



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

# **EVALUACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA OCURRIDAS EN LA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE NOGALES**

Habilitación presentada para optar al título de  
**Ingeniero Ambiental**

**Pamela Graciela Granifo Roudergue**  
**Profesor Guía: Ana Carolina Baeza**

Concepción, Chile

2019

**“Evaluación de las pérdidas de agua ocurridas en la producción y distribución de agua potable en el sistema de Tratamiento de Agua Potable Nogales”**

**PROFESOR GUÍA:** Dra. Carolina Baeza Freer

**PROFESOR CO - GUÍA:** Dra. Patricia González Sánchez

**PROFESOR COMISIÓN:** Mg. Paula Nieto Pino



**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima ( En Escala de 5,7 a 7,0)

**Concepción, abril 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
2.1.1. Objetivo general.....	3
2.1.2. Objetivo específico.....	3
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	<b>4</b>
<b>3.1. Estado del Recurso Hídrico</b> .....	<b>4</b>
<b>3.2. Las Empresas Sanitarias en Chile.</b> .....	<b>6</b>
<b>3.3. Empresa Servicios Sanitarios del BioBio (Essbio).</b> .....	<b>8</b>
3.3.1. Planta de Tratamiento de Agua Potable Nogales .....	9
<b>3.4. Marco Regulatorio</b> .....	<b>12</b>
<b>3.5. Pérdidas de Agua</b> .....	<b>14</b>
3.5.1. Clasificación y Origen de las Pérdidas.....	17
3.5.2. Factores y Causas Comunes de las Fugas .....	21
<b>3.6. Costos Operacionales en la Producción de Agua Potable</b> .....	<b>22</b>
<b>3.7. Balance de Agua Estándar de IWA</b> .....	<b>24</b>
<b>4. METODOLOGÍA</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1. Área de Estudio</b> .....	<b>27</b>
4.1.1. Alcance del estudio - Límites del sistema .....	28
<b>4.2. Enfoque Metodológico</b> .....	<b>32</b>
4.2.1. Recopilación de datos.....	32
4.2.2. Estimación de las Perdidas.....	35
<b>4.3. Obtención de energía e insumos químicos asociados a las pérdidas de agua.</b> .....	<b>38</b>

<b>4.4. Identificación de zonas críticas en los sistemas de redes asociado a las pérdidas de aguas.....</b>	<b>39</b>
4.4.1. Rendimiento Volumétrico o Eficiencia.....	39
4.4.2. Índice de Infraestructura de Fugas (ILI, Infrastructure Leakage Index).....	40
4.4.3. Determinación de las zonas críticas y medidas para la reducción de pérdidas de agua .....	43
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1. Balances de agua en el sistema de producción y distribución de agua en Rancagua-Machalí.....</b>	<b>44</b>
5.1.1. PTAP Nogales (Limite B) .....	44
5.1.2. Estanques de Distribución (Limite A) .....	47
5.1.3. Pérdidas de agua o Aguas No Facturadas. ....	48
<b>5.2. Consumos operacionales.....</b>	<b>52</b>
5.2.1. Valorización económica de los consumos operacionales. ....	56
<b>5.3. Zonas críticas y medidas para disminuir las pérdidas de agua. ....</b>	<b>57</b>
5.3.1. Rendimiento Volumétrico.....	57
5.3.2. ILI.....	60
5.3.3. Análisis de zonas críticas y medidas para disminuir las pérdidas en el sistema de distribución .....	63
5.3.4. Medidas para disminuir las pérdidas.....	64
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>74</b>
<b>8.1. Anexo 1. Tarifa de Agua Potable y Alcantarillado 2017 .....</b>	<b>74</b>
<b>8.2. Anexo 2. Detalle Resultado del Balance de Agua en el sistema. ....</b>	<b>77</b>

8.2.1 Volumen de agua captada mensualmente durante el año 2016...	77
8.2.2. Volumen de agua utilizada durante el lavado de filtros.....	77
<b>8.3. Anexo 3. Resultados ILI variando distancia de la red.....</b>	<b>78</b>
8.3.1. Escenario 1. 70% 5 metros y 30% 2 metros. ....	78
8.3.2. Escenario 2. 50% 5 metros y 50% 2 metros. ....	78
8.3.3. Escenario 3. 30% 5 metros y 70% 2 metros. ....	78
<b>8.4. Anexo 4. Valores de ILI en el Mundo. ....</b>	<b>79</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas específicas materialidad tuberías.....	13
Tabla 2. Clasificación de las posibles fracturas en un tubo.....	19
Tabla 3. Productos de software para establecer balances de agua. ....	26
Tabla 4. Número de clientes abastecidos por estanque de distribución, año 2016. .....	30
Tabla 5. Información disponible para desarrollo de cálculos.....	33
Tabla 6. Insumos Operacionales.....	38
Tabla 7. Clasificación de la gestión de un abastecimiento en función del rendimiento volumétrico. ....	40
Tabla 8. Escenarios de los cálculos realizados para la obtención del ILI.....	41
Tabla 9. Propuesta de valores de ILI para países desarrollados y en vía de desarrollo.....	42
Tabla 10. Resultado de Balance Hídrico del año 2016 de la PTAP Nogales. ....	46
Tabla 11. Volúmenes facturados de agua potable durante el año 2016. ....	49
Tabla 12. Balance de agua por estanque de distribución.....	51
Tabla 13. Gastos de insumos de proceso. ....	53
Tabla 14. Gasto de Energía eléctrica e insumos químicos asociado a las pérdidas de agua. ....	55
Tabla 15. Costo de insumos químicos y energía eléctrica asociados a las pérdidas de agua. ....	56

Tabla 16. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio del sistema B. ....	58
Tabla 17. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio en el sector de Santa Julia.....	58
Tabla 18. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio en el sector de Nuevo Horizonte.....	59
Tabla 19. Categorización de abastecimiento por sector.....	62
Tabla 20. Resumen de resultados de indicadores para la selección de la zona crítica.....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del recurso hídrico en el planeta.....	5
Figura 2. Distribución del uso consuntivo del agua en Chile. ....	6
Figura 3. Distribución de clientes de las empresas sanitaria.....	8
Figura 4. Diagrama de proceso PTAP Nogales.....	11
Figura 5. Producción, consumo y pérdidas de agua potable en todo el territorio nacional entre los años 1998 y 2016.....	16
Figura 6. Evolución del porcentaje de agua no facturada durante los años 1996-2016. ANF: Agua No Facturada.....	17
Figura 7. Mecanismo de daño de tuberías segmentadas.....	20
Figura 8. Partes de una válvula y puntos de falla típicos. ....	21
Figura 9. En rojo corresponde a la zona de Rancagua y en azul corresponde a la zona de Machalí, que son abastecidas por la PTAP Nogales señalada con el indicador.....	27
Figura 10. Esquema de los límites del sistema en estudio.....	29
Figura 11. Ubicación y área de influencia de los estanques de almacenamiento abastecidos directamente por la PTAP Nogales. Las zonas coloreadas son abastecidas por cada estanque mostrado en la figura corresponden al siguiente orden: Verde – Membrillar, Morado-Santa Julia, Rojo – Sanchina, Amarillo – San Juan, Azul- Nuevo Horizonte, Celeste – Nogales y Rosado – Mirador Nogales. ...	30
Figura 12. Esquema del límite del sistema B, correspondiente a los elementos de la PTAP Nogales.....	31

Figura 13. Pasos a seguir de la metodología general. ....	32
Figura 14. Visualización SIGTerreno de ArcMap. (Extraído en Julio 2017). ....	34
Figura 15. Balance de Agua propuesto por la IWA. ....	35
Figura 16. Balance de agua de la PTAP Nogales en el año 2016.....	45
Figura 17. Volumen mensual de agua consumida para el lavado de filtros durante el año 2016.....	45
Figura 18. Porcentaje de Agua Potable por Estanque de Distribución en el año 2016. ....	47
Figura 19. Volúmenes estacionales aportados a la red por estanque de distribución. ....	48
Figura 20. Volúmenes estacionales de agua facturada por estanque de distribución. ....	51
Figura 21. Consumo de insumos químicos asociados a las pérdidas de agua durante el año 2016. ....	54
Figura 22. Consumo de Energía Eléctrica asociados a las pérdidas de agua durante el año 2016. ....	54
Figura 23. Rendimiento Volumétrico Mensual de todas las zonas en estudio. ....	59
Figura 24. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 1. ....	61
Figura 25. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 2. ....	61
Figura 26. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 3. ....	62
Figura 27. Comparación de valores medios de ILI con el mundo.....	63
Figura 28. Medidas para disminuir las pérdidas de agua .....	67

## TÉRMINOS Y DEFINICIONES

- **Aguas no contabilizadas** corresponden a las pérdidas de agua en las obras de agua potable, tales como fugas en las redes, imprecisiones en la macromedición y en la medición domiciliaria, consumos operacionales, consumos de incendio, usos indebidos
- **Almacenamiento:** acción destinada a acumular un determinado volumen de agua para reserva y regulación.
- **Cobertura:** La cobertura corresponde al porcentaje de la población abastecida de un determinado sector y momento con respecto a la población total.
- **Consumo Anual:** Volumen de agua potable que se consume durante un año, medido a la salida del estanque de regulación.
- **Estanque:** Unidad de almacenamiento de agua.
- **Presión:** Variable física, equivalente a la altura de aguas, resultante de la diferencia entre la cota piezométrica y cota de terreno, en cualquier punto de un sistema de producción y distribución de agua potable. Se puede expresar en kPa, kgf/cm<sup>2</sup>, mca (metros columna agua).
- **Red de distribución:** conjunto de tuberías y componentes que permiten el transporte de agua potable, a las cuales se conectan las instalaciones domiciliarias de agua potable.
- **Sistema de distribución:** conjunto de obras y componentes de un servicio de distribución de agua potable, comprendidos desde los estanques de distribución hasta los arranques inclusive.
- **Sistema de producción de agua potable:** conjunto de obras y componentes de un servicio de producción de agua potable, comprendidos desde la captación del agua cruda de la fuente de abastecimiento hasta los estanques de distribución, exclusive.



## RESUMEN

El agua dulce disponible en el mundo representa solo un 2,5% del total de agua en el planeta, de la cual solo el 31% se puede utilizar para consumo humano y otras actividades productivas (MMA, 2018).

Lo anterior representa que la cantidad de agua disponible para sobrevivir es extremadamente limitada, sumada al sostenido crecimiento económico y desarrollo de las sociedades, se ha generado cada vez mayores presiones sobre los recursos hídricos. Es por esto que se considera fundamental reducir los gastos de agua que signifiquen su derroche.

Uno de los focos de gastos injustificados de agua, son los que ocurren en las redes de distribución de agua potable y que no solo consideran pérdidas de agua, sino, también de la energía e insumos utilizados en su tratamiento. Actualmente las ciudades están perdiendo el equivalente a 36 piscinas olímpicas de agua potable al día (UNESCO, 2014)

Chile no queda fuera de esta problemática y al considerar las zonas concesionadas, son las empresas sanitarias las que se encuentran a cargo de las redes de distribución de agua potable, que en promedio, durante el 2015 presentaron pérdidas de agua equivalentes al 33,6% del total distribuido (SISS, 2016).

En este estudio se realizó la evaluación de las pérdidas de agua ocurridas en la producción y distribución de agua potable en un sistema de tratamiento de agua potable durante el año 2016. Para esto se consideraron los volúmenes de agua captados y tratados por la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Nogales, que abastecieron en ese periodo, por medio de diferentes estanques de distribución de agua potable, a las comunas de Rancagua y Machalí, correspondientes a 22.831.130 m<sup>3</sup> de agua, de los cuales se distribuyeron 97,5% del total captado. Estas aguas se transportaron hacia 6 estanques que delimitan diferentes sectores, registrando volúmenes no facturados desde la salida de la planta, pasando por los

estanques, hasta la llegada a los clientes, en total 7.494.090 m<sup>3</sup>, de los cuales el 10,6% representa pérdidas por ilícitos e inexactitudes en las mediciones. Adicionalmente, existieron pérdidas operacionales, ocurridas durante el tratamiento del agua, que junto con las pérdidas en la red suman 8.056.799 m<sup>3</sup>, lo que equivale al 35,2% del volumen captado. Estos valores transformados a energía eléctrica equivalen a 366.449 kWh consumidos y perdidos, esto corresponde al 38% de energía eléctrica anual utilizada por la propia planta. La energía eléctrica es utilizada para la inyección de ciertos insumos químicos necesarios en el proceso que también se ven desperdiciados junto con las pérdidas de agua. La pérdida total de dinero valora al año 2016, entre energía eléctrica e insumos químicos asciende a más de 78 millones de pesos durante el año 2016.

Finalmente, mediante el análisis de dos indicadores, el Rendimiento Volumétrico e Índice ILI se identificó la zona crítica del sistema, correspondiente a Sanchina. Al comparar los resultados obtenidos de los indicadores con los del resto del mundo, ubican al sistema en estudio con valores muy similares a los que tienen países desarrollados, como España y Alemania. Aun así, la empresa modelo descrita por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, indica que las cantidades de agua perdida, consideran al sistema Rancagua-Machalí ineficiente, por ende, requiere adoptar medidas para controlar y mejorar esta situación.

Existen múltiples medidas para controlar las pérdidas de agua, las que deben atacarse de acuerdo al tipo de fuga detectada, están van desde grandes inversiones en tecnología por parte de la compañía, como la capacitación de sus colaboradores e incluso actos tan evidentes como apegarse estrictamente a la normativa vigente. Seguir cualquiera de estas recomendaciones generará disminuciones en las pérdidas de agua forjando un bien tanto para la industria como el medio ambiente.

## 1. INTRODUCCIÓN

La escasez hídrica que afecta a varias zonas del país constituye un problema no sólo para la población y el desarrollo de las actividades productivas, sino también, para la protección y cuidado del medio ambiente. El crecimiento económico y desarrollo de las sociedades genera grandes consumos de agua dulce. Esta agua es la más utilizada y escasa, corresponde un 31% del total de agua disponible en la tierra; pero de la cual, solo el 1% está presente de manera superficial y al alcance de todos (MMA, 2016). Es por esto que debemos generar medidas que contribuyan a disminuir los residuos injustificados del elemento vital.

En Chile, el consumo de agua dulce se puede dividir en cuatro grandes sectores, minero, agropecuario, industrial y sanitario (Jimenez & Wainer, 2017). Es este último, el encargado de generar agua para consumo humano. Primero el agua es captada de una fuente natural (agua cruda), luego es tratada en una planta de producción de agua potable hasta cumplir con lo establecido en la normativa vigente respecto de las características que debe poseer y ser considerada apta para consumo humano, finalmente es enviada a los clientes a través del sistema de distribución hasta sus hogares. A lo largo del proceso ocurren diferencias de volúmenes entre la cantidad de agua que ingresa a la red y la que llega a los clientes, estas diferencias son consideradas pérdidas y representan un 33,6% de las aguas no facturadas, en promedio, por las empresas sanitarias más importantes del país (SISS, 2016).

ESSBIO S.A. es una empresa sanitaria que opera entre la sexta y octava región del país y como en el resto de las industrias de este tipo, existen ciertas situaciones proceso productivo, particularmente en las etapas de producción y distribución, en que ocurren pérdidas de agua potable. Durante la etapa de producción se utilizan diferentes recursos, dos de ellos la energía eléctrica y productos químicos; por ende, cuando ocurren pérdidas de agua potable, no solo se generan pérdidas de agua en volumen, también refleja pérdidas de todos los elementos que participan en la producción del agua potable.

En el presente estudio se realizará un análisis al sistema de redes de distribución de agua potable de las comunas de Rancagua y Machalí, que transportan el agua producida por la Planta de Tratamiento de Agua Potable Nogales (PTAP Nogales) a seis estanques distribución. Estos estanques entregan agua en un área de cobertura particular para cada uno y es por esto que el sistema en estudio se dividirá de acuerdo al área de influencia de cada estanque. Adicionalmente, cada zona llevará el nombre del estanque correspondiente: Sanchina, Membrillar, Santa Julia, San Juan, Mirador Nogales y Nuevo Horizonte.

En base a esto, este estudio tiene como fin estimar pérdida y se realiza la evaluación energética asociada a las pérdidas de agua en el sistema de redes de distribución de agua potable, la que busca estimar los volúmenes de agua y energía consumida a lo largo del proceso usando ecuaciones matemáticas lineales. Por otro lado, busca lograr identificar las zonas críticas del sistema y generar recomendaciones para controlar las pérdidas de agua. Adicionalmente, se establece la energía como una unidad de medida que no cambia su valor en el tiempo y con la cual, sumado a los costos de insumos químicos y electricidad, se puede valorizar al precio del día, el equivalente a los costos monetarios de las pérdidas de agua.

## 2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En los sistemas de distribución de agua potable ocurren pérdidas de agua que pueden ser cuantificadas y valoradas de acuerdo a la energía e insumos químicos utilizados durante su potabilización. Esto será considerado en el sistema de producción PTAP Nogales que abastece de agua potable a las comunas de Rancagua y Machalí, por lo que este estudio busca responder la siguiente pregunta de investigación:

¿A cuánto corresponden las pérdidas de agua ocurridas en un sistema de producción y redes de distribución de agua potable y cuál es la zona más crítica del sistema?

### 2.1. OBJETIVOS

#### 2.1.1. Objetivo general

Evaluar las pérdidas de aguas ocurridas en la producción y distribución de agua potable en el Sistema de Tratamiento de Agua Potable Nogales.

#### 2.1.2. Objetivo específico

- ✓ Estimar los volúmenes de agua por pérdidas generadas en el sistema de redes que es abastecido por la Planta de Tratamiento de Agua Potable Nogales.
- ✓ Determinar la cantidad de energía e insumos químicos asociado a las pérdidas de agua ocurridas en la producción y red de distribución.
- ✓ Identificar las zonas críticas en el sistema de redes incluyendo medidas para disminuir las pérdidas de agua en dichas zonas.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1. Estado del Recurso Hídrico

La superficie del planeta tierra esta cubierta por un 71% de agua. Como se detalla en la Figura 1, de la cobertura de agua en el planeta el 97,5% se encuentra en los oceanos, que por lo salino, es muy difícil de utilizar para consumo directo. El 2,5% restante de agua, es dulce, pero de este pequeño valor, el 69% se encuentra congelado en los glaciares y polos, estas son grandes reservas de agua pero que no pueden ser aprovechadas. El agua dulce utilizada para consumo humano, actividades agrícola e industrial y otros, se encuentra disponible en fuentes superficiales (ríos, lagos) y fuentes subterráneas (acuíferos), solo corresponde al 1% y 30% respectivamente (MMA, 2018). Por otro el agua no se encuentra distribuida de manera uniforme si no que depende, en muchos casos, de las precipitación estacional y anual del lugar (Ayala, 2010).

A medida que crece la población también aumenta la demanda de agua dulce para la producción de alimentos, uso industrial y principalmente uso doméstico. En algún momento la sobreexplotación del recurso hídrico, tanto superficial como subterránea podría provocar una escasez crónica del agua (Ayala, 2010).

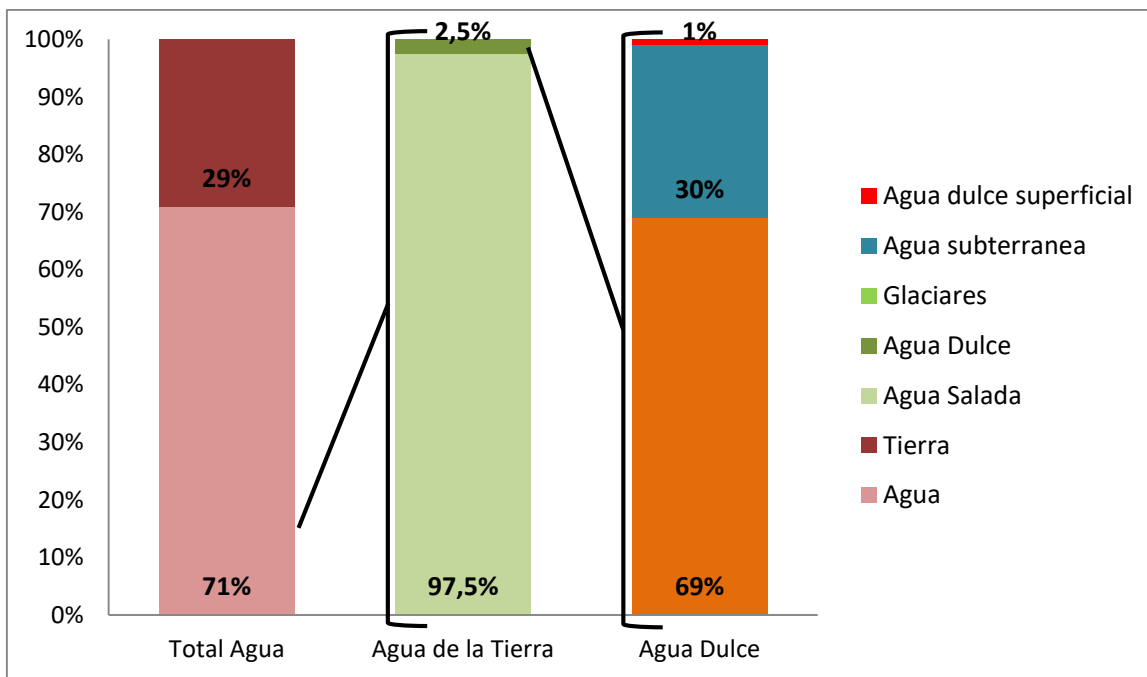


Figura 1. Distribución del recurso hídrico en el planeta.

Fuente: MMA, 2018

Considerando que el agua es un bien preciado y escaso, las principales actividades económicas utilizan el agua de forma consuntiva, es decir, no se devuelve al medio donde se ha captado y no se regresa de la misma manera que se ha extraído, como se observa en la Figura 2, esto ocurre en cuatro grandes sectores: Agricultura, Minería, Industria y Sanitaria (Jimenez & Wainer, 2017). Estas actividades en particular, deben superar ciertas deficiencias en temas de contaminación de aguas y optimización del recurso. En tanto el sector sanitario que considera producción de agua potable y tratamiento de aguas residuales se deben disminuir las pérdidas debido a filtraciones, roturas de la red y deficiencias en la infraestructura de abastecimiento público (SISS, 2016).

