



Universidad de Chile  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Escuela de Pregrado  
Carrera de Geografía

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD  
DE ANTOFAGASTA BAJO EL CONTEXTO DEL SUMINISTRO DE AGUA DESALADA**

Memoria para optar al título de Geógrafo

Maximiliano Andrés Zúñiga Copano  
Profesora guía: María Christina Fragkou

SANTIAGO - CHILE

2018



## AGRADECIMIENTOS

*A Paz, por tu incansable apoyo, infinita paciencia y perseverancia para amar durante todo este proceso, gracias*

*A la gran institución que es el RATSQUAD, ya que no podría imaginar mi rito de pasaje universitario sin los grandes amigos y compañeras de vida que forman parte de tan magnifico grupo.*

*A la profesora María Christina, por apoyar y soportar este largo proceso*

*A los cabros, por querer a tan pésimo amigo*

*A toda mi familia con mucho cariño, papá y mamá, abuelas, hermanos, primos y sobrinos, ya que todo lo que soy es gracias a ustedes, los amo infinito*

*Y por último a mi abuelo Juan, por quien mi amor es tan grande como la pena de no poder celebrar esto contigo, te amo viejo*

## RESUMEN

La presente investigación evalúa la calidad del agua potable para la ciudad de Antofagasta, Región de Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016, en el contexto del suministro de distintos tipos de agua potable para la ciudad (desalada, de cordillera o una mezcla de ambas), en específico el suministro de agua potable desalada. Para esto se analizaron los datos de muestras para el periodo de estudio a través de la normativa chilena y fueron evaluados a partir de un índice global de calidad de agua potable. Además, se determinó la percepción de la población entorno a los distintos tipos agua potable de Antofagasta como herramienta complementaria a la evaluación de la calidad. Los resultados obtenidos revelaron que durante el periodo de estudio la calidad del agua potable para Antofagasta se encontró entre los márgenes aceptables de la normativa chilena y no presentó significativas diferencias a partir de los distintos tipos de agua, ya que cumple la normativa a grandes rasgos y presenta una cantidad menor de incumplimientos, pero presenta deficiencias en cuanto a los parámetros organolépticos (olor, sabor, color), lo cual se ve reflejado notoriamente en la percepción de los consumidores, además, se mantienen importantes interrogantes en cuanto a la capacidad de la normativa chilena de evaluar el agua potable desalada para la ciudad de Antofagasta, particularmente desde el contexto de salud de sus ciudadanos.

**Palabras claves:** Agua potable, Calidad de agua, Percepción, Agua desalada, Salud.

## ABSTRACT

The present investigation evaluates the drinking water quality for the city of Antofagasta, region of Antofagasta during the period 2007 – 2016, under the context of different types of drinking water supplies, (desalinated, mountain or a mixture) specifically the desalinated drinking water. Water quality data for the study period was analyzed according to the Chilean drinking water guidelines, and then evaluated through a global drinking water quality index. The public perception to the different water supplies was also determined as a complementary tool for measuring water quality. The results showed that during the study period the drinking water quality for Antofagasta was acceptable in terms of the guidelines, because it did not manifest large differences regarding the types of water and had a few minor breaches. Yet it still showed deficiencies regarding organoleptic parameters (odor, taste, color), which was heavily reflected on consumers perception. Nonetheless, important questions remains regarding the capacity for the Chilean guidelines to evaluate desalinated water as drinking water for the city of Antofagasta, particularly from the city's citizens context of health.

**Keywords:** Drinking water, Water quality, Perception, Desalinated Water, Health

## INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: PRESENTACION.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Área de estudio.....	7
1.3.1 Características físicas.....	7
1.3.2 Características socio-demográficas.....	10
1.3.3 Salud y contaminación en Antofagasta.....	11
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo General.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos.....	14
CAPITULO 2: ESTADO DEL ASUNTO.....	15
2.1 Calidad de agua.....	15
2.1.1 Qué se considera agua potable de calidad a nivel internacional.....	16
2.1.2 Normativa nacional de calidad de agua potable.....	19
2.1.3 Agua desalada como agua potable.....	22
2.2 Relación de la salud con la calidad del agua potable y sus efectos sobre la percepción.....	25
2.2.1 Concepto de salud desde la geografía.....	25
2.2.2 Agua potable, salud y desalación.....	27
2.2.3 Percepción sobre la calidad del agua potable y el caso de la desalación.....	29
CAPITULO 3: MARCO METODOLOGICO.....	31
3.1 Analizar la calidad de agua potable a través de la normativa de chilena de agua, espacializando el cumplimiento.....	31
3.2 Evaluar la calidad del agua potable a partir del índice global de calidad de agua potable.....	33
3.2.1 Cálculo de los índices de calidad de agua concernientes a la aceptabilidad y salud.....	36
3.3 Identificar la percepción respecto a la calidad del suministro de agua potable.....	39
3.3.1 Resumen criterios metodológicos de los estudios de percepción.....	40
3.3.2 Encuestas proyecto FONDECYT N° 1130631.....	43
CAPITULO 4: RESULTADOS.....	46
4.1 Calidad de agua potable de la ciudad de Antofagasta a partir de la normativa chilena de agua y los distintos tipos de agua potable abastecida.....	46
4.2 Calidad del agua potable a partir de los índices de aceptabilidad y salud.....	71
4.2.1 Tablas de cálculo AWQI y HWQI 2007-2016.....	76

4.3 Percepción de la población en cuanto a la calidad del agua potable.....	86
4.3.1 Percepción de clientes consumidores de agua potable para la región de Antofagasta 2009 - 2016.....	86
4.3.2 Encuestas de percepción sobre el agua potable año 2016.....	88
CAPITULO 5: DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	95
5.1 Discusión.....	95
5.1.1 El panorama de la calidad del agua potable en Antofagasta.....	95
5.1.2 índices de salud y aceptabilidad y el contexto de sus resultados .....	98
5.1.3 Percepción del agua potable en Antofagasta.....	100
5.2 Conclusiones .....	102
BIBLIOGRAFIA .....	105
ANEXOS .....	117

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de agua potable suministrada en Antofagasta y sus zonas de distribución.....	8
Figura 2 : Colegios y recintos educacionales encuestados para el proyecto FONDECYT N° 1130631 y Monsalve et al. (2018) el año 2016 en la ciudad de Antofagasta. ....	45
Figura 3: Sectores de muestreo de la red y tipos de agua potable en Antofagasta.....	48
Figura 4: Número total de muestras por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 .....	50
Figura 5: Número total de muestras de arsénico por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	53
Figura 6: Número total de muestras de hierro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	54
Figura 7: Número total de muestras de cloro libre por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	55
Figura 8: Número total de muestras de turbiedad por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	56
Figura 9: Número total de muestras de sabor por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	57
Figura 10: Número total de muestras de olor por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	58
Figura 11: Número total de muestras de fluoruro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	59
Figura 12: Número total de muestras de color verdadero por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 .....	60
Figura 13: Número total de muestras de cloruro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	61
Figura 14: Número total de muestras de coliformes totales por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 .....	62
Figura 15: Número total de incumplimientos por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.....	66
Figura 16: Puntos de muestreo identificados para el año 2015 y su distribución a partir de los distintos tipos de agua potable.....	70
Figura 17: Comparación AWQI y HWQI 2007 - 2016.....	73
Figura 19: Comparación AWQI, HWQI Y DWQI 2007 - 2016.....	74
Figura 20: Resultados pregunta ¿Se encuentra satisfecho con la entrega del servicio de agua potable?....	89
Figura 21: Resultados pregunta ¿Se encuentra satisfecho con la calidad del agua potable de la llave? .....	90
Figura 22: Resultados nota de evaluación de atributos del agua potable.....	91
Figura 23: Resultados pregunta ¿Usted cree qué consumir agua de la llave provoca efectos negativos? ..	92
Figura 24: Resultados pregunta ¿Ha notado algún cambio en la entrega de servicios en los últimos 15 años? .....	93
Figura 25: Resultados pregunta ¿Cree usted qué, gracias a la planta desalinizadora ha mejorado la calidad del agua? .....	94

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen criterios de análisis y muestreo de calidad de agua potable para Antofagasta.....	32
Tabla 2: Categorías de calidad de agua potable a partir de UNEP (2007) y CCME (2017a) .....	34
Tabla 3: Parámetros evaluados por los índices de calidad de agua concernientes a la salud y aceptabilidad .....	35
Tabla 4: Resumen criterios metodológicos de los estudios de percepción de clientes para Antofagasta 2009 - 2016 .....	41
Tabla 5: Caracterización de clientes entrevistados por los estudios de percepción para Antofagasta 2010 – 2016 según edad, sexo y GSE.....	42
Tabla 6 : Caracterización de clientes entrevistados por los estudios de percepción para Antofagasta 2010 – 2016 según consumo y número de moradores .....	42
Tabla 7: Composición de encuestados según su GSE para Antofagasta durante el año 2016 en el proyecto FONDECYT N° 1130631 y Monsalve et al. (2018).....	44
Tabla 8: Número total de muestras de calidad de agua para Antofagasta periodo 2007 – 2016 y el respectivo número de clientes anuales .....	47
Tabla 9: Número total de muestras para cada sector y tipo de agua potable para la ciudad de Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 .....	49
Tabla 10: Numero de muestras de parámetros cloro libre, turbiedad, coliformes totales, e-coli, arsénico, hierro, fluoruro, olor, sabor, color verdadero y cloruro durante el periodo 2007 – 2016 .....	51
Tabla 11: Sectores que presentan la mayor cantidad de muestras hierro, arsénico, cloro libre y turbiedad.....	52
Tabla 12: Numero y porcentaje de incumplimientos por parámetro para Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016 .....	63
Tabla 13: Cantidad total de incumplimientos por parámetro y para cada año en Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016.....	64
Tabla 14: Cantidad total de incumplimientos para cada sector de Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016 .....	65
Tabla 15: Numero de reinspecciones por parámetro y para cada año en Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016 .....	68
Tabla 16: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2007 - 2016.....	72
Tabla 17: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2007 - 2016.....	72
Tabla 18: Comparación AWQI, HWQI Y DWQI 2007 - 2016 .....	74
Tabla 19: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad con solo 6 parámetros 2007 - 2016 .....	75
Tabla 20: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la salud con solo 4 parámetros 2007 - 2016 .....	75
Tabla 21: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2007.....	76
Tabla 22: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2007 .....	76
Tabla 23: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2008.....	77
Tabla 24: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2008 .....	77
Tabla 25: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2009.....	78
Tabla 26: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2009 .....	78
Tabla 27: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2010.....	79
Tabla 28: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2010 .....	79

Tabla 29: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2011.....	80
Tabla 30: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2011 .....	80
Tabla 31: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2012.....	81
Tabla 32: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2012 .....	81
Tabla 33: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2013.....	82
Tabla 34: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2013 .....	82
Tabla 35: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2014.....	83
Tabla 36: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2014 .....	83
Tabla 37: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2015.....	84
Tabla 38: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2015 .....	84
Tabla 39: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2016.....	85
Tabla 40: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2016 .....	85
Tabla 41: Notas anuales de satisfacción para el servicio de agua potable para la región de Antofagasta 2009 - 2016 .....	86

## INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ecuación general CCME WQI .....	37
Ecuación 2: Ecuación para calcular el alcance .....	37
Ecuación 3: Ecuación para calcular la frecuencia.....	37
Ecuación 4: Primer paso para calcular la amplitud.....	38
Ecuación 5: Segundo paso para calcular la amplitud.....	38
Ecuación 6: Tercer paso para calcular la amplitud .....	38
Ecuación 7: Cuarto paso para calcular la amplitud.....	38

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Estanques, tipos y distribución de agua potable para la ciudad de Antofagasta .....	117
Anexo 2: Áreas urbanas comuna de Antofagasta .....	118
Anexo 3: Estratos socioeconómicos predominantes y homogeneidad social a lo largo de Antofagasta 2011 .....	119
Anexo 4: Temas de salud evaluados e instrumentos de medición ENS 2009 - 2010 .....	120
Anexo 5 : Gráfico Diarrea en los últimos 15 días.....	121
Anexo 6: Gráfico Cambios hábitos intestinales en los últimos 3 meses.....	121
Anexo 7: Causas de muerte para la región de Antofagasta 1997 - 2009 .....	122
Anexo 8: Causas de muerte Total país 1997 - 2009.....	122
Anexo 9: Patógenos Microbiológicos transmitidos por el agua potable.....	123
Anexo 10: Categorización de químicos contaminantes a partir de su fuente.....	124
Anexo 11: Químicos naturales para los que no se establecen valores base .....	124
Anexo 12: Valores base para químicos naturales que son de significancia para la salud.....	125
Anexo 13: Químicos de fuentes industriales y asentamientos humanos sin valores base .....	126

Anexo 14: Valores base para químicos de fuentes industriales y asentamientos base que son de significancia para la salud.....	127
Anexo 15: Químicos de actividades agrícolas excluidos.....	128
Anexo 16: Químicos de actividades agrícolas sin valores base.....	129
Anexo 17: Valores base para químicos de actividades agrícolas que son de significancia para la salud .	130
Anexo 18: Químicos utilizados en el tratamiento de agua para los que no se establecen valores base....	131
Anexo 19: Valores base para químicos utilizados en el tratamiento de agua .....	132
Anexo 20: Valores base para radionucleidos naturales y artificiales.....	133
Anexo 21: Aplicación de los umbrales y niveles de referencia de radionúclidos para determinar la calidad del agua de consumo.....	134
Anexo 22: Elementos Esenciales .....	134
Anexo 23: Elementos o sustancias no esenciales.....	135
Anexo 24: Sustancias Orgánicas.....	135
Anexo 25: Plaguicidas .....	136
Anexo 26: Productos secundarios de la desinfección .....	136
Anexo 27: Parámetros elementos radioactivos .....	136
Anexo 28: Calidad parámetros organolépticos .....	137
Anexo 29 : Parámetros de desinfección.....	137
Anexo 30: Tabla comparativa normativas de calidad de agua potable Chile - OMS - EE.UU .....	138

## **CAPITULO 1: PRESENTACION**

### **1.1 Introducción**

Es innegable la necesidad de contar con un buen suministro de agua potable, ya que el acceso a un suministro seguro y continuo de agua para el consumo, higiene personal y preparación de alimentos son considerados un requisito esencial para la salud, por lo que cualquier razón que resulte en un suministro de agua potable inadecuado, ya sea por un tema de pobre acceso o calidad, se encuentra asociado a significativos riesgos para la salud (Hunter et al., 2010; WHO, 2017). Si es que uno suma este factor al hecho de que solamente un 3% de todas las fuentes de agua en la tierra son potables (Karagiannis et al., 2008). Esto resulta en un escenario en el que es de vital importancia el poseer un manejo adecuado y eficiente de la calidad y cantidad de los suministros de agua potable para la sociedad, en especial para aquellas zonas con problemas de agua y bajo el actual contexto de cambio climático, el cual puede afectar no solamente la disponibilidad, sino que también la calidad de los suministros de agua (Moe et al., 2006; Delpla et al., 2009).

Una de las tecnologías que ha surgido con mayor fuerza para dar solución a estos problemas corresponde a la desalinización, la que básicamente consiste en volver potable el agua de mar o de otras fuentes de agua salada (Lattemann et al., 2007). Las plantas desalinizadoras en Chile se encuentran principalmente en la zona norte del país, mayoritariamente en la I, II y III región, justificadas por factores como el crecimiento poblacional, la escasez hídrica y la demanda de agua para la minería y el consumo humano (DGA, 2016).

El área de estudio de la presente investigación corresponde a la ciudad de Antofagasta, ubicada en la comuna y región del mismo nombre en la costa del océano pacífico, la que en la actualidad recibe un 85% de su suministro de agua potable desde una planta desalinizadora y la cual posee un historial de problemas de contaminación de su agua potable, particularmente la presencia de arsénico inorgánico en su suministro de agua entre 1958 y 1970 (Ferreccio et al., 2006; DPA, 2007; Marshall et al., 2007). El principal objetivo de esta investigación es evaluar la calidad del suministro de agua potable para la ciudad de Antofagasta, tomando en consideración el suministro de distintos tipos de aguas potable, en particular el contexto de agua potable desalada.

A partir de lo expuesto anteriormente, se efectuó una evaluación de la calidad del agua potable para el periodo 2007 – 2016, en una primera instancia determinando el cumplimiento de la normativa chilena y en una segunda a través de la evaluación de la calidad del agua utilizando un índice global de calidad de agua, donde se separaron los parámetros entre aquellos relevantes para la salud y los pertinentes a la aceptabilidad. Finalmente se evaluó la percepción de la población respecto a la calidad del agua potable y los distintos tipos suministrados en distintas partes de la ciudad a través de las encuestas realizadas en el marco del FONDECYT N° 1130631 y los estudios de percepción de Aguas Antofagasta durante el periodo 2009 - 2016.

Entre los principales resultados se obtiene que el suministro de agua potable para la ciudad de Antofagasta se encontró entre los márgenes aceptables determinados por la normativa chilena, y que a pesar de existir correlaciones entre la calidad en ciertos sectores y el tipo de agua potable, no existen mayores diferencias en cuanto a la calidad para estos tipos, ya que presentaron una baja cantidad de incumplimientos para una cantidad menor de parámetros evaluados durante el periodo de estudio, pero con incumplimientos consistentemente en cuanto a la distribución de las muestras a lo largo de la ciudad para varios parámetros. Mientras que la evaluación a través del índice de global de calidad de agua potable determino que para aquellos parámetros relevantes para la salud los valores fluctuaron entre las categorías de excelente y buena, mientras que para el índice concerniente a la aceptabilidad los valores se encontraron entre las categorías de buena y justa durante los años 2007 – 2016. Pero se reconoce la presencia de distintas limitantes entorno a los índices, por lo que se determina que estos requieren mayor afinamiento y que los valores obtenidos deben ser considerados bajo el contexto de aplicación.

Mientras que los resultados sobre la percepción de la calidad del suministro de agua potable de la ciudad, dieron cuenta que tanto los estudios de percepción de los clientes de la empresa sanitaria como aquellos realizados en el marco del FONDECYT N° 1130631, dan cuenta de la insatisfacción transversal sobre la calidad de los servicios de agua potable para Antofagasta y del aumento sostenido de esta. En conjunto a esto se reconocieron los problemas asociados al uso del agua desalada como fuente de agua potable, siendo la principal causa el rol en la nutrición de los micronutrientes y elementos minerales removidos durante el proceso, donde además se determinó la especial relación que existe entre estos y los desenlaces de salud de enfermedades relacionadas al arsénico.

Finalmente se concluyó que la calidad del suministro de agua potable para Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 bajo el contexto de consumo de agua desalada opera bajo los márgenes de lo aceptable estipulado por la normativa, y que no existen mayores diferencias a partir de los distintos tipos de aguas presentes, pero se reconoce que existen limitantes para que la normativa chilena evalúe correctamente la calidad de agua potable desalada, ya que no existen criterios que consideren el contexto de desalación, además se suma a esto el alto rechazo a lo largo del periodo de estudio por parte de los habitantes en cuanto al uso y consumo del agua potable debido principalmente a razones organolépticas, por lo que se requiere un mayor afinamiento de la normativa de calidad de agua para poder evaluar de forma correcta la calidad del suministro de agua potable desalada de Antofagasta.

## 1.2 Planteamiento del problema

El agua corresponde a un recurso necesario para la vida en la tierra, especialmente para la humana, ya que posee usos para distintos ámbitos de la sociedad, desde lo higiénico a lo agrícola y desde lo cultural a lo industrial, pero su principal efecto sobre la calidad de vida se ve a través del suministro doméstico, ya que el acceso a cantidades suficientes de agua potable es considerado esencial para una vida saludable y de mejor calidad (Cotruvo et al., 2011; Mehta, 2013, WHO, 2017).

Un buen suministro de agua es necesario para una adecuada higiene y sanidad de las personas, lo cual ayuda con la prevención de enfermedades, principalmente del tipo diarreicas, las cuales afectan gravemente a los países en desarrollo (Hunter et al., 2010; Ramesh, 2015).

Además, esta es necesaria para su ingesta y para la producción de alimentos, por los elementos y micronutrientes presentes, los que juegan un rol directo sobre la nutrición y dieta (WHO, 2005; Moe et al., 2006). La importancia de los elementos esenciales es que aportan a la protección de nuestra salud a través de la ingesta de nutrientes a través de la comida y los problemas relacionados a estos han sido considerados como riesgos a la salud pública (Cotruvo et al., 2011; WHO, 2011; Oron et al., 2013). Es por esto que el acceso a un buen suministro de agua juega un rol positivo en distintos ámbitos, como la esperanza de vida, el desarrollo sustentable y la reducción de la pobreza, además, se plantea que un suministro de agua adecuado y la sanidad son prerequisites para el desarrollo económico (Greene, 2001; Hunter et al., 2010; Sušnik et al., 2017; WHO, 2017).

Las deficiencias en la calidad y acceso a agua segura generan consecuencias para la salud y el desarrollo de la población (Cotruvo et al., 2011). Por ende, aquellas regiones que se ven más afectadas por la falta de acceso a agua suelen presentar mayores problemas de desarrollo (Lattemann et al., 2007).

A partir de lo anterior, se puede ver la importancia que posee una buena calidad de los suministros de agua potable en la salud y bienestar humano, por lo que la relación entre salud y agua potable es intrínseca. A pesar de esto, en la actualidad existe un desconocimiento general por parte de los consumidores respecto a los riesgos a la salud asociados con una pobre calidad de agua, situación que afecta tanto a los países industrializados como aquellos en vías de desarrollo, donde la población no se encuentra bien informada sobre los impactos del agua y la sanidad sobre la salud (Moe et al., 2006).

Este panorama resulta alarmante si se toman en consideración los graves problemas hídricos a los que nos enfrentamos. En la actualidad, alrededor de un 25% de la población mundial no posee acceso a cantidades suficientes de agua de calidad y se estima que para el año 2050 cerca de 5 billones de personas se enfrentarán a niveles moderados de estrés hídrico (Karagiannis et al., 2008; March, 2015).

En las últimas décadas se ha limitado seriamente la disponibilidad de agua fresca debido a múltiples causas como la urbanización, crecimiento poblacional, desarrollo industrial, la sobreexplotación y contaminación de las fuentes de agua fresca (acuíferos, ríos, lagos, etc.), lo que ha afectado particularmente a las zonas áridas y semi áridas, lo cual si se combina con el escenario actual de cambio climático, vuelve evidente la necesidad de un manejo más eficiente de los suministros de agua potable y su calidad (Delpla et al., 2009; March, 2015). Es bajo este contexto en el que ha emergido la tecnología de la desalinización, presentándose como una solución tecno-social para los problemas de agua en el siglo XXI (March, 2015).

La desalinización es una de las principales tecnologías utilizada a lo largo del mundo para solucionar los problemas de escasez de agua, la cual consiste en la transformación de agua de mar, salobre superficial o subterránea a agua apta para el consumo y uso para el ser humano, a través de la aplicación de distintas tecnologías que permiten deshacerse del exceso de sólidos disueltos totales (TDS) o sales existentes en las distintas fuentes de agua que se someten al proceso (Lattemann et al., 2007). En la actualidad existen dos procesos dominantes para desalar el agua de mar, los termales, aquellos donde se realiza el proceso principalmente a través de la evaporación, y aquellos relativos a tecnologías de membranas, que separan los solutos del agua a partir de presión, siendo estas últimas los métodos preferenciales en la actualidad a causa de su menor requerimiento energético (March, 2015; IWA, 2016).

La producción mundial de agua fresca a través del proceso de desalinización según la asociación internacional de desalinización (IDA) para el año 2015 correspondía a 86,8 millones de metros cúbicos diarios, proveyendo a más de 300 millones de personas (IDA, 2018). Alrededor del 45% de esta se produce exclusivamente en el norte de África y Oriente medio, mayoritariamente por los países del golfo pérsico, ya que son estas regiones es la que ha optado con mayor fuerza por la desalación como respuesta a la escasez hídrica, pero, con las regiones de Asia, Latino américa y Estados unidos como los siguientes focos de desarrollo de esta tecnología durante las próximas décadas (Lattemann et al., 2007; IWA, 2016).

La mayor parte de las plantas desalinizadoras se encuentran ubicadas en zonas costeras, debido a que los océanos representan a la fuente de agua con mayor disponibilidad, por lo que para el año 2009 más del 50% de las desalinizadoras del mundo operaban a partir de agua de mar (Greenlee et al., 2009). Esto es a causa de que el costo energético y económico de desalar agua de mar se ha visto considerablemente reducido a partir de los avances tecnológicos durante las últimas décadas, particularmente aquellos de tecnologías de membranas, siendo la osmosis inversa (RO), la cual consiste en la aplicación de una alta presión hidráulica para superar la presión osmótica, el principal método utilizado para desalinizar agua de mar en la actualidad, lo cual ha facilitado la proliferación de esta tecnología, ya que para el año 2015 existían más de 18.000 plantas desalinizadoras a lo largo del mundo, con el 60% de estas funcionando a partir del proceso de osmosis inversa (Cotruvo et al., 2011; March, 2015; IWA, 2016).

Para el caso de Chile, las plantas desalinizadoras se encuentran ubicadas en la macro zona norte, ya que los problemas de agua se encuentran principalmente en el norte grande del país, mayoritariamente en la región de Antofagasta, donde a causa de la explotación minera existente, el aumento de la población, y su condición árida a partir del desierto de Atacama, existe un déficit en cuanto a los recursos hídricos (Alary et al., 1998; DGA 2016). Para el año 2015 había 20 plantas desalinizadoras operativas en Chile, 11 usadas para la minería, 8 para el consumo humano y solo 1 para la industria, de las cuales 12 se encuentran ubicadas en la región de Antofagasta, mientras que hay 16 plantas en distintos estados de avance en la actualidad a lo largo del país (DGA 2016).

En el año 2000 comenzó la construcción de una planta desalinizadora para la ciudad de Antofagasta, a causa de la falta de recursos hídricos y las limitantes de los sistemas de captación de agua, obtenida a través de 400 km de tuberías desde la cordillera, como también en consideración del desarrollo de la industria minera (Martin et al., 2002; Blinkey et al., 2003). Esto con el fin de proveer el suministro de agua potable de la ciudad, satisfacer las necesidades hídricas de la futura población, mejorar su calidad y además permitir que el agua de cordillera liberada fuese destinada a la minería, por lo que esta fue ubicada en la zona norte en el sector “La Chimba”, zona de expansión de la ciudad, lo cual facilitó y adelantó el desarrollo urbano al proveer de redes de distribución de agua potable a sectores que no poseían, entrando en operación el año 2003 (Martin et al., 2002; Blinkey et al., 2003).

Esta planta cuenta con una capacidad actual de 850 l/s y ocupa el proceso de ósmosis inversa para obtener agua fresca apta para el consumo humano, en la actualidad esta provee el 85% del suministro de agua potable para la ciudad, el resto cubierto por agua de cordillera o una mezcla de ambos tipos de agua potable (desalada/cordillera), siendo un caso único no solo para el país, ya que se espera que esta sea para el año 2020 la primera ciudad de Chile y América Latina en cubrir en un 100% su red de agua potable con agua desalada (Blinkey et al., 2003; RTM, 2016; DGA, 2016;). Sin embargo, esto resulta en una situación compleja para la ciudad y su población a partir de los antecedentes históricos de su suministro de agua potable y sus consecuencias actuales.

La ciudad de Antofagasta entre las décadas de 1950 y 1970 presentó problemas con el suministro de agua potable a causa de su alta concentración de arsénico, para la cual se construyeron plantas de abatimiento para reducir sus niveles a lo largo de los años (Ferrecio et al., 2006; Marshall et al., 2007). Sin embargo, la población que se vio expuesta a las altas concentraciones desarrolló distintas enfermedades y tipos de cáncer, predominantemente a la vejiga y al pulmón, las cuales se han mantenido incluso a 40 años de haberse reducido la exposición y cuyos efectos persisten hasta la actualidad, lo cual hizo ganar a Antofagasta la denominación como un foco de cáncer a nivel internacional (Marshall et al., 2007; Coz et al., 2012; Fraser, 2012; Steinmaus, 2013). Por lo que los efectos de la contaminación del suministro de agua potable y sus efectos sobre la salud se encuentran vigentes hoy en día para la población de Antofagasta.

Esto da cuenta de un panorama en el que se combina la necesidad por los recursos hídricos, la incertidumbre de una nueva tecnología y la salud de las personas, ya que aún no se tiene completa certeza de cómo interactúa el agua desalada con la salud de las personas al ser entregada como agua potable e incluso existen antecedentes en cuanto a que esta puede poseer un contenido mineral menor o una calidad irregular al componer un suministro de distintas fuentes de agua (Oron et al., 2013; Cotruvo et al., 2011).

Esto es a causa de que existen estudios que la vinculan con la disminución en la calidad del agua debido a la falta de elementos minerales en el agua fresca producida a través del proceso de desalinizado, los cuales se encuentran presentes en el agua en forma de iones y que se ven removidos en conjunto con las sales presentes en el agua de mar, los cuales juegan un papel sobre la nutrición y que al no ser suplementados correctamente se asocian a distintos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares, hipertensión y malnutrición (Oron et al., 2013; Cotruvo et al., 2011; Shomar et al., 2017).

Por lo tanto se requiere tener especial cuidado con la presencia y concentraciones de los distintos elementos en el agua potable de Antofagasta, situación que no puede ser revisada al detalle a partir de los actuales controles de calidad de agua potable realizados por la Superintendencia de servicios sanitarios (SISS), ya que los informes emitidos entregan porcentajes de cumplimiento acumulado anuales, pero no información al detalle respecto a los elementos o químicos evaluados, tampoco el número de muestras realizadas, sus concentraciones e incumplimientos, como así también de la distribución de estos a lo largo de la ciudad. Además, existen interrogantes en cuanto al efecto que posee la distribución de distintos tipos de agua potable a lo largo de la ciudad y sus posible efectos sobre la calidad del agua de Antofagasta.

En consecuencia de lo anterior, se vuelve necesario el analizar la calidad del suministro de agua potable de la ciudad de Antofagasta de forma detallada y como este ha evolucionado a partir de la instalación de la planta desalinizadora, lo cual permitirá obtener una visión clara de la calidad del suministro de agua potable en la ciudad y cómo los distintos tipos de agua potable se relacionan con la calidad, cómo también el determinar cómo se posiciona el agua desalada como suministro de agua potable en el actual contexto de Antofagasta y determinar qué papel juega entorno a la salud la calidad del agua potable, tomando en consideración la potencial relación con los problemas de contaminación preexistentes.

## 1.3 Área de estudio

### 1.3.1 Características físicas

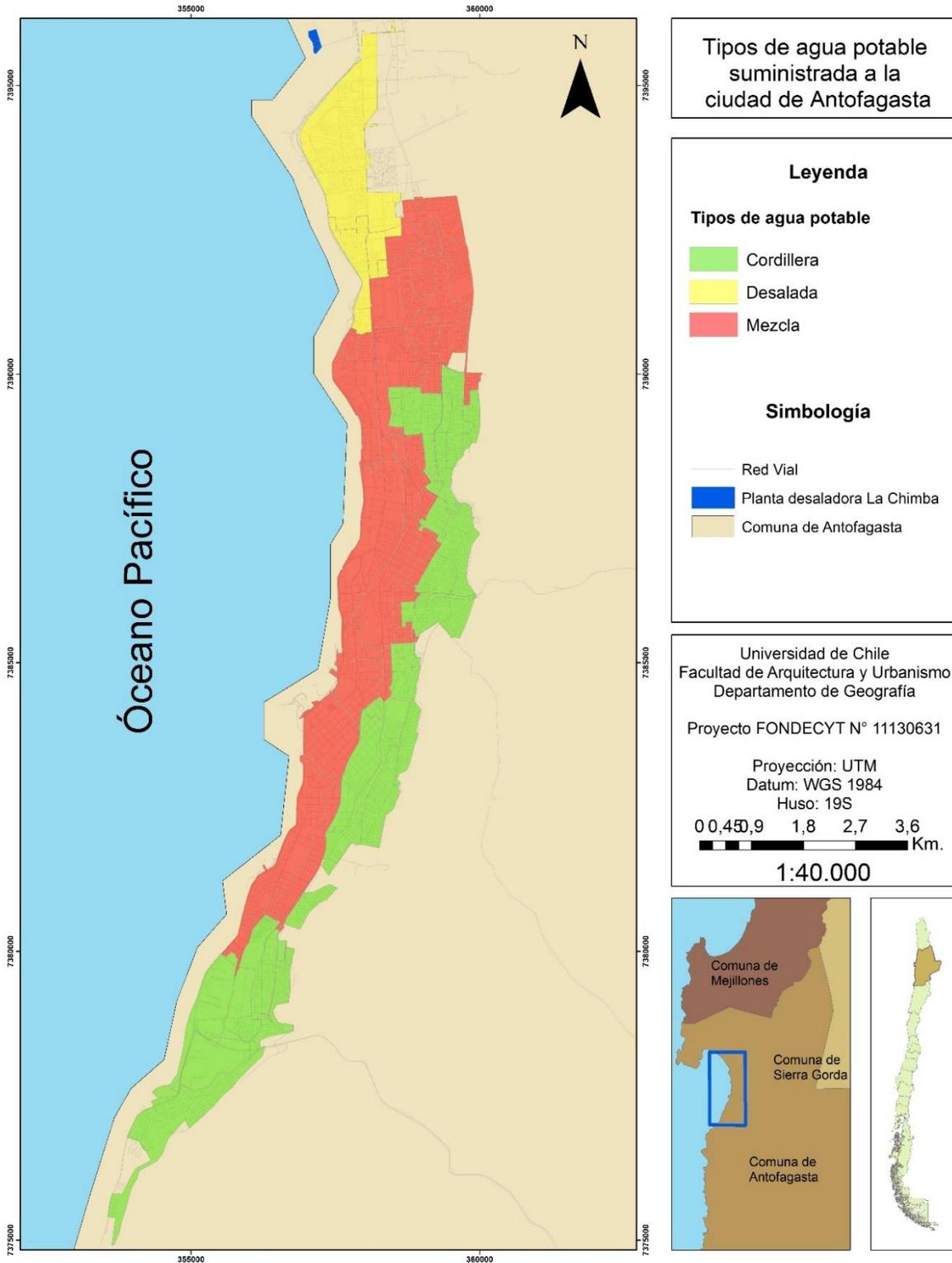
La ciudad de Antofagasta se encuentra en la región de Antofagasta, ubicada entre los 20° 56' y 26° 05' de latitud Sur y desde los 67° 00' de longitud Oeste, hasta el Océano Pacífico, al norte limita con la región de Tarapacá, al Este con Argentina y Bolivia, al Sur con la región de Atacama y al Océano Pacífico. Esta región posee un territorio de 126.049,1 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 16,7% del territorio nacional sin considerar el territorio antártico. Esta se encuentra dividida administrativamente en 3 provincias (Tocopilla, El Loa y Antofagasta) y 9 comunas (Tocopilla, María Elena, Calama, Ollague, San Pedro de Atacama, Antofagasta, Mejillones, Sierra Gorda y Taltal), con Antofagasta como capital regional (GORE, 2014; INE, 2007).

En la Figura 1 se puede observar la distribución de agua potable para la ciudad de Antofagasta, la cual fue elaborada partir de la información obtenida desde la empresa sanitaria Aguas Antofagasta, encargada de los servicios sanitarios para la segunda región, comuna y ciudad de Antofagasta. En esta se puede apreciar que la ciudad se provee de tres tipos de agua potable desde la entrada en operación de la planta desalinizadora La Chimba en el año 2003, con el fin de proveer el suministro de agua potable de la ciudad, satisfacer las necesidades hídricas de la futura población, mejorar su calidad y además permitir que el agua de cordillera liberada fuese destinada a la minería, por lo que esta fue ubicada en la zona norte en el sector “La Chimba” (Martin et al., 2002; Blinkey et al., 2003).

Se puede apreciar en la Figura 1 que el sector norte se encuentra suministrado principalmente de agua desalada, mientras que el sector sur - este y parte centro - este de agua cordillerana y de mezcla y el sector sur de cordillera. Además, se identifica la ubicación de la planta desalinizadora en la ciudad (Martin et al., 2002; Blinkey et al., 2003; RTM, 2016). En la actualidad el suministro de agua potable de la ciudad es abastecido en un 85% de agua desalada, con el 15% restante completado por agua de cordillera y una mezcla de ambos. Para ejemplificar la mezcla de ambos tipos, se incluye en el anexo Anexo 1 la distribución de los tipos de agua potable a lo largo de los distintos estanques de la ciudad para el año 2014.

Por lo que, a lo largo del borde costero se abastecen de los tres tipos de agua potable, pero con una predominancia de aquella de mezcla, en las planicies litorales principalmente de agua de mezcla y en parte de cordillera, mientras que en el farellón costero y los cerros predomina el agua de cordillera y en algunos sectores la de mezcla, cabe recalcar que hacia ambos extremos la situación cambia, siendo el extremo norte solo abastecido por agua desalada y el extremo sur de la ciudad solo de cordillera.

Figura 1: Tipos de agua potable suministrada en Antofagasta y sus zonas de distribución



Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2016)

En el relieve de esta región se encuentran cuatro grandes formaciones geomorfológicas, compuestas por la Cordillera de los Andes, de gran altura (altura promedio por sobre los 4.000 msnm y con alturas por sobre los 6.000 msnm, como los volcanes Illimillaco, Socoma y San Pablo), maciza y con un marcado pasado volcánico; la Depresión intermedia, presente en la zona norte como la continuación de la pampa del tamarugal, con alturas entre los 600 y 1.500 msnm y que cuenta con la presencia de múltiples salares, al sur del río Loa es conocida como el Desierto de Atacama, el cual posee características de hiperaridez que lo vuelven el desierto más seco del planeta; la Cordillera de la costa, presente desde el sur del río Loa hasta el límite con la tercera región, como un macizo compacto y con alturas entre los 1.000 y 3.000 metros, el cual actúa como un biombo climático ante los vientos provenientes desde el Pacífico; y las Planicies litorales, presentes de forma breve, estrecha e ininterrumpida en la región, con alturas entre los 0 y 300 msnm, con una alta presencia de farellones costeros y donde se ubican las principales ciudades de la región (INE, 2007; GORE, 2014; INE, 2017a).

El clima de la región de Antofagasta corresponde a uno desértico, con marcada aridez, pocas precipitaciones y con altas temperaturas, pero el cual presenta ciertas variaciones entre mar y cordillera. En las costas este es desértico nublado, en el que las temperaturas son moderadas debido a la acción de la corriente fría de Humboldt, la cual propicia la aparición de neblinas matinales (camanchaca), temperaturas menores y abundante humedad, mientras que en la depresión intermedia el clima es desértico propiamente, con un escaso nivel de precipitaciones, aridez extrema y con una alta oscilación térmica entre el día y la noche. Por sobre los 3.000 msnm el clima corresponde a uno desértico marginal de altura, el cual se caracteriza por presentar bajas temperaturas y una mayor cantidad de precipitaciones (INE, 2007; BCN, 2012; GORE, 2014; INE, 2017a).

Debido a la extrema aridez, la salinidad de los suelos y la disposición del relieve, los cursos de agua son casi inexistentes en la región de Antofagasta, exceptuando al gran río Loa, el cual atraviesa el desierto de Atacama en perfecta forma de “U” en su parte más árida, el cual aumenta su caudal con los deshielos cordilleranos y con las lluvias en verano, es importante mencionar que los cursos hídricos de la región suelen poseer altos contenidos de elementos como el arsénico, boro y cloruros. Este posee una hoya hidrográfica de 33.000 km<sup>2</sup> y una extensión de 440 km, el más largo del país (INE, 2007; GORE, 2014; INE, 2017a).

La presencia de vegetación en la región es escasa, particularmente en la depresión intermedia, pero existe desarrollo y crecimiento de vegetación de carácter xeromorfo en ciertos sectores de ambas cordilleras, que se ven favorecidos por la humedad y que se encuentran estrechamente vinculados con el clima, entre estos se encuentran hierbas, arbustos y cactáceas, como por ejemplo lechuga silvestre, llantén, ruda, guillave, quisco, manzanilla, sandillón, pingo – pingo, malvilla, tola, llaretas, etc. (BCN, 2012; INE, 2007).

### 1.3.2 Características socio-demográficas

Para el año 2017 el número de habitantes de la región correspondían a 607.534 (INE, 2017b). Mientras que la población de la comuna de Antofagasta, capital de la región y provincia del mismo nombre, correspondía a 361.873, representando el 59% del total de la población de región, los cuales en su mayoría residen en la ciudad de Antofagasta (Ilustre Municipalidad de Antofagasta, 2013; INE, 2017b). Esto es a causa de que prácticamente no existen zonas urbanas en la comuna además de la ciudad, como se puede apreciar en el Anexo 3. La población rural en la comuna para el año 2002 representaba solamente un 0,37% de la población total de la comuna y está compuesta principalmente por población de ascendencia atacameña, quechua y aymara (DPA, 2007; GORE, 2014).

La división entre hombres y mujeres de los habitantes de la comuna de Antofagasta corresponde a 180.000 y 181.000 respectivamente, siendo un 50% para cada uno, mientras que la población de ascendencia indígena representaba para el año 2014 un 4,7% de la población, además, se reconoce una importante cantidad de población “flotante”, de ciudadanos de distintas partes del país o de Perú, Bolivia y Colombia principalmente (GORE, 2014).

En cuanto a las características socioeconómicas, para el año 2006 los habitantes de la comuna se conformaban en un 42% de estratos altos (ABC1 - C2), lo cual estaba por sobre el porcentaje nacional (31%), ya que la comuna de Antofagasta corresponde a la primera del país en PIB por habitante y en ingreso promedio, en tanto la población de escasos recursos alcanzaba un 8%, la más baja del país, mientras que a nivel nacional estos alcanzaban un 18%. Cabe destacar que en la comuna existe una alta segregación socioeconómica, situación que se replica en la ciudad (Ilustre Municipalidad de Antofagasta, 2013; GORE, 2014).

Se puede apreciar en el anexo Anexo 2 la estratificación socioeconómica y la homogeneidad social a lo largo de la ciudad de Antofagasta, desde la cual se puede desprender que hacia el sur se localizan las clases más acomodadas, mientras que los segmentos más pobres se ubican hacia los cerros en las zonas centro oriente y nororiente. Finalmente los estratos medios se encuentran principalmente en el área pericentral y central de la ciudad. En cuanto a la homogeneidad social, existe alta en los extremos sur y norte de la ciudad, mientras que solamente se aprecia alta heterogeneidad en la zona centro de la ciudad (Hidalgo et al., 2009; Toro et al., 2018). Por lo que predomina una gran concentración de estratos socioeconómicos medios altos y altos en el borde costero, estratos medios en las planicies litorales y estratos más bajos ubicados a lo largo del farellón costero (Toro et al., 2018).

Las principales actividades económicas de Antofagasta son relacionadas con la minería, la que es reconocida como una actividad que dinamiza el resto del sector empresarial, ya que entre los años 2006 y 2010, las empresas manufactureras han aumentado considerablemente (BCN, 2012). El producto más importante corresponde al cobre, para el cual se tiene que para el año 2011 el 52% del total de la producción nacional se realizó en la región de Antofagasta (GORE, 2014). Se reconoce que esto vuelve a Antofagasta particularmente vulnerable a la coyuntura económica,

como se puede observar en los efectos de la crisis del año 2008 (GORE, 2014).

Por otro lado, también se han desarrollado las áreas de construcción, comercio y turismo, lo cual se condice con el crecimiento urbano de Antofagasta, ya que se ha vuelto un polo de atracción a causa del crecimiento económico de la comuna. Lo cual se demuestra con la cantidad abismante de metros cuadrados aprobados para construcción, al año 2011 estos alcanzaron los 504.000 m<sup>2</sup>, un 111% más que el año 2010 (Ilustre Municipalidad de Antofagasta, 2013).

En contraposición, la región de Antofagasta para el año 2014 poseía la segunda peor tasa regional de innovación y una baja proporción de encadenamientos productivos a partir de la producción de cobre refinada, además, ligada a la principal actividad económica de la minería se encuentra la utilización de los recursos hídricos y energéticos, ya que para el año 2014 la minería hacia uso de cerca del 70% del agua de la región y de más del 85% de la energía, relacionada con problemas respecto al uso de un recurso escaso y con la contaminación por la quema de carbón para la producción de energía, ya que ambas presentan una tendencia a aumentar en el futuro (GORE, 2014).

### 1.3.3 Salud y contaminación en Antofagasta

Los principales problemas de salud para la región de Antofagasta se asocian a los altos contenidos de metales pesados en el aire y agua (OCMAL, 2013). Dentro de las causas asociadas a esto se encuentra en primer lugar la actividad minera, la cual a través de sus faenas libera material particulado durante el procesamiento, transporte y acopio de minerales y libera sus desechos derivados en el océano (OCMAL, 2013). Esto también se debe a las altas concentraciones naturales de materiales tóxicos que han decantado durante años y que provienen de los cordones volcánicos debido a actividades como el flujo de lava, géiseres y aguas termales, por lo que estas condiciones geológicas explican las características químicas del agua en la zona como el pH, salinidad y la variabilidad de concentraciones como el boro, flúor y arsénico (Ferrecio et al., 2006).

Para el caso de Antofagasta, el arsénico corresponde al principal elemento contaminante, ya que las altas concentraciones y sus efectos en la salud han sido documentadas desde la década de 1950 (Ferrecio et al., 2006). Durante el periodo de 1950 a 1970 Antofagasta obtuvo su suministro de agua potable desde distintos ríos, particularmente del río Toconce, el cual contenía concentraciones de arsénico de 800 µg/l y durante la década de 1970 comienzan a manifestarse los primeros síntomas, estimándose que más de 250.000 personas fueron expuestas a altas dosis de arsénico (Steinmaus et al., 2013; Ahumada, 2014). A partir de esto se construyeron las primeras plantas de abatimiento de arsénico durante la década de los 1970 para Antofagasta, pero no fue hasta el año 2003 que las concentraciones de arsénico no se redujeron hasta los niveles mínimo de detección (Ferrecio et al., 2006; WHO, 2002).

Se ha determinado que el arsénico y compuestos de arsénico pueden causar cáncer en los seres humanos (Ahumada, 2014). La exposición a altas dosis y a largo plazo de arsénico en el agua potable está relacionada con el riesgo incrementado de cáncer a la piel, pulmón, vejiga y riñón,

como así también problemas a la piel como hiperqueratosis y cambios en la pigmentación (WHO, 2002; Steinmaus et al., 2013). Además, se relaciona con efectos cardiovasculares (particularmente al corazón y al cerebro), respiratorios, hepáticos, diabéticos y neurológicos (Ahumada, 2014). Complica aún más la situación el hecho de que incluso el consumo prolongado de 0,01 mg/L de arsénico en el agua potable, determinada como la concentración segura de arsénico por la Organización Mundial de la Salud, puede aumentar el riesgo de cáncer al pulmón y a la vejiga (Tsuji et al., 2014; WHO, 2002).

Los efectos cancerígenos en los órganos suelen observarse entre 7 a 10 años, pero en algunos casos pueden no manifestarse hasta por 30 años después de la exposición, y para el caso de la ciudad de Antofagasta casi hasta los 50 años, todo a causa de que resulta difícil de tratar a tiempo el envenenamiento por arsénico, ya que este no cambia las propiedades organolépticas del agua potable contaminada (Ahumada, 2014; WHO, 2002).

Los estudios epidemiológicos para la región de Antofagasta dan muestra que la población que se vio expuesta al arsénico entre los años 1950 y 1980, previo a la construcción de las plantas de abatimiento, presentan en la actualidad un riesgo muy alto de desarrollar cáncer a la piel, pulmón y vejiga (Arroyo, 2005; Ferreccio et al., 2006). Aquellos problemas de salud a corto plazo relacionados con la exposición a altas dosis de arsénico como el incremento en la mortalidad infantil, lesiones en la piel, enfermedades respiratorias y cardiovasculares han disminuido considerablemente en la actualidad, por lo que quedan aquellos efectos crónicos de la exposición, por lo tanto se considera que lo único que se puede hacer por la población expuesta en el pasado es la disminución de aquellos factores que pueden facilitar el desarrollo de enfermedades cancerígenas como el tabaco, alcohol u otros agentes contaminantes (Arroyo, 2005).

A pesar de que en la actualidad se ha reducido la exposición al arsénico y los efectos visibles que se mantienen se deben a la contaminación en décadas previas y a los efectos crónicos asociados a la contaminación por arsénico, estos contribuyen a los cuestionamientos a la calidad el agua potable de Antofagasta (El Mostrador, 2016). Una de las principales fuentes estadísticas en cuanto al estado de la salud en Chile corresponde a la Estadística Nacional de Salud, realizada cada 6 años desde el año 2003, la cual tiene por objetivo el “conocer la prevalencia de problemas de salud prioritarios en la población adulta chilena mediante la utilización de cuestionarios, mediciones biofisiológicas y exámenes de laboratorio” (ENS, 2010). La última versión de esta se realizó para los años 2016 - 2017, pero a la fecha aún no han sido publicados los resultados para esta, pero se poseen los datos para la encuesta aplicada entre los años 2009 y 2010.

El anexo 4 muestra los temas de salud considerados por esta y los instrumentos de medición utilizados. La muestra de esta es a partir del censo del año 2002 y se excluye el área rural de la II región de Antofagasta (ENS, 2010). Dentro de los datos de salud relevantes para la región de Antofagasta en la Encuesta Nacional de Salud para los años 2009 y 2010, en primer lugar se puede observar en el gráfico Anexo 5 que un 29,8% de la población manifestaron problemas de naturaleza diarreica en los últimos 15 días. Situación por sobre el promedio nacional de 18,0 % y de las regiones que siguen a Antofagasta con 9,6%, 8,2% y 6,6% (ENS, 2010).

También destaca el ítem de cambio intestinal en los últimos tres meses, correspondiente a situaciones de estitiquez y diarrea, la región de Antofagasta presenta una significativa diferencia estadística, ya que un 40,3% de los mayores de 15 años manifestaron haber sufrido de cambios intestinales, significativamente por sobre el 30,7% nacional, todo esto observable en el gráfico

Anexo 6 (ENS, 2010). Si bien estos problemas son asociados en su mayoría al consumo de alimentos por parte de la población, es importante mantener presente que la diarrea es un importante indicador de problemas con la calidad de agua potable.

En cuanto a las principales causas de muerte para la región de Antofagasta, a partir de los principales indicadores respecto a las causas de muerte en Chile por regiones para el periodo 1997 - 2012, realizados por el instituto nacional de estadísticas y el ministerio de salud de Chile, la principal causa de muerte para la región corresponde a los tumores malignos, entre los que predominan el de pulmón, del estómago, de la próstata, de la vejiga y del páncreas (INE, 2006; INE, 2010). La serie de datos para los años 1997 - 2003 proviene desde el documento “Principales causas de muerte en Chile por regiones” (INE, 2006). Mientras que los datos para el periodo 2004 - 2009 fueron obtenidos desde el sistema de demografía y estadísticas vitales (INE, 2010).

A través de estas se pudo determinar que para la II región de Antofagasta para el periodo 1997 - 2009 las principales causas de muerte corresponden a los tumores malignos (distintos tipos de cáncer) con un 27%, en segundo lugar, las enfermedades del sistema circulatorio con 25%, seguidas por las enfermedades del sistema circulatorio y de causas externas con un 9% y en el último lugar las enfermedades del sistema digestivo con un 7%. Esto es apreciable en el anexo 7 donde se puede observar el total de las defunciones para la II región entre 1997 y 2009, y la cantidad de defunciones para cada causa de muerte. Para contrastar esto se puede apreciar en el anexo 8 el total de defunciones a nivel país, en el que lideran por causas de muerte las enfermedades del sistema circulatorio con un 28%, seguido por los tumores malignos con un 23%, las enfermedades del sistema circulatorio con 10 %, causas externas de morbilidad y de mortalidad con 9% y las enfermedades del sistema digestivo con un 7%.

Se aprecia además que solamente para las regiones de Antofagasta, Aysén y Atacama los tumores malignos lideran como las principales causas de muerte, presentando Antofagasta el porcentaje más alto de todas las regiones (INE, 2006). A causa de esto se considera que Antofagasta presenta características epidemiológicas únicas que la diferencian del resto del país y estos antecedentes han llevado a que en la actualidad sea considerada como un foco de cáncer a nivel internacional (Fraser, 2012; Pizarro et al., 2012).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Analizar la calidad del suministro de agua potable de la ciudad Antofagasta entre los años 2007 – 2016, a partir de la normativa nacional, estándares internacionales y las distintas fuentes de agua potable.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar la calidad de agua potable a través de la normativa de chilena de agua, espacializando el cumplimiento y su relación con los tipos de agua potable.
2. Evaluar la calidad del agua potable a partir del índice global de calidad de agua potable (GDWQI).
3. Identificar la percepción respecto a la calidad del suministro a partir de distintos tipos agua potable entre los años 2009 - 2016.

## **CAPITULO 2: ESTADO DEL ASUNTO**

Para discutir y evaluar la calidad del agua potable, es necesario en primer lugar el determinar a que nos referimos cuando hablamos sobre la “calidad” de un determinado cuerpo de agua, que criterios son aquellos evaluados y las particularidades para el caso de los suministros de agua potable, para luego determinar cómo estos distintos criterios son aplicados a lo largo del mundo y en Chile.

Además, se determina la concepción de salud a partir de la geografía desde la cual se relaciona con la calidad del agua potable, los efectos de la desalación sobre ésta, y cómo afecta particularmente la percepción de aquellos que la utilizan.

### **2.1 Calidad de agua**

Existe una dificultad inherente al momento de determinar qué constituye o se hace referencia al hablar de la “calidad” de un determinado cuerpo de agua, ya que lo que se defina como la calidad dependerá del uso que se le desee otorgar (recreacional, industrial, domestico, agropecuario) y de las condiciones específicas de cada cuerpo de agua, ya que estos pueden presentar contaminantes a partir de las condiciones naturales y actividades humanas, que pueden afectar lo que se determine como calidad (Lumb et al., 2011; Kushwaha et al., 2013; Marnewick et al., 2017).

Una de las principales formas para describir la calidad de una muestra o de un determinado cuerpo de agua es listar las concentraciones de todos los compuestos presentes en esta, pero tal lista sería demasiado larga a causa del gran número de constituyentes presentes en el agua, debido a su característica de “solvente universal”, y tendría poco sentido para todos a excepción de expertos, además, el agua suele presentar variaciones en el número de elementos presentes, imposibilitando aún más las comparaciones (Lumb et al., 2011; Abassi et al., 2012).

Es a partir de la necesidad de establecer criterios fijos y para comunicar fácilmente la calidad de un cuerpo de agua es que surgen los índices de calidad de agua (WQI) como una forma de expresar la calidad de agua hace más de 150 años, con el fin de proveer de un simple pero conciso método para expresar la calidad de un determinado cuerpo de agua para distintos usos, ya sea recreacional, para el consumo o el riego, entre otros (Lumb et al., 2011; Abassi et al., 2012).

El propósito de los índices de calidad de agua es de proveer de un único valor a la calidad de una fuente de agua, a partir de un determinado número de parámetros o elementos constituyentes y sus concentraciones en una cantidad de muestras, los cuales son estandarizadas y normalizadas acorde a concentraciones específicas, para luego poder ser comparadas a lo largo del tiempo o con otras muestras a partir de los valores establecidos por el índice utilizado (Abassi et al., 2012).

En la actualidad corresponden al principal método para la evaluación de la calidad del agua, ya que son la herramienta predilecta utilizada por los distintos países y organismos internacionales para evaluar sus cuerpos de agua, ya que los estándares de estos suelen ser similares en términos de parámetros y límites objetivos, pero difieren en la calculación de la valoración final y en su

mayor capacidad comunicacional (UNEP, 2007; Abassi et al., 2012).

El uso de índices ha sido recomendado fuertemente por instituciones responsables del suministro y control de la contaminación en el agua potable, ya que estos permiten que una vez que la información haya sido recogida en los procedimientos de muestreo y análisis, los resultados puedan ser traducidos a un formato que sea fácilmente comprendido por el público (Abassi et al., 2012). La eficiencia y precisión de todos los índices dependerá de las redes de monitoreo, los métodos de análisis y normas a seguir. Por lo que se recomienda el establecimiento a largo plazo de los criterios de selección a implementar para el desarrollo de un determinado índice (Lumb et al., 2011).

Los índices son utilizados como herramientas comunicacionales por las instituciones regulatorias para describir la “salud” o “calidad” de un sistema medioambiental específico (agua, tierra, aire, etc.), para evaluar el impacto de las políticas regulatorias, para caracterizar unos daños ambientales y los efectos por cambio climático (Abassi et al., 2012). Ya que resultan convenientes no solamente para examinar tendencias, resaltar condiciones ambientales específicas o para ayudar con la toma de decisiones entorno a la efectividad de la normativa, sino que también como herramientas de información pública y para el desarrollo de la investigación científica (Abassi et al., 2012).

A pesar de esto es importante mantener presente que, si bien los índices permiten obtener una imagen general de la calidad de un cuerpo de agua, estos no pueden determinar definitivamente si es que el agua es potable, ya que puede que estos no evalúen la totalidad de parámetros que tienen efectos adversos a la salud (UNEP, 2007). Además, no existe un índice global que permita evaluar la calidad de distintos cuerpos de agua de forma general, por lo que, para la exitosa calculación de cualquier índice, se requiere el considerar los distintos contextos, usos y limitaciones técnicas (Lumb et al., 2011; Abassi et al., 2012; WHO, 2017).

### 2.1.1 Qué se considera agua potable de calidad a nivel internacional

El agua potable corresponde a aquella que es clara, incolora e inodora y que no debe contener ningún microorganismo que causa enfermedades o químicos en concentraciones dañinas (SDWF, 2009b), Mientras que para la organización mundial de la salud el agua potable corresponde a aquella que *“no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud cuando se consume durante toda una vida, teniendo en cuenta las diferentes vulnerabilidades que pueden presentar las personas en las distintas etapas de su vida”* (WHO, 2017).

A pesar de que se poseen claras definiciones de lo que constituye agua potable y de su relación con la salud, no existen normativas a nivel internacional que se encarguen de la calidad del agua potable, por lo que el principal punto de referencia para el establecimiento de las normativas nacionales e internacionales en cuanto a que constituye agua potable apta para el consumo humano (en términos de parámetros, límites objetivos, etc.) provienen de la organización mundial de la salud (OMS), a través de su guía de lineamientos para el agua potable (INN, 2006a; UNEP, 2007; WHO, 2017).

En esta se establecen los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, así como también su modo de aplicación. Además, describe los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye información sobre los peligros microbiológicos, químicos y radioactivos (WHO, 2017).

Lo que la guía busca entregar a los países corresponde al soporte necesario para desarrollar e implementar estrategias para asegurar el manejo de los suministros de agua (WHO, 2017). La actual edición de la guía para la calidad del agua potable corresponde a la cuarta la cual se lleva construyendo hace más de 50 años, lo que la ha transformado en la base para la construcción de las regulaciones y estándares nacionales para la seguridad del agua en soporte de la salud pública (WHO, 2017).

Se debe destacar que esta no posee vínculos legales, sino que representa objetivos voluntarios diseñados para proteger la salud pública y para que los proveedores de agua potable pueden emular en los distintos países (Boyd, 2006). La principal razón para no promover estándares internacionales para la calidad del agua potable es la ventaja del uso de acercamientos riesgo - beneficio, tanto cualitativos como cuantitativos, para el establecimiento de estándares y regulaciones nacionales. Sin embargo, otra razón para esto corresponde a que para definir límites obligatorios es necesario tomar en consideración los valores de referencia en los contextos locales y nacionales en distintos aspectos como el social, económico, medioambiental y cultural (WHO, 2017).

Las guías para la calidad del agua potable proveen de un punto de partida científico desde el cual las autoridades nacionales pueden desarrollar regulaciones y estándares para el agua potable apropiados a su contexto nacional (WHO, 2017). En los países desarrollados, los estándares para la calidad del agua potable son realizados a partir de la actual investigación científica relacionada con los efectos en la salud, estéticos y consideraciones operacionales (SDWF, 2009a).

Además, esta guía presta apoyo para asegurar la calidad del agua potable bajo circunstancias específicas como el cambio climático, desastres y emergencias, escasez de agua, desalinización, etc. (WHO, 2017).

La organización mundial de la salud recomienda asegurar la calidad del agua potable a través de la medición de cuatro aspectos: microbiológico, químico, radiológico y de aceptabilidad (olor, color, turbidez, etc.). El microbiológico corresponde a aquellos patógenos como virus, bacterias y protozoos que contaminan el agua y de los cuales se posee evidencia sobre sus efectos significativos a la salud al contacto o consumo con agua potable (WHO, 2017). Los patógenos microbiológicos representan el mayor riesgo para las fuentes de agua potable, ya que pueden causar brotes de enfermedades que resultan en agudos problemas de salud para la población expuesta (Boyd, 2006,). En el Anexo 9 se pueden apreciar los patógenos transmitidos por el agua para los cuales la organización mundial de la salud establece valores mínimos de concentración, entre los que se observan el escherichia coli, salmonella, hepatitis, rotavirus, etc.

Los aspectos químicos consideran a aquellos compuestos químicos que después de una larga exposición de años, a diferencia de los microbiológicos que son inmediatos o requieren menor

tiempo de exposición, manifiestan efectos adversos a la salud humana por el consumo de agua potable (OMS, 2007). Los valores establecidos para los químicos considerados por la guía corresponden solo a aquellos que presentan posibles efectos sobre la salud, ya que la cantidad de contaminantes químicos presentes en el agua son muchos, por lo que el establecer estándares o concentraciones para todos no es recomendable (WHO, 2017). Es debido a esto es que se realiza la recomendación del conocimiento local o nacional de las posibles concentraciones de químicos en determinadas zonas.

Los químicos son identificados en la guía a partir de la fuente de contaminación, en el Anexo 10 se observa que se dividen entre aquellos que ocurren de forma natural (fragmentación de roca), por asentamientos humanos o fuente industrial (minería, desechos), agricultura (fertilizantes), tratamiento de aguas (Coagulantes, etc.) y los pesticidas utilizados (larvicidas, etc.). Para los valores base para los contaminantes químicos se dividen en cada una de las categorías por fuente de contaminación entre aquellos que presentan valores y aquellos que no en base a los efectos en la salud humana (WHO, 2017).

En el anexo 11 se pueden ver los químicos de ocurrencia natural que no poseen valores y en el anexo 12 aquellos para los que, si se tienen, de los cuales destacan el arsénico, boro, cromo total y fluoruro. Para aquellos generados por los asentamientos humanos y la actividad industrial, los anexos 13 y 14 dan cuenta de para cuales hay valores, destacando el cadmio y el mercurio. Los anexos 15 y 16 ejemplifican la gran cantidad de químicos derivados de la agricultura de los cuales no se establecen valores, mientras que el anexo 17 muestra aquellos que sí se encuentran con valores base, destacando el nitrato por su rápida acción (WHO, 2017).

Los anexos 18 y 19 ejemplifican los valores para los químicos utilizados en el tratamiento de aguas, de los cuales destacan el cloro, bromo y sodio, dentro de estos se incluyen aquellos desprendidos por problemas en las tuberías, como el cobre, plomo y níquel (OMS, 2007). Para todos los químicos a los que no se les asignó un valor esto se debe a que por un lado las concentraciones en las que se encuentran en el agua potable no resultan peligrosas para la salud o no se posee la suficientes evidencias o estudios adecuados para determinarlo, información apreciable en los anexos.

Por aspectos radiológicos se refiere a la posible presencia de sustancias radiactivas (radionucleidos) en el agua potable que pueden generar efectos adversos en la salud humana. La contaminación por radiación de las fuentes de agua potable presenta menores riesgos en comparación a los químicos y microbiológicos, a excepción de situaciones extremas (WHO, 2017). Es importante clarificar que nos encontramos constantemente expuestos a radiación natural, ya sea esta proveniente del espacio en forma de radiación cósmica o del material radiactivo presente de forma natural en la tierra, agua y aire, principalmente en forma de gas radón (ISPCH, 2015). Los valores determinados por la guía de calidad de agua potable se basan en las recomendaciones de la comisión internacional de protección radiológica (ICRP, 2008).

Las fuentes de agua potable pueden presentar radionucleidos de origen natural o humano. Entre los radionucleidos que se pueden encontrar a causa de procesos naturales o tecnológicos que

involucren material radiactivo, se encuentra el potasio-40, radio-226, radio-228, uranio-234, uranio 238 y plomo-210. (WHO, 2017). En el Anexo 20 se observan algunos de los radionucleidos naturales e artificiales de los que se proveen valores base para medir sus concentraciones, sin embargo, esto no asegura que su presencia en el agua potable se presente en concentraciones dañinas para el humano. Esto se debe a que la identificación en el agua potable de radionucleidos individuales posee un costo elevado y requiere tiempo, por lo que se aplica una medición de la radiación total existente en forma de radiación alfa y beta (WHO, 2017). En el Anexo 21 se observan los niveles de referencia de radioactividad total para medir por radionucleidos específicos.

La mayor parte de la radiación natural que recibimos proviene del radón, el cual corresponde a un gas radioactivo presente en casi todo el planeta causado por la desintegración del uranio presente en las rocas y suelo (WHO, 2017). La exposición al radón se genera por el aire al inhalar o por el consumo de agua y se relaciona con principalmente con el cáncer de pulmón y estómago (EPA, 1999). La organización mundial de la salud establece como referencia para la concentración de radón en el aire de 300 Becquerel/m<sup>3</sup>, no existe concentración adecuada para el agua ya que al ser soluble en esta el radón se ve liberado al aire bajo cualquier perturbación, por lo que se aconseja que cualquier límite puesto a nivel nacional debe ser desarrollado a partir de la cantidad de radón en el aire y su distribución (WHO, 2017).

Por los aspectos de aceptabilidad (sabor, olor, color, turbidez) se consideran aquellas características del agua potable que no afectan la salud de las personas pero que son de alta prioridad debido a que determinan la confianza del usuario por la fuente de agua potable (WHO, 2017). A causa de esto se establecen valores base en la guía solo para algunas sustancias biológicas o químicas que por debajo de sus concentraciones que afectan la salud, generan cambios en el color, olor y aceptabilidad general (WHO, 2017).

### 2.1.2 Normativa nacional de calidad de agua potable

Para el contexto chileno el agua potable es considerada como aquella “*agua que cumple con todos los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y de desinfección establecidos en la Norma NCH 409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano*” (INN, 2006a).

La institución nacional encargada de vigilar el agua potable, a través de los procesos de tomas de muestras y fiscalizando la calidad del agua potable provista por los distintos servicios sanitarios recae en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (SISS, 2007). Esta se ocupa de que los servicios públicos sanitarios controlen y garanticen de forma permanente la calidad del agua potable suministrada a los clientes. Esto se realiza a través de autocontroles mensuales realizados por los servicios sanitarios que posteriormente entregan los resultados obtenidos y son enviados a la Superintendencia, la cual procesa y publica estos resultados (SISS, 2007).

La Superintendencia se asegura que estos análisis provengan de una buena fuente, ya que especifica que las muestras vengan de llaves en buen estado y conectadas de forma directa a la red

pública, y que los análisis sean efectuados en laboratorios acreditados por el Instituto Nacional de Normalización (SISS, 2007).

Las normativas encargadas de la calidad del agua potable y los criterios de muestras en Chile corresponden a la normativa chilena oficial 409/1 de 2005 (NCh 409/1) de calidad de agua y a la normativa chilena oficial 409/2 de 2005 (NCh 409/2) de muestreo, las cuales fueron elaboradas por el Instituto Nacional de Normalización a partir de los lineamientos establecidos por la OMS en la primera edición de la guía para la calidad de agua potable de 1995, la actualización del año 2004 y por la normativa chilena del año 1984, a partir de un anteproyecto elaborado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (INN, 2006a; INN, 2006b).

La normativa chilena de 1984 fue actualizada por última vez el año 2006 y sus principales cambios, iniciando por la normativa NCh 409/1, corresponden a la división de los parámetros en cinco categorías distintas, la incorporación de variados elementos esenciales y no esenciales, sustancias orgánicas y plaguicidas entre otros a las categorías de análisis, el establecimiento de nuevos límites máximos, rangos de tolerancia y la incorporación del concepto de parámetro crítico que corresponde a *“aquellos parámetros, característicos de la fuente o del servicio, Tipo II o Tipo IV, que en ausencia o falla del proceso de tratamiento superan el límite máximo especificado en NCh409/1”* (INN, 2006a).

Mientras que los principales cambios para la NCh 409/2, aquella relevante para los procesos de muestreo, correspondieron a mejoras en los procesos de autocontrol, aumento en el muestreo de turbiedad, mayor frecuencia de control para los parámetros críticos, el doble de muestras para los parámetros químicos desde fuentes de agua superficial o mixta y la aplicación diaria de controles a partir de la población abastecida (Echeverría, 2015).

En las normativas se establecen las referencias para todos los tipos de parámetros que deben ser evaluados, sus concentraciones máximas, al tipo de muestra, lugar de muestreo y puntos de control de la red, como así también de los tipos de envases, preservantes, volúmenes de muestra, tiempos de almacenamiento y condiciones de transporte (INN, 2006a; INN, 2006b). Todas las deben ser de tipo simple. Mientras que los lugares de muestreo deben corresponder a llaves que presenten condiciones sanitarias inobjtables, conectadas de forma directa a la red de distribución y ser de uso frecuente (INN, 2006b).

Los principales criterios que deben cumplir todos los parámetros para los puntos de control es que deben ser representativos de la red de distribución, deben estar preestablecidos y que se dividirán por puntos fijos de control mensual y puntos variables, siendo el criterio de los puntos fijos aquellos sitios críticos donde puede presentar contaminación. Además, cada empresa sanitaria es responsable de las condiciones sanitarias de estos puntos (INN, 2006b).

Los parámetros establecidos por la normativa chilena de calidad de agua se agrupan en cinco categorías:

- Tipo I Parámetros microbiológicos y de turbiedad;
- Tipo II Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud;

- Tipo III Elementos Radiactivos;
- Tipo IV Parámetros relativos a las características organolépticas;
- Tipo V Parámetros de desinfección.

Para los parámetros tipo I se establece que estos deben encontrarse exentos de microorganismos del grupo coliforme, especialmente del *Escherichia coli*, ya que estos son un buen indicador microbiano de la calidad del agua potable (INN, 2006a). Además, se incluye la medición de la turbidez del agua potable en estos parámetros la cual es medida en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (INN, 2006a). El número de muestras mensuales para estos parámetros dependerá de la población abastecida y el número de sectores en que este dividida la red (INN, 2006b).

Las concentraciones máximas para los parámetros tipo II correspondientes a los elementos esenciales (cobre, zinc, etc.), no esenciales (arsénico, mercurio, etc.), sustancias orgánicas, plaguicidas y aquellos productos secundarios de la desinfección se pueden observar en los anexos Anexo 22 a Anexo 26 con sus valores y unidades de medida correspondientes (INN, 2006a). El número mínimo de muestras para los parámetros tóxicos son definidos a partir del tipo de fuente de origen, una fuente de agua subterránea, superficial o una mezcla de ambas, siendo el muestreo realizado 2 vez al año en el caso de ser superficial o una mezcla y solo 1 vez al año cuando sea de una fuente subterránea (INN, 2006b).

Los tipo III corresponden a los elementos radiactivos, entre los considerados por la normativa se encuentran el estroncio 90, el radio 226 y la actividad beta y alfa total en el agua potable (INN, 2006a). En el Anexo 27 se pueden ver los valores establecidos para los 5 elementos radiactivos expresados en bq/L.

Los parámetros tipo IV son aquellos relativos a las características organolépticas o estéticas como el color, olor, pH y sólidos disueltos totales entre otros (INN, 2006a). En el Anexo 28 se pueden apreciar todos los elementos considerados, sus límites máximos y las unidades de medida correspondientes. El número mínimo de muestras para los parámetros organolépticos son definidos a partir del tipo de fuente de origen, una fuente de agua subterránea, superficial o una mezcla de ambas, siendo el muestreo realizado 2 vez al año en el caso de ser superficial o una mezcla y solo 1 vez al año cuando sea de una fuente subterránea (INN, 2006b).

Por los parámetros tipo V se refiere a aquellos elementos que son producto del proceso de desinfección del agua potable, principalmente el cloro libre residual (INN, 2006a). En el Anexo 29 se establecen las concentraciones residuales de los desinfectantes activos en el agua potable. El número de muestras mensuales para estos parámetros dependerá de la población abastecida y el número de sectores en que este dividida la red, al igual que para los parámetros tipo I (INN, 2006b). Por parámetros críticos se refiere a los tipo II y IV que en ausencia o falla del proceso de tratamiento de agua potable superan los valores establecidos por la normativa (INN, 2006a).

A modo de comparación y para contextualizar con otras normativas, en el Anexo 30 se puede ver

una tabla de los elementos medidos por la normativa chilena de agua potable y su comparación con la guía de calidad de agua potable de la Organización Mundial de la Salud y la National Primary Drinking Water Regulations de los Estados Unidos. Esta se realizó solamente con aquellos parámetros para los cuales se encontraron referencia alguna en las normativas comparadas. La elección de estas para comparar con la normativa chilena se realizó en base a que la guía de calidad de agua potable de la Organización Mundial de la Salud establece los valores de referencia de prácticamente la mayoría de las normativas del mundo y que la normativa de Estados Unidos es considerada la más completa, no en los valores entregados, pero si en la cantidad de contaminantes que controla (SDWF 2009a).

En el Anexo 30 se puede apreciar que la normativa nacional establece valores similares a las referencias de la Organización Mundial de la Salud, ya que de los 29 elementos comparados 17 de estos presentan valores iguales, 2 presentan valores menores y solo 3 se encuentran por sobre el valor establecido por la OMS. Mientras que en comparación a la de Estados Unidos la normativa nacional presenta solamente 1 parámetro de valor igual, 12 de estos menores y 11 valores mayores. A pesar de esto, se puede apreciar que la organización mundial de la salud queda corta al establecer parámetros aceptables para las concentraciones microbiológicas y químicas en el agua potable en comparación con Estados Unidos e incluso muchos de los valores para contaminantes individuales se encuentran por sobre la media del resto de la tabla (SDWF, 2009a).

A partir de esto se puede determinar que la normativa chilena tiene en promedio valores más estrictos que la normativa estadounidense, sin embargo, la chilena solamente mide 43 parámetros versus los casi 90 de la normativa de Estados Unidos, además esta establece los niveles mínimos para ciertos elementos, lo cual se encuentra ausente en nuestra normativa (INN, 2006a; EPA, 2016).

### 2.1.3 Agua desalada como agua potable

La organización mundial de la salud establece que el agua desalada corresponde a una adecuada fuente de agua potable, ya que esta se rige por las mismas normas de calidad que el resto del agua potable, pero que posee ciertas diferencias específicas debidas al carácter corrosivo del agua desalada o estéril, su bajo contenido en sólidos disueltos totales (SDT) y en minerales, particularmente de magnesio, calcio y flúor (Cotruvo et al., 2011; WHO, 2011; WHO, 2017).

Se reconoce también que los sistemas que ocupan agua desalada presentan el problema de que las altas temperaturas del agua potable suministrada en climas cálidos y la dificultad para mantener los desinfectantes durante el transporte a lo largo de la red pueden propiciar la aparición de vida microbial, dependiendo de los nutrientes disponibles, las que difícilmente tienen efectos sobre la salud, pero si lo pueden tener sobre la aceptabilidad (WHO, 2017).

Pero se considera que todas estas son fácilmente corregibles durante las etapas de tratamiento y remineralización, ya que este tipo de ocurrencias o problemas están relacionados al proceso de desalinizado y de los distintos factores que lo componen, como el agua fuente a desalinizar (salina,

salobre, etc.), en las distintas etapas de tratamiento (pretratamiento, desinfección, remineralización, etc.), como así también de los sistemas de distribución y almacenamiento (Cotruvo et al., 2011; WHO, 2011; WHO, 2017). Por lo que los posibles problemas o consideraciones deben ser abordadas caso a caso, debido a pueden ser causados por la mala ejecución de una etapa durante el proceso de desalado o por condiciones naturales (WHO, 2011; WHO, 2017).

Para los distintos países que utilizan la desalinización, esto significa que mientras el agua desalada que se provee como potable cumpla con la normativa de calidad de agua correspondiente, no existe ningún problema con la utilización de agua desalada como fuente de agua potable (WHO, 2011). Aunque existen detractores respecto a la utilización del agua desalada como fuente de agua potable, estos solían basarse principalmente en consideraciones medioambientales, económicas o políticas por el manejo adecuado de recursos hídricos, y no por el consumo de esta como agua potable (WHO, 2005; WWF, 2007; March, 2015).

Esta situación ha cambiado en los últimos años debido al aumento en la investigación y a la información disponible en cuanto al desempeño del agua desalada como fuente de agua potable. Esto es a causa de que, a pesar del aparente beneficio de usar la desalación para producir una fuente de agua potable confiable, sus deficiencias en nutrientes requeridos por el humano y para la agricultura corresponden a una fuente de preocupación en la actualidad por los efectos adversos que pueda tener sobre la salud humana y la producción agropecuaria (WHO, 2005; Oron et al., 2013).

El agua tiene un aporte beneficioso para la salud (dejando de lado la hidratación) por los elementos minerales que contiene. El agua de mar es rica en iones como el sodio, cloro, magnesio y el calcio, pero baja en iones esenciales como el cobre, manganeso y zinc (WHO, 2005). Durante el proceso de desalinización se reducen significativamente la cantidad de iones y sales presentes en el agua de fuente, por lo que el agua producto del proceso presenta un bajo contenido mineral y es corrosiva frente a materiales como el cemento y el plástico que componen la red de almacenamiento, por lo se debe realizar un proceso de remineralizado durante el post tratamiento del agua desalada, el cual si no es realizado adecuadamente, el agua puede mantener sus propiedades corrosivas ante el sistema de distribución, causando daños a las cañerías y aumentando la exposición a metales como el cobre y plomo por parte de los consumidores de agua, y no solamente esto, si no que puede presentar un contenido mineral no apto para el consumo humano (WHO, 2005; WHO, 2011; Cotruvo et al., 2011).

Este proceso es realizado principalmente a través de la mezcla del agua producto con una cantidad de agua de la fuente desalada, compuesta por un porcentaje entre 1% y 10% respecto al total de agua, con la adicción directa de calcio y magnesio o con caliza con el fin de reducir sus propiedades corrosivas, pero incluso cuando es estabilizada, la composición final del agua puede no ser adecuada en términos de los beneficios a la salud (WHO, 2005; Cotruvo et al., 2011; Nriagu et al., 2016). Aunque el agua desalada es suplementada principalmente con calcio u otros elementos, esta puede ser deficiente en cuanto al magnesio y micro elementos como flúor y potasio. Posiblemente

ninguno de los usuales métodos de re mineralización puede ser considerado óptimos ya que el agua no contiene todos los componentes beneficios. Los actuales métodos de estabilización del agua se enfocan principalmente en disminuir los efectos corrosivos del agua demineralizada (WHO, 2005; WHO, 2011; Shomar et al., 2017).

La relación entre la salud humana y el consumo de agua baja en contenido mineral ha sido investigado por al menos medio siglo, y como expone la OMS en su guía para nutrientes en el agua potable, la cual es elaborada a partir de las interrogantes sobre las consecuencias a largo plazo del consumo de agua que es producto de procesos de desmineralización como la desalinización y su reconstitución óptima desde la perspectiva de la salud, ciertos nutrientes como el flúor, calcio, cobre, hierro, magnesio, sodio, selenio y el potasio pueden afectar la salud al presentarse en concentraciones menores en aguas de bajo contenido mineral, e incluso se han asociado a enfermedades cardiovasculares, diabetes y osteoporosis (WHO, 2005; Cotruvo et al., 2011; Oron et al., 2013).

Las deficiencias minerales en el agua fresca ocurren bajo dos escenarios, uno es cuando el suministro de agua presenta constantemente un bajo contenido mineral o cuando este es de calidad irregular. Por lo que el agua producto de la desalación de agua mar al ser entregada como la único o principal fuente de agua potable de una región, los consumidores recibirán continuamente agua con un contenido mineral menor (Oron et al., 2013). Sin embargo, cuando el suministro de agua de una región está compuesto por fuentes de distinta calidad, la calidad del agua para los consumidores será irregular (Oron et al., 2013). Incluso se estima que, si una de las fuentes de agua corresponde a agua desalada, la disminución en la calidad puede ser substancial y acompañada por variaciones generales a distintas horas del día respecto del contenido mineral (Oron et al., 2013).

El método más común para tratar el primer escenario es con la adición constante de minerales, mientras que la segunda es más compleja, ya que cuando el suministro de agua es de calidad irregular, no se posee la información correspondiente en cuanto al contenido mineral del agua provista, imposibilitando la remineralización del agua para reducir los posible riesgos a la salud al consumir agua deficiente en minerales, como de la misma forma la información inadecuada puede resultar en la adición en exceso de minerales que se asumen presentan una baja contenido (Oron et al., 2013).

Cuando el agua desmineralizada es utilizada para la cocina puede causar pérdidas de elementos esenciales de alimentos como vegetales, carne o cereales, llegando incluso hasta un 60% de pérdida de micro elementos. Ya que la mayoría de los nutrientes son consumidos a través de la comida, el uso de agua desmineralizada para el procesamiento y cocción puede causar una marcada deficiencia del consumo total de algunos elementos esenciales. En la actualidad la dieta de muchas personas presenta deficiencias en cuanto al acceso a cantidades suficientes de elementos necesarios, por lo que cualquier factor que resulte en la pérdida de elementos esenciales durante la preparación y procesamientos de la comida puede resultar en consecuencias negativas para la salud (Kushwaha et al., 2013).

A pesar de que el agua potable no es la principal fuente de estos elementos en nuestra dieta, la significancia sobre la salud del consumo suplementario de estos elementos puede superar su contribución nutricional expresada proporcionalmente al consumo total diario de estos elementos. Incluso en países industrializados, la dieta que no es deficiente en términos de la cantidad de magnesio y calcio puede no ser capaz de compensar completamente la deficiencia de estos en el agua potable (Kushwaha et al., 2013).

Por lo que la población que consume agua desalada o destilada puede estar recibiendo de forma consistente una menor cantidad de nutrientes en comparación a quienes consumen desde fuentes tradicionales de agua, por lo que los consumidores de agua potable desalada se encuentran en desventaja si es que se encuentra en un contexto de deficiencia dietética y son más vulnerables a enfermedades relacionadas con a un bajo contenido mineral, particularmente (Cotruvo et al., 2011; Oron et al., 2013). Por lo que se recomienda que las autoridades internacionales y nacionales responsables de la calidad del agua potable consideren lineamientos específicos para los tratamientos de desalación del agua, especificando el contenido mínimo de elementos esenciales y sólidos disueltos totales (WHO, 2005).

Esto no es solamente relevante para regiones donde el agua potable es obtenida por desalinización (cuando no es adecuadamente remineralizada) sino que también para aquellas donde las centrales de tratamiento de agua o los sistemas hogareños de tratamiento reducen el contenido mineral y donde se consume agua embotellada de bajo contenido mineral (WHO, 2005).

## **2.2 Relación de la salud con la calidad del agua potable y sus efectos sobre la percepción**

### **2.2.1 Concepto de salud desde la geografía**

La concepción de lo que puede significar *salud* es muy variada, ya que depende del contexto (social, cultural, económico, etc.) bajo el que se esté viviendo o trabajando para determinar qué definición será la más apropiada de utilizar, por lo que esta se encuentra abierta para interpretaciones (Gregory et al., 2009). Dentro de las múltiples definiciones de *salud* se puede encontrar que esta corresponde a la “*disponibilidad de recursos, tanto personal como sociales, que nos permiten obtener nuestro potencial individual*” (Gatrell et al., 2015). También puede ser definida como “*el recurso para el diario vivir que nos permite manejar y cambiar nuestro medio ambiente y como el potencial contribuidor al bienestar corporal, emocional y social de las personas en su día a día*” (Gregory et al., 2009; Gatrell et al., 2015).

Otra manera de conceptualizar la salud puede ser como el bienestar físico y mental que nos permite funcionar de forma efectiva para el resto de la sociedad (Gatrell et al., 2015). Unido a esto se encuentra la idea de la salud como la fortaleza mental o personal, en conjunto con la práctica de hábitos que consideramos “saludables”. También existe la consideración de la *salud* como un commodity, el cual puede ser entregado, perdido, comprado o vendido, por ejemplo, invertimos en salud al comprar un seguro médico o la perdemos al enfermarnos (Gatrell et al., 2015).

Esta gran cantidad de formas de abordar lo que constituye la salud y la amplitud de las definiciones, independiente de la definición que se ocupe, dan cuenta del carácter multifactorial de la salud, por lo que el concepto de salud utilizado en esta investigación será definida no solamente como aquella que representa un recurso necesario para la vida diaria, bienestar, interacciones sociales y las capacidades físicas, sino que también será determinado por la completa ausencia de enfermedades o problemas y como dependiente de un espacio o lugar en particular, ya que los procesos sociales, culturales, económicos o políticos de forma simultánea van construyendo y afectando el “espacio de salud”. (Abbot et al., 2005; Gatrell et al., 2015; O’Brien, 2015; OMS, 2016).

Esta definición compuesta se obtiene desde la perspectiva de la geografía de la salud, ya que desde esta el espacio afecta o promueve la salud, más que solamente ser donde ocurre o donde es físicamente construida y la cual puede variar enormemente en escala (Gatrell et al., 2015; O’Brien, 2015). Por lo tanto, el lugar corresponde a más que una localización geográfica específica o telón de fondo para las interacciones de salud, sino que es un lugar donde los procesos, prácticas y significados son situados y socialmente producidos en un contexto en particular (O’Brien, 2015). De esta forma, los lugares reflejan y manifiestan entendimientos sobre la salud, los cuales afectan la interpretación del lugar mismo. Este alcance respecto al lugar y la salud puede sugerir que ninguno puede existir de manera independiente de las acciones o factores que constituyen al otro.

En la actualidad, la dimensión geográfica ha obtenido un auge en materias de salud, ya que los beneficios de evaluar una población potencialmente expuesta a enfermedades y determinar si tiene una variación en la exposición a partir de un área en estudio, puede ser un instrumento de gran importancia al momento de determinar la asociación entre la exposición a contaminantes y su impacto en la salud humana (Luzania, 2010). La geografía de la salud se encarga de estudiar la *“distribución de la mortalidad y la morbilidad de la población, los servicios y el equipamiento en salud. Su interrelación con los factores físicos, geográficos, ambientales, demográficos, socioeconómicos, culturales y políticos se apoya en modelos predictivos que permiten simular situaciones ambientales para encontrar mejores soluciones”* (Luzania, 2010).

Esta busca entender preguntas respecto a la salud, sanación y bienestar a través de tres aproximaciones. La primera corresponde a que la geografía de la salud se extiende más allá del análisis espacial de las enfermedades para determinar el rol que ese lugar en particular tiene en la salud. (O’Brien, 2015). En segundo lugar, la incorporación de las teorías culturales permite una mejor comprensión de la forma en que las prácticas culturales estructuran el lugar de la salud y la provisión de esta. (O’Brien, 2015). La tercera es que la geografía de la salud ocupa la teoría crítica para obtener un mayor entendimiento de la forma en que las personas y lugares pueden ser afectados de forma negativa por agentes privados, cambios políticos y realizando preguntas de responsabilidad a distintas escalas (O’Brien, 2015).

Esto significa que el concepto de salud se vuelve algo personal, temporal y fluido, ya que los conocimientos de salud son múltiples y son construidos de forma social en los lugares (O’Brien, 2015). Este nuevo entendimiento socialmente construido de la salud y el rol de los lugares en esta, han permitido a la replantear o repensar los lugares existentes de salud (O’Brien, 2015). Un

ejemplo de esto se considera la noción de los paisajes terapéuticos, los cuales son utilizados para analizar críticamente las complejas dinámicas de lugar, bienestar y cuidado de la salud, ya que estos son considerados como lugares que conducen hacia la sanación (Gatrell et al., 2015). Esta reconoce que ciertos lugares físicos o locaciones geográficas tienen el potencial para promover la sanación física, mental y espiritual, por lo que a partir de esta tesis se comenzó a determinar el potencial terapéutico o propiedades de salud de otros espacios como parques, gimnasios o cárceles, evaluando el potencial papel que juega sobre la salud el espacio en el que uno se desenvuelve (Gatrell et al., 2015; O'Brien, 2015).

### 2.2.2 Agua potable, salud y desalación

Uno de los principales beneficios a la salud humana que posee un suministro de agua potable de buena calidad se puede encontrar en el aporte nutricional de micronutrientes a través del consumo de agua (WHO, 2005). Ya que el suministro de agua potable puede contener minerales esenciales de forma natural, deliberada o accidental como el calcio, magnesio, flúor, sodio, etc. (WHO, 2005). Los micronutrientes son importantes para el metabolismo y en la mantención de la función de tejidos (Shenkin, 2006). Aunque se debe mantener presente que los suministros de agua son variables en su contenido mineral, por lo que solo algunos minerales en las aguas naturales poseen las concentraciones y distribuciones necesarias para esperar que su aporte nutricional sea significativo a la población (WHO, 2005; WHO, 2006).

Estos poseen efectos beneficiosos sobre la salud de los huesos y para la prevención de enfermedades cardiovasculares, por lo que también existen consecuencias de salud relacionadas a la deficiencia de micronutrientes (WHO, 2005). Dentro de las posibles consecuencias a la salud por la deficiencia de micronutrientes se incluyen un aumento de la morbilidad y mortalidad por el debilitamiento del sistema inmune y efectos perjudiciales para el desarrollo físico y mental. Además de los problemas asociados a la deficiencia de minerales en particular como por ejemplo el hierro, para el cual se estima que alrededor del 40% de las mujeres del mundo son anémicas debido en gran parte a la baja biodisponibilidad de hierro en su dieta (WHO, 2005; Kushwaha et al., 2013).

Los minerales en el agua potable suelen estar presentes en forma de iones libres, lo que facilita más su absorción que cuando están presentes en la comida. Sin embargo, debido a que la dieta moderna suele fallar en suplementar suficientes minerales y micro elementos, incluso la relativa baja ingesta de estos elementos a través del consumo de agua potable puede jugar un rol importante en la protección de la salud (WHO, 2011; Oron et al., 2013).

Entre los nutrientes, el magnesio y el calcio han sido estudiados con mayor profundidad a causa del rol positivo que juegan en la salud humana. El calcio corresponde a un constituyente esencial de la masa esquelética y para las principales funciones físicas, mientras que el magnesio es necesario para procesos fisiológicos como el desarrollo del esqueleto, a la excitación cardíaca y al tono, contractilidad, reactividad y crecimiento vascular, y como principal benefactor para la

reducción de enfermedades cardiovasculares (WHO, 2005; Oron et al., 2013; Kushwaha et al., 2013). La deficiencia de calcio se traduce en un aumentado riesgo de fracturas, debido a la disminución de la masa esquelética y el contenido mineral, mientras que las deficiencias de magnesio se asocian a la hipertensión y a las muertes por causas cardiacas (Oron et al., 2013).

A causa de esto la deficiencia de elementos minerales es la base de problemas de salud en muchas partes del mundo, principalmente en los países del tercer mundo y en desarrollo (WHO, 2005). Esto se debe a la gran cantidad de personas que no poseen acceso a un suministro de agua potable de calidad, ya que depende en gran parte de la calidad del suministro si el agua posee el mínimo de elementos minerales, o si es que no los supera, ya que el exceso de ciertos elementos posee efectos adversos a la salud (WHO, 2005).

Se considera que el agua potable debe contener niveles mínimos de ciertos elementos esenciales. Pero a pesar de esto, en las últimas décadas poca atención de la investigación realizada ha estado en los efectos beneficios o de protección a la salud del agua potable, ya que el foco se ha encontrado en las propiedades toxicológicas de los distintos contaminantes (WHO, 2005).

Esto resulta relevante para el caso de Antofagasta, ya que se ha comprobado que existe una relación entre ciertos nutrientes y los desenlaces de los problemas de salud relacionados con el arsénico, por lo que la nutrición es aún más relevante para aquellas personas y regiones afectadas por contaminación arsénico (Chakrabarty et al., 2015; Flora et al., 2018). Ya que varios estudios han demostrado la asociación entre malnutrición y el desarrollo de enfermedades causadas por el arsénico, como lesiones y cáncer a la piel y problemas cardiovasculares, debido a que son necesarios micronutrientes como el selenio, calcio, magnesio y zinc para la recuperación y reducción de los efectos de la arsenicosis (Chakrabarty et al., 2015; Flora et al., 2018).

El consumo de agua con altos niveles de arsénico causa enfermedades a la piel y distintos tipos de cáncer a una cantidad significativa de la población expuesta y se sugiere que los pobres suelen sufrir en mayor medida de la arsenicosis, a causa de una dieta deficiente en torno a proteínas y micronutrientes, incrementando la vulnerabilidad a problemas de salud relacionados con el arsénico (Flora et al., 2018).

Otro de los principales problemas asociados a la calidad de agua y relevante para la salud corresponde a la presencia o generación de enfermedades diarreicas en los suministros de agua potable a partir de mala calidad, para las cuales existen evidencias de su estrecha relación con la malnutrición y el bajo desarrollo físico educacional en niños, sin mencionar los límites que impone sobre la productividad y la higiene personal (Hunter et al., 2010). Se estima que las enfermedades diarreicas, las cuales se encuentran en un 90 % atribuidas a un acceso a agua de mala calidad, son una de las principales causas de muerte para menores de cinco años en países de bajos y medianos ingresos, ya que causan la muerte a más niños que el VIH, la malaria y el sarampión combinados (Ramesh, 2015).

### 2.2.3 Percepción sobre la calidad del agua potable y el caso de la desalación

Ya que los consumidores carecen de la capacidad de juzgar la seguridad de su agua potable, son las consideraciones estéticas las que determinarán su actitud frente al suministro de agua, a causa de esto es normal que los consumidores al estar frente a agua turbia o de mal olor no deseen consumirla (WHO, 2017). Esto a causa de que los consumidores valoran el color, sabor y olor como determinante de la calidad, ya que la importancia otorgada por los consumidores de agua potable a los parámetros organolépticos es suprema, debido a que los consumidores dependen de sus sentidos para determinar la calidad del agua, por lo que cualquier cambio los puede llevar a considerar el estado del agua como insegura, a pesar de no representar ningún riesgo para la salud (Moe et al., 2006; UNEP, 2007; Doria et al., 2010).

Ya que los cambios en las características organolépticas pueden originarse por químicos naturales orgánicos e inorgánicos, de fuentes o procesos biológicos, por corrosión o problemas de actividad microbial entre otros. Estos pueden ser evidencia de contaminación o de un mal funcionamiento del sistema de tratamiento de agua, por lo que la aceptabilidad representa un indicador de la posible presencia de sustancias peligrosas y debe ser investigado (Cotruvo et al., 2011; WHO, 2017).

Por lo que la población puede jugar un rol activo en el cuidado de la calidad de los suministros de agua, ya que la percepción en cuanto a la calidad de agua, corresponde a uno de los principales factores a evaluar para complementar los análisis de calidad, debido a que los cambios organolépticos suelen ser indicadores de perturbaciones con el suministro de agua potable (Doria et al., 2010).

Esto no significa que la percepción posee la última palabra en cuanto a la calidad, ya que la percepción de la calidad de agua puede ser afectada por múltiples factores, siendo los principales que la influyen las características organolépticas, las experiencias personales, el riesgo asociado a beberla, la información disponible, los medios de comunicación y la confianza en las compañías proveedoras y organismos reguladores (Canter et al., 1992; Doria et al., 2010).

A partir de esto se reconoce que la percepción de los consumidores es un excelente indicador complementario respecto a la calidad del agua potable (WHO, 2017), como así también un buen indicador del estado general de la red de agua potable, ya que cambios en las características organolépticas suelen ser evidencias de problemas en la red (Doria et al., 2010; WHO, 2017). Incluso se estima que para el año 2045 la percepción sobre el agua potable corresponderá al principal criterio para la evaluación de la calidad del suministro de agua potable y será el de mayor importancia en conjunto con la satisfacción de los clientes (Doria, 2010; Shomar et al., 2017). Por lo que se determina a partir de esto que para un completo análisis y evaluación de la calidad de cualquier cuerpo de agua para su consumo y uso doméstico la percepción de la población debe ser considerada.

Es importante mencionar que la percepción respecto al agua potable desalada constituye un tema en sí mismo, ya que las experiencias en torno a la disposición de la población para el consumo y uso de agua desalada han sido mayoritariamente negativas, ya que la población de aquellas zonas donde prolifera la desalación como fuente de agua potable prefiere comprar agua embotellada a pesar de encontrarse la de su llave apta para el consumo humano, sin embargo, la alza en el consumo de agua embotellada ha ido en aumento a la par con el mejoramiento de los suministros de agua potable, por lo que esto es a causa de múltiples razones, sobre las cuales predominan la preocupación por los efectos sobre salud y las causas organolépticas (particularmente para aquellas zonas donde hay agua desalada), como también por la desconfianza institucional, campañas publicitarias, factores demográficos y culturales, etc. (Doria; 2006; Dolnicar et al., 2008; Fragkou & McEvoy, 2016; Shomar et al., 2017).

Existen antecedentes en cuanto a esta situación, como se demuestra en Fragkou & McEvoy (2016) que para las ciudades de Antofagasta y Los Cabos, México, predomina la compra de agua embotellada a pesar de tener presente agua potable desalada apta para el consumo, particularmente para la ciudad de Antofagasta esto se debe a que la percepción sobre el agua potable desalada en la ciudad de Antofagasta se encuentra marcada por los efectos del arsénico a largo plazo que aun aquejan a parte de la población y a los problemas organolépticos (olor, sabor, etc.) que se pueden deber a alteraciones en el agua desalada potable durante su tránsito a través de la red de distribución.

Otros ejemplos de esto es el caso de Australia, donde fueron requeridas extensas campañas de información y problemas con la disponibilidad del suministro de agua fresca para que la actitud de la población cambiara en conjunto con sus hábitos de consumo hacia el agua desalada potable (Dolnicar et al., 2008) o la de los países del consejo de cooperación del golfo (Arabia Saudita, Emiratos árabes unidos, Qatar, Oman, Bharain y Kuwait) en los cuales predomina el agua desalada como suministro de agua potable, pero en los cuales la población prefiere consumir ampliamente el agua embotellada para la ingesta en vez del agua potable debido principalmente a perturbaciones organolépticas con el agua (Shomar et al., 2017).

### **CAPITULO 3: MARCO METODOLOGICO**

El principal objetivo de esta investigación es realizar una revisión de la calidad de agua potable para la ciudad de Antofagasta e identificar su evolución a lo largo del tiempo, tomando en consideración el suministro de agua potable proveniente de la planta desalinizadora y el contexto de contaminación y salud, como también la posible relación de estos con los distintos tipos de agua potable. Para esta investigación fue utilizada una metodología de carácter mixto. El enfoque mixto corresponde a un proceso que permite recolectar, analizar y vincular tanto datos cualitativos como cuantitativos en un mismo estudio para responder un planteamiento de problema, lo que permite tener una perspectiva más integral y completa (Sampieri et al., 2006).

A continuación, se presentarán los pasos metodológicos utilizados en esta investigación a partir de los objetivos específicos determinados.

#### **3.1 Analizar la calidad de agua potable a través de la normativa de chilena de agua, espacializando el cumplimiento**

Para el primer objetivo, a partir de la revisión bibliográfica y de fuentes respecto al análisis de los suministros de agua potable, se siguen las recomendaciones realizadas en UNEP (2007) y WHO (2017), donde se establece necesario el analizar la calidad del agua potable de un determinado cuerpo de agua a partir del contexto local, por lo que se determinaron los parámetros normativos chilenos respecto al agua potable, correspondientes a las normativas de calidad (NCh 409/1.Of2005) y de muestreo (NCh 409/2.Of2005) elaboradas por el Instituto nacional de normalización (INN) a partir de los lineamientos establecidos por la organización mundial de la salud (INN, 2006a; INN, 2006b) como los requisitos y límites a considerar para el análisis.

Las muestras de agua para la ciudad de Antofagasta se obtuvieron a través de la Superintendencia de servicios sanitarios (SISS) por una solicitud de transparencia, desde la cual se consiguieron los datos del periodo de estudio. Estos fueron analizados de forma detallada a través del software *Microsoft Excel 2016* para determinar el cumplimiento de la normativa para cada parámetro, sus respectivos procedimientos de muestreo y su relación con los distintos tipos de agua presentes en Antofagasta durante el periodo de estudio, lo cual posteriormente fue espacializado con el software *ArcGis 10.3*, principalmente utilizando una clasificación por quiebres naturales para evidenciar los resultados relevantes.

En la Tabla 1 a continuación se puede ver un resumen de los criterios, límites objetivo y número de muestras requeridas para todos los parámetros analizados para el primer objetivo. Entre los productos generados por este objetivo se pueden encontrar una distribución temporal de todos los incumplimientos ocurridos durante el periodo de estudio, tablas con el tipo y número de parámetros que presentan incumplimientos, número total de muestras para cada sector de agua potable, la frecuencia y lugar de muestreo para cada tipo por separado; como también una espacialización de los puntos de muestreo a lo largo de la ciudad y una espacialización de los sectores de la ciudad y de los tipos de agua potable de mayor interés en cuanto al número de muestras e incumplimientos.

Tabla 1: Resumen criterios de análisis y muestreo de calidad de agua potable para Antofagasta.

Parámetro	Sigla	Concentración Máxima
Coliformes Totales	CT	
Escherichia coli	E - COLI	
Turbiedad	Turbiedad	≤ 2 UNT
Cromo Total	Cr	0,05 mg/L
Cobre	Cu	2,0 mg/L
Fluoruro	F <sup>-</sup>	1,5 mg/L
Hierro	Fe	0,3 mg/L
Manganeso	Mn	0,1 mg/L
Magnesio	Mg	125,0 mg/L
Selenio	Se	0,01 mg/L
Zinc	Zn	3,0 mg/L
Arsénico	As	0,01 mg/L
Cadmio	Cd	0,01 mg/L
Cianuro	CN <sup>-</sup>	0,05 mg/L
Mercurio	Hg	0,001 mg/L
Nitrato	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50 mg/L
Nitrito	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	3 mg/L
Razón NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-	1 mg/L
Plomo	Pb	0,05 mg/L
Tetracloroetano	-	40 µg/L
Benceno	-	10 µg/L
Tolueno	-	700 µg/L
Xilenos	-	500 µg/L
DDT+DDD+DD	-	2 µg/L
2,4 – D	-	30 µg/L
Lindano	-	2 µg/L
Metoxicloro	-	20 µg/L
Pentaclorofenol	-	9 µg/L
Monocloroamina	-	3 mg/L
Dibromoclorometano	-	0,1 mg/L
Bromodiclorometano	-	0,06 mg/L
Tribromometano	-	0,1 mg/L
Triclorometano	-	0,2 mg/L
Trihalometanos	-	1 mg/L
Color Verdadero	-	≤ 20 Pt-Co
Olor	-	Inodora
Sