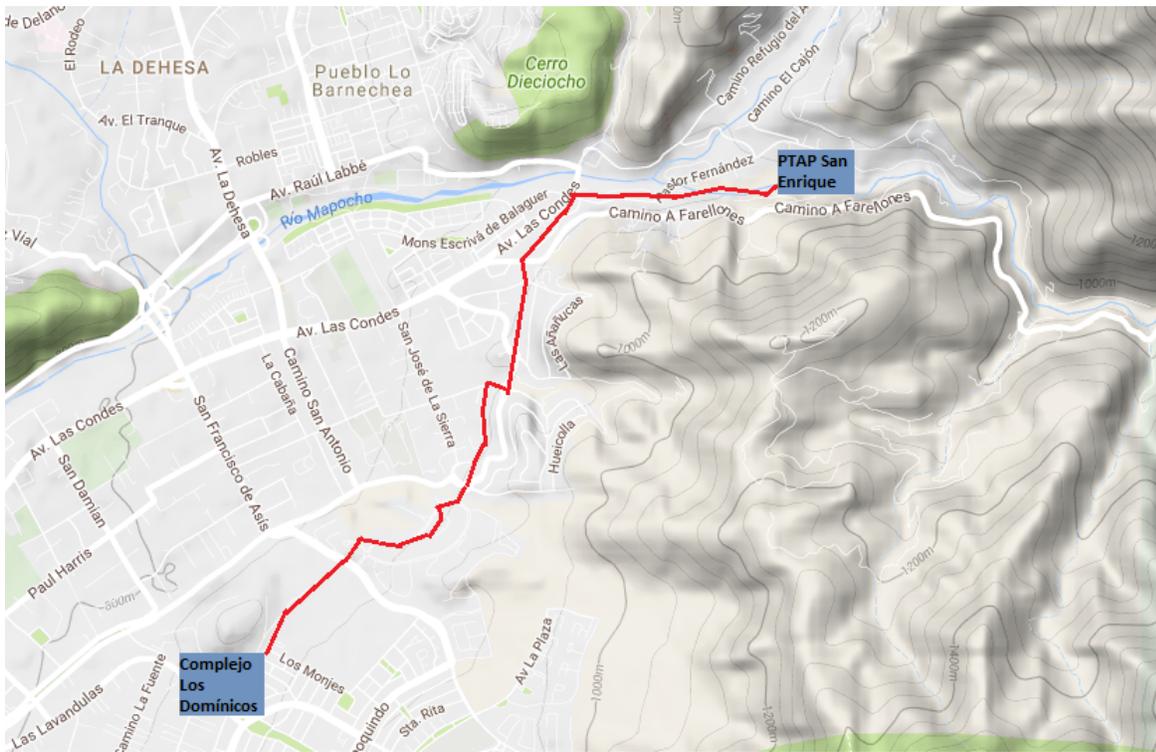


Figura 4.6: Trazado aproximado aducción desde PTAP San Enrique a complejo Los Domínicos (Fuente: Elaboración propia).

**3. Construcción de dos estanques de regulación de 20.000 m<sup>3</sup> en el complejo Los Domínicos y un estanque de regulación de 10.000 m<sup>3</sup> en la planta San Enrique:** Estos elementos surgen de la necesidad de mantener el volumen de regulación que proporcionan los tranques y disponer de aproximadamente 24 horas de tiempo de regulación para este sistema (J. Figueroa, Comunicación personal, Enero 2017). Dado que este sistema de distribución tiene una demanda de aproximadamente 600 l/s, el volumen de regulación requerido es aproximadamente 50.000 m<sup>3</sup>. El costo de los estanques fue proporcionado por la Subgerencia de Planificación Técnica. La construcción de los estanques puede ser evaluada en el sector de los tranques Mayor y Menor.

En la tabla 4.11 se expone el presupuesto de las obras descritas:

Tabla 4.11: Presupuesto inversiones requeridas frente a eliminación del recinto Los Domínicos.

Obra	Inversión [UF]
Ampliación PTAP San Enrique	151.534
Conducción (PTAP San Enrique-Sendero-Montecasino)	127.131
Construcción de un estanque V =10.000 m3	45.871
Construcción de dos estanques de V =20.000 m3	153.500
<b>Total:</b>	<b>478.037</b>

## Características del terreno en donde se emplaza el complejo Los Domínicos

El Complejo Los Domínicos se encuentra ubicado en la comuna de Lo Barnechea. La superficie total del terreno es de aproximadamente 72.000 m<sup>2</sup>.

El terreno posee dos usos de suelo: Equipamientos y parques intercomunales (Municipalidad de Las Condes, 2013. Certificado de informes previos). En la Figura 4.7 se muestra el área asociada a cada uso y en la Tabla 4.12 se muestra la estimación de la superficie asociada.



Figura 4.7: Delimitación Usos de Suelo complejo Los Dominicos (Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4.12: Estimación de superficie atribuida a usos de suelo – Complejo Los Domínicos (Fuente: Elaboración propia).

Área total [m <sup>2</sup> ]	72.000
Área uso Equipamiento [m <sup>2</sup> ]	29.243
Área uso Parques Intercomunales [m <sup>2</sup> ]	42.757

Para estimar el valor de tasación de este terreno se utilizaron dos fuentes de información: los boletines del año 2015 del estudio del mercado de suelo urbano (Trivelli P.) [11] y la infor-

mación de propiedades cercanas al complejo registrada en el sitio web Portal Inmobiliario [12].

El estudio del mercado de suelo inmobiliario se publica cada 3 meses, se elabora a partir de los terrenos en venta de cada sector de la Región Metropolitana, determinando el precio promedio asociado a rangos de superficie.

El terreno del Complejo Los Domínicos tiene una superficie total de 72.000 m<sup>2</sup>, en los boletines del estudio del mercado de suelo inmobiliario no existe una estimación para esta superficie, por lo tanto se consideró el precio asociado al rango 5.001-50.000 m<sup>2</sup> (Tabla 4.13), para este rango, el promedio de valores de los trimestres es de 16 UF/m<sup>2</sup>.

Tabla 4.13: Valores de tasación sector 135b (Fuente: Trivelli P., 2015. Boletines N°1, 2 y 3. Estudio del mercado de suelo urbano)

<b>Rango superficie [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Trimestre</b>	<b>Precio [UF/m<sup>2</sup>]</b>
1-1000	1	-
	2	-
	3	-
1001-5000	1	12,50
	2	11,45
	3	13,72
5.001-50.000	1	16,06
	2	16,05
	3	15,71
Más de 50.001	1	-
	2	-
	3	-

Adicionalmente, se realizó un catastro de las propiedades ubicadas en las cercanías del complejo Los Domínicos, a partir de la información del sitio web Portal Inmobiliario [12]. En la Figura 4.8 se muestran las propiedades registradas y en la Tabla 4.14 se muestran las superficies asociadas y valores unitarios.



Figura 4.8: Propiedades registradas cercanas al complejo Los Domínicos.

Tabla 4.14: Catastro de propiedades ubicadas en las cercanías del complejo Los Domínicos, superficie y precio unitario asociado (Fuente: Elaboración Propia).

N°	Ubicación	Superficie [m <sup>2</sup> ]	PU [UF/m <sup>2</sup> ]
1	Domínicos Antiguo	3.150	18
2	Montecasino - Otoñal	5.800	12
3	Montecasino /Camino Otoñal	3.850	16
4	Montecasino /Camino Otoñal	3.087	16
5	Montecasino /Camino Otoñal	2.500	16
6	Otoñal con Montecasino	2.520	16
7	Montecasino	3.000	18
8	Dominicos Antiguo/Las Condes	5.300	14
9	Dominicos Antiguo/Las Condes	3.000	14
10	Los Dominicos Antiguos/Las condes	5.289	14
11	Los Dominicos	5.250	18
12	Domínicos Antiguo	2.000	18
13	Camino Otoñal /Camino Las Flores	5.000	20
<b>Promedio:</b>			<b>16</b>

De acuerdo a las dos fuentes de información alternativas que se consideraron, el valor promedio de tasación de este terreno es de 16 UF/m<sup>2</sup>. En la práctica, el valor de compra de terrenos es menor al de venta, producto de la negociación que se genera en el proceso. Particularmente, puede estimarse el valor de compra como el 80 % del valor de venta (J. Alarcón, Comunicación personal, Diciembre 2016), con lo cual se obtiene un valor de compra de 12,8 UF/m<sup>2</sup> para este terreno. Se debe tener en cuenta que este valor se atribuye al uso habitacional, mientras que el terreno analizado tiene asociado usos menos valorados (Equipamiento y parques intercomunales), por lo que en la práctica, el valor de tasación será menor. En general, el uso comercial es el más atractivo, mientras que el uso de parques intercomunales es el menos valorado (J. Alarcón, Comunicación personal, Diciembre 2016). Para el desarrollo de este estudio se considerará despreciable el valor del terreno con uso de suelo de parques intercomunales.

La superficie asociada al uso de suelo de equipamiento es de 29.243 m<sup>2</sup>. Por otra parte, dado que se deben mantener los estanques interiores, se debe descontar la superficie que éstos utilizan. A partir de dichas consideraciones, se obtiene que la superficie enajenable asociada al uso equipamiento es de 24.053 m<sup>2</sup> (Tabla 4.15).

Tabla 4.15: Estimación del área enajenable con uso de suelo de equipamiento (Fuente: Elaboración propia).

Área total [m2]	72.000
Área con uso Equipamiento [m <sup>2</sup> ]	29.243
Área de elementos que se mantienen [m2]	5.189
Área restante [m <sup>2</sup> ]	24.053

### **Cronograma de implementación**

El primer paso para la implementación de la alternativa seleccionada es solicitar un servicio de tasación del terreno en donde se encuentra el recinto Los Domínicos.

La segunda medida será realizar una solicitud de traslado de derechos de agua de las acciones que posee la empresa en el canal el bollo (174,3 acciones de agua potable y 61,8 acciones de riego) y 70 acciones de agua potable desde la captación del recinto Predecantadores hacia la bocatoma de la planta San Enrique, en el río Mapocho.

Posteriormente, se debe continuar con la licitación de la ingeniería, que se puede realizar paralelamente para las tres obras contempladas en esta alternativa. Se estima que la licitación de la Ingeniería tardaría 2 meses para todas las obras (B. Trumper, Comunicación personal, Enero 2016).

Por otra parte se considera que la duración de la ingeniería y la licitación es de 6 y 3 me-



Al mantener la configuración actual del sistema, será necesario realizar mejoras en los recintos productivos para lograr un estándar más elevado en ellos. Para evaluar este escenario se considera el upgrade de plantas, en el cual establece un presupuesto de mejoras para cada recinto (Tabla 4.17), este presupuesto se considera como la inversión inicial de esta alternativa. Por otra parte, los costos anuales de operación y mantenimiento consideran insumos químicos, energía eléctrica, mantenimiento correctivo y preventivo. Además se considera que cada dos años se debe realizar limpieza en los tranques del recinto Los Domínicos con un costo de 1.050 millones de pesos (40.018 UF).

Tabla 4.17: Presupuesto upgrade de plantas (Fuente: Felipe Sánchez).

<b>Recinto</b>	<b>Inversión [UF]</b>
Arrayán	44.479
La Dehesa	59.567
Lo Gallo	48.009
Los Domínicos	68.638
Padre Hurtado	93.317
Predecantadores	14.874
Punta de Águilas	25.556
Quebrada Ramón	31.856
San Enrique	27.016
Vitacura	22.953
<b>Total:</b>	<b>436.264</b>

Al adoptar la alternativa de eliminación del complejo Los Domínicos, acorde al cronograma de implementación, en el año 2017 la inversión a realizar es el upgrade de plantas, descontando los costos asociados a mejoras en el recinto Los Domínicos. En el segundo año de evaluación (2018) comienza la construcción de la ampliación, la conducción y el estanque en San Enrique, las que una vez finalizadas permiten la construcción de los estanques en el recinto Los Domínicos en el año 2019. Los costos de estas obras se muestran en la Tabla 4.18. A partir del año 2020 se produciría una reducción en los costos operativos por el traslado de la producción del recinto Los Domínicos a la PTAP San Enrique y de mantenimiento producto del ahorro al no tener que realizar mantención en los tranques.

Tabla 4.18: Costos y año de ejecución adoptado de las obras necesarias para la eliminación del complejo Los Domínicos.

Año	Obra	Costo [UF]
2017	Upgrade recintos que se mantienen	367.626
2018	Ampliación PTAP San Enrique de 500 a 950 l/s (450 l/s)	324.537
	Conducción (PTA San Enrique-Los Domínicos)	
	Construcción de un estanque $V = 10.000 \text{ m}^3$ en San Enrique	
2019	Construcción de dos estanques de $V = 20.000 \text{ m}^3$ en Los Domínicos	153.500

El criterio de evaluación seleccionado es el Valor Actual Neto. Para el uso de este criterio se adoptó una tasa de descuento del 7% (La ley aun vigente establece un 7% de ganancias mínimas sobre activos para las empresas sanitarias) y un horizonte de evaluación hasta el año 2029. Además se consideró que el costo anual de operación aumenta a la misma tasa que lo hace la demanda media anual.

En la Tabla 4.19 se muestra la inversión considerando el cronograma (Figura 4.9), los costos anuales de operación y mantenimiento y el valor actual neto de costos para cada alternativa.

De acuerdo a lo expuesto en la tabla 4.19, la alternativa de eliminación del recinto Los Domínicos representa un costo mayor en comparación a la opción de mantener todos los recintos. Por lo tanto, para evaluar la eliminación se determina el valor de tasación mínimo del terreno tal que dicho costo adicional sea compensado. Dicho valor de tasación se estima como el cociente entre la diferencia de los VAN obtenidos en cada alternativa y el área enajenable del terreno (Tabla 4.19).

Tabla 4.19: Evaluación económica de alternativas y determinación del valor de tasación mínimo del terreno. Tasa de descuento utilizada: 7%. (Fuente: Elaboración propia).

Año	Situación Actual		Alternativa 3: Eliminación Complejo Los Domínicos	
	Inversiones [UF]	Costo anual O&M [UF]	Inversiones [UF]	Costo anual O&M [UF]
2017	436.264	89.939	367.626	89.939
2018		49.477	324.537	49.477
2019		89.928	153.500	89.928
2020		50.301		47.404
2021		90.732		47.793
2022		51.105		48.162
2023		91.414		48.436
2024		51.630		48.657
2025		91.843		48.840
2026		51.937		48.946
2027		92.069		49.053
2028		52.146		49.142
2029		92.219		49.194
VAN Costos	1.085.000		1.316.976	
Diferencia VAN Costos [UF]	231.976			
Área enajenable [m2]	24.053			
Valor mínimo tasación terreno [UF/m2]	9,6			

Las implicancias de esta alternativa son:

- Facilitar la gestión del sistema al tener un menor número de plantas.
- Fortalecimiento de la producción en la parte alta de la cuenca.
- Posibilidad de contar con una producción adicional para realizar dilución en el recinto San Antonio.
- Eliminar el riesgo de contaminación actual en el canal El Bollo
- Riesgo de reducción en los derechos de agua por parte de la Dirección General de Aguas, por efecto del traslado de derechos.
- Posibilidad de abastecer gravitacionalmente a la parte alta del sector Los Domínicos – San Carlos mediante derivaciones de la conducción gravitacional San Enrique – Los Domínicos.

### 4.3. Selección de solución óptima

A partir de la evaluación realizada, se determina que la alternativa de eliminación del complejo Los Domínicos es la única factible entre las planteadas.

Para obtener beneficios económicos, el terreno en que se emplaza el complejo debe ser tasado en un valor superior a  $9,6 \text{ UF/m}^2$ .

Para la implementación de esta alternativa, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Tasación del terreno en que se emplaza el Complejo Los Domínicos.
2. Solicitud de traslado de derechos de agua desde el canal El Bollo hacia la captación de la planta San Enrique.
3. Solicitud de traslado de derechos de agua desde captación del recinto Predecantadores hacia la captación de la planta San Enrique.
4. Solicitud de estudios de ingeniería de los estanques, la conducción San Enrique- Los Domínicos y la ampliación de la planta San Enrique.

# Capítulo 5

## Conclusiones

El sistema de producción Mapocho presenta plantas con variados problemas de infraestructura y operación. Los recintos que presentan más problemas en su infraestructura son el complejo Los Domínicos, la planta Vitacura y la planta la Dehesa, estas dos últimas además presentan gastos de mantenimiento por volumen de producción más altos. En relación a los gastos de operación (Insumos químicos y energía eléctrica), las plantas Punta de Águilas, Los Domínicos y La Dehesa presentan los costos más elevados por volumen de producción. En relación a la dificultad de la operación, los recintos Lo Gallo, Vitacura y Los Domínicos son los que presentan una mayor complejidad.

La evaluación de la racionalización de plantas considera diversos aspectos: las posibilidades de abastecer entre los distintos sectores, las características de los terrenos, la existencia de pozos, las características de las fuentes de abastecimiento, etc.

De acuerdo a la evaluación realizada, la opción de eliminación del tranque y la planta La Dehesa se descarta, ya que el tranque es un elemento de seguridad y de regulación de crecidas. Además, al eliminar el efecto de acumulación del tranque, los derechos eventuales que posee la empresa en el canal La Poza pierden valor, por lo que frente a la eliminación de este recinto es necesario compensar la producción en otra planta, lo cual no es posible por limitaciones de derechos de agua y espacio. Adicionalmente, no es posible enajenar terrenos ya que Aguas Cordillera solo es propietario de una porción del tranque.

En relación a la eliminación del recinto Predecantadores y la planta Lo Gallo, la alternativa no es conveniente debido a la importancia de los pozos que se encuentran ubicados en estas plantas, que resultan fundamentales para cumplir la demanda en escenarios de emergencia o escasez, los cuales no podrían ser tratados si sólo se mantiene la planta Vitacura. Además, la opción de utilizar estos pozos mediante dilución no es factible si se conservan todos ellos, ya que no es posible producir concentraciones de arsénico inferiores al límite de la Norma Chilena NCh409 en los estanques.

La única alternativa factible es la eliminación del complejo Los Domínicos. Si se adopta la alternativa se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La eliminación del complejo representa una inversión inicial mayor y costos de operación y mantenimiento menores, en comparación a la alternativa de mantener los recintos actuales. Esta disminución de costos se debe principalmente a que al eliminar el recinto, no se considera el costo asociado a la limpieza de los tranques.
- Para su implementación, será necesaria la ampliación en la planta San Enrique, la construcción de una conducción entre la planta San Enrique y el complejo Los Domínicos, la construcción de un estanque en la planta San Enrique y dos estanques en el complejo Los Domínicos, con el objetivo de mantener el volumen de reserva en el sistema.
- Al realizar una solicitud de traslado de derechos de agua, la Dirección General de Aguas podría reducir la cantidad original de derechos para el cumplimiento del caudal ecológico en los cauces. Actualmente no se ha establecido claramente cuantos derechos podrían perderse y no se tiene conocimiento sobre cuánto podría tardar esta tramitación (V. Abiuso, Comunicación personal, Septiembre 2016).
- El valor del terreno está influenciado por varios factores: la ubicación, el uso de suelo, la superficie, entorno y servicios en la zona (J. Alarcón, Comunicación personal, Septiembre 2016). Es por ello que se recomienda solicitar un servicio de tasación de inmuebles como primera medida para la continuación del plan de racionalización.
- Una ventaja adicional de la alternativa de eliminación del complejo Los Domínicos es que al contar con la conducción desde la planta San Enrique al Complejo Los Domínicos se podrían hacer derivaciones que permitan abastecer gravitacionalmente a la parte alta del sector Los Domínicos - San Carlos, reduciendo costos asociados a la impulsión.

# Bibliografía

- [1] GRUPO AGUAS, *Plan General de Producción*, Santiago, Chile, 2004.
- [2] GRUPO AGUAS, *Plan General de Producción y transporte (Actualización 2011)*, Santiago, Chile, 2011.
- [3] DICTUC, *Estudio hidrológico de fuentes superficiales del Grupo Aguas*, Santiago, Chile, 2013.
- [4] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (CHILE), *Agua Potable - Parte 1: Requisitos*, NCh409 /1.Of. 2005, Santiago, Chile, 2005.
- [5] GRUPO AGUAS, *Actualización Plan de Desarrollo Aguas Cordillera*, Santiago, Chile, 2014.
- [6] GRUPO AGUAS, *Actualización Plan de Desarrollo Aguas Manquehue*, Santiago, Chile, 2014.
- [7] GRUPO AGUAS, *Actualización Plan de Desarrollo Sistema Gran Santiago*, Santiago, Chile, 2015.
- [8] AQUALOGY, *Tranque La Dehesa*, Santiago, Chile, 2012.
- [9] INGENDESA, *Proyecto modificación tranque La Dehesa*, Santiago, Chile, 2005.
- [10] IFARLE, *Estudio de alternativas para el abastecimiento sector San Carlos de Apoquindo*, Santiago, Chile, 2004.
- [11] TRIVELLI, P., *Boletines Mercado del suelo Urbano - Área metropolitana de Santiago.*, Santiago, Chile, 2015.
- [12] PORTAL INMOBILIARIO, [En línea] <http://www.portalinmobiliario.com>. [consulta : 29 diciembre 2016]

# Anexos

# Anexo A

## Productos no conformes generados en las plantas de tratamiento de agua potable del sistema de producción Mapocho

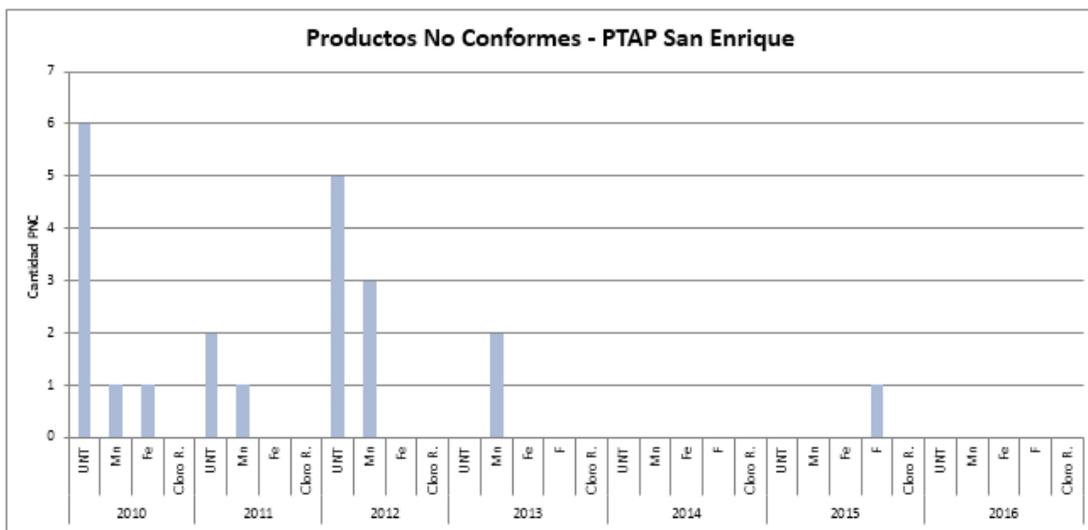


Figura A.1: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP San Enrique.

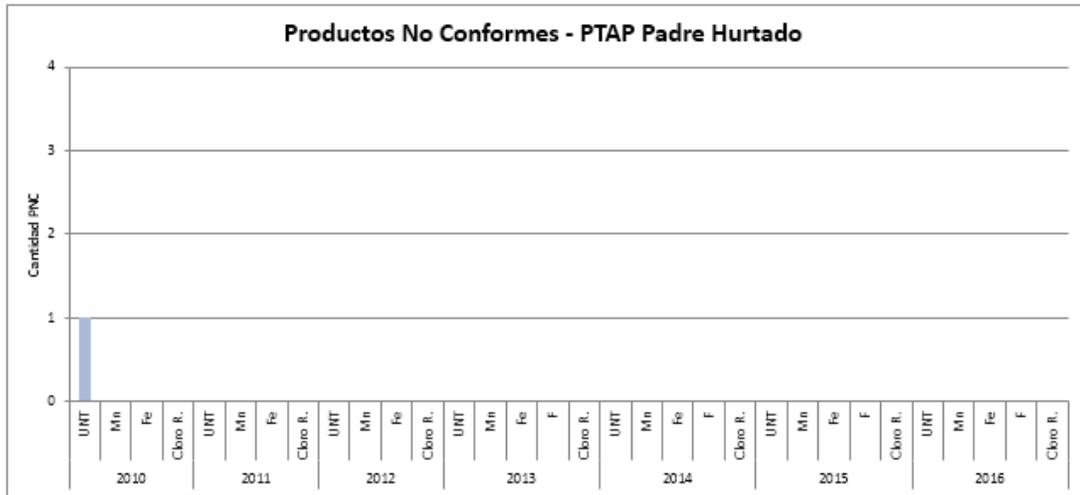


Figura A.2: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Padre Hurtado.

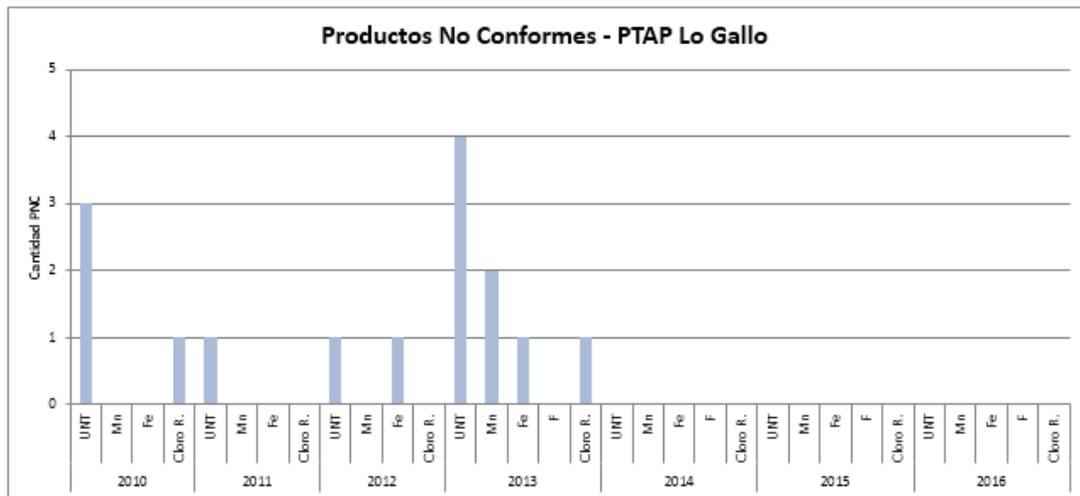


Figura A.3: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Lo Gallo.

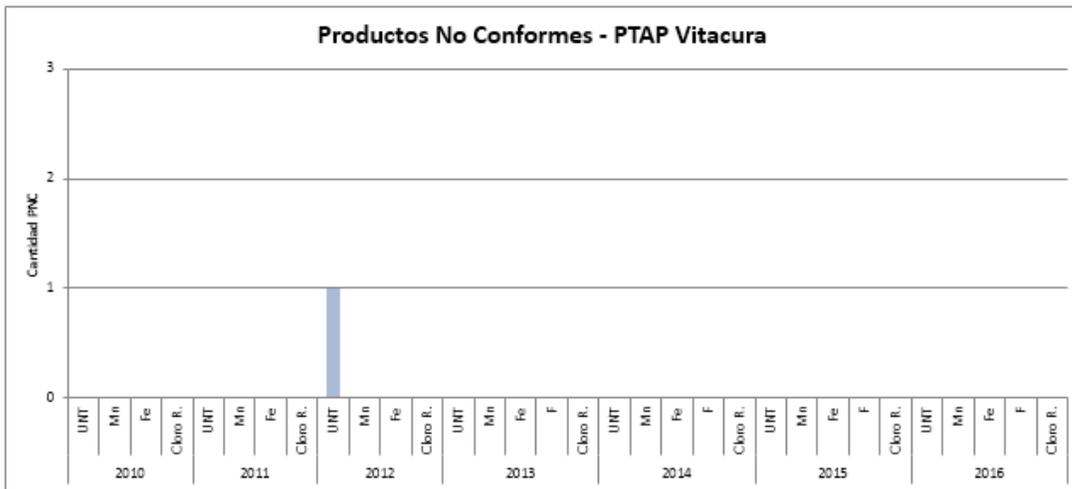


Figura A.4: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Vitacura .

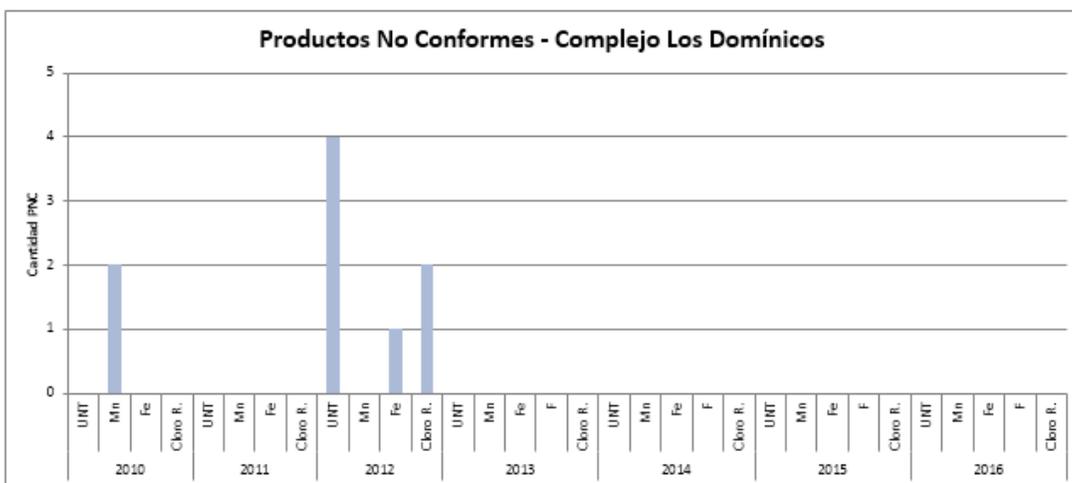


Figura A.5: Productos no conformes (2010-2016) - Complejo Los Domínicos.

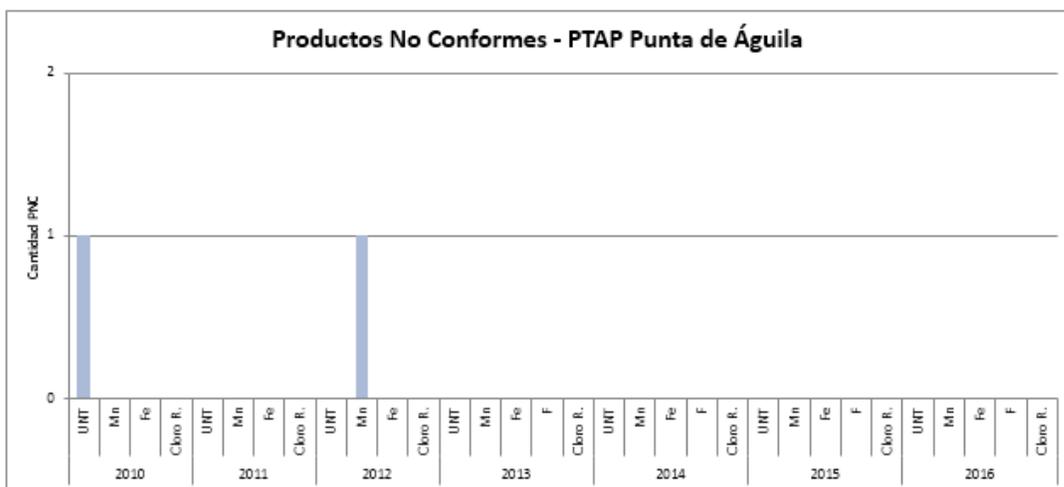


Figura A.6: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Punta de Águilas.

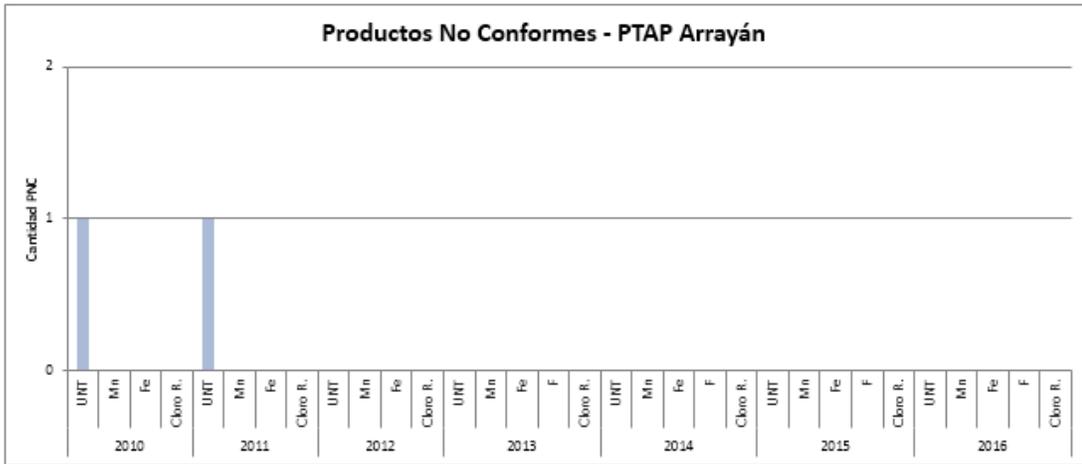


Figura A.7: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Arrayán.

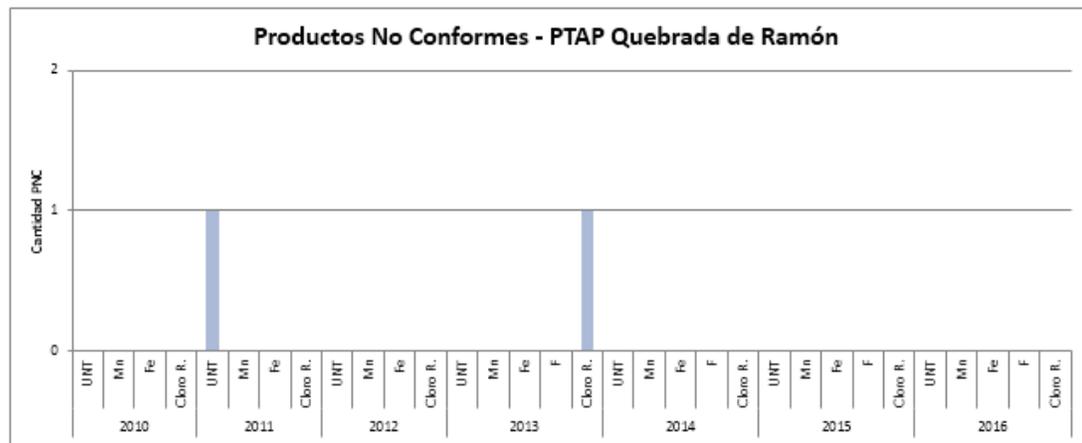


Figura A.8: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP Quebrada de Ramón.

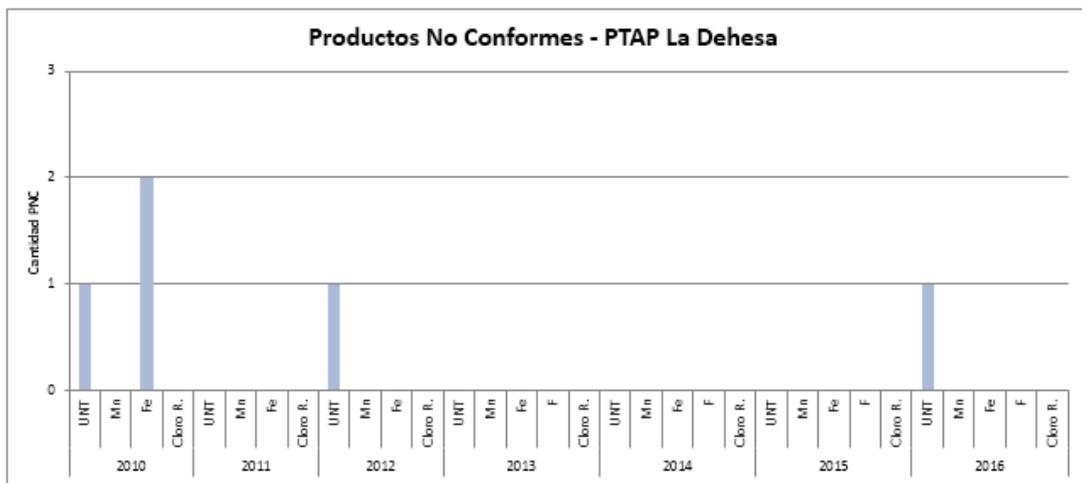


Figura A.9: Productos no conformes (2010-2016) - PTAP La Dehesa.

## Anexo B

# Presupuesto Inversiones Modificación Tranque La Dehesa

### B.1. Modificación Tranque La Dehesa

En las Tablas B.1, B.2 y B.3 se muestra la conversión a UF del presupuesto estimado para las obras que se deben realizar en el tranque La Dehesa, según el Proyecto modificación tranque La Dehesa. El valor de la UF considerado para Agosto de 2003 es de \$16.935 que corresponde al promedio mensual de la UF diaria para ese mes (Sistema de Impuestos Internos. (10/2016). Recuperado de: <http://www.sii.cl/pagina/valores/uf/>).

Tabla B.1: Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modificación tranque La Dehesa, 2005)

Item	Unidad	Cantidad	Precio evaluación original (Agosto 2003)	Precio [UF]
<b>A Obras acondicionamiento tranque La Dehesa</b>				
1 Excavaciones abiertas				
1.1 Escarpe	m3	23000	\$ 43.700.000	2580
1.2 Excavación material común	m3	40025	\$ 61.998.725	3661
2 Rellenos				
2.1 Carpeta granular de rodado	m3	885	\$ 10.090.770	596
2.2 Rellenos compactados	m3	145000	\$ 449.210.000	26526
2.3 Terraplen especial	m3	13000	\$ 97.461.000	5755
2.4 Enrocado sin consolidar	m3	2800	\$ 49.884.800	2946
3 Geotextil	m2	53000	\$ 60.950.000	3599
4 Misceláneos				
4.1 Baranda peatonal galvanizada (L=530 m)	kg	12215	\$ 29.010.625	1713
4.2 Hormigó H-25	m3	85	\$ 12.476.385	737
4.3 Cemento	kg	25500	\$ 2.677.500	158
4.4 Armadura A 63-42H	kg	5900	\$ 3.699.300	218
4.5 Tubos PVC (d=2") (d=50,8 mm)	m	45	\$ 76.950	5
<b>Subtotal A</b>			<b>\$ 821.236.055</b>	<b>48494</b>
<b>B Vertedero</b>				
1 Excavación en material común	m3	9030	\$ 22.132.530	1307
2 Rellenos				
Carpeta granular de rodado	m3	34	\$ 387.668	23
2.1 Relleno estructural	m3	1420	\$ 14.814.860	875
2.2 Enrocado consolidado Wc=100 kg	m3	190	\$ 8.846.020	522
2.3 Reposición enrocado existente	m3	180	\$ 8.380.440	495
2.4 Relleno impermeable compactado contra estructura	m3	960	\$ 11.016.960	651
3 Hormigón				
3.1 Hormigó H-25	m3	650	\$ 55.497.650	3277
3.2 Hormigó H-20 (cunetas y diente)	m3	16	\$ 2.493.984	147
3.3 Cemento	kg	199000	\$ 20.895.000	1234
3.4 Armadura A 63-42H	kg	45770	\$ 28.697.790	1695
4 Misceláneos				
4.1 Tubería de PVC D=2"	m	7	\$ 11.970	1
4.2 Lámina de estanquidad	m	100	\$ 1.172.500	69
4.3 Baranda peatonal galvanizada	kg	2220	\$ 5.272.500	311
<b>Subtotal B</b>			<b>\$ 179.619.872</b>	<b>10607</b>

Tabla B.2: Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modificación tranque La Dehesa, 2005)

<b>C</b>	<b>Entubamiento quebrada El Manzano</b>				
1	Excavación en material común	m3	3110	\$ 7.622.610	450
2	Rellenos				
2.1	Rellenos estructural	m3	2585	\$ 26.969.305	1593
2.2	Rellenos compactados contraestructura cámara de inspección	m3	410	\$ 1.947.910	115
2.3	Rellenos de arena	m3	146	\$ 820.082	48
2.4	Enrocado consolidado Wc=500 kg	m3	36	\$ 1.745.172	103
3	Hormigón				
3.1	Hormigó H-25	m3	38	\$ 5.577.678	329
3.2	Hormigó H-30	m3	6	\$ 935.244	55
3.3	Cemento	kg	13500	\$ 1.417.500	84
3.4	Armadura A 63-42H	kg	2000	\$ 1.254.000	74
4	Tuberías				
4.1	Tubería armada D=1,60 m	m	163	\$ 38.719.020	2286
4.2	Tubería de PVC D=4"	m	3	\$ 7.410	
5	Elementos metálicos				
5.1	Barrotes D=22 mm	kg	35	\$ 49.875	3
5.2	Acero fundido	kg	87	\$ 247.950	15
5.3	Escalines galvanizados	kg	66	\$ 226.380	13
<b>Subtotal C</b>				<b>\$ 87.540.136</b>	<b>5169</b>

Tabla B.3: Presupuesto obras modificación tranque La Dehesa (Fuente: Proyecto modificación tranque La Dehesa, 2005)

<b>D</b>	<b>Entubamiento quebrada Las Quiscas</b>				
1	Excavación en material común	m3	1669	\$ 4.090.719	242
2	Rellenos				
2.1	Rellenos estructural	m3	1000	\$ 10.433.000	616
2.2	Rellenos compactados contraestructura cámara de inspección	m3	320	\$ 1.520.320	90
2.3	Rellenos de arena	m3	120	\$ 674.040	40
2.4	Enrocado consolidado Wc=500 kg	m3	25	\$ 1.130.925	67
3	Hormigón				
3.1	Hormigó H-25	m3	80	\$ 11.742.480	693
3.2	Hormigó H-30	m3	6	\$ 935.244	55
3.3	Cemento	kg	26100	\$ 2.740.500	162
3.4	Armadura A 63-42H	kg	5382	\$ 3.374.514	199
4	Tuberías				
4.1	Tubería armada D=1,60 m	m	160	\$ 21.283.680	1257
4.2	Tubería de PVC D=4"	m	6	\$ 14.820	1
5	Elementos metálicos				
5.1	Acero fundido	kg	290	\$ 826.500	49
5.2	Escalines galvanizados	kg	157	\$ 538.510	32
<b>Subtotal D</b>				<b>\$ 59.305.252</b>	<b>3502</b>
<b>Precio Total</b>				<b>\$ 1.147.701.315</b>	<b>67.772</b>

## B.2. Limpieza Tranque La Dehesa

La estimación del costo del tranque La Dehesa se realiza a partir del costo de la limpieza del tranque Mayor del recinto Los Domínicos, el precio unitario ofrecido por la empresa que se adjudicó dicha limpieza fue 0,97 UF aproximadamente (Informe Adjudicación Limpieza Tranque Los Domínicos, Enero 2015).

Se determina el cambio de capacidad que ha sufrido el tranque, que se atribuye a la acumulación de sedimentos. El cambio de volumen se estima identificando el volumen asociado a una misma cota, desde el año 2003 a la actualidad. Dado que no se ha realizado la batimetría del tranque durante los últimos años, se considera la curva característica más reciente (2008). A partir de las diferencias de volumen y utilizando el precio unitario para la limpieza, se estima el costo total de la limpieza del tranque La Dehesa (Tabla B.4).

Tabla B.4: Estimación del costo de limpieza del tranque La Dehesa

<b>Año</b>	<b>Volumen [m3]</b>	<b>Diferencia [m3]</b>	<b>Costo [UF]</b>
2003	300.000	65.263	63.345
2008	234.737		

## Anexo C

# Concentraciones de arsénico en pozos y efluentes de PTAP

### C.1. Concentraciones de arsénico en pozos de recintos Lo Gallo, Predecantadores y Vitacura

A continuación se presentan los registros históricos de concentraciones de arsénico en los pozos ubicados en el recinto predecantadores y las plantas Lo Gallo y Vitacura.

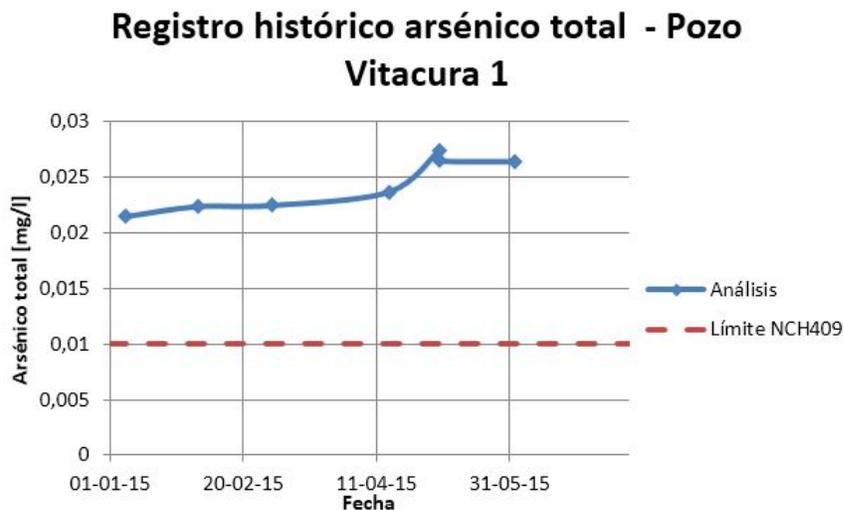


Figura C.1: Concentraciones históricas de arsénico en pozo .

### Registro histórico arsénico total - Pozo Vitacura 2

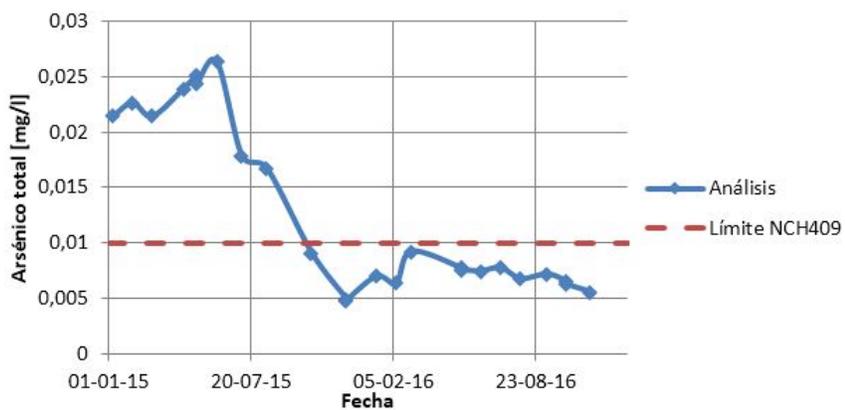


Figura C.2: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Vitacura 2 .

### Registro histórico arsénico total - Pozo Lo Gallo 4A

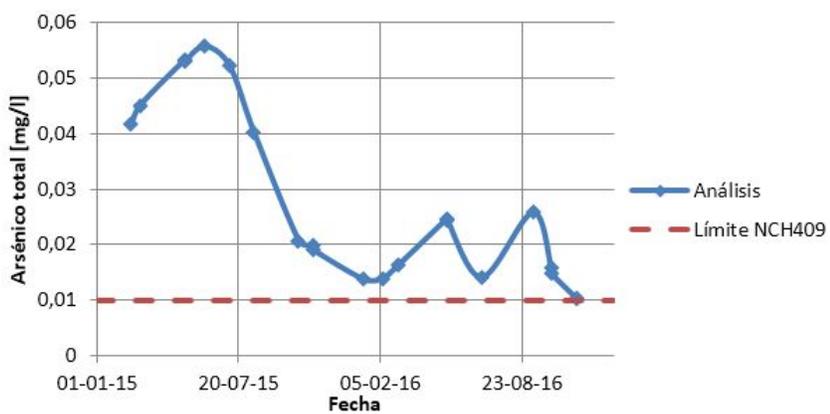


Figura C.3: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Gallo 4A .





Figura C.6: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Predecantadores 11.



Figura C.7: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Predecantadores 12.

### Registro histórico arsénico total - Pozo Villa Los Estanques

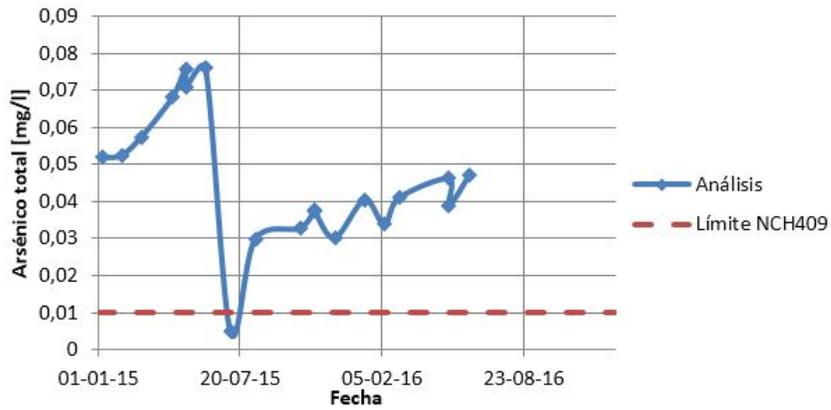


Figura C.8: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Villa Los Estanques.

### Registro histórico arsénico total - Pozo Rosa Elena Kennedy

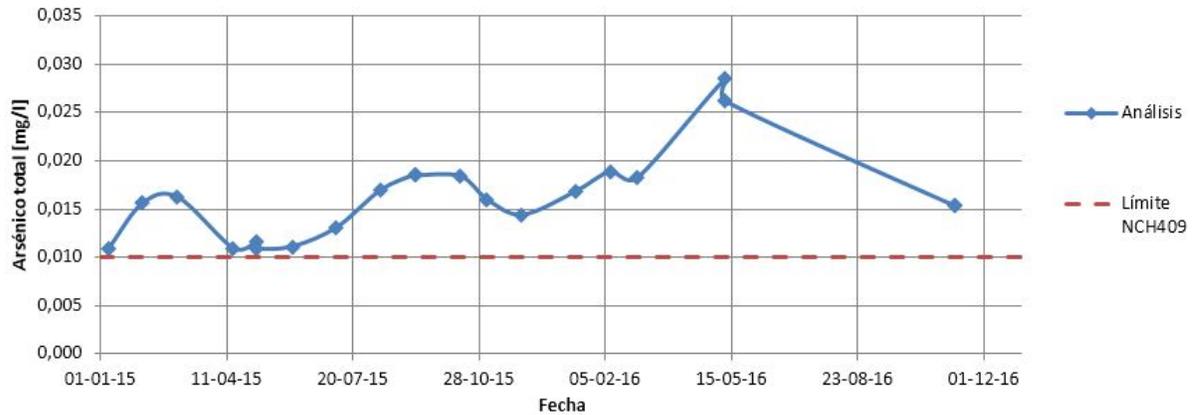


Figura C.9: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Rosa Elena Kennedy 11.

### Registro histórico arsénico total - Pozo Lo Matta 7

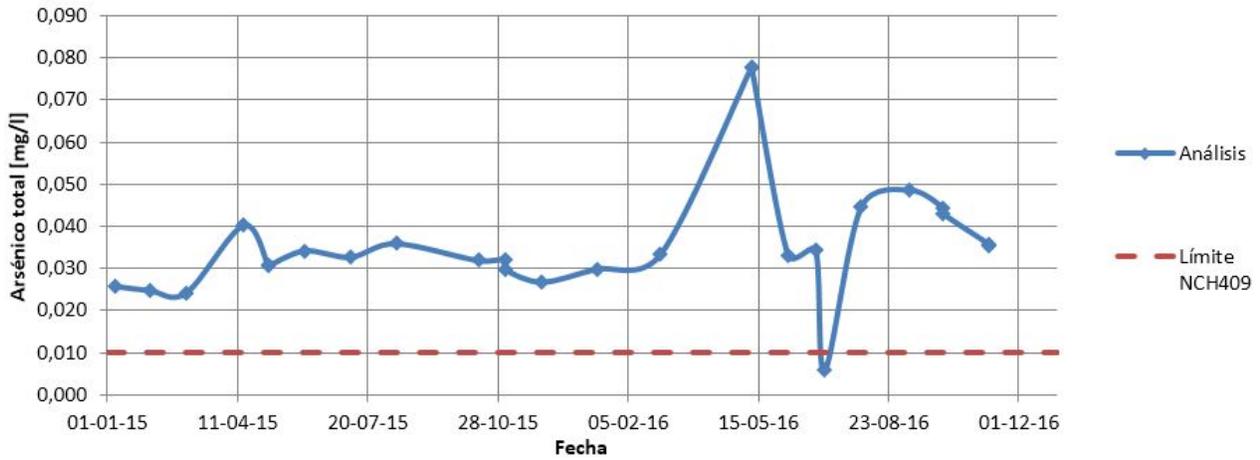


Figura C.10: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Matta 7.

### Registro histórico arsénico total - Pozo Lo Matta 8

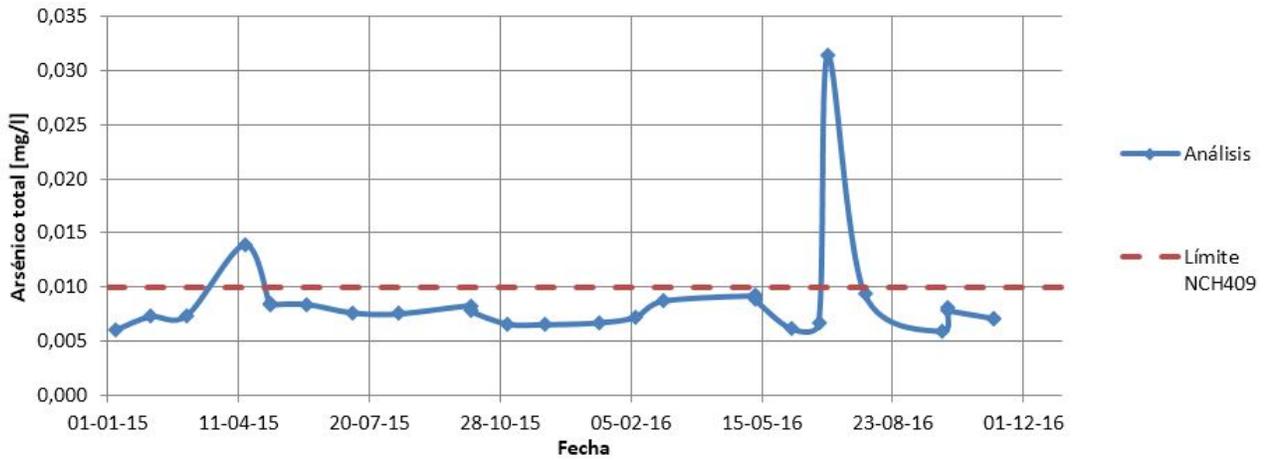


Figura C.11: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Lo Matta 8.

### Registro histórico arsénico total - Pozo Campanario

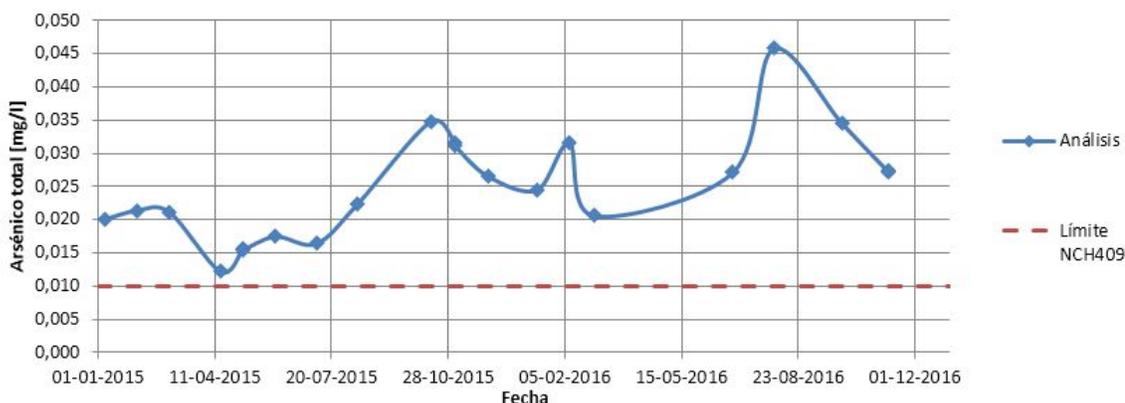


Figura C.12: Concentraciones históricas de arsénico en pozo Campanario.

## C.2. Concentraciones de arsénico en efluentes de PTAP Padre Hurtado, Vitacura y San Enrique

A continuación se presentan los registros de concentración de arsénico en el agua producida en las plantas Vitacura, Padre Hurtado y San Enrique.

Particularmente en la planta Vitacura, se han registrado concentraciones que exceden la Norma Chilena de Agua Potable (NCh409). Esto se debe a que cuando se tratan únicamente aguas subterráneas en esta planta resulta difícil remover el arsénico. Estos muestreos podrían o no haber sido reflejados en los incumplimientos normativos, dependiendo si la SISS se encontraba fiscalizando al momento en que se producen estas concentraciones.

### Registro histórico arsénico total - Filtros Kennedy PTAP Vitacura

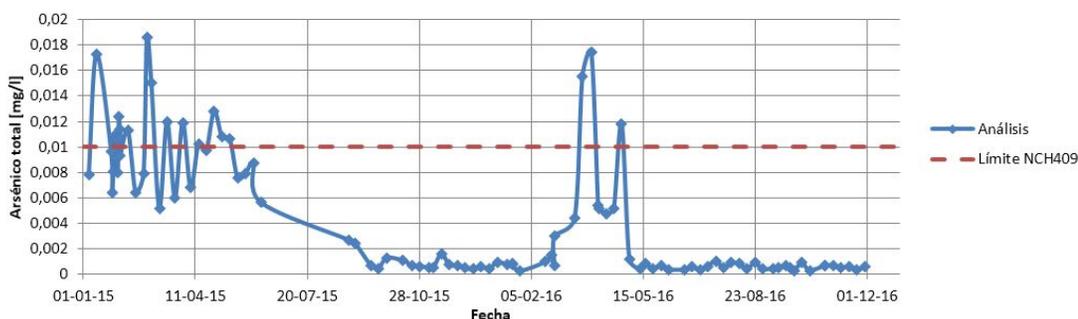


Figura C.13: Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP Vitacura.

### Registro histórico arsénico total - Agua Filtrada San Enrique

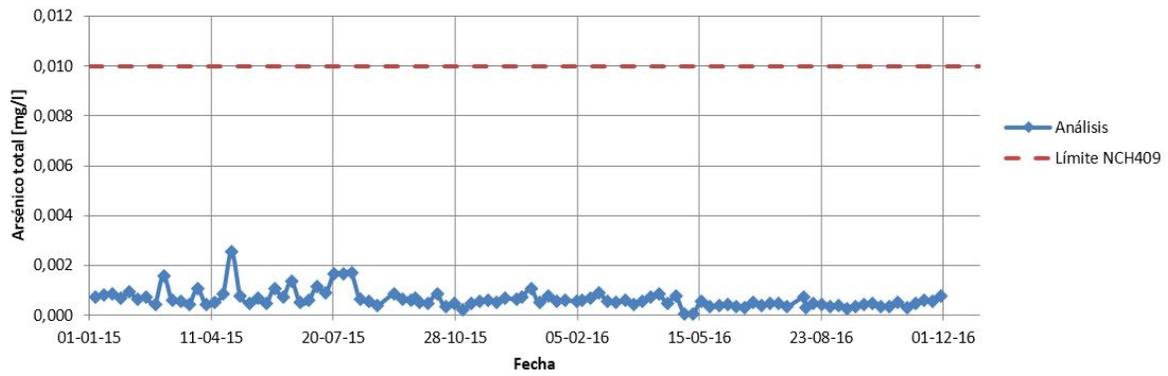


Figura C.14: Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP San Enrique.

### Registro histórico arsénico total - Estanque PTAP Padre Hurtado

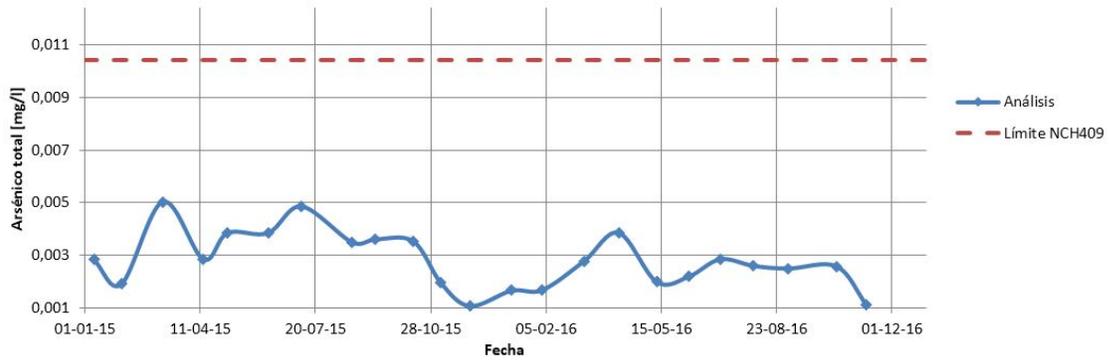


Figura C.15: Concentraciones históricas de arsénico en efluente PTAP Padre Hurtado.

## Anexo D

# Presupuesto Inversiones Eliminación Complejo Los Domínicos

### D.1. Presupuesto construcción ampliación PTAP San Enrique

El costo de la ampliación de la planta San Enrique fue considerado como el costo de la construcción de esta planta. Para ello se utilizaron los ítem considerados en el diseño original de la planta, pero con un presupuesto actualizado según precios unitarios (Fuente: Gerardo Ahumada). En la tabla D.1 se muestra el presupuesto actualizado según precios unitarios y el presupuesto considerado en este análisis, en el cual no se consideran las edificaciones existentes.

Tabla D.1: Presupuesto construcción PTAP San Enrique (Presupuesto actualizado por precios unitarios y presupuesto sin considerar edificios existentes).

Item	Presupuesto original [UF]	Presupuesto modificado [UF]
Mov. Tierra	17.477	17.477
OCC	64.390	56.741
Tuberías	5.470	5.470
Ins. Eléctricas	415	415
Ins. Control	977	977
Equipos	70.454	70.454
<b>TOTAL</b>	<b>159.183</b>	<b>151.534</b>

## D.2. Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos

El presupuesto de la conducción que une a la planta San Enrique con el recinto Los Domínicos se obtuvo del “Estudio de alternativas para el abastecimiento sector San Carlos de Apoquindo”, en dicho estudio se expone el presupuesto en pesos, esta valorización se realizó en agosto del año 2003, por lo que se realiza una conversión a UF, considerando el valor de \$16.935 que corresponde al promedio mensual de la UF diaria para ese mes (Sistema de Impuestos Internos. (10/2016). Recuperado de: <http://www.sii.cl/pagina/valores/uf/>).

Tabla D.2: Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos (Fuente: Estudio de alternativas para el abastecimiento sector San Carlos de Apoquindo, 2004)

Presupuesto 2004 [\$]				
Item	San Enrique	Los Domínicos	Montecasino	Total
Movimiento de tierras	\$ 90.591.683	\$ 160.236.995	\$ 2.780.828	\$ 253.609.506
Suministro, instalación y prueba de cañerías y piezas especiales	\$ 538.021.758	\$ 1.031.405.348	\$ 58.447.120	\$ 1.627.874.226
Obras especiales	\$ 79.045.616	\$ 183.916.864	\$ 2.503.644	\$ 265.466.124
Instalación faenas	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000	\$ 1.000.000	\$ 4.000.000
Reposición de condiciones iniciales de terreno	\$ 500.000	\$ 1.000.000	\$ 500.000	\$ 2.000.000
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 709.159.057</b>	<b>\$ 1.378.559.207</b>	<b>\$ 65.231.592</b>	<b>\$ 2.152.949.856</b>

Tabla D.3: Presupuesto conducción San Enrique - Los Domínicos (Conversión a UF)

Presupuesto [UF]				
Item	San Enrique	Los Domínicos	Montecasino	Total
Movimiento de tierras	5.349	9.462	164	14.976
Suministro, instalación y prueba de cañerías y piezas especiales	31.770	60.904	3.451	96.126
Obras especiales	4.668	10.860	148	15.676
Instalación faenas	59	118	59	236
Reposición de condiciones iniciales de terreno	30	59	30	118
<b>Subtotal</b>	<b>41.876</b>	<b>81.404</b>	<b>3.852</b>	<b>127.131</b>

# Anexo E

## Catastro de propiedades en venta cercanas al complejo Los Domínicos

Tabla E.1: Catastro propiedades en venta cercanas al recinto Los Domínicos (Fuente: Portal Inmobiliario).

$N^{circ}$	Ubicación	Superficie [m2]	PU [UF/m2]	Código	Fecha consulta
1	Domínicos Antiguo	3.150	18	2685231	29-12-2016
2	Montecasino - Otoñal	5.800	12	1942010	29-12-2016
3	Montecasino /Camino Otoñal	3.850	16	2501030	29-12-2016
4	Montecasino /Camino Otoñal	3.087	16	3105354	29-12-2016
5	Montecasino /Camino Otoñal	2.500	16	2501028	29-12-2016
6	Otoñal con Montecasino	2.520	16	2501028	29-12-2016
7	Montecasino	3.000	18	3084621	29-12-2016
8	Dominicos Antiguo/Las Condes	5.300	14	3091943	29-12-2016
9	Dominicos Antiguo/Las Condes	3.000	14	3091948	29-12-2016
10	Los Dominicos Antiguos/Las condes	5.289	14	3091951	29-12-2016
11	Los Dominicos	5.250	18	1396818	29-12-2016
12	Domínicos Antiguo	2.000	18	3082614	29-12-2016
13	Camino Otoñal /Camino Las Flores	5.000	20	1816838	29-12-2016