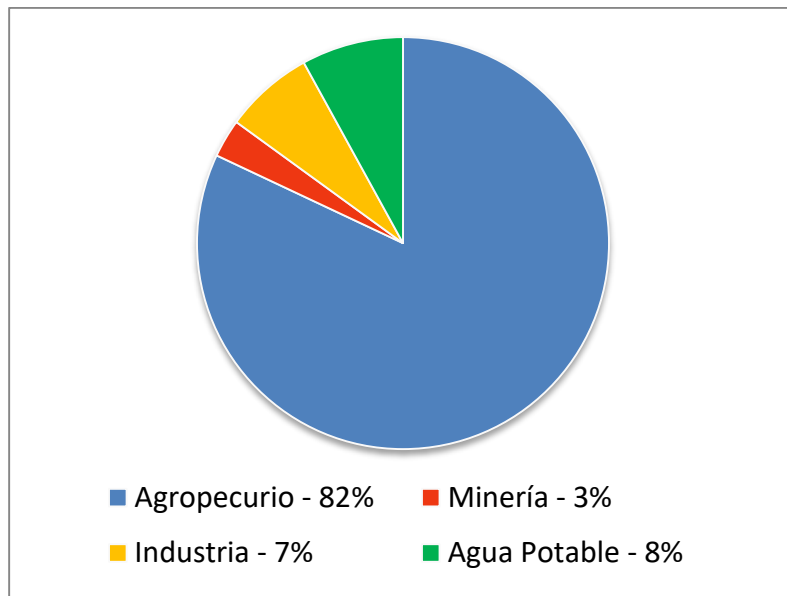


Figura 2. Distribución del uso consuntivo del agua en Chile.

Fuente: DGA, 2016

### 3.2. Las Empresas Sanitarias en Chile.

El Sector Sanitario está constituido por el conjunto de entidades cuyas funciones se relacionan con los servicios de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas. En función de lo mismo, las empresas del sector sanitario corresponden a aquéllas que proporcionan al menos uno de los siguientes 5 servicios: (Patiño, 2014).

- Servicio de Agua Potable
  - i. Producción de agua potable: captación de agua cruda desde fuentes superficiales (embalses y ríos) y/o fuentes subterráneas (norias y pozos) para luego ser tratada hasta cumplir con las características físicas químicas que establece la normativa Chilena para el agua de consumo humano.
  - ii. Distribución de agua potable: suministro del agua potable a los consumidores a través de la red de abastecimiento.



- Servicio de Alcantarillado
- iii. Recolección de aguas servidas: captación del agua utilizada por hogares, comercios e industrias a través de la red de alcantarillado.
- iv. Tratamiento de aguas servidas: procesamiento y reciclaje del agua servida (no todas las sanitarias desarrollan esta parte del proceso).
- v. Disposición de aguas servidas: reintegración del agua al medio natural (ríos, arroyos y mar) bajo el cumplimiento a la norma establecida en el país.

Este sector productivo representa el 6% de los derechos consuntivos de agua en el país, es decir, cuando el agua, una vez usada, no se devuelve al medio donde se ha captado o no se la devuelve de la misma manera que se ha extraído. En el sistema urbano concesionado del territorio nacional el 99,9% posee cobertura de agua potable, 96,8% de alcantarillado y 99,85% cuenta con tratamiento de aguas servidas. Respecto del agua potable en el 2015 el consumo mensual de agua por cliente fue de 18,44 m<sup>3</sup> y en los centros urbanos, con respecto al año 2014, aumento en un 1.57% (SISS, 2016).

El sector sanitario urbano está compuesto por 54 empresas en operación, para las 15 regiones del país, abarcando una cobertura a 17 millones de habitantes. EL 96.05% de los clientes es atendido por empresas privadas mientras que un 3,95% son concesiones del Estado, municipalidades o cooperativas. Como se observa en la Figura 3, las principales empresas controladoras del sector, con mayor número de clientes corresponde a Aguas Andinas S.A., Essbio S.A, Esva S.A, NuevoSur y Essal (SISS, 2016).

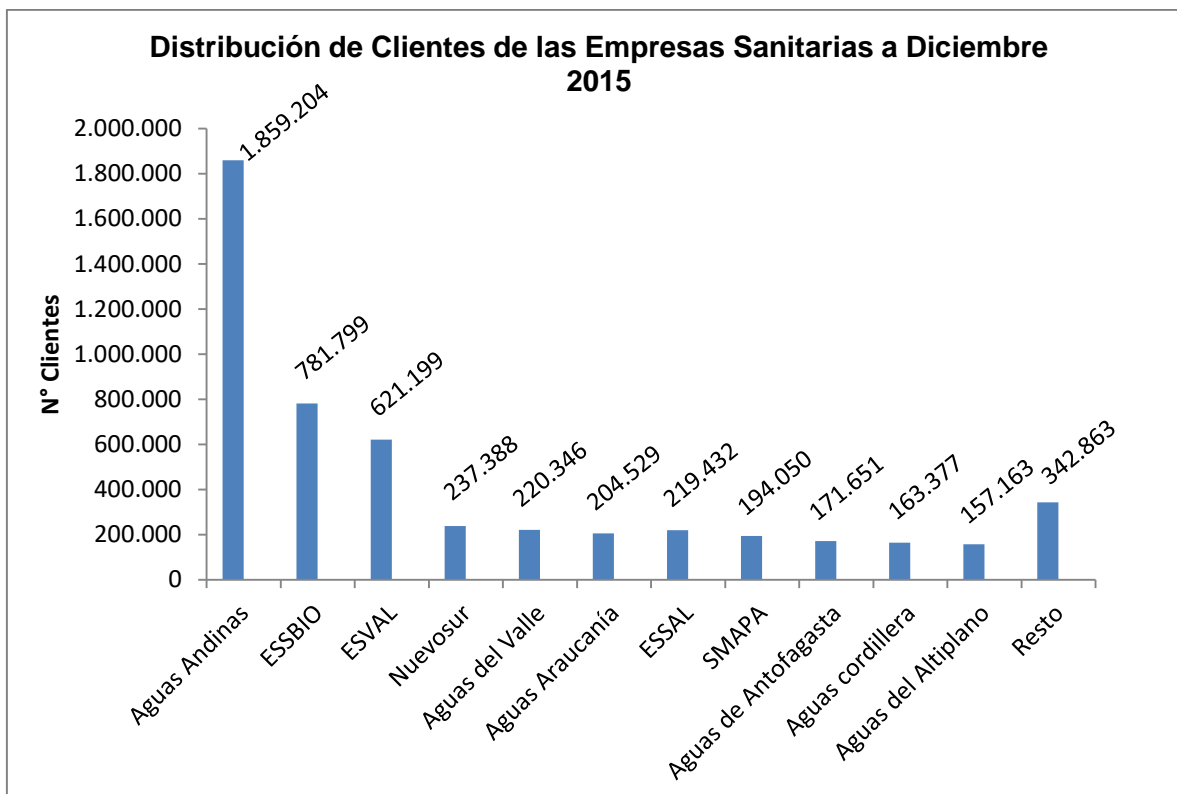


Figura 3. Distribución de clientes de las empresas sanitaria.

Fuente: SISS, 2016

### 3.3. Empresa Servicios Sanitarios del Bío-Bío (Essbio).

El grupo Essbio presta servicios en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, la VII Región del Maule y la VIII Región del Biobío, abarcando un mundo de casi 3 millones de clientes. Respecto a la zona de interés, se ubica en la VI Región, la comunas de Rancagua y Machalí tienen 294.279 habitantes (INE, 2018) y de los cuales ESSBIO abastece de agua potable a casi el 78% de la población, es decir a 234.576 habitantes.

### 3.3.1. Planta de Tratamiento de Agua Potable Nogales

La PTAP Nogales se encuentra ubicada en la comuna de Machalí, en la provincia del Cachapoal, la cual a su vez es parte de la VI Región. Limita al Norte con la comuna de Codegua y la Región Metropolitana; al Sur con las comunas de Requínoa, Rengo y San Fernando; al este con la República Argentina y, al Oeste con la comuna de Rancagua.

De acuerdo a los antecedentes entregados por el censo realizado el 2017 las poblaciones de Rancagua y Machalí son de 241.774 y 52.505 habitantes respectivamente. La población abastecida por la PTAP Nogales es de 234.576 habitantes aproximadamente, lo que corresponde a 65.449 clientes, es decir, un 79,71% de la población que vive en las comunas mencionadas anteriormente.

El tratamiento del agua que ocurre en la etapa de producción, es una secuencia de procesos unitarios que tienen como finalidad remover contaminantes microbiológicos, físicos y químicos que se encuentran en el agua cruda hasta que se encuentren en las concentraciones estimadas en la normativa vigente (SISS, 2016). En la Planta Nogales existen dos tipos de tratamientos por Filtros Rápidos y Filtros Lentos. En la Figura 4 se puede observar la distribución espacial de cada tratamiento y los componentes de cada una.

- **Producción**
  - **Planta de filtros rápidos por sistema convencional**

Una planta de este tipo se encuentra integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección que se dividen en diferentes procesos unitarios.

- **Planta de filtros lentos**

Esta es una planta en la que el agua cruda es de una muy buena calidad por lo que el agua circula solo por los filtros lentos para luego ser clorada.

- **Impulsión**

El sistema de impulsión permite transportar agua potable desde la planta a los estanques de almacenamiento, desde los cuales se distribuirá el agua hacia los clientes para las comunas de Rancagua y Machalí. Estos estanques corresponden a Sanchina, Membrillar, Santa Julia, San Juan, Mirador Nogales y Nuevo Horizonte.

- **Distribución**

Como bien su nombre indica, corresponde a las redes que distribuye el agua potable a los consumidores.

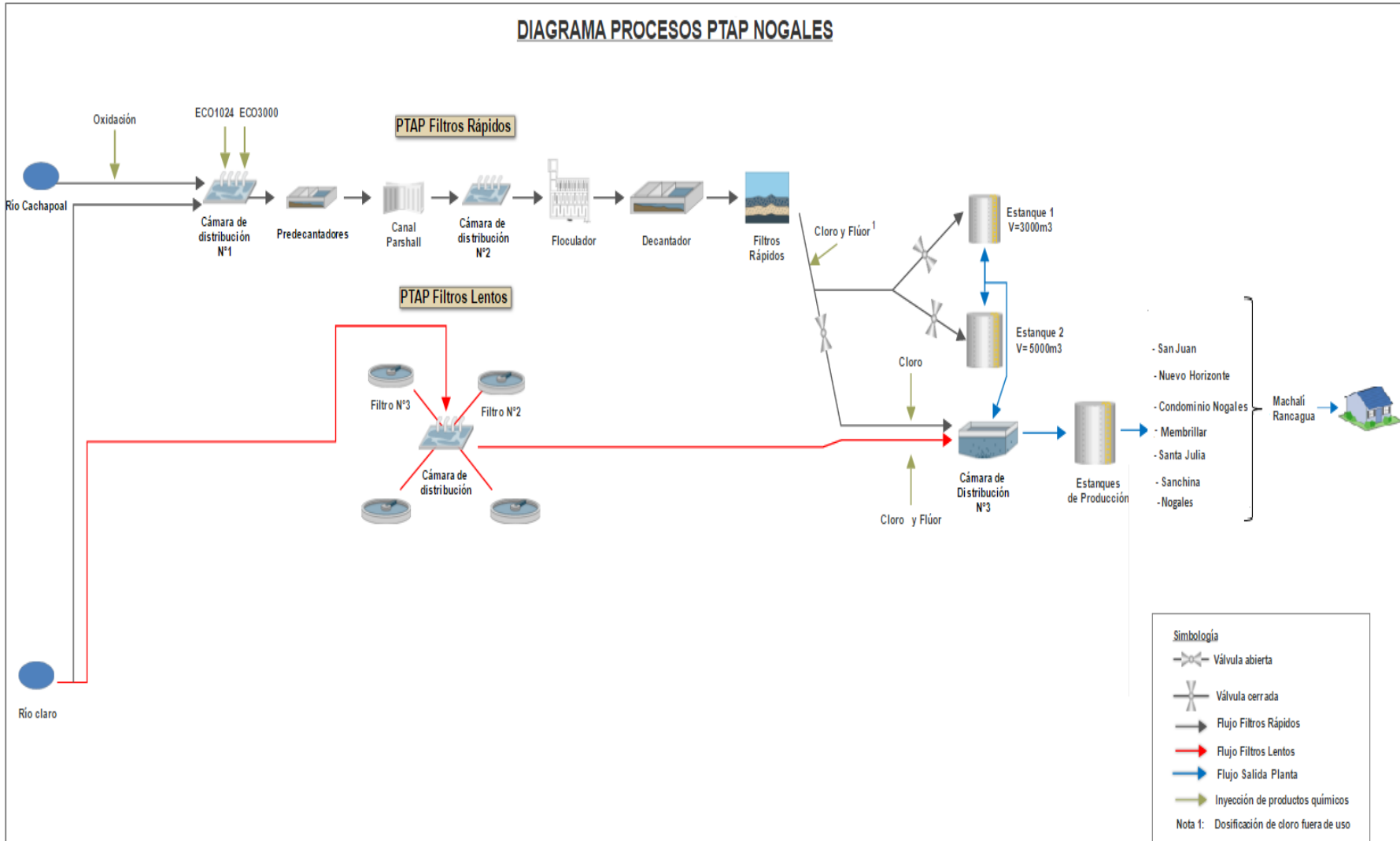


Figura 4. Diagrama de proceso PTAP Nogales.

Fuente: ESSBIO, actualizada el 17/02/2017

### 3.4. Marco Regulatorio

Existen diversas leyes que controlan las actividades y servicios prestados por las empresas sanitarias que funcionan en el país. Adicionalmente el organismo regulador y fiscalizador de estas empresas es la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) que vela por el cumplimiento normativo. Las normas son específicas para las diferentes actividades que se requieran realizar en torno a la producción y distribución de agua potable y que para fines de este estudio se pueden clasificar en normas de Calidad, Continuidad y Materialidad.

- a. **Calidad**, corresponde a la NCh 409/1. Norma Calidad del Agua Potable y NCh 409/2 Norma Muestreo del Agua Potable, en la que se establece en su primera parte que el agua cumpla con todos los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y de desinfección, que aseguran la inocuidad del agua y su aptitud para el consumo humano. La segunda parte establece el procedimiento de inspección y muestreo para verificar los requisitos que se especifican en la primera parte.
- b. **Continuidad**, corresponde a la Norma Chilena NCh 691 Agua Potable – Producción, Conducción, Almacenamiento y Distribución – Requisitos de diseño, que establece los requisitos generales mínimos que deben cumplir los sistemas de producción y distribución de agua potable, en lo que corresponde al diseño de las obras de conducción, regulación, almacenamiento y distribución, desde la fuente de abastecimiento de agua hasta los puntos de entrega.

Uno de los requisitos que regula la norma corresponde a las Presiones de Diseño, en el que indica que la presión mínima debe ser de 0,147MPa (1,5 bar =1,5 kgf/cm<sup>2</sup>=15mca) y la presión máxima debe ser menor o igual a 0,686MPa (7bar=7 kgf/cm<sup>2</sup>= 70mca); esto no solo para garantizar la llegada de suficiente agua para el funcionamiento del calefón, uso de baño y cocina, sino que también para

proteger el ingreso de cualquier contaminante a la red en caso de existir una fisura.

- c. **Instalación y Materiales**, corresponde a la Norma Chilena NCh 1360 Sistemas de tuberías para conducción y distribución de agua potable – Instalación y pruebas de obra, que establece el procedimiento de instalación subterránea de los sistemas de tuberías para conducción y distribución de agua potable y los ensayos de presión en terreno. Dentro de este grupo, como se muestra en la Tabla 1 se incluyen las normas que aplican exclusivamente para ciertos materiales

Tabla 1. Normas específicas materialidad tuberías.

<b>Normativa</b>	<b>Número</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>
<b>NCh</b>	398/1	2004	Tuberías y accesorios de polietileno (PE) para agua potable - Requisitos - Parte 1: Tuberías
<b>NCh</b>	399	2011	Sistemas de tuberías plásticas para suministro de agua bajo presión, enterrado o superficial - Tuberías de poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U) – Requisitos.
<b>NCh</b>	2611	2002	Tuberías de hierro fundido dúctil - Accesorios, piezas especiales y sus uniones para transporte de agua - Requisitos generales

Las normas anteriormente mencionadas resguardan que el agua para consumo humano se encuentre libre de contaminación y agentes patógenos que pudieran ingerir los consumidores, asegurando así la calidad y continuidad del servicio; pero no regulan bajo ningún punto las pérdidas de agua que lleguen a generar un sistema de distribución.

Solo en California (EEUU), durante el año 2016 y debido a la gran sequía que afectaba al condado, es que el Gobernador del estado emite la Orden Ejecutiva B-37-16 Haciendo la Conversación del Agua una Forma de Vida en California, a de racionamiento de agua potable en el que considera disminuir en un 25% del consumo de agua urbana de diferentes actividades, una de esas las pérdidas de agua por fuga. En el caso de Chile se puede usar como referencia respecto de las cantidades aceptables de pérdidas de agua el criterio SISS, que considera eficiente que un sistema contabilice un 5% de pérdidas de agua en la producción un 15% en la distribución (SISS, 2015).

### 3.5. Pérdidas de Agua

Una fuga es una salida de agua no controlada en cualquiera de los componentes de un sistema de distribución de agua potable. Estas pérdidas esencialmente son aguas no facturadas (ANF) que la SISS define como “Volumen de agua producida pero no facturada, es decir no cobrada a los clientes. Se expresa como porcentaje del volumen de agua producida. Comprende las pérdidas de agua por fugas en la red, submedición<sup>1</sup>, deficiente asignación de consumos, consumos clandestinos y gasto en procesos”.

En el mundo más de 32 billones de m<sup>3</sup> de agua potable se fugan de los sistemas urbanos de agua al año. Actualmente las ciudades están perdiendo el equivalente a 36.000 piscinas olímpicas, de agua tratada y potable al día, lo que indica que más del 40% del agua potable no se registra en los sistemas urbanos de agua antes de llegar al consumidor (UNESCO, 2014). Reportes como este se repiten internacionalmente:

---

<sup>1</sup> Caudal no medido por inexactitud en los medidores



- Informe de la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas del 2012, realizó un análisis de 30 ciudades de Colombia, Brasil, Perú, Argentina, Uruguay y Ecuador muestra una media de 42% en el porcentaje de pérdidas de agua, con un mínimo de 24% y un máximo de 62%.
- IBNET (The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities) del Banco Mundial, indica que las pérdidas de agua en la red se encuentran en un rango entre 29% y 32%, de acuerdo a una comparación realizada entre 88 países de África, Asia, Europa, Latinoamérica y Oceanía (Asian Development Bank, 2010).
- En base a un estudio que cubre 40 empresas de agua en el sudeste de Asia y la base de datos IBNET sobre el desempeño de las empresas, el Banco Mundial estima que las cifras para todos los niveles de ANF de los países en desarrollo<sup>2</sup> esta probablemente en el rango de 40%-50% del agua producidas (Kingdom, 2006).

Existen pérdidas que no solo ocurren en la red y que se explicaran en detalle más adelante, pero que según el estudio del Observatorio de la Sostenibilidad en España, indica que el 25,9% de agua suministrada corresponde a agua no facturada, de los cuales 17,5% fueron de pérdidas reales y un 8,4% las compuso errores de medición, robos o vandalismo (Durán & Moral, 2015).

A nivel nacional, la producción de agua potable por parte de las principales empresas sanitarias ha ido en aumento, como se muestra en la Figura 5, de 1.312.442 mil m<sup>3</sup> en el año 1998 a más de 1.500.000 mil m<sup>3</sup> en los años 2016. El aumento en la producción de agua ha incrementado y también las pérdidas de agua

---

<sup>2</sup> Un país en subdesarrollo podría ser considerado en vías de desarrollo o incluso emergente, cuando supera un determinado nivel de desarrollo humano, por encima de 0,800 de IDH (índice de desarrollo humano). (UNDP, 2018)

que ocurren durante la producción y distribución, debido principalmente a roturas y filtraciones en las cañerías. En el país volumen de pérdida durante el periodo de 1998-2016 ha aumentado aproximadamente en un 23% (MMA, 2018). El aumento de las pérdidas de agua implica una señal de alerta y plantea un gran desafío en el ámbito de la eficiencia de la gestión de este recurso tan escaso.

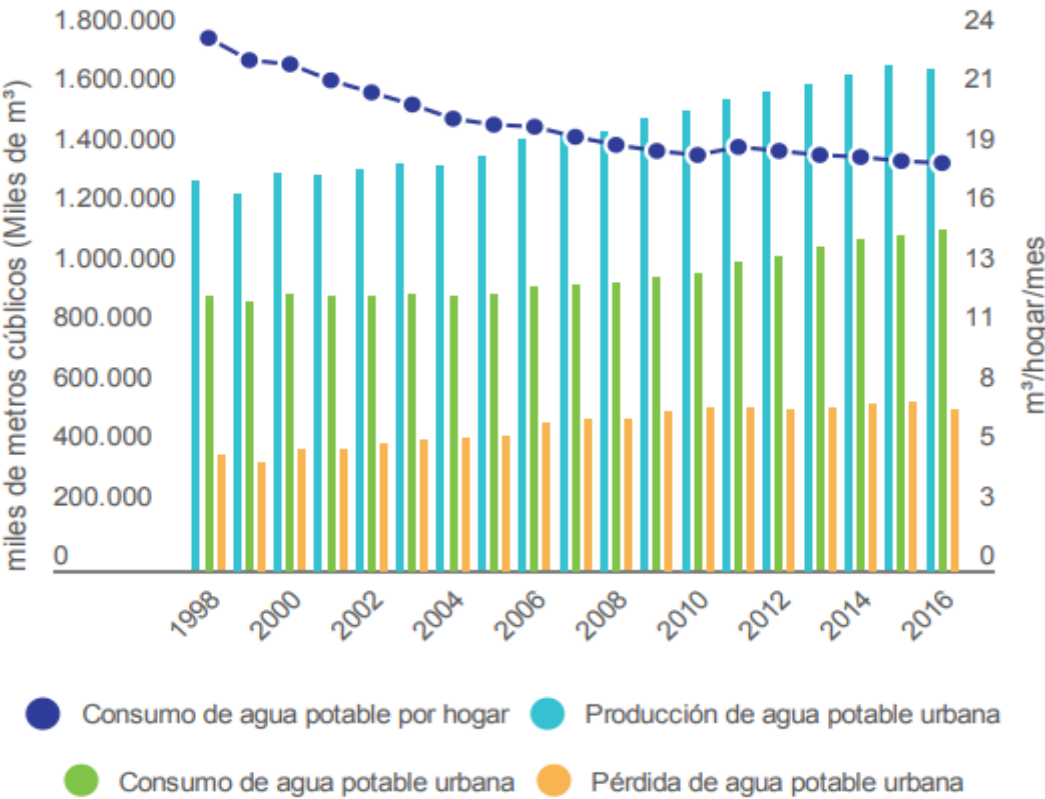


Figura 5. Producción, consumo y pérdidas de agua potable en todo el territorio nacional entre los años 1998 y 2016.

Fuente: MMA, 2018

En el 2015, como se observa en la Figura 6, el porcentaje promedio de agua no facturada en la etapa de distribución de las 28 principales empresas sanitarias, fue de un 33,6%. De acuerdo a estimaciones de los años anteriores, aproximadamente

un 74% del agua no facturada corresponde a pérdidas físicas, es decir las generadas por infraestructura. (SISS, 2015)

### Evolución del Porcentaje de Agua No Facturada

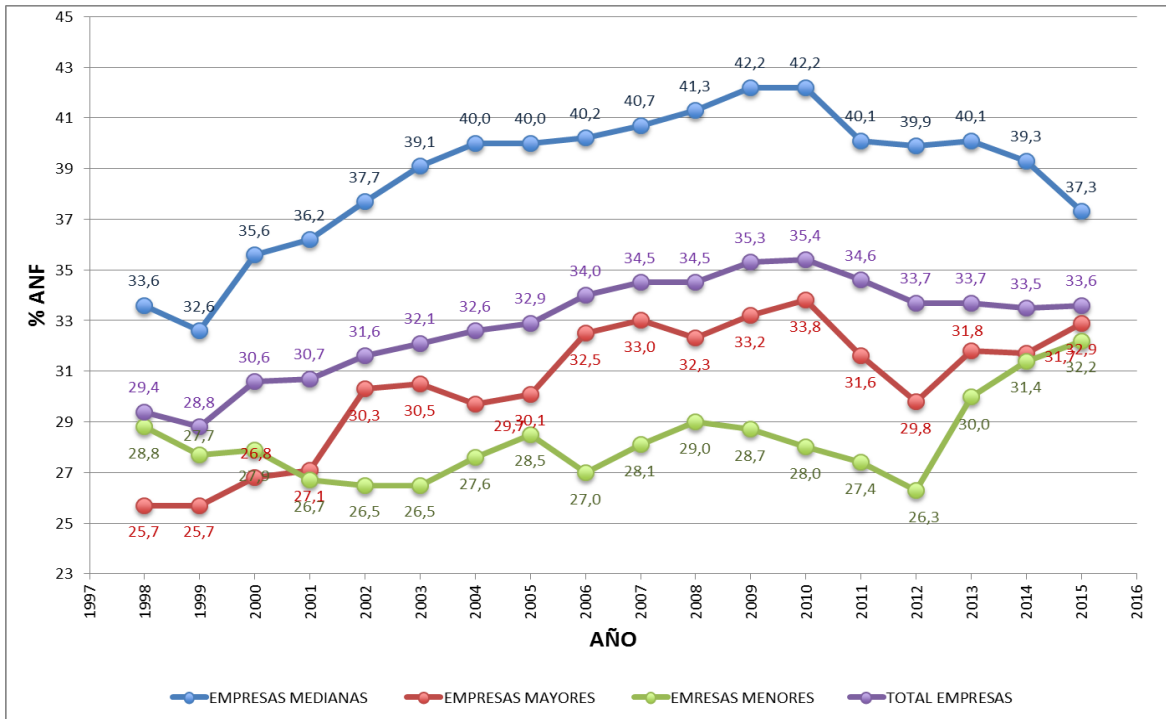


Figura 6. Evolución del porcentaje de agua no facturada durante los años 1996-2016. ANF: Agua No Facturada.

Fuente: SISS, Informe del Sector Sanitario, 2015

#### 3.5.1. Clasificación y Origen de las Pérdidas

Las pérdidas de agua se clasifican como pérdidas superficiales y de fondo, las que pueden ser pérdidas físicas y operaciones. (ESVAL, 2013; Montoya, 2012; Ojeda, 2012)

**A. Pérdidas Superficiales:** Se manifiestan en la superficie ya sea a través de las grietas en el piso o la humedad del terreno, la característica más importante es

que son visibles. Estas fugas son detectables y se localizan fácilmente mediante inspecciones simples.

**B. Pérdidas de Fondo:** No son visibles en la superficie, incluso no significan un corte de suministro, ya que la presión sigue siendo suficiente para continuar con el abastecimiento y el usuario no se percata de la fuga.

**C. Las Pérdidas Operacionales:** Corresponden a los volúmenes de agua que son eliminados debido a la operación misma del sistema como por ejemplo los desagües y rebalse de estanques; existen otra de estas pérdidas que son causadas por los consumos de agua necesarios para la operación mismas, como por ejemplo el lavado de filtros y estanques.


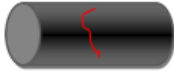

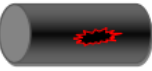

**D. Las Pérdidas Físicas:** Corresponden a los volúmenes de agua que se pierden a raíz de fallas en la infraestructura instaladas, filtraciones, roturas y fisuras y que tienden a aumentar a medida que envejece el sistema. Las causas de estas fallas pueden ser:

- I. Elementos sobre los cuales se pueden realizar acciones de control, como por ejemplo presiones máximas y calidad de los materiales.
- II. Elementos externos no controlables, como por ejemplo características propias del agua y del suelo, siniestros provocados por terceros, raíces de árboles sobre las tuberías, etc.

Se clasifican dependiendo de su aspecto físico

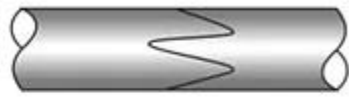
- **Tuberías Rígidas:** Ya sean de PVC o acero, presentan 3 fallas comunes, fisura, picadura y rotura. Como se puede observar en la Tabla 2, estas tienen ciertas clasificaciones:

Tabla 2. Clasificación de las posibles fracturas en un tubo.

Tipos de Fracturas	Característica	Imagen
Fisura	Estas pueden ser longitudinales,	
	transversales y combinadas, de acuerdo al sentido de la fractura en el tubo.	
	Siendo estas las más típicas en las tuberías flexibles	
Picadura	Son perforaciones en el tubo, causadas por corrosión del material o por el impacto con algún objeto	
	contundente.	
Rotura	Corresponden al colapso de la tubería debido a fuerzas de tensión y torsión.	-

Fuente: Ojeda, 2012

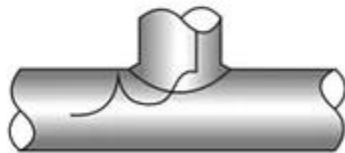
- Fallas en los Accesorios de Tuberías:** Estas ocurren en codos, tees crucetas, tuercas, unión, válvulas, etc y en tuberías segmentadas. Típicamente ocurren en los accesorios de unión, como se puede observar en la Figura 7. Por otro lado, también ocurren comúnmente en las válvulas, que son las encargadas de restringir el paso del agua. En la Figura 8, se señalan las partes de una válvula y en rojo los puntos de falla típicos. (Ojeda, 2012)



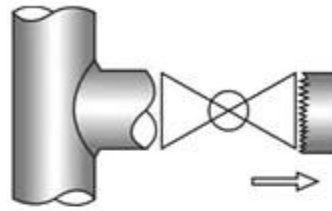
(a) Ruptura Tubo Segmentado



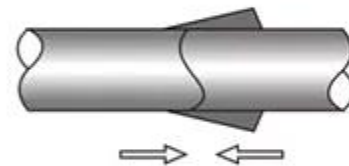
(b) Ruptura en Unión de Piezas



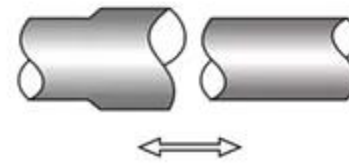
(c) Ruptura en Accesorio T



(d) Desconexión en Accesorio T



(e) Compresión Telescópica en Juntas



(f) Separación por Tensión en Junta

Figura 7. Mecanismo de daño de tuberías segmentadas

Fuente: Cosanher, 2015



Figura 8. Partes de una válvula y puntos de falla típicos.

Fuente: Ojeda, 2012

### 3.5.2. Factores y Causas Comunes de las Fugas

Se mencionan a continuación las causas principales que generan los problemas de las fugas. (Ávila 2013; Montoya, 2012 y Ojeda, 2012)

- a) **Longitud de las Tuberías.** No es fácil generar el seguimiento y mantención de trayectos muy largos.
- b) **Número de Conexiones de Servicio:** Aumente la probabilidad de tener fugas de acuerdo a donde estén localizadas y de lo habitual de las mantenciones.

- c) **Inadecuado Manejo de la Presión:** La fluctuación de la presión por motivos del consumo o arranque y paro de bombas. Esto fatiga el material y disminuye su vida útil.
- d) **Impactos:** Sean accidentales o deliberados, puede producir desde una picadura hasta la rotura completa de la tubería y de sus accesorios si estos son golpeados.
- e) **Corrosión e Incrustaciones:** Depende del suelo en el que está emplazada la red y lo expuesta que esta se encuentre a la humedad, cargas eléctricas, etc, esto en el exterior y por el interior depende netamente de la calidad del agua.
- f) **La Calidad en las Prácticas Constructivas:** Algunas tuberías tienen un cuidadoso proceso de instalación en sus uniones, si no es instalado adecuadamente, la unión puede cristalizarse y eventualmente fallar.
- g) **La calidad del Material de la Tubería:** Algunos materiales no cumplen con las normas mínimas de resistencia y durabilidad.
- h) **Edad de las Instalaciones:** Ya que cuando el material supera su vida útil, es fundamental dar mantenimiento correctivo.
- i) **Actos de Vandalismos:** Algunos materiales y accesorios son atractivos para el público, por lo que sustraen estos elementos, dejando el agua desperdiciándose hasta que alguien lo denuncia.
- j) **Diseño de tuberías:** Un principio básico consiste en lograr que los puntos de conexión sean los mínimos posibles, ya en ellos ocurren fallas que pueden producir fugas de agua.

### 3.6. Costos Operacionales en la Producción de Agua Potable

Los costos operacionales corresponden a 16 ítems establecidos por la empresa modelo de la SISS y que considera entre los más importantes a la remuneración bruta, servicios de operación y mantención, arriendo de vehículos, maquinarias y camiones, energía eléctrica y productos químicos, que durante el



2016 aumento de un 9,9% respecto al año anterior. (SISS, 2015). En relación al costo promedio por metro cúbico aumentó en un 8,2%, llegando a costar 630 \$/m<sup>3</sup>. En el caso del costo operacional por cliente existe un alza del 7,3% cancelando en promedio \$11.613 mensuales. Por su parte ESSBIO respecto del costo por m<sup>3</sup> en el año 2015 y 2014 muestra valores mensuales de \$725 y \$675 respectivamente, esto correspondió a un alza del 5,4% y en relación al pago cancelado por los clientes en este mismo periodo incremento en un 5,8%, es decir, de \$11.315 a \$10.586 respectivamente. (SISS, 2016)

Los productos químicos utilizados, dependerán de varios factores: la calidad del agua cruda que se extraiga, esta puede cambiar de acuerdo a la estación del año, el tipo de tratamiento utilizado, el caudal de demanda, entre otros. Las cantidades y tipos de químicos variarán de acuerdo a los requerimientos del agua tratada para cumplir con la normativa vigente, por lo tanto, no es posible indicar a cuanto corresponden los costos de estos insumos de manera general (Reinozo, 2014). Es posible señalar que la empresa modelo, en el proceso tarifario de Esval, determinó que los costos mensuales de esta industria, respecto de productos químicos, fue de más de \$160 millones (Esval, 2015).

La energía eléctrica y los productos químicos son insumos indispensables para la entrega de servicios de agua y alcantarillado. Ellos tienen incidencia en los costos de prestación de los servicios sanitarios. Son necesarios para todas y cada una de las etapas del ciclo productivo del agua, desde la extracción del recurso pasando por el tratamiento y finalizando en la distribución.

El 7% del consumo mundial de energía se emplea en el ciclo del agua, porcentaje que no refleja necesariamente la realidad en el mundo. Se estima que en los Estados Unidos del consumo total de energía en sus ciudades un 3% se utiliza para el agua potable y alcantarillado; pero en algunos estados este porcentaje puede llegar a un 20%, como es el caso de California debido a la escasez del

recurso. En relación a Brasil es de un 2,4% del total nacional y un 5,8% para España (Ferro et al, 2015).

Se estima que los gastos de electricidad corresponden entre el 5% y 30% de los costos totales de operación en estos servicios públicos en todo el mundo y pueden alcanzar un 40% en algunos casos (Ferro & Lentini, 2015).

El uso de energía en los sistemas de distribución de agua está influenciado por el diseño del sistema, la demanda, la eficiencia de la bomba y la pérdida de agua por roturas, entre otros factores (Prosser, M et al., 2014)

En California, el consumo de energía de los sistemas de transportes de agua a presión (redes) representa hasta el 6% de la demanda total de energía (Water in the West (WW), 2013). En Europa, el consumo de energía relacionado con estos usos es de 109 TWh (Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE), 2012).

Un problema en estas industrias son las pérdidas de agua ya que la producción es costosa. Los cálculos de la energía por fuga de agua y los indicadores de rendimiento energético se están utilizando para evaluar aspectos de estos sistemas (Colombo & Karney, 2012). Sin embargo, también se sabe que las tuberías con fugas aumentan los costos de bombeo de energía y rehabilitación del sistema y pueden aumentar el riesgo de una calidad de agua comprometida al permitir el ingreso de agua subterránea contaminada (Cabrera et al., 2014).

### **3.7. Balance de Agua Estándar de IWA**

Establecer un balance de agua detallado es una condición previa para una planificación e implementación eficientes de medidas de gestión de pérdidas de agua.(Klingel et al., 2015)

Los balances de agua se calculan para determinar cuándo el agua se está perdiendo en un sistema de distribución; para lograr esto, se desglosan el suministro de agua de un sistema y los diferentes componentes del consumo de agua durante el período considerado (Puust et al., 2010). Los resultados del balance se utilizan luego para establecer indicadores de desempeño que permitan comparar las pérdidas de agua, los efectos y las causas decisivas para ser analizadas y contramedidas a ser planeadas (Farley y Liemberger, 2005).

Existen diversos métodos para poder realizar las estimaciones de perdidas, en la Tabla 3, se observan las diferentes alternativas existentes en base a la literatura y de los cuales al que más se hace referencia es al método IWA.

Durante los últimos 20 años, la International Water Association (IWA) y otras organizaciones han desarrollado herramientas y metodologías para ayudar a las empresas de servicios sanitarios a evaluar y gestionar las pérdidas de agua de una manera efectiva. (Al-Washali et al, 2016)

La Asociación Internacional del Agua (IWA, por sus siglas en inglés) formó un grupo de trabajo el que ha desarrollado un balance hídrico estándar con definiciones claras. Luego ganó la aceptación internacional y ha sido promovido por muchos Organizaciones nacionales e internacionales, incluida la Asociación Americana de Obras Hídricas (AWWA), Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA), Banco Asiático de Desarrollo (BAD) y el Banco Mundial Desde entonces el número de países y empresas que han adoptado este balance hídrico ha ido en aumento (Lambert et al., 2014).

Tabla 3. Productos de software para establecer balances de agua.

Software Referencia	Freeware	Spreadsheet-based <sup>a</sup>	IWA Water Balance (Lambert & Hirner 2000)	Appraisal of Performance Indicators	Consideration of Confidence Limits	Integration to GIS and Other IT Systems	Graphic Visualization of Results
Aquadas QS (Aquadas QS 2007)						X	
Aqualibre (Liemberger & McKenzie 2003)			X	X	X		
AquaLite (McKenzie 2007)	X		X	X	X		
AWWA Free Water Audit Software (AWWA 2009)	X	X	X	X	X	X	
Benchleak (McKenzie et al. 2002)	X	X	X	X			
CheckCalcs (Check-Calcs 2014)	X	X	X	X			
Prototype software (Halfawy & Hunaidi 2008)			X	X	X		X
NAIS (Heydenreich & Kreft 2004)			X	X			
Netbase (Netbase 2014)			X	X			X
OVGW spreadsheet filea (OVGW 2009)	X	X	X	X			X
WB-EasyCalc (WB-EasyCalc 2014)		X	X	X	X		

<sup>a</sup>Microsoft Excel, Redmond, Wash.

Fuente: Klingelet al, 2015

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Área de Estudio

El área de estudio corresponde a las comunas de Machalí y Rancagua ubicadas en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, específicamente a las zonas de estas comunas que son abastecidas por la PTAP Nogales, que se encuentra emplazada en Escrivá de Balaguer S/N, Machalí. Como se observa en la Figura 9, la planta surte de agua a la comuna de Machalí y a una parte de la ciudad de Rancagua.

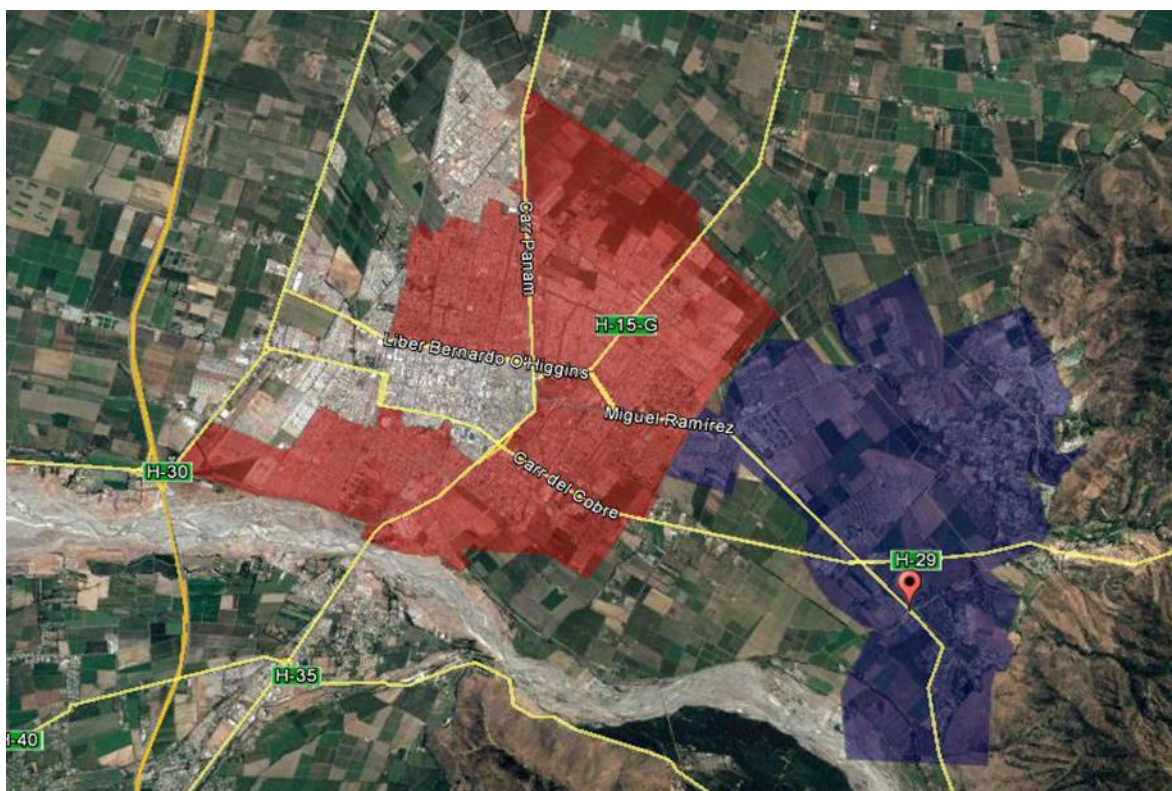


Figura 9. En rojo corresponde a la zona de Rancagua y en azul corresponde a la zona de Machalí, que son abastecidas por la PTAP Nogales señalada con el indicador.

Fuente: Elaboración propia en base a programa Google Earth.

#### 4.1.1. Alcance del estudio - Límites del sistema

El límite del área en estudio considera la frontera del sistema y define los elementos del proceso productivo que participan en este estudio, PTAP Nogales y estanques de distribución.

En términos de cálculos, se deben realizar en dos sistemas:

- Limite A: como se muestra en la Figura 10, corresponde a los flujos de agua desde la PTAP Nogales hasta los clientes. Además, este límite es fraccionado en 6 secciones, donde el nombre del estanque de alimentación será el definido para toda la zona de influencia de este, esto último se observa en la Figura 11 donde los estanques son: San Juan, Nuevo horizonte, Membrillar, Condominio Nogales, Santa Julia y Sanchina, los cuales, tienen una cierta cantidad de clientes asociado que se muestran en la Tabla 4. Es en este límite que se calcularán las pérdidas de aguas que ocurren en el sistema de distribución.
- Limite B: representado en la Figura 12, corresponde solamente a la PTAP Nogales en el que se indican los puntos de inyección de insumos químicos y gastos energéticos. De esta PTAP solo se considera el sistema convencional por filtros rápidos, que capta el agua del río Cachapual, el cual es de régimen nival, en que las turbiedades en los meses de mayor calor, primavera y verano, varían entre 100 y 600 NTU y durante el otoño e invierno descienden a turbiedades entre 10 y 90 NTU.

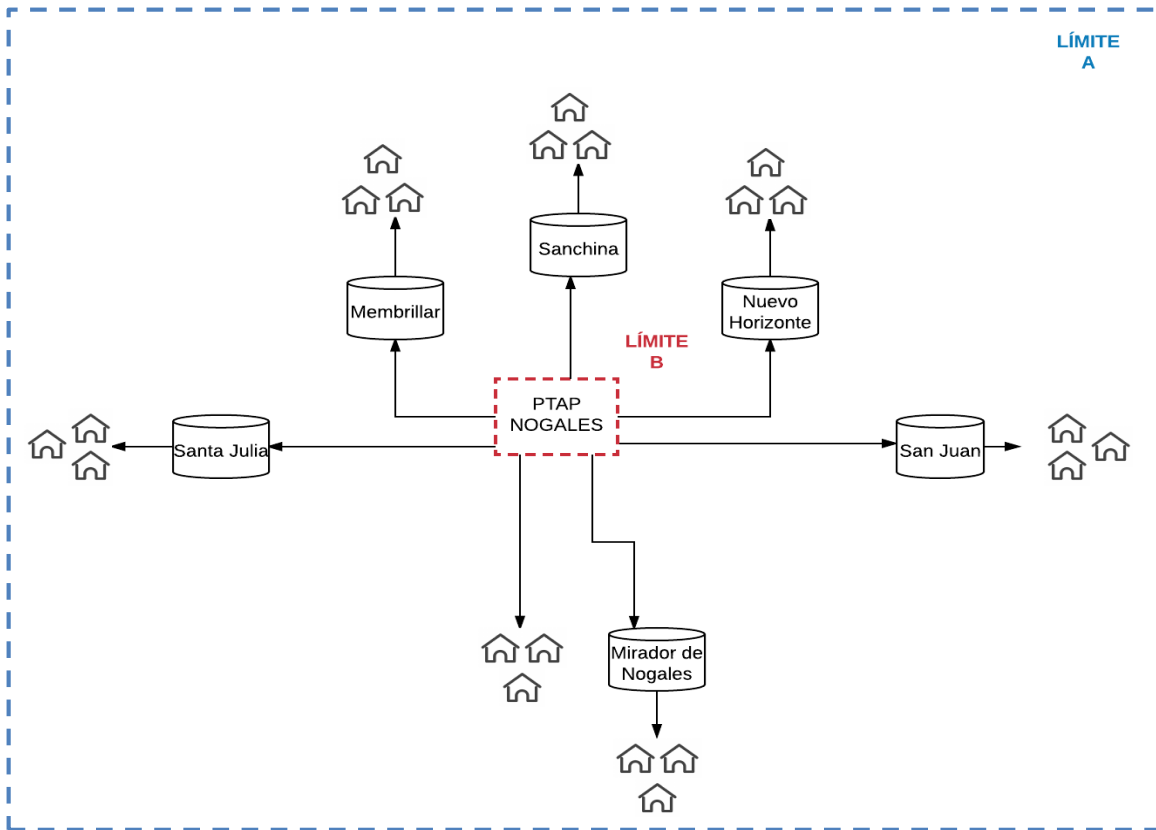


Figura 10. Esquema de los límites del sistema en estudio.

Fuente: Elaboración propia en base a programa de Telemetría

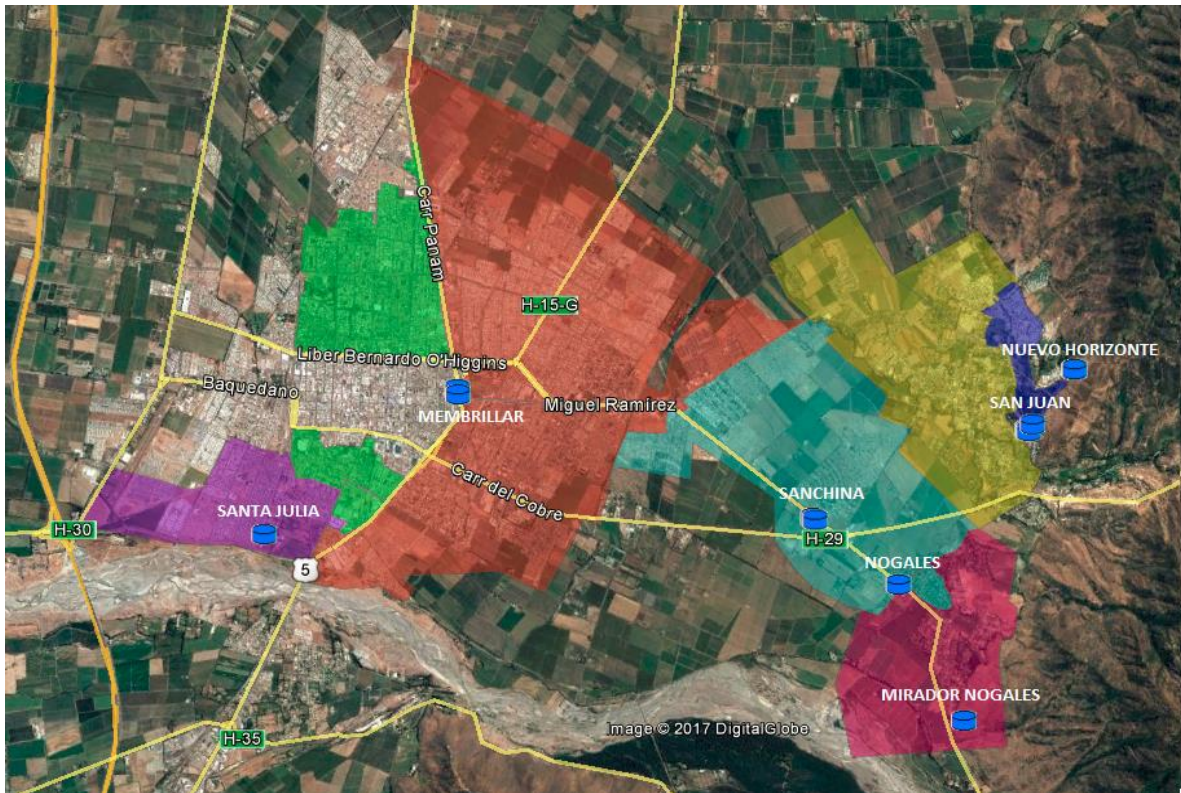


Figura 11. Ubicación y área de influencia de los estanques de almacenamiento abastecidos directamente por la PTAP Nogales. Las zonas coloreadas son abastecidas por cada estanque mostrado en la figura corresponden al siguiente orden: Verde – Membrillar, Morado-Santa Julia, Rojo – Sanchina, Amarillo – San Juan, Azul- Nuevo Horizonte, Celeste – Nogales y Rosado – Mirador Nogales.

Tabla 4. Número de clientes abastecidos por estanque de distribución, año 2016.

<b>Estanque</b>	<b>N° Cliente</b>
<b>Membrillar</b>	8.336
<b>Mirador Nogales</b>	1.144
<b>Nuevo Horizonte</b>	2.407
<b>Sanchina</b>	37.489
<b>San Juan</b>	5.946
<b>Santa Julia</b>	10.127

Fuente: Elaboración propia en base a información de la compañía.



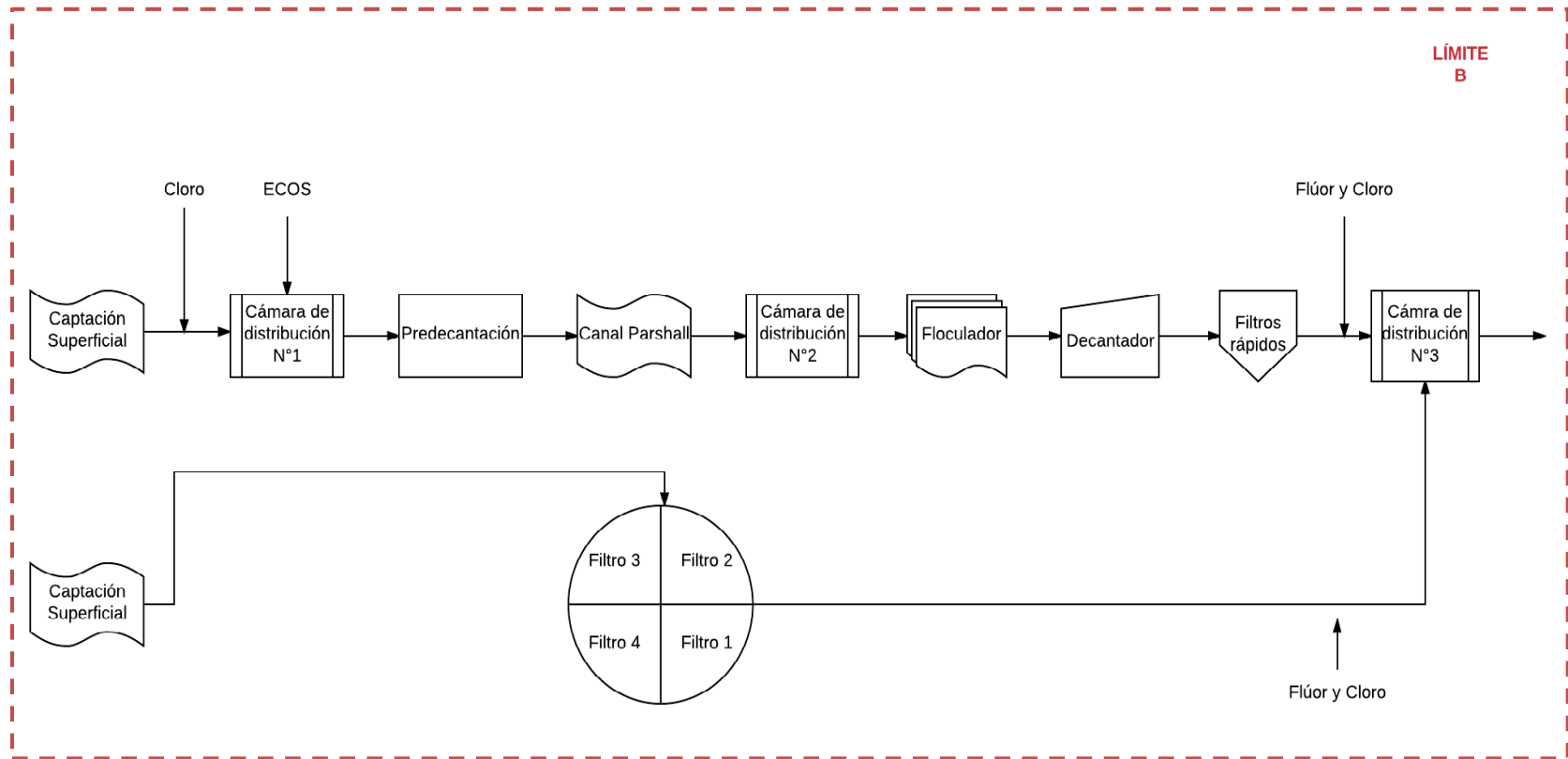


Figura 12. Esquema del límite del sistema B, correspondiente a los elementos de la PTAP Nogales.

## 4.2. Enfoque Metodológico

Para desarrollar la metodología de este estudio se creó un plan de trabajo a ejecutar en base a los objetivos específicos y a la información disponible y facilitada por la empresa, el que considera, como muestra la Figura 13, iniciar por la recopilación de datos, luego realizar los cálculos de volúmenes y gastos operacionales, para seguir con los costos asociados de estos consumos y finalmente identificar por medio del uso de indicadores las zonas críticas del área de estudio. Cada uno de estos pasos será explicado a continuación.

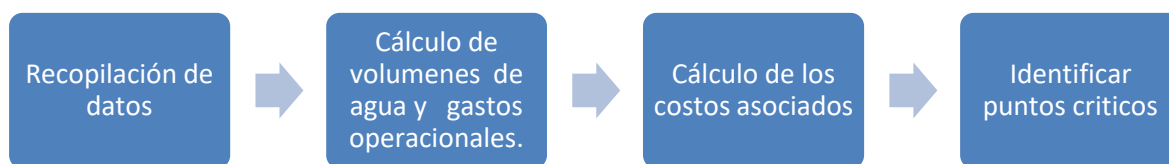


Figura 13. Pasos a seguir de la metodología general.

### 4.2.1. Recopilación de datos.

La empresa sanitaria puso a disposición la información necesaria para el desarrollo de este estudio, esta corresponde a los datos mostrados en la Tabla 5 y que son considerados entre el 1 de enero y 31 de diciembre del año 2016; año que adicionalmente es dividido en cuatro trimestres de acuerdo a la temporada: Verano (enero, febrero y marzo), Otoño (abril, mayo y junio), Invierno (julio, agosto y septiembre) y Primavera (octubre, noviembre y diciembre). Cabe destacar que los volúmenes de agua que se utilizaran son aquellos que provienen exclusivamente desde la PTAP Nogales y las zonas asociadas a cada estanque de distribución que

son abastecidos por estas aguas, además, el cargo tarifario es establecido por las tarifas de agua potable determinadas por la SISS y que se encuentra disponible en el anexo 1.

Tabla 5. Información disponible para desarrollo de cálculos.

<b>Datos disponible</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Unidad de medida</b>
<b>Volumen de agua captada desde el río</b>	Diario	m <sup>3</sup>
<b>Volumen de agua captada por pozos y sondajes</b>	Diario	m <sup>3</sup>
<b>Volumen de agua desechada en el proceso de producción de agua potable</b>	Diario	m <sup>3</sup>
<b>Volumen de agua pérdida en prueba de estanquidad</b>	Horario	m <sup>3</sup>
<b>Volumen de agua consumida por cliente</b>	Mensual	m <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	Diario	kWh
<b>Indicador de energía, consumo de energía para producir un m<sup>3</sup> de agua</b>	Mensual	kWh/m <sup>3</sup>
<b>Tiempo funcionamiento bombas</b>	Diario	horas
<b>Insumos Químicos</b>	Mensual	Kg
<b>Materialidad tuberías y extensión</b>	-	Km
<b>Valor de productos (Químicos y combustibles)</b>	-	\$
<b>Cargo tarifario</b>	Mensual	\$/m <sup>3</sup>

Fuente: ESSBIO.S.A. (Extraído en Julio del 2017)

Por otro lado, la industria sanitaria no solo pone a disposición el set de datos del año 2016, sino que, además, cuenta con un software denominado SIGTerreno de Arcmap, en él se encuentra el detalle de las longitudes y materialidades de las

tuberías, además del número de clientes asociados a cada zona considerada en el estudio. En la Figura 14 se muestra una imagen de la pantalla de dicho programa.

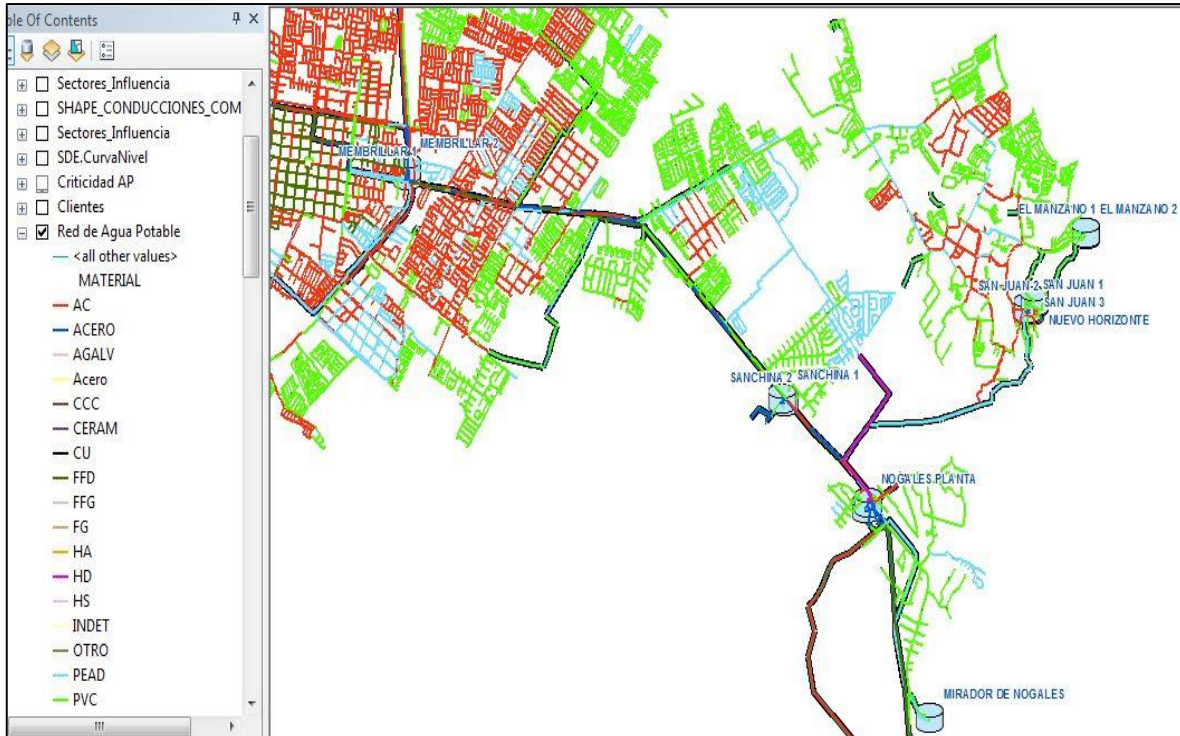


Figura 14. Visualización SIGTerreno de ArcMap.

(Extraído en Julio 2017)

#### 4.2.2. Estimación de las Pérdidas

##### ➤ *Balance Hídrico*

La IWA categoriza los diversos tipos de pérdidas de agua que son tal como se presentan en la Figura 15. Esta herramienta es la base elemental para una gestión de pérdidas de agua y que se encuentra orientada al primer objetivo específico (Al-Washali et al., 2016) A continuación se presenta el esquema propuesto por la IWA para realizar el balance de agua.

Volumen de entrada al sistema $V_i$	Consumo autorizado $V_a$	Consumo Autorizado facturado $V_{af}$	Agua facturada exportada	Agua facturada	
			Consumo facturado medido		
		Consumo autorizado no facturado $V_{aunf}$	Consumo facturado no medido		Agua no facturada
			Consumo no facturado medido		
	Pérdidas de agua $V_p$	Pérdidas aparentes $V_{pa}$	Consumo no autorizado	Agua no facturada	
			Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos		
			Fugas en las tuberías de adducción y distribución		
		Pérdidas reales $V_{pr}$	Fugas y reboses en tanques de almacenamiento		
			Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente		

Figura 15. Balance de Agua propuesto por la IWA.

Fuente: Al-Washali et al, 2016

Los elementos del balance hídrico que se utilizarán para él estudio se definen de la siguiente manera (Ziegler, 2011):

- ✓ **Volumen de ingreso al sistema (Vi):** es la entrada de volumen anual al sistema en cuestión, por ejemplo, si se estudiará el sistema de la Planta Nogales este volumen corresponde al agua proveniente del río y que ingresa al proceso.
- ✓ **Consumo Autorizado (Va):** es el volumen total de agua facturada y de consumo autorizado, pero no facturado (**Vaunf**). Este último corresponde a los volúmenes de agua que se utilizan durante el proceso de potabilización.
- ✓ **Consumo Autorizado Facturado (Vaf):** Corresponde al agua facturada, es decir, el volumen de agua que se entrega y se factura (cobra) al cliente exitosamente.
- ✓ **Agua no facturada (ANF):** el volumen que permanece no facturado y por lo tanto no genera ningún ingreso para la empresa de agua. Se puede expresar como muestra la ecuación 1, la diferencia de volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado.

$$V_{anf} = V_i - V_{af} \quad \text{ec.1}$$

- ✓ **Pérdidas de agua:** es el volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y consumo autorizado (Ver ecuación 2). Y consiste en la suma de las **perdidas aparentes**, que son consumos autorizados, pero con inexactitudes de medición y errores de manejo en los datos, con las **perdidas reales** que constituyen fugas desde la tubería de distribución, conexiones del servicio y estanques de almacenamiento.

$$V_p = V_i - V_a \quad \text{ec.2}$$

El procedimiento estándar de acuerdo con la Asociación Alemana del Gas y el Agua (DVGW, por sus siglas en alemán), se puede aplicar de la siguiente manera para cada sistema:

- 1) Se debe conocer con cierta precisión las entradas de agua al sistema (**Vi**), así como el destino final. El caudal inyectado es medido y registrado continuamente por sensores en línea que muestran los valores en el sistema de telemetría de la compañía.
- 2) Se tiene que identificar a todos los clientes asociados a los registros de facturación para así determinar el **Vaf**.
- 3) Luego para calcular el **Vaunf**, se tiene que identificar el volumen utilizado por la empresa de agua para propósitos operativos (limpieza de troncales, lavado, etc.).
- 4) El **Va** se puede calcular ahora añadiendo **Vaf** y **Vaunf**. Con este dato las pérdidas totales de agua, **Vp**, se pueden derivar de acuerdo a lo indicado en la ecuación 2

$$Va = Vaf - Vaunf \quad \text{ec.3}$$

- 5) El **Vpa**, es un valor muy difícil de estimar y está sujeto a un alto grado de incertidumbre. Primeramente, se tienen que estimar las conexiones ilegales. Al no haber datos de esto en la empresa, *Thorton* recomienda utilizar el 0,25% del volumen que ingresa al sistema como un enfoque inicial. Luego se deben estimar las pérdidas debido a la transferencia de datos y errores de manejo, como también las inexactitudes de medición. La IWA recomienda, para los países en desarrollo, utilizar el 5% del consumo medido facturado (*Thorton*, 2018).
- 6) Finalmente, **Vpr** se pueden obtener de la siguiente ecuación:

$$V_{pr} = V_p - V_{pa} \quad \text{ec.4}$$

Esta metodología de cálculo presentada por IWA se utilizó para estimar los volúmenes agua por pérdidas y dar así cumplimiento al primer objetivo específico.

#### 4.3. Obtención de energía e insumos químicos asociados a las pérdidas de agua.

La PTAP Nogales requiere dentro de su proceso de ciertos insumos para poder operar y potabilizar el agua. Los insumos analizados en este estudio corresponden a insumos químicos y energía eléctrica, los que se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Insumos Operacionales.

<b>Insumos</b>	
<b>Insumos Químicos</b>	Flúor
	Gas Cloro
	Cloruro Férrico
	Polímero Eco 1024
<b>Energía</b>	Energía eléctrica (Abastecida por la empresa Enel)

La energía es entregada por la empresa bajo el dato denominado “Indicador de energía” y la relaciona inmediatamente con los m<sup>3</sup> de agua producida, por ende, se obtiene este valor con unidad de kWh/m<sup>3</sup>. Similar es el caso de los insumos químicos que son entregados como los Kg gastados de estos y al dividir por los m<sup>3</sup> producidos se obtiene el valor unitario de ellos, quedando en unidades de Kg/m<sup>3</sup>. Luego, cada uno de estos términos son multiplicados por los m<sup>3</sup> de agua perdida y se obtiene la cantidad de kWh de energía y Kg de insumos que se gastaron en el agua perdida que no fue facturada.

Con la información anterior es posible calcular la cantidad de dinero necesario para generar un m<sup>3</sup> de agua potable y así conocer la cantidad de dinero perdido en cada m<sup>3</sup> de agua no facturada durante el año 2016.



Para poder magnificar lo que significan estas pérdidas de kWh y Kg, es posible llevar estos datos a \$ (Peso Chileno), ya que también es un antecedente entregado por la empresa. Basta con multiplicar el valor del kWh, que para el año 2016 correspondía a 62,3 \$/kWh y multiplicar los Kg de insumos por el costo unitario de cada uno de los químicos involucrados. Así es posible no solo cuantificar en las unidades correspondientes al segundo objetivo específico, sino que también, es posible convertir estas pérdidas en pérdidas monetarias.

#### **4.4. Identificación de zonas críticas en los sistemas de redes asociado a las pérdidas de aguas.**

Se realiza un diagnóstico del sistema, considerando dos indicadores, ILI y Rendimiento volumétrico, con los cuales se determinarán las zonas críticas del sistema. Estos indicadores fueron seleccionados ya que ambos otorgan una mirada general de la eficiencia del sistema; pero desde diferentes enfoques, el Rendimiento Volumétricos habla de la eficiencia en cuanto volumen (Chuquin, 2016), pero el ILI indica el estado de la red incluyendo no solo volumen, sino que también longitud del sistema de redes (Liemberger, 2006), por lo que, refuerza al Rendimiento volumétrico.

##### **4.4.1. Rendimiento Volumétrico o Eficiencia**

Una de las razones más importantes para mostrar la eficiencia del sistema es el rendimiento volumétrico, esta razón, para una red o sector aislado está definido como la relación entre él  $V_a$  y  $V_i$  para un mismo periodo de tiempo (Chuquin, 2016)

$$\eta_v = \frac{V_a}{V_i} \quad \text{ec.6}$$

A partir del valor del rendimiento volumétrico ( $\eta_v$ ), la gestión del abastecimiento se puede clasificar, según muestra la Tabla 7:

Tabla 7. Clasificación de la gestión de un abastecimiento en función del rendimiento volumétrico.

<b>Rango</b>	<b>Calificación</b>
$\eta_v > 0,9$	Excelente
$0,8 < \eta_v < 0,9$	Muy Bueno
$0,7 < \eta_v < 0,8$	Bueno
$0,6 < \eta_v < 0,7$	Regular
$0,5 < \eta_v < 0,6$	Malo
$0,5 < \eta_v$	Inaceptable

Fuente: Cabrera, 2004

#### 4.4.2. Índice de Infraestructura de Fugas (ILI, Infrastructure Leakage Index)

El Índice de Infraestructura de Fugas (The Infrastructure Leakage Index), ILI por sus siglas en inglés, se expresa como la relación entre las pérdidas reales anuales (Current Annual Real Losses) CARL en litros/día y las pérdidas reales inevitables anuales (Unavoidable Annual Real Losses) UARL en litros/día que se basa en la idea que existe un nivel mínimo de pérdidas y que por debajo de las cuales no sería realista realizar el cálculo (Reunad, 2014). Es decir, es la relación entre las pérdidas reales actuales y una estimación de las pérdidas reales mínimas que podrían lograrse técnicamente con la presión de funcionamiento del sistema, la longitud media de las conexiones a la red y la densidad de conexiones. Desde el año 2005 este parámetro ha sido bien recibido y recomendado para su uso tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo y se calcula con la siguiente expresión (Liemberger, 2006).

$$ILI = \frac{CARL}{UARL} = \frac{CARL}{(18xLm+0,8xNc+25xLp)x P} \quad \text{ec.5}$$

Donde;

- Lm: Longitud de red excluyendo conexiones (Km)
- Nc: Número de conexiones
- Lp: Longitud total de las conexiones de servicio (km)
- P: Presión media de servicio, medida en metros.

Particularmente en este estudio, el actual supervisor de redes Zonal Rancagua en la VI región indica que la distancia entre el borde de la calle y el medidor de los clientes, es decir, el valor de Lp, fluctúa entre los 2 y 5 metros de distancia (Luis Sánchez Supervisor de Redes, comunicación personal, 28 enero 2019). Por lo tanto, en función de la información obtenida se realizó el cálculo de ILI asumiendo 3 escenarios diferentes, los que variaron en porcentaje a la distancia de las conexiones (casa clientes) a la red principal y que se encuentra resumido en la tabla 8.

Tabla 8. Escenarios de los cálculos realizados para la obtención del ILI

Escenarios	Distancia del total de conexiones a la red.	
	2 metros	5 metros
1	30%	70%
2	50%	50%
3	70%	30%

En la metodología del cálculo del ILI se puede obtener valores que oscilan entre 1 y superiores a 8, donde un valor un menor del índice significa que la gestión

de la sanitaria es adecuada. Existe una propuesta del significado de los valores de ILI de acuerdo a si ha sido calculado para países en vías de desarrollo o desarrollados, esto es presentado en la Tabla 9 (Liemberger, 2006).

Tabla 9. Propuesta de valores de ILI para países desarrollados y en vía de desarrollo.

Categoría del Abastecimiento		ILI	Litros/Conexión de servicio/día				
			Presión Promedio ( m.c.a)				
			10	20	30	40	50
Países Desarrollados	A	1-2		>50	>75	<100	<125
	B	2-4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4-8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	>8		>200	>300	>400	>500
Países en Vías de Desarrollo	A	1-4	<50	<100	<150	<200	<250
	B	4-8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8-16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	>16	>200	>400	>600	>800	>1000

Fuente: Liemberger, 2006

Donde,

A = Excelente - no requiere intervención específica.

B = Bueno - no requiere acción urgente, aunque debe ser controlada con cuidado.

C = Pobre - requiere atención.

D = Muy Malo - requiere intervenciones inmediatas de reducción de pérdidas de agua.

#### 4.4.3. Determinación de las zonas críticas y medidas para la reducción de pérdidas de agua

Se realizó un diagnóstico del sistema para identificar cuál de las 6 zonas jerárquicamente es más crítica que otra, para la cual se usara el ILI y Rendimiento Volumétrico. Luego de tener la información de estos dos indicadores se revisaron en conjunto estos antecedentes, resultando como crítica la zona que obtuvo el peor resultado de ambos indicadores. Es sobre esta zona que se indicaron medidas para disminuir las pérdidas de agua potable. Con esto se cumple el tercer objetivo específico.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados de la evaluación de las pérdidas de agua en el Sistema de redes de distribución de Agua Potable Machalí-Rancagua para la industria ESSBIO; basado en los 3 objetivos específicos determinados para este estudio; donde se estiman los volúmenes de agua no facturadas por pérdidas en la red de los sectores que son abastecidos por la Planta Nogales, además, se calculan los gastos asociados a estas pérdidas de agua respecto de la producción, identifica los puntos críticos referente a los sectores definidos por su estanque de distribución y finalmente se proponen medidas para disminuir las pérdidas de agua.

Es importante destacar que los resultados tendrán cierto porcentaje de error debido a que los criterios para poder realizar esta clase de evaluaciones, recaen en que la industria cuente con mayor infraestructura y equipos de medición, además, existen variables técnicas que no siempre permitirán mediciones 24/7 de manera continua. Otra brecha es que no se cuenta los volúmenes de agua que llegan a los estanques, sino que solo los de salida, por lo que posibles rebases de estos quedan fuera de los resultados.

## **5.1. Balances de agua en el sistema de producción y distribución de agua en Rancagua-Machalí.**

En base a lo expuesto en la metodología, se estimaron los volúmenes de agua que al salir de la planta como agua potable, no logra terminar el recorrido hasta la apertura de una llave de agua de un posible cliente, por lo que esta agua no se contabiliza dentro de los volúmenes consumidos/vendidos y genera los volúmenes de agua no facturados. Estos no solo ocurren en el recorrido de la planta al cliente sino, que también durante el propio proceso de potabilización dentro de las instalaciones. Se presenta en el anexo 2 el detalle de los resultados obtenidos en este capítulo.

### **5.1.1. PTAP Nogales (Limite B)**

En primer lugar, se muestran los valores obtenidos de acuerdo al balance de agua asociado a la producción de agua potable en la PTAP Nogales, es decir, el correspondiente al límite B del sistema en estudio. Puesto que el método de trabajo corresponde al Balance IWA, como se muestra en la Figura 16, para esta sección del sistema general, se calculó el valor de  $V_i$  que corresponde al agua captada, captando un total de 22.831.130 m<sup>3</sup> durante el año 2016. Durante el tratamiento del agua ocurren pérdidas operaciones denominadas  $V_{unf}$ , que son cantidad de agua no facturadas y que su consumo está autorizado, estas son utilizadas durante el proceso para el lavado de filtros y corresponden a un 2,5% del total de agua captada, además, podemos observar en la Figura 17 el comportamiento anual de estos lavados, donde aumenta el consumo entre los meses de marzo y mayo, con el máximo consumo en abril debido a que la turbiedad del agua son muy bajas y el tratamiento se complejiza, por lo que deben mantener los filtros lo más limpios posibles; entre los meses de octubre y noviembre también se observa una leve tendencia al alza pero que durante el ese año en particular se debió a un evento puntual de turbiedades muy altas que a colmataron los filtros y que desencadenaron en mayores lavados de estos. Terminado el proceso el agua sale de la PTAP para

seguir su flujo hacia los clientes y que considerando las pérdidas iniciales de Vaunf, del total captado es distribuido el 97,5%.

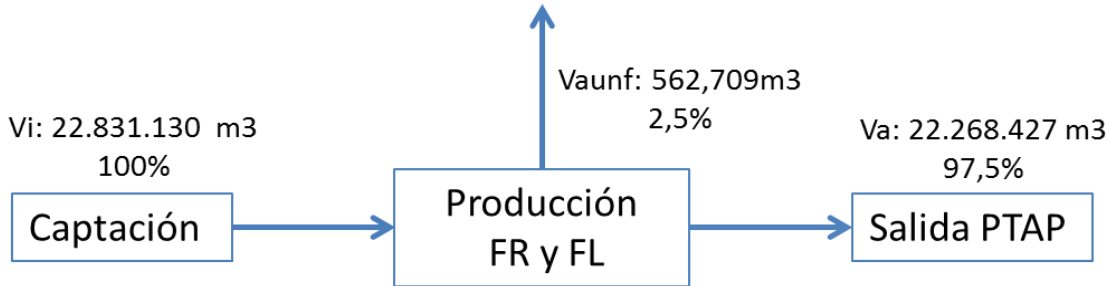


Figura 16. Balance de agua de la PTAP Nogales en el año 2016.

$V_i$ : es la entrada de volumen anual al sistema.  $V_i$ : es la entrada de volumen anual al sistema en cuestión,  $V_{aunf}$ : volúmenes de agua que se utilizan durante el proceso de potabilización.  $V_a$ : Volumen total de agua facturada y de consumo autorizado, pero no facturado.

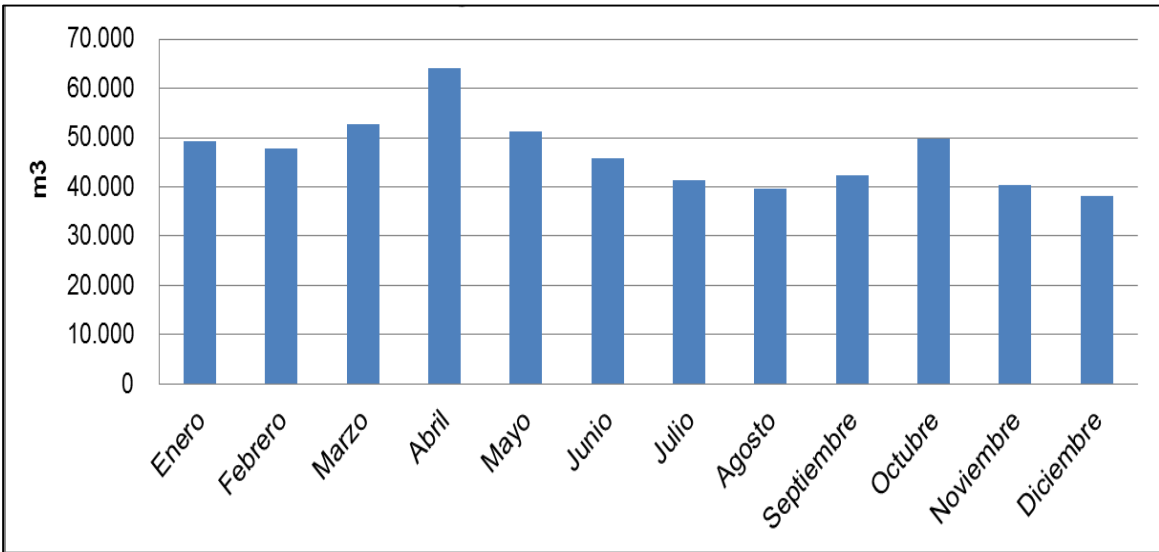


Figura 17. Volumen mensual de agua consumida para el lavado de filtros durante el año 2016.

Adicionalmente, como se observa en la Tabla 10, el año 2016 la producción total de agua fue de 22.268.427m<sup>3</sup>, de los cuales el 27,9% ocurre en los meses de verano. Se debe considerar que la PTAP Nogales cuenta con dos sistemas de tratamiento de AP, donde el de FL participa solo en un 9,8% de la producción total, dejando así al sistema de FR el aporte casi total de la producción con un 90,2%. Es, en este último sistema donde ocurren las primeras pérdidas de agua debido al lavado de filtros, que deben realizarse obligatoriamente, por lo que son consideradas pérdidas operacionales y que en el balance IWA entran en la categoría de “consumos autorizados no facturados”, estos lavados corresponden al 2,5%, es decir, 562.709 m<sup>3</sup>del total de agua captada y que ya recorrió casi todo el proceso de potabilización, faltando únicamente la inyección de cloro y flúor.

Tabla 10. Resultado de Balance Hídrico del año 2016 de la PTAP Nogales.

Mes	Captación Superficial [m <sup>3</sup> ]*	Producción Filtros Lentos [m <sup>3</sup> ]	Producción Filtros Rápidos [m <sup>3</sup> ]	Producción Planta Nogales (FL+FR) [m <sup>3</sup> ]	Lavado de Filtros [m <sup>3</sup> ]
Enero	2.201.959	206.928	1.945.831	2.141.020	49.200
Febrero	2.048.841	155.693	1.845.400	1.989.354	47.748
Marzo	2.142.319	145.532	1.943.989	2.077.782	52.798
Abril	1.762.377	94.608	1.603.718	1.686.587	64.052
Mayo	1.782.560	32.504	1.698.815	1.719.580	51.241
Junio	1.506.013	35.597	1.424.532	1.448.390	45.884
Julio	1.714.102	269.136	1.403.503	1.660.900	41.463
Agosto	1.779.322	373.594	1.445.345	1.807.200	39.617
Septiembre	1.913.193	359.078	1.511.720	1.859.059	42.394
Octubre	1.923.406	238.032	1.628.608	1.854.901	49.844
Noviembre	1.998.406	139.778	1.818.194	1.946.233	40.435
Diciembre	2.058.633	142.042	1.947.119	2.077.422	38.033
<b>AÑO</b>	<b>22.831.130</b>	<b>2.192.522</b>	<b>20.216.773</b>	<b>22.268.427</b>	<b>562.709</b>

\*Volumen acumulado de agua Captada en el mes.



### 5.1.2. Estanques de Distribución (Limite A)

Siguiendo la lógica del Balance IWA, la producción de agua potable generada en la PTAP Nogales es transportada a los 6 estanques de distribución asociados al sistema en estudio. Como se observa en la Figura 18, la mayor cantidad de agua potable es distribuida por el estanque de Sanchina equivalente al 58,7% de la producción total anual y que corresponde al estanque que reparte aguas a la mayor cantidad de clientes, seguido por Membrillar y Santa Julia, con un 15,5% y 10,5% respectivamente.

Es relevante destacar que en esta etapa de los cálculos se presencia la primera brecha del estudio, ya que no se encuentran disponible los registro de la cantidad de agua que llega a los estanques, por el contrario, solo se conoce la cantidad de agua que sale de estos hacia los clientes y que por temas de la industria misma debe coincidir con el agua de llegada.

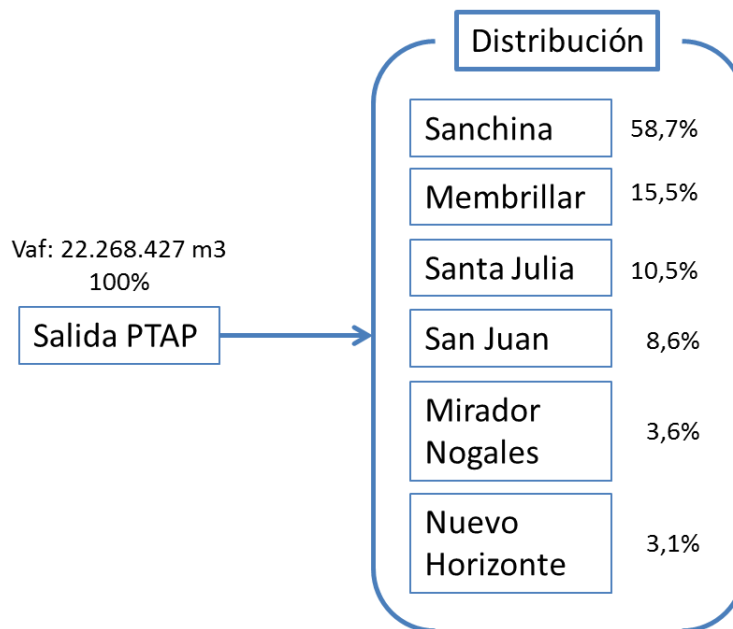


Figura 18. Porcentaje de Agua Potable por Estanque de Distribución en el año 2016.

El siguiente gráfico, correspondiente a la Figura 19, se recoge los volúmenes aportados por cada uno de los estanques a la red de distribución. Se puede notar que estos varían de acuerdo al consumo de los clientes que aumenta a medida que aumentan las temperaturas, dejando a la temporada de verano con el máximo aporte estacional con un 33,4% del total producido, Por otro lado, cuando inicia el descenso de las temperaturas la demanda también lo hace, distribuyéndose en invierno el 20% de la producción. Durante todo el año los estanques de Sanchina y Membrillar aportan los mayores volúmenes de agua a la distribución, demostrando así la importancia que tienen, tanto de Rancagua como el sector de Machalí que se abastece de Sanchina.

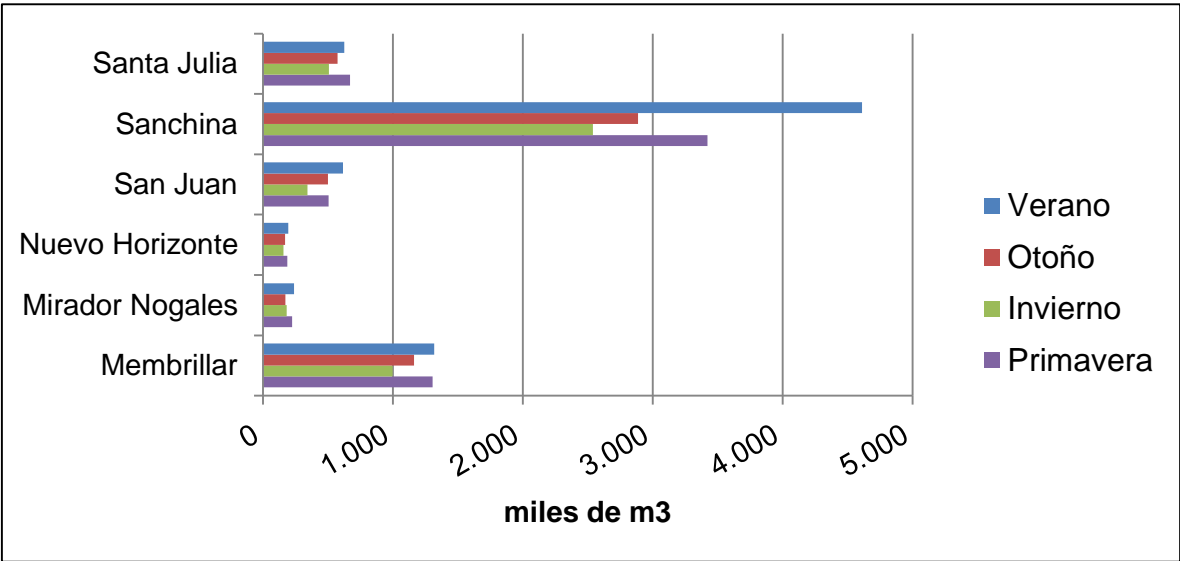


Figura 19. Volúmenes estacionales aportados a la red por estanque de distribución.

**5.1.3. Pérdidas de agua o Aguas No Facturadas.**

Según los datos de las lecturas facilitadas por la compañía se consiguen los consumos por cada zona de facturación, que son determinadas por cada estanque de distribución, ver Tabla 11. Con esta información se obtiene el Vaf, del cual los tres más importantes son, Sanchina que proporciona un 49,4% del total facturado,

seguido por Membrillar con un 24,5% y luego Santa Julia con un 13,0%, cabe destacar que nuevamente resaltan estos estanques por ser los que tienen mayor cantidad de clientes asociados.

Tabla 11. Volúmenes facturados de agua potable durante el año 2016.

Mes	Volumen facturado (m <sup>3</sup> )*						Total
	Membrillar	Mirador Nogales	Nuevo Horizonte	San Juan	Sanchina	Santa Julia	
<b>Enero</b>	316.605	43.559	34.266	124.008	681.153	162.330	1.361.921
<b>Febrero</b>	326.353	41.950	32.657	118.355	714.385	200.702	1.434.402
<b>Marzo</b>	311.562	42.489	33.196	116.328	701.816	191.076	1.396.468
<b>Abril</b>	330.416	37.798	28.505	91.790	518.845	154.630	1.161.984
<b>Mayo</b>	268.554	38.324	29.031	76.215	525.317	122.014	1.059.455
<b>Junio</b>	308.935	28.501	27.786	63.129	496.894	119.009	1.044.255
<b>Julio</b>	285.410	37.467	28.174	66.545	502.195	110.357	1.030.147
<b>Agosto</b>	244.295	39.168	29.875	69.453	526.710	125.069	1.034.571
<b>Septiembre</b>	258.042	38.486	29.193	78.120	551.522	152.210	1.107.573
<b>Octubre</b>	333.066	40.239	30.946	82.199	623.030	166.934	1.276.415
<b>Noviembre</b>	298.851	42.006	32.713	98.585	703.040	198.718	1.373.911
<b>Diciembre</b>	333.471	44.384	35.091	108.879	759.218	212.191	1.493.234
<b>Año</b>	3.615.559	474.371	371.433	1.093.608	7.304.126	1.915.239	14.774.337

\*Volúmenes acumulados

- El total de agua facturada corresponde a un 66,4% del total de agua distribuida, lo que significa que un 33,6% del Va se puede considerar como agua no facturada (Vnf), es decir, volúmenes de agua que se perdieron durante la distribución a los clientes. Ahora realizando este análisis contra el volumen de agua captada y considerando las pérdidas durante la operación, el porcentaje de agua no facturada asciende al 35,3%. Adicionalmente, es importante destacar nuevamente que entre los años 199 -2016 las pérdidas de agua a nivel nacional han aumentado en un 23% y en el sistema de estudio entre el 60% y 70% de las redes tienen menos de 20 años por lo que este aumento en las pérdidas puede considerarse para los sectores Rancagua y Machalí. (Álvaro Olate, Comunicación Personal, 8 de abril de 2019)

Al analizar cada estanque de distribución independientemente podemos observar, en la Figura 20 que la repartición estacional de las aguas facturadas se comporta igual que en el caso de las aguas distribuidas a la red, dejante al sector abastecido por el estanque de Sanchina con la mayor cantidad de agua facturada. Adicionalmente, la Tabla 12 muestra que el estanque con mayor distribución de agua es Sanchina con poco más de 13 millones de m<sup>3</sup> durante el año, seguido por Santa Julia y Membrillar, esto no es extraño ya que Sanchina triplica en número de clientes a San Julia y cuadruplica a Membrillar. Al mirar estos mismos datos, pero del porcentaje facturado respecto de la cantidad distribuida, es el sector de Santa Julia el que factura la mayor cantidad de agua que se distribuye desde el estanque, con un 82,1%, seguido por Membrillar y Mirador Nogales, es así como Sanchina pasa a la quinta posición en esta categoría. Se puede generar el mismo análisis para la cantidad de agua no facturada, quedando así el sector de abastecido por Nuevo Horizonte el que tiene mayor porcentaje de agua no facturada, por ende agua perdida, con un 46,7% del total de agua distribuida por este estanque.

Finalmente, se calcula por literatura las cantidades de agua pérdidas por ilícitos e inexactitudes de mediciones que corresponde a 57.078 m<sup>3</sup> y 738.717 m<sup>3</sup> respectivamente, generando un total de 795.795 m<sup>3</sup> de Vpa, lo que representa un 3,6% del agua producida, 9,9% un del total perdido y un 10,6% de las pérdidas ocurridas en la red.

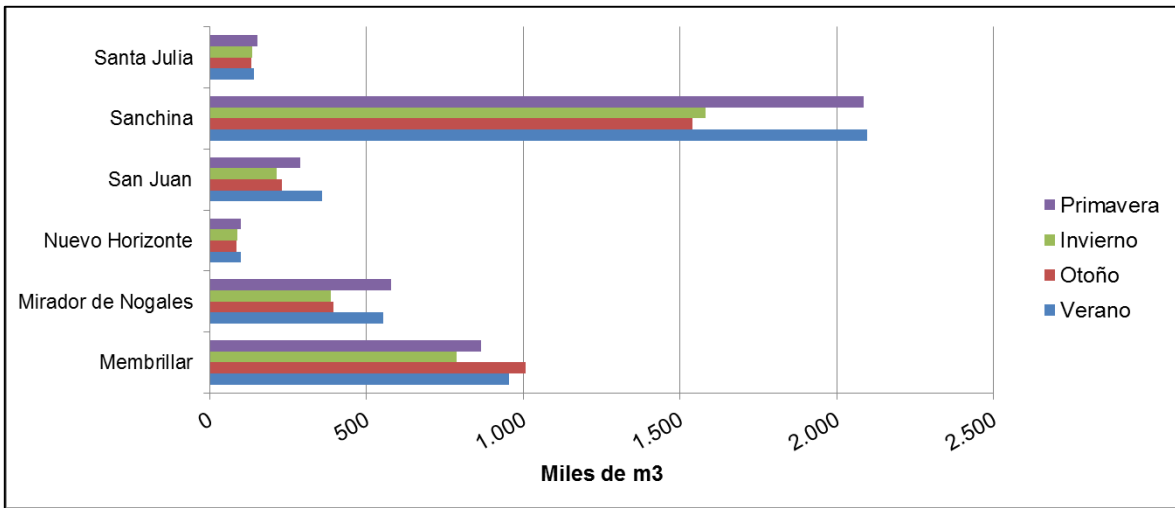


Figura 20. Volúmenes estacionales de agua facturada por estanque de distribución.

Tabla 12. Balance de agua por estanque de distribución.

Estanque	Agua Salida Estanque	Agua Facturada		Agua No Facturada	
	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	%	Volumen (m <sup>3</sup> )	%
<b>Sanchina</b>	13.071.927	7.304.126	55,9	5.767.800	44,1
<b>Membrillar</b>	4.618.675	3.615.559	78,3	1.003.116	21,7
<b>Nuevo Horizonte</b>	697.028	371.433	53,3	325.595	46,7
<b>San Juan</b>	1.913.892	1.093.608	57,1	820.284	42,9
<b>Mirador Nogales</b>	799.961	474.371	59,3	325.590	40,7
<b>Santa Julia</b>	2.333.308	1.915.239	82,1	418.069	17,9

## 5.2. Consumos operacionales.

La energía eléctrica participa en todo ámbito en la vida diaria, por lo que debemos tener mayor conciencia en el uso de ella. Producir 1W de potencia es igual de complejo que producir 1 m<sup>3</sup> de agua y cada uno depende del otro, por lo que tomar medidas para evitar pérdidas de agua potabilizada es sumamente importante, generando no solo un ahorro para la compañía, tanto de electricidad como de insumos químicos, sino que también es un aporte al medio ambiente por no desperdiciar el agua que extraemos del mismo.

Durante la realización del estudio se determinó que la energía eléctrica que se consume durante la producción, se encuentra asociada a la inyección de insumos químicos por lo que ellos también deben ser contabilizados y considerados dentro de las pérdidas de recursos que se generan junto con las aguas no facturadas. Calcular estas cantidades nos orienta a entender la magnitud de las falencias del sistema.

Los puntos del proceso en el que existe gasto de energía eléctrica y uso de insumos químicos, son conocidos y de los cuales la compañía cuenta con el detalle mensual de consumo. Como se muestra en la Tabla 13, los insumos químicos que se utiliza en mayor cantidad durante el año es el Cloruro Férrico, pero que debido a su naturaleza no es comparable con el consumo de energía eléctrica, por lo que calcular el indicador de consumos y costos unitarios es una manera de poder comprar los gastos asociados a estos conceptos.

Respecto del indicador notamos que la energía eléctrica es la que se usa en mayor cantidad por m<sup>3</sup> de agua tratada, seguida por el Cloruro Férrico. A pesar de ser los más consumidos son los productos más económicos, el concepto más costoso es flúor en el que cada Kg de este producto es 19% más costos que el químico que le sigue en precio, es decir, cuesta \$171 más que el polímero ECO 1024. Finalmente, al considerar el total de compras de insumos químicos obtenemos un costo unitario

para el total de insumos de 427 \$/kg y el precio medio de mercado de energía eléctrica para el año en estudio fue de 62,3 \$/kWh, este ultimo de acuerdo al Anuario Estadístico de Energía 2016 del Ministerio de Energía, Gobierno de Chile.

Tabla 13. Gastos de insumos de proceso.

Conceptos		Cantidad Anual	Indicador de consumo	Costo Unitario	Costo Unitario Total (\$)
Insumos Químicos	Flúor	30.985 Kg	0,001 Kg/m <sup>3</sup>	927 \$/kg	427 \$/kg
	Gas Cloro	31.600 Kg	0,001 Kg/m <sup>3</sup>	549 \$/kg	
	Cloruro Férrico	276.435 Kg	0,012 Kg/m <sup>3</sup>	156 \$/kg	
	Polímero Eco 1024	169.748 Kg	0,007 Kg/m <sup>3</sup>	756 \$/kg	
Energía	Energía eléctrica	966.600 kWh	0,042kWh/m <sup>3</sup>	62,3 \$/kWh	62,3\$/kWh

Como se observa en las Figuras 21 y 22, es el sector abastecido por el estanque de Sanchina el que presenta mayores desperdicios de estos productos, debido a que es la zona con mayores pérdidas cubicas de agua. Proporcional a los volúmenes distribuido vs el facturado, el sector de Nuevo Horizonte es el que más agua deja de facturar, pero es de los que menos volúmenes de agua pierde, por ende en cantidad de producto perdidos es de los sectores con menos pérdidas de los conceptos en cuestión.

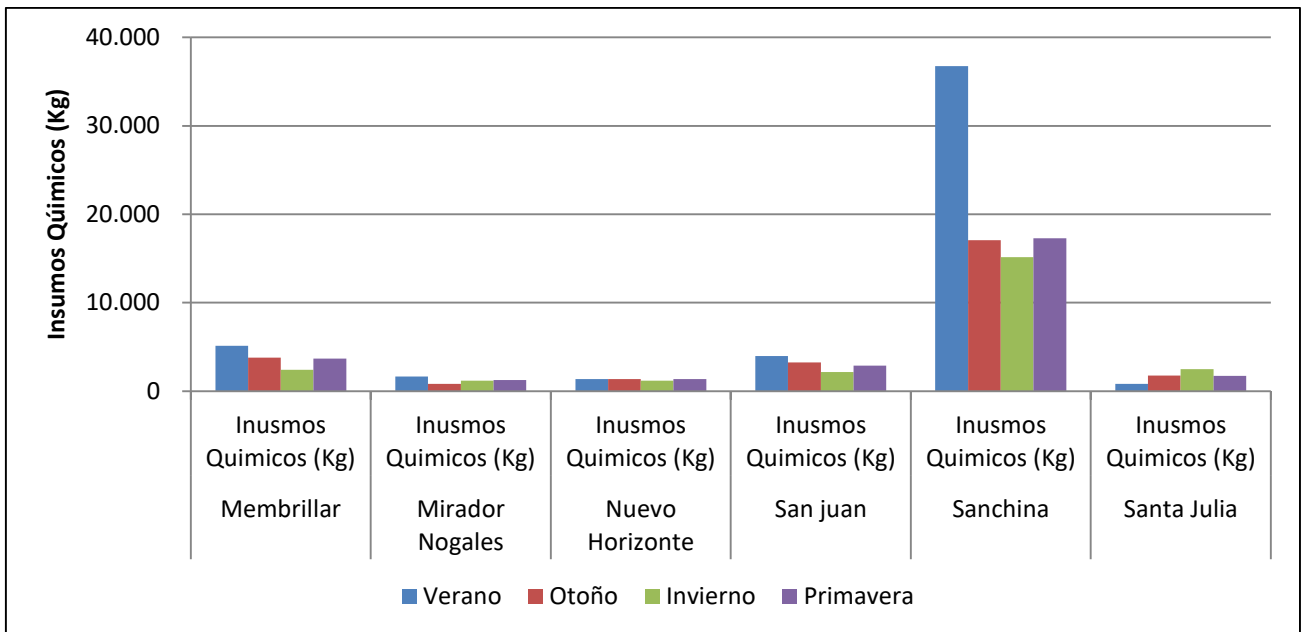


Figura 21. Consumo de insumos químicos asociados a las pérdidas de agua durante el año 2016.

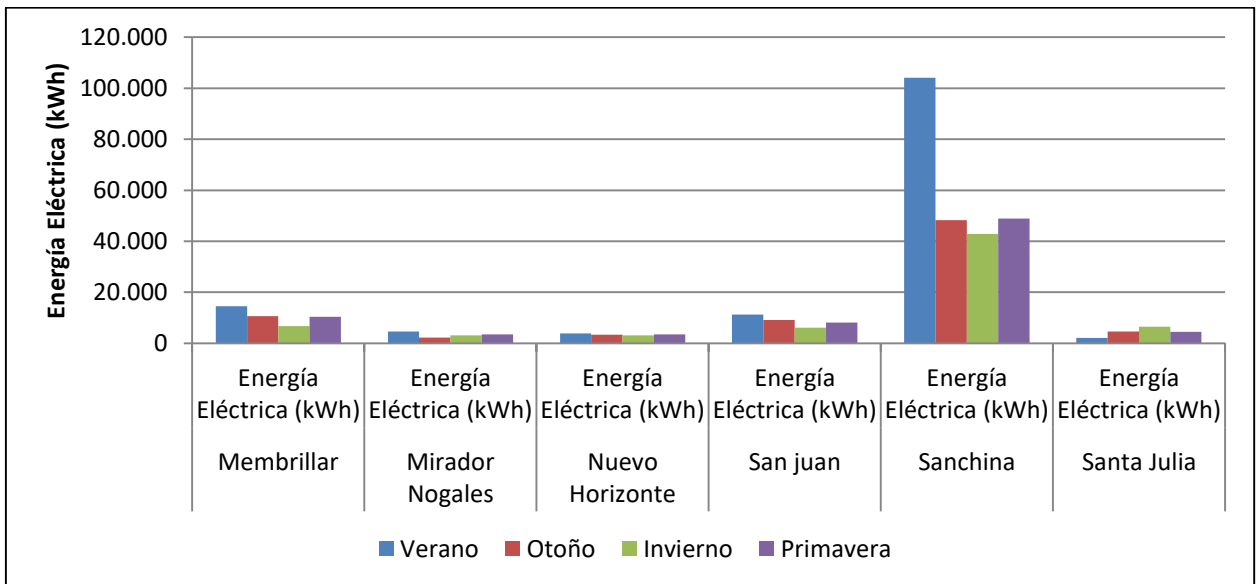


Figura 22. Consumo de Energía Eléctrica asociados a las pérdidas de agua durante el año 2016.



Desde el punto de vista estacional y como se muestra en la Tabla 14, es durante la temporada de verano que ocurren las mayores pérdidas de energía e insumos químicos. La estación del año es fundamental para el comportamiento de eficiencia en la red, ya que la demanda disminuye en invierno y aumenta en verano, es por esto mismo, que los resultados destacaron al verano como la temporada del año crítica para el proceso y, en la cual, se pierden mayores volúmenes de agua. Estas pérdidas energía ocurridas durante el año 2016 podrían haber abastecido un año a 49 viviendas, 554 Refrigeradores o 1.437 lavadoras.

Tabla 14. Gasto de Energía eléctrica e insumos químicos asociado a las pérdidas de agua.

<b>Periodo</b>	<b>Energía Eléctrica (kWh)</b>	<b>Insumos Químicos (Kg)</b>
<b>Verano</b>	140.531	49.720
<b>Otoño</b>	78.394	28.023
<b>Invierno</b>	68.494	24.564
<b>Primavera</b>	79.030	28.210
<b>Año</b>	366.449	130.516

### 5.2.1. Valorización económica de los consumos operacionales.

Respecto de las pérdidas económicas generadas a causa de las ineficiencias en los sistemas es que el monto anual, se observa en la Tabla 15, asciende a \$78.560.170 durante el año 2016, donde un 71% corresponde a gasto en insumos químicos. Además, es en verano que ocurren las mayores pérdidas monetarias, desaprovechando un 38,1% del dinero total ya perdido. Si bien, estos montos pueden ser considerados bajos refleja la realidad de la PTAP en que produce agua de manera muy económica ya que todo el proceso, incluida la distribución ocurre de manera gravitacional, generando gastos solo en las bombas que dosifican químicos, además, los insumos químicos utilizados no se utilizan directamente de diluyen agua para su aplicación, lo que también disminuye el gasto de estos.

Según información de la empresa, en promedio y aproximadamente la región percibe ingresos totales de \$1.500.000.000 mensuales, por lo que la pérdida anual corresponde a un 5.2% del ingreso mensual.

Tabla 15. Costo de insumos químicos y energía eléctrica asociados a las pérdidas de agua.

Costos (\$)			
Periodo	Insumos Químicos	Energía Eléctrica	Total
Verano	21.230.304	8.755.060	29.985.364
Otoño	11.965.782	4.883.956	16.849.737
Invierno	10.488.843	4.267.163	14.756.006
Primavera	12.045.500	4.923.563	16.969.063
Año	55.730.428	22.829.742	78.560.170

### 5.3. Zonas críticas y medidas para disminuir las pérdidas de agua.

Conocer los sectores del área de estudio que tienen mayores pérdidas, es el primer paso a una futura gestión de estos; pero no toma en cuenta ningún factor local, es por esto que los resultados de este capítulo serán los necesarios para poder definir los puntos críticos del sistema en estudio y serán presentados en orden descendente, sobre la zona que requiere mayor gestión a la que requiere menor intervención.

#### 5.3.1. Rendimiento Volumétrico.

Según las mediciones que se observan en Tabla 16, la calificación del sistema se puede considerar como “regular”, esto de acuerdo a los resultados del rendimiento volumétricos promedio anual 2016. Al observar el comportamiento estacional, notamos que la calificación es relativamente constante durante el año, solo durante el periodo de verano es que la calificación desciende a *malo*, periodo en que, el consumo aumenta considerablemente. De la misma manera, en la Tabla 17 y 18, se muestra la zona con mejor y peor calificación promedio anual respectivamente, de todos los sectores en estudio. Así el sector de Santa Julia es el que presenta la mejor condición anual calificada como “Muy Bueno” llegando a Excelente durante el periodo de verano y manteniéndose en calificación Bueno en resto del año. La peor calificación la obtiene el sector abastecido por el estanque de Nuevo Horizonte encontrándose en *Malo* durante todo el año. Estos datos son presentados como promedios y por ende oculta el comportamiento real del sector, debido a esto se presenta la Figura 23, que muestra la tendencia mensual de cada zona en estudio y con el que se confirma la persistencia de los bajos resultados de la zona de Nuevo Horizonte, a pesar de esto, es interesante notar que este sector presenta valores de rendimiento similares tanto en invierno como verano que puede deberse a que es una zona más acomodada (socioeconómicamente) y que los clientes habitaciones tienen jardines grades y piscinas, en cambio Santa Julia es más humilde con

propiedades más pequeñas por ende los consumos se restringen exclusivamente a los del interior de la casa, además, es una zona más pequeña con menos recorrido de redes y que genera menores pérdidas.

Tabla 16. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio del sistema B.

<b>Periodo</b>	<b>Volumen Consumido Acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Suministrado (m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\eta_v</math></b>
<b>Verano</b>	4.289.557	7.368.800	0,64
<b>Otoño</b>	3.617.907	5.297.210	0,65
<b>Invierno</b>	3.108.972	4.548.471	0,63
<b>Primavera</b>	3.757.899	5.420.347	0,69
<b>AÑO</b>	14.774.336	22.634.829	0,65

Tabla 17. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio en el sector de Santa Julia.

<b>Periodo</b>	<b>Volumen Consumido Acumulado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen Suministrado (m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\eta_v</math></b>
<b>Verano</b>	575.223	625.459	0,91
<b>Otoño</b>	467.720	575.769	0,76
<b>Invierno</b>	354.435	507.243	0,72
<b>Primavera</b>	517.862	624.837	0,81
<b>AÑO</b>	1.915.239	2.333.308	0,86

Tabla 18. Cálculo del rendimiento volumétrico promedio en el sector de Nuevo Horizonte.

Periodo	Volumen Consumido Acumulado (m <sup>3</sup> )	Volumen Suministrado (m <sup>3</sup> )	$\eta_v$
Verano	102.014	194.111	0,53
Otoño	90.732	169.647	0,50
Invierno	85.835	159.027	0,54
Primavera	92.852	174.243	0,53
<b>AÑO</b>	<b>371.433</b>	<b>697.028</b>	<b>0,51</b>

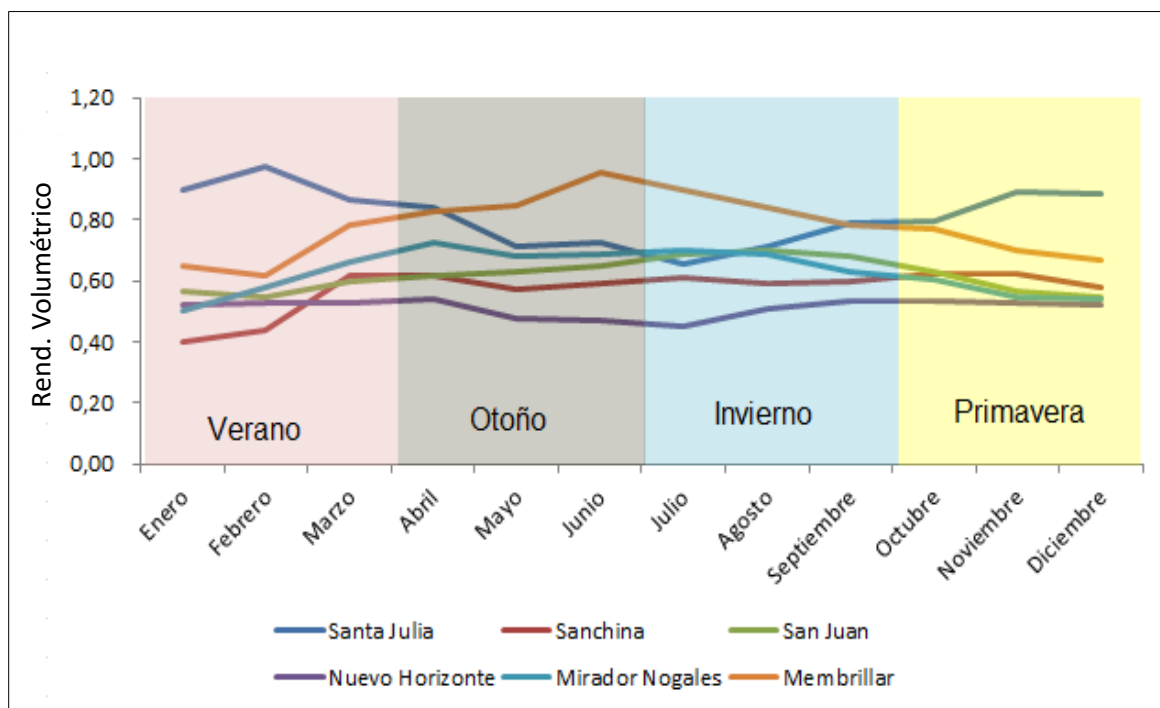


Figura 23. Rendimiento Volumétrico Mensual de todas las zonas en estudio.

Finalmente, podemos comparar estos resultados con los presentados por la Agencia Europea del Medio Ambiente durante el 2007 en que el  $\eta_v$  de España, Alemania, Dinamarca y Paris que supera el 0,8, estos países se igualan al valor obtenido en el sector de Santa Julia. Así también se pueden comparar los resultados del sector

de nuevo Horizonte asimilando el rendimiento de Albania, Bulgaria y Ucrania con valores por debajo del 0,5 (F, Martinez, 2007).

### 5.3.2. ILI

El rendimiento volumétrico independiente de los buenos y/o malos resultados del estado de la red, no considera aspectos fundamentales como la presión, continuidad del servicio y longitud de la red. Estos parámetros, si son abordados por el índice ILI, obteniendo los siguientes resultados:

Como se muestra en las Figuras 24, 25 y 26, los resultados obtenidos para el sistema en estudio, destacan que el ILI se encuentra mayormente vinculado a la presión y no tanto a las diferencias en las longitudes de las conexiones a la red. Por otro lado, no existe mayor variación entre las diferentes longitudes de red, estas diferencias pueden ser observadas en el anexo 3 y ocurren al orden de valores decimales.

Es interesante notar que los mejores resultados de ILI se obtienen a menores presiones y es el valor mínimo aceptado en la normativa vigente, el que entrega mejores resultados del índice entre 1,50 y 0,79. Además, las presiones mínimas y máximas medidas tienden a dar resultados un poco más altos del índice, variando entre 3 y 0,77.

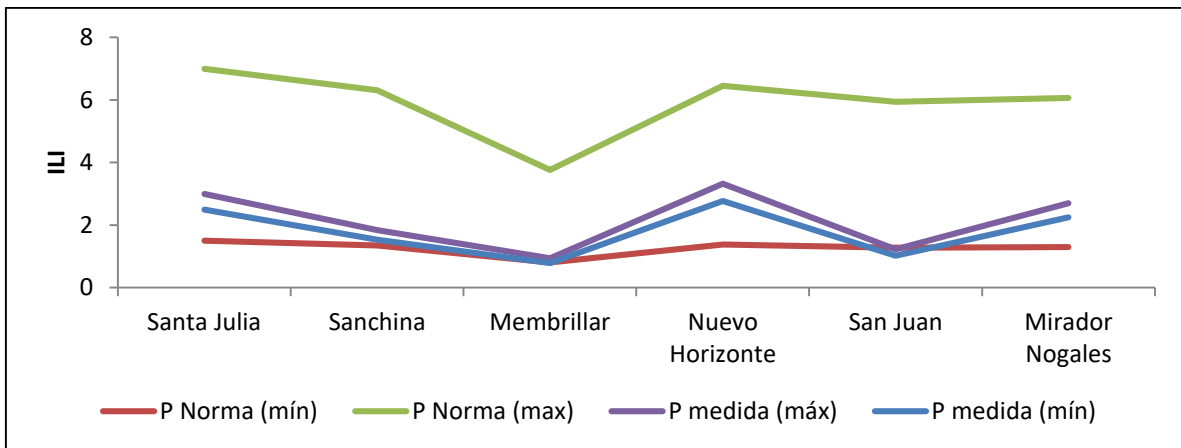


Figura 24. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 1.

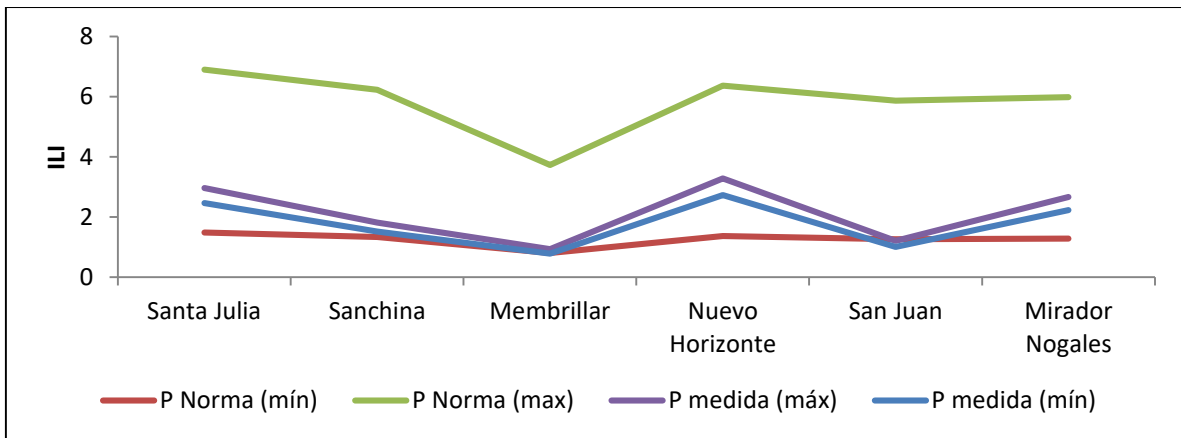


Figura 25. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 2.

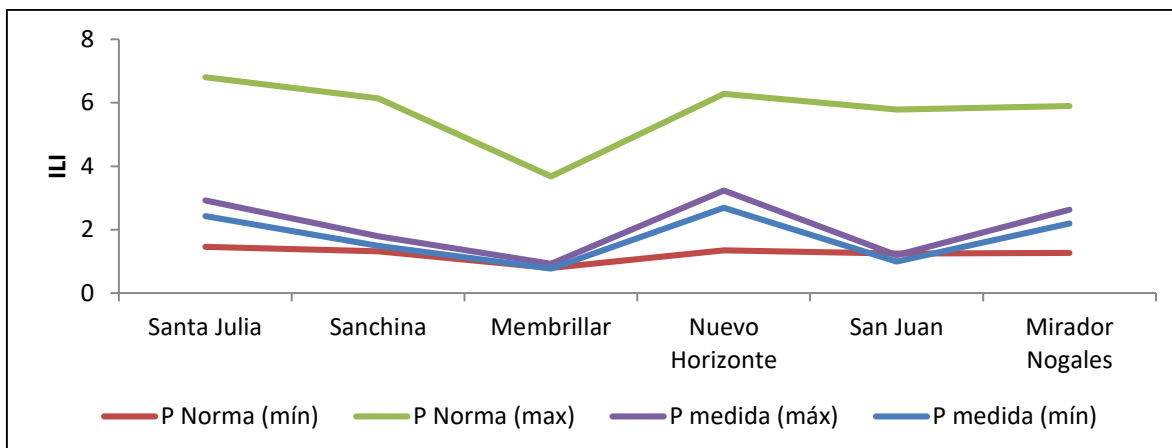


Figura 26. Variabilidad de ILI considerando longitudes de la red en escenario 3.

Se utilizarán los valores de P medida (máx) considerando el escenario 1 para realizar la evaluación de la red, por ser la combinación de resultados más desfavorable para el sistema, cabe destacar que no varía significativamente con los demás escenarios. De acuerdo a esto, se pueden clasificar los diferentes sectores con la categorización otorgada en literatura (Liemberger, 2006) respecto de los valores obtenidos de ILI. Al observar la Tabla 19, los sectores de Nuevo Horizonte y Mirador Nogales están en la categoría de *excelente* y no precisan intervención específica, mientras que el sector con peor resultado es el de Sanchina en la categoría *pobre* por lo que requiere de atención.

Tabla 19. Categorización de abastecimiento por sector.

Sector	Categoría
Santa Julia	B
Sanchina	C
Membrillar	B
Nuevo Horizonte	A
San Juan	B
Mirador Nogales	A

A = Excelente - no requiere intervención específica. B = Bueno - no requiere acción urgente, aunque debe ser controlada con cuidado. C = Pobre - requiere atención. D = Muy Malo - requiere intervenciones inmediatas de reducción de pérdidas de agua.



Finalmente, al comprar los resultados medios de ILI de Sudáfrica, Norte América, Inglaterra y Australia, en que para cada uno participaron 27, 20, 22 y 22 sistemas de distribución respectivamente, con el obtenido en el sistema Rancagua-Machalí, podemos observar que a pesar de considerar para la elección de la categoría a Chile como un país en vías de desarrollo, el valor de medio de la ciudad es similar a los resultados obtenidos en países desarrollados, variando en solo 0,03 unidades respecto de Australia. En el anexo 4 se encuentran disponibles los resultados para cada sistema internacional de la comparación (Hamilton, 2006).

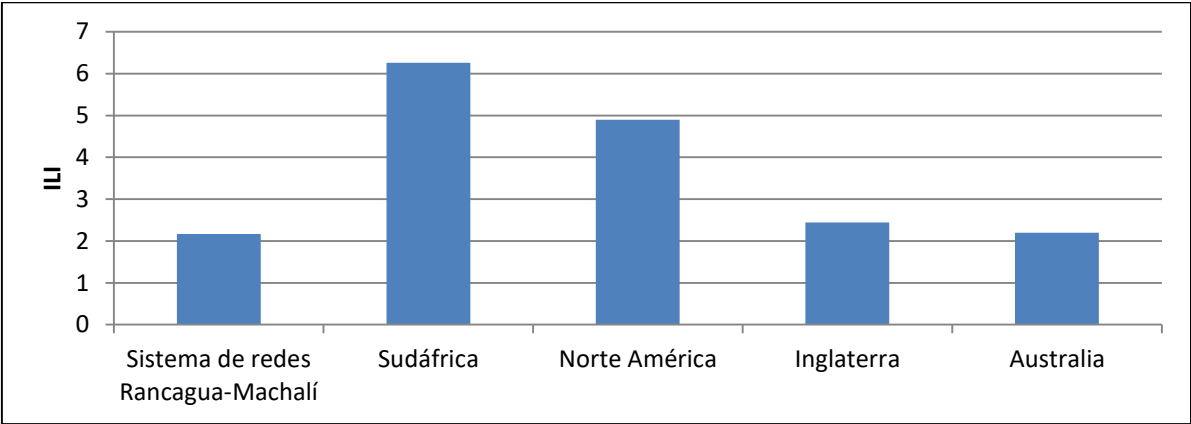


Figura 27. Comparación de valores medios de ILI con el mundo.  
Fuente: Hamilton, 2006.

**5.3.3. Análisis de zonas críticas y medidas para disminuir las pérdidas en el sistema de distribución**

Finalmente se selecciona el sector crítico con la visión que el que tiene mayores oportunidades de mejorar.

Si bien ambos indicadores se complementan no es posible utilizar los dos para la elección del sector crítico, debido a que sus calificaciones utilizan rangos para caracterizar la zona. Como se observa en la Tabla 20, las oportunidades de mejora, respecto del Rendimiento Volumétrico, se encuentran cuatro de las seis zonas estudiadas, Sanchina, Nuevo Horizonte, San Juan y Mirador Nogales; y en cambio

en considerando los resultados del ILI, es el sector de Sanchina el que obtiene el resultado más bajo. Finalmente, por encontrarse en ambos indicadores como un sector con valores no deseables, Sanchina es la zona escogida como crítica.

Tabla 20. Resumen de resultados de indicadores para la selección de la zona crítica.

<b>Sector</b>	<b>Rendimiento Volumétrico</b>	<b>ILI</b>
<b>Santa Julia</b>	0,82 – Muy Bueno	3,0 – B (Bueno)
<b>Sanchina</b>	0,56 – Malo	1,8 – C (Pobre)
<b>Membrillar</b>	0,78 - Bueno	0,9 – B (Bueno)
<b>Nuevo Horizonte</b>	0,53 – Malo	3,3 – A (Excelente)
<b>San Juan</b>	0,57 – Malo	1,2 – B (Bueno)
<b>Mirador Nogales</b>	0,59 – Malo	2,7 – A (Excelente)

#### 5.3.4. Medidas para disminuir las pérdidas.

A pesar de ser el sector de Sanchina el considerado como zona crítica, se debe considerar positivamente y trabajar sobre ella como la zona con mayores oportunidades de mejora. Por esto, existen una serie de recomendaciones que deben ser aplicadas en todos los casos para lograr un sistema de distribución más eficiente. Una de las recomendaciones es utilizar la normativa vigente como referencia para controlar los factores que pueden causar fallas en las redes de distribución. Por ejemplo (Durán & Moral, 2015)

- ✓ Presiones internas: hace referencia a la NCh.691 y seguirla puede evitar, por ejemplo, los llamados golpes de ariete, cuando se cierran de manera brusca válvulas o grifos.
- ✓ Calidad de los materiales y procesos constructivos: hace referencia a la NCh. 1360. El empleo de material y procesos constructivos inadecuados, hacen que los sistemas se tornen más vulnerables a las roturas, filtraciones,

corrosiones o incrustaciones, generando una mayor probabilidad de pérdidas.

- ✓ Calidad del agua: hace referencia a la NCh. 409 e influye directamente sobre la vida útil de los materiales empleados para transportarla. Aguas que presentan bajos niveles de pH provocan corrosión interna de tuberías y elementos accesorios. Aguas con alto contenido de sulfatos tiene efectos corrosivos en el asbesto cemento y hormigón.

Según los tipos de pérdidas identificados en el estudio, por método del Balance de Agua IWA, se sugieren a continuación ciertas recomendaciones para minimizar los volúmenes fugados de agua.

- Pérdidas por Consumos Operacionales

Como se observó en los resultados del Balance de Agua IWA, los lavados de filtro durante la operación participan en estas clases de pérdidas, por lo que las medidas deben ser adoptadas sobre la mantención y control operacional de los filtros. Las mantenciones están relacionadas con mantenimiento preventivo del medio filtrante y los elementos más expuestos a desgastes. Otra medida, pero relacionada al control operacional, es la constante capacitación del personal y que así ellos puedan identificar rápidamente variables que puedan afectar la eficiencia de los filtros y poder adecuar los tiempos y volúmenes de agua utilizados en el lavado.

- Pérdidas Reales

Para poder ejecutar control de las pérdidas que se producen en la red, cuánto más pequeña sea el área de estudio, cuantas menos variables haya que considerar, más rápida y sencilla será la solución.

Como ya sabemos, existen fugas de agua que no son visibles estas pueden mantenerse así o en algún momento aflorar a la superficie; por lo tanto, mientras antes sean detectadas menores serán las pérdidas asociadas a ellas. Las medidas

que se pueden generar corresponden a inspecciones sistemáticas de la red con equipos de detección acústica. O Instalar medidores de caudal temporal o permanentemente, en los sectores que se generen mayores pérdidas y en base al análisis de los datos aportados poder definir anomalías en la red en base a los consumos nocturnos y promedios diarios.

- Pérdidas Aparente

Los volúmenes no facturados pueden aumentar debido a errores de lectura tanto de los equipos de medición como de la persona encarga de generar el reporte de esta lectura. Una de las medidas para disminuir estas inexactitudes, es nuevamente la de mantener al personal capacitado y generar constantemente refuerzos a la metodología, tanto de lectura como de registro de la información. Por otro lado, planificar mantenciones de los equipos para lograr siempre el mínimo porcentaje de error posible en la medición. Adicionalmente, en este punto es que las inversiones son muy importantes, cuando los medidores hayan cumplido su vida útil, deben ser reemplazados por nuevas tecnologías (ejemplo: de transmisión magnética); esto significan un gran gasto para la compañía, por lo que esta medida es considerada de largo aliento. (Albarrán, 2007)

- Pérdidas por ilícitos

Para evitar pérdidas por ilícitos es necesario generar algún programa para la detección de arranques fraudulentos, ya sea por medio de inspecciones en terreno, análisis de datos en relación a consumos anormales por tipo de cliente y datos históricos del mismo. Luego debe ser corregida y debidamente sancionada; demostrar que estos actos constituyen un delito es una primera medida para generar conciencia.

Finalmente estas medidas pueden ser agrupadas de acuerdo a los plazos para ser llevadas a cabo y son resumidas en la figura.

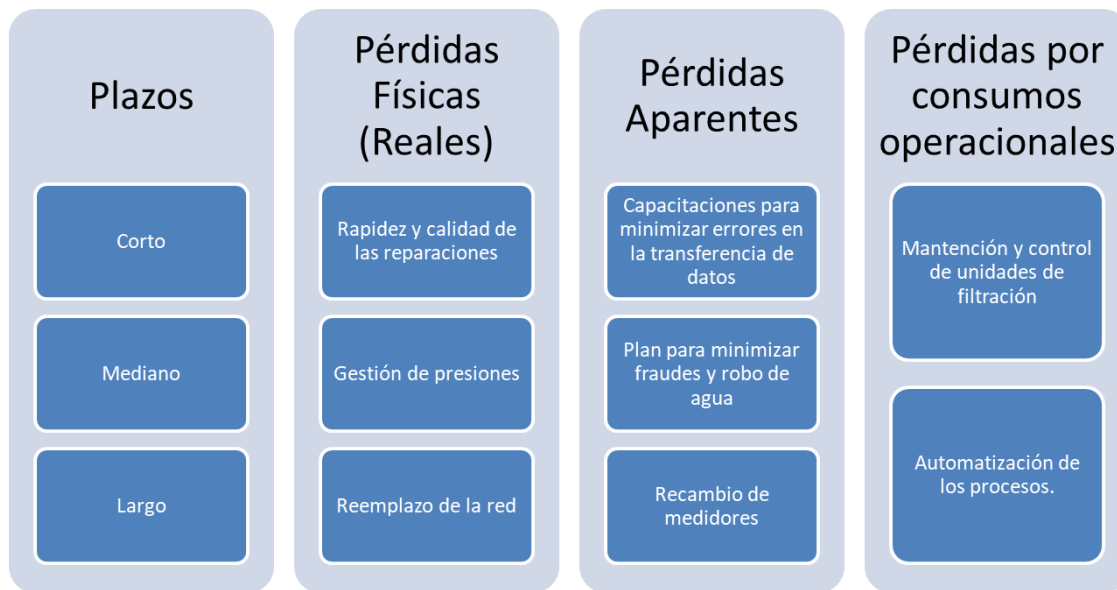


Figura 28. Medidas para disminuir las pérdidas de agua.  
Fuente: Albarrán, 2007 y Durán & Moral, 2015

## 6. CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación de las pérdidas de agua en los sistemas de producción y distribución, se puede concluir como punto base que el agua no facturada nunca se eliminará por completo, ya que siempre habrá una determinada cantidad de agua que se utiliza durante el proceso de potabilización y que corresponde al agua de proceso. En el caso de la industria en estudio, presenta un 35,3% pérdidas de agua que la posiciona solo 0,5 puntos más arriba que el promedio de las aguas no facturadas de las 28 principales empresas sanitarias en Chile. En otras partes del mundo la situación en cuanto a las pérdidas no dista de la de Chile, en México, ciudades de Asia y Latinoamérica ascienden al 40%, 39% y 42% respectivamente (Ojeda, 2012)

La cantidad de energía asociada al volumen de agua potable perdido en la red, corresponde a casi el 38% del consumo anual de la propia planta. Respecto de los insumos químicos, estos representan el 71% de las pérdidas económicas por aguas

no facturadas; que sumado a las pérdidas económicas por consumo eléctrico significan pérdidas del 5,2% de las ganancias recibidas en un mes por la compañía en la región.

La definición de las zonas crítica en el estudio, es otorgada por la suma de la posición jerarquizada obtenida en cada sector respecto del Rendimiento Volumétrico e Índice ILI y que señalaron a Sanchina, con resultados de 0,56 y 1.8 respectivamente, como el sector más crítico de los seis posibles y por ende, el que tiene mayores oportunidades de mejora. Respecto del rendimiento volumétrico obtenido en el sistema general puede ser comparado con los resultados de este mismo indicador, en países como España y Alemania. Estos resultados son reforzados con el índice ILI, donde el sistema de distribución de agua potable de Rancagua-Machalí pertenece a un país en vías de desarrollo y aun así obtiene valores muy similares a los países desarrollados, casi igualando a valores de ILI obtenidos en Australia. Independiente del sector escogido como crítico, la reducción de los volúmenes de agua no facturados debe ser uno de los objetivos prioritarios para la industria, no solo para lograr eficiencia económica y técnica, sino que también, por ser una responsabilidad social y medioambiental de la compañía. Para esto, se debe considerar el cumplimiento a la normativa como una herramienta y primera medida para asegurar el buen funcionamiento del sistema y su durabilidad. Finalmente, ejecutar medidas para reducir los volúmenes de agua no facturados es una decisión que no solo generará ahorros en la compañía, por mayores ingresos de agua facturada, sino también de insumos químicos y energía asociado a la producción.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarrán, M. (2007). *Reducción de Pérdidas en Sistemas de agua Potable*. Chile: Curso Interamericano en Preparación y Evaluación de Proyectos.
- Al-Washali, T., Sharma, S., Kennedy, M. (2016). Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. *Water Resour Manage*, 6.
- Asian Development Bank. (2010), *Data Book of Southeast Asian Water Utilities 2005*. ADB, Filipinas.
- H. Avila, y J. Saldarriaga. (2013). *Determinación de parámetros de fuga para fallas longitudinales y en conexiones domiciliarias en tuberías de PVC*, Bogotá Universidad de los Andes, 112
- de los Andes, 2003, 112 p.
- Ayala, L. (2010). *Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) - Primera etapa diagnóstico. Informe preparado para e diagnóstico de la gestión de los recursos hidricos*. Chile.
- Cabrera, E., Gómez, E., Cabrera Jr. E., Soriano,j.(2014). Energy Assessment of Pressurized Water Systems
- Chuquin, N. (2016). *Análisis y Elaboración del Modelo Matemático de la Red de Distribución de Agua Potable de la Ciudad de Riobama-Edcuador. Propuesta de Mejora*. Ecuador: Universidad Politécnica de Valencia, 19-21.
- Colombo, F. & Karney, B. (2012). *Energy and Costs of Leaky Pipes: Toward Comprehensive Picture*.Universidad de Toronto.
- Cosanher Consultaría. (2015).*Estudio de Fallas en tuberías*. (Disponible en internet: <https://www.cosanher.com/single-post/2015/08/27/ESTUDIO-DE-FALLAS-EN-TUBER%C3%8DAS>)

- DGA. (2016). *Atlas del agua*. Chile: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. (Disponible en internet: <http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>)
- Durán, J. & Moral, J. (2015). *Gestión de las redes de abastecimiento. Control del Agua No Registrada (ANR)*. Córdoba, España: IV Jornadas de Ingeniería del Agua. La precipitación y los procesos erosivos. (Disponible en internet: <http://www.uco.es/jia2015/ponencias/c/c026.pdf>)
- ESVAL. (2013). *Plan de Pérdidas ESVAL 2014*. Departamento de Pérdidas.
- Farley, M. & Liemberger, R.(2005). *Developing a Non-revenue Water Reduction Strategy: Planning and Implementing the Strategy*. Water Science and Technology: Water Supply.
- Ferro, G., & Lentini, E. (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*. Alemania.: División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL. (Disponible en internet: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37630/S1421127\\_es.pdf?sequence=1](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37630/S1421127_es.pdf?sequence=1))
- Hamilton, S. (2006). A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Supply Systems, 5-7.
- IWA. (2018). *Performance indicators for water supply service*.International Water Association. (Disponible en internet: [https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/Manual%20PI%20IWA\\_ES.pdf](https://www.iwapublishing.com/sites/default/files/ebooks/Manual%20PI%20IWA_ES.pdf) )
- Jimenez, S., & Wainer, J. (2017). *Realidad del Agua en Chile:¿ Escasez o falta de infraestructura?* Chile ,6- 8. (Disponible en internet: <https://lyd.org/wp-content/uploads/2017/06/SIE-263-Realidad-del-agua-en-Chile-Escasez-o-falta-de-infraestructura-Marzo2017.pdf> )



- Kingdom, B., Liemberger, R. y Marin, P. (2006). *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water (NRW) in Developing Countries*. World Bank, Estados Unidos.
- Klingel, P., & A., K. (2015). A Review of Water Balance Application in Water Supply. American Water Works Association.
- Klingel, P., & Knobloch, A. (2015). Automated determination and evaluation of water losses in water distribution systems. *Water Science & Technology: Water Supply*.
- Lambert, A., Charalambous, B., Fantozzi, M., Kovac, J., Rizzo, A., St John., S G. (2014). 14 years' experience of using IWA best practice water balance and water loss performance indicators in Europe. *Proceedings of IWA Specialized Conference: Water Loss 2014, Austria*.
- Liemberger, R. (2006). *The Challenge of Reducing. How the Private Sector Can Help*. Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series. (Disponible en internet: <https://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/WSS8fin4.pdf>)
- MMA. (2016). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Chile: Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. (Disponible en internet: <http://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/IEMA2016.pdf>)
- MMA. (2018). *Cuarto reporte del estado del medio ambiente*. Chile: Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile. (Disponible en internet: <http://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/>)
- Monta, M & Montoya, R. (2012). *Efecto de la presión sobre las fugas de agua en un sistema de tubería simple*. Scielo. Colombia.

*Norma Chilena 1360/ 2009 Sistemas de tuberías para conducción y distribución de agua potable - Instalación y pruebas en obra.* Chile: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

*Norma Chilena 409/1. Agua Potable of 2005 Parte 1: Requisitos y Norma Chilena 409/2. of 2004 Parte 2: Muestra.* Chile: Instituto Nacional de Normalización.

*Norma Chilena 691/ 2015: Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño.* Chile: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

Official Journal of the European Union (OJEU). (2012). *Directive 2009/125/EC of the European parliament and of the council with regard to ecodesign requirements for water pumps.* European Commission, Bruselas.

Ojeda, M. (2012). *Metodología para la reducción de pérdidas en redes de agua potable y su puesta en práctica en la red de Ciudad Universitaria de la UNAM.* México: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México. (Disponible en internet: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2407/Tesis.pdf?sequence=1>)

Orden Ejecutiva B-37-26: *Haciendo la Conversación del Agua una Forma de Vida en California, California, Estados Unidos.* (Disponible en internet:

Patiño, V. (2014). *Modelo de detección de fraude en clientes del servicio de agua potable de una empresa sanitaria.* Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2,3. (Disponible en internet: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117040/cf-patino\\_ve.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117040/cf-patino_ve.pdf?sequence=1))

Puust, R.; Kapelan, Z.; Savic, D.A.; & Koppel, T., 2010. *A Review of Methods for Leakage management in Pipe Networks.* Urban Water Journal.

- Prosser, M., Speight, v., Filionc, Y. (2014). *Sensitivity of Energy Use to Factors in Pipe Replacement Planning for a Large Water Distribution System*. Procedia Engineering. Canada. (Disponible en internet: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814026253>)
- Reunad, M. (2014). Introducing pressure and number of connections into water loss indicators for French drinking water supply networks. *Water Science & Technology: Water Supply*. Brasil, 2-4.
- Romero, N. (2011). *Consumo de Energía a nivel Residencial en Chile y Análisis de Eficiencia Energética en Calefacción*. Chile: Universidad de Chile, 37-69. (Disponible en internet: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104235>)
- SISS. (2015). *Informe del Sector Sanitario*. Chile: Superintendencia de Servicios Sanitarios. (Disponible en internet: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-16141.html>)
- SISS. (2015). *Bases preliminares. Estudio tarifario empresa de servicios sanitarios Essbio s.a. Período 2016-2021*. Superintendencia de Servicios Sanitarios. (Disponible en internet: [http://www.siss.gob.cl/586/articles-11676\\_B\\_prelim.pdf](http://www.siss.gob.cl/586/articles-11676_B_prelim.pdf))
- SISS. (2016). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Chile: Superintendencia de Servicios Sanitarios. (Disponible en internet: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-16848.html>)
- Thorton, J. (2018). *Water Loss Control*. . McGraw-Hill.
- United Nations Development Programme. (2018). *Human Development Indices and Indicators*, 22-25. (Disponible en internet: [http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018\\_human\\_development\\_statistical\\_update.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update.pdf))
- Water in the West (WW). (2013). *Water and energy nexus: A literature review*. Stanford Univ., Standford, CA.

Ziegler, D. (2011). *Guía para la reducción de las pérdidas de agua. Un enfoque en la Gestión de la Presión*. Alemanio.: Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Anexo 1. Tarifa de Agua Potable y Alcantarillado 2017

**AVISO**  
**TARIFAS AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO**

En conformidad a lo dispuesto en el D.F.L. N° 70 de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, y el decreto N° 144 de 2016, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, fijasen los siguientes valores a los precios de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado, entregados por ESSBIO S.A. en las localidades que comprenden los Grupos Tarifarios 1 y 2, a contar de los consumos leídos el 06 de marzo de 2017.

#### 1. AGUA POTABLE Y/O ALCANTARILLADO

1.1. Cargo Fijo por cliente (\$/mes)

Grupo 1	Grupo 2
609	609

1.2. Cargos variables por metro cúbico (\$ / m3)

1.2.1. Período No Punta (lecturas del 01 de abril al 30 de noviembre)

Cargo	Grupo 1		Grupo 2	
	Cuenca Cachapoal	Cuenca Tinguiririca	Cuenca Cachapoal	Cuenca Tinguiririca
Agua Potable con fluoruración	484,58	484,58	467,07	467,07
Alcantarillado	551,51	684,62	783,59	916,71
Alcantarillado sin tratamiento (*)			545,50	

(\*) Sólo Quinta de Tilcoco

1.2.2. Período Punta (lecturas del 01 de diciembre al 31 de marzo)

Cargo	Grupo 1		Grupo 2	
	Cuenca Cachapoal	Cuenca Tinguiririca	Cuenca Cachapoal	Cuenca Tinguiririca
Agua Potable con fluoruración	483,47	483,47	492,33	492,33
Alcantarillado	551,51	684,62	783,59	916,71
Alcantarillado sin tratamiento (*)			545,50	
<b>Sobreconsumo</b>				
Agua Potable con fluoruración	1.122,71	1.122,71	1.449,74	1.449,74

(\*) Sólo Quinta de Tilcoco

Las localidades del Grupo 1 que cuentan con sistema de Agua Potable con fluoruración son: Graneros, Machali, Rancagua, Rengo y San Fernando

Las localidades del Grupo 2 que cuentan con sistema de Agua Potable con fluoruración son: Boca Rapel, Chépica, Chimbarongo, Codegua, Coinco, Coltauco, Coya, Doñihue, Las Cabras, La Punta, Lo Miranda, Lolol, Malloa, Nancagua, Navidad, Olivar Alto, Pelequén, Peraillo, Peumo, Pichidegua, Pichilemu, Población, Placilla, Puente Negro, Quinta de Tilcoco, Requinoa, Rosario, San Francisco de Mostazal, San Vicente Tagua Tagua y Santa Cruz / Palmilla.

## 2. OTROS CARGOS

2.1. Grifos contra incendio, ubicados en la vía pública (\$/grifo) :

2.2. Cargos por corte de suministro por deuda o reposición (\$):

Tipo de Trabajo	Corte	Reposición
Visita Corte	3.435	3.435
Primera Instancia	3.435	3.435
Segunda Instancia	5.443	5.443

## 3. APORTES DE FINANCIAMIENTO REEMBOLSABLES POR CAPACIDAD (\$/m3):

Etapas	Grupo 1	Grupo 2
Producción de agua potable con fluoruración	633,84	2.134,76
Distribución de agua potable	1.491,18	1.898,04
Recolección de aguas servidas	1.369,41	1.806,73
Disposición de aguas servidas sin Tratamiento Cuenca Cachapoal	280,82	409,28
Disposición de aguas servidas sin tratamiento Cuenca Tinguiririca	280,82	409,28
Disposición de aguas servidas con tratamiento Cuenca Cachapoal	1.133,76	1.262,22
Disposición de aguas servidas con tratamiento Cuenca Tinguiririca	1.370,10	1.498,55

Las localidades que cuentan con tratamiento son las siguientes:

Grupo 1 Cuenca Cachapoal: Graneros, Machalí, Rancagua y Rengo

Grupo 1 Cuenca Tinguiririca: San Fernando

Grupo 2 Cuenca Cachapoal: Codegua, La Punta, Coinco, Coltauco, Doñihue, Las Cabras, Lo Miranda, Malloa, Olivar Alto, Pelequén, Peralillo, Peumo, Pichidegua, Requinoa, Rosario, San Francisco de Mostazal y San Vicente Tagua Tagua.

Grupo 2 Cuenca Tinguiririca: Chépica, Chimbarongo, Lolol, Nancagua, Placilla, Pichilemu, Población y Santa Cruz / Palmilla

## 4. CONTROL DIRECTO DE RILES :

4.1. Valores asociados a la cantidad de horas de muestreo (\$):

N° de horas de muestreo			
Batch	8 horas	12 horas	24 horas
\$ 73.869	\$ 97.094	\$ 109.965	\$ 135.343

4.2. Valores por Tipo de análisis (\$/análisis)

Tipo de Análisis	(\$/análisis)
Análisis Grupo 1 : pH y temperatura.	0
Grupo 2 : Sólidos suspendidos y sólidos sedimentables.	3.560
Grupo 3 : DBO5, aceites y grasas, Cn y B.	11.327
Grupo 4 : Cd, Ni, Pb, Cu, Al, Mn, Zn, Cr total, Cr +6, P total, nitrógeno amoniacal, sulfuros y sulfatos	7.414
Grupo 5 : PE.	6.768
Grupo 6 : As y Hg.	15.852
Grupo 7 : HC	55.022

4.3 Valor por Gasto Administrativo, cargo por Empresa

La identificación de las industrias a controlar en cada uno de estos subgrupos se realizará de acuerdo a las tablas N° 5 (parámetros según actividad económica) y N° 6 (Descripción de actividades según código CIU) del punto N° 6.2 de la NCh 609/98. En el caso de que algunas de las industrias presente más de un tipo de contaminación o parámetros, la frecuencia de muestreo corresponderá al tipo mayor que se seleccione a medir

## 5. COBRO POR REVISION DE PROYECTOS Y EMISION DE INFORME TÉCNICO

El cobro a realizar por cada proyecto revisado por el prestador y su correspondiente informe técnico, corresponderá a:

Rango	\$/empresa
Inversiones menores o iguales a \$ 12.825.833	191.557
Inversiones entre \$ 12.825.833 y \$ 251.172.566	1,24% * I
Inversiones mayores o iguales a \$ 251.172.566	3.751.315

(\*) I: Monto total de construcción del proyecto

## 6. VERIFICACIONES METROLOGICAS

Diametro Medidor	\$/Verificación
Verificación 13 mm	23.380
Verificación 19 mm	21.951
Verificación 25-38 mm	22.457
Verificación 50 mm	117.799
Verificación 80 mm	119.877
Verificación 100 mm	124.972
Verificación 150 mm	161.052

## 7. GRUPOS TARIFARIOS

Las localidades que conforman los distintos Grupos Tarifarios, son las siguientes:

Grupo 1 Cuenca Cachapoal: Graneros, Machalí, Rancagua y Rengo

Grupo 1 Cuenca Tinguiririca: San Fernando

Grupo 2 Cuenca Cachapoal: Codegua / La Punta, Coinco, Coltauco, Doñihue, Las Cabras, Lo Miranda, Malloa, Olivar Alto, Pelequén, Peralillo, Peumo, Pichidegua, Requinoa, Rosario, San Francisco de Mostazal y San Vicente Tagua Tagua.

Grupo 2 Cuenca Tinguiririca: Chépica, Chimbarongo, Lolol, Nancagua, Placilla, Pichilemu, Población y Santa Cruz / Palmilla

Grupo 2 Sin Alcantarillado: Boca de Rapel, Coya, Navidad, Puente Negro.

Alcantarillado Sin tratamiento Grupo 2 Cuenca Cachapoal : Quinta de Tilcoco

## 8. IMPUESTOS

Los valores señalados tienen incorporado el Impuesto al Valor Agregado (IVA), con excepción de los Aportes de Financiamiento Reembolsables, los cuales están exentos del citado impuesto

Rancagua, marzo de 2017

Gerente General

## 8.2. Anexo 2. Detalle resultados del balance de agua.

### 8.2.1 Volumen de agua captada mensualmente durante el año 2016.

Mes	Captación Superficial [m3]		
	Río Cahapoal	Río Claro	Ambos ríos
Enero	1.995.031	206.928	2.201.959
Febrero	1.893.148	155.693	2.048.841
Marzo	2.002.943	139.376	2.142.319
Abril	1.667.769	94.608	1.762.377
Mayo	1.750.506	32.054	1.782.560
Junio	1.470.416	35.597	1.506.013
Julio	1.444.966	269.136	1.714.102
Agosto	1.405.728	373.594	1.779.322
Septiembre	1.554.114	359.078	1.913.193
Octubre	1.685.374	238.032	1.923.406
Noviembre	1.858.628	139.778	1.998.406
Diciembre	1.916.505	142.128	2.058.633
<b>AÑO</b>	<b>20.645.128</b>	<b>2.186.002</b>	<b>22.831.130</b>

### 8.2.2. Volumen de agua utilizada durante el lavado de filtros

Mes	Lavado de Filtros [m3]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Enero	5.250	5.500	5.500	5.500	5.500	5.250	5.450	5.500	5.750	49.200
Febrero	4.998	4.685	5.330	5.488	5.486	5.529	5.639	5.516	5.078	47.748
Marzo	5.396	5.425	5.787	6.079	6.116	6.080	5.909	5.916	6.091	52.798
Abril	7.182	7.739	7.698	7.234	6.787	7.227	6.935	6.425	6.825	64.052
Mayo	5.703	6.027	6.188	5.707	5.064	5.138	5.259	6.173	5.982	51.241
Junio	5.022	5.141	4.710	4.869	4.979	4.903	4.893	4.642	6.725	45.884
Julio	4.422	4.211	4.866	4.409	4.821	4.773	4.733	4.713	4.515	41.463
Agosto	4.447	4.757	4.707	4.531	4.491	4.310	4.052	4.262	4.060	39.617
Septiembre	4.802	4.760	4.836	4.834	4.940	4.529	4.450	4.660	4.583	42.394
Octubre	5.063	4.989	5.062	6.044	5.849	5.698	5.984	6.037	5.119	49.844
Noviembre	4.227	4.270	4.440	4.479	4.618	4.473	4.682	4.642	4.603	40.435
Diciembre	4.130	3.745	4.151	4.301	4.181	4.577	4.298	4.322	4.330	38.033
<b>AÑO</b>	<b>60.643</b>	<b>61.248</b>	<b>63.272</b>	<b>63.476</b>	<b>62.831</b>	<b>62.487</b>	<b>62.282</b>	<b>62.809</b>	<b>63.661</b>	<b>562.709</b>

### 8.3. Anexo 3. Resultados ILI variando distancia de la red.

#### 8.3.1. Escenario 1. 70% 5 metros y 30% 2 metros.

Sector	P medida (mín)	UARL	ILI	P Norma (mín)	UARL	ILI	P Norma (max)	UARL	ILI	P medida (máx)	UARL	ILI
Santa julia	25	239296	2	15	143578	1,50	70	670030	7,00	30	287156	3,00
Sanchina	17	559601	2	15	493765	1,35	70	2304238	6,31	20	671521	1,84
Membrillar	15	141931	1	15	145820	0,81	70	680492	3,76	18	170317	0,94
Nuevo Horizonte	30	51379	3	15	25690	1,38	70	119885	6,46	36	61655	3,32
San Juan	12	55723	1	15	69654	1,27	70	325052	5,94	14	66868	1,22
Mirador Nogales	26	53386	2	15	30800	1,30	70	143732	6,06	31	64063	2,70

#### 8.3.2. Escenario 2. 50% 5 metros y 50% 2 metros.

Sector	P medida (mín)	UARL	ILI	P Norma (mín)	UARL	ILI	P Norma (max)	UARL	ILI	P medida (máx)	UARL	ILI
Santa julia	25	236035	2,46	15	141621	1,48	70	660899	6,90	30	283242	2,96
Sanchina	17	552157	1,51	15	487198	1,33	70	2273589	6,23	20	662589	1,81
Membrillar	14,6	140362	0,78	15	144207	0,80	70	672968	3,72	18	168434	0,93
Nuevo Horizonte	30	50692	2,73	15	25346	1,36	70	118281	6,37	36	60830	3,28
San Juan	12	54993	1,01	15	68742	1,26	70	320794	5,87	14	65992	1,21
Mirador Nogales	26	52683	2,22	15	30394	1,28	70	141840	5,98	31	63220	2,67

#### 8.3.3. Escenario 3. 30% 5 metros y 70% 2 metros.

Sector	P medida (mín)	UARL	ILI	P Norma (mín)	UARL	ILI	P Norma (max)	UARL	ILI	P medida (máx)	UARL	ILI
Santa julia	25	232774	2,43	15	139665	1,46	70	651768	6,81	30	279329	2,92
Sanchina	17	544714	1,49	15	480630	1,32	70	2242939	6,14	20	653657	1,79
Membrillar	14,6	138793	0,77	15	142595	0,79	70	665444	3,68	18	166551	0,92
Nuevo Horizonte	30	50005	2,69	15	25002	1,35	70	116678	6,28	36	60006	3,23
San Juan	12	54263	0,99	15	67829	1,24	70	316537	5,79	14	65116	1,19
Mirador Nogales	26	51980	2,19	15	29989	1,26	70	139947	5,90	31	62377	2,63



#### 8.4. Anexo 4. Valores de ILI en el Mundo.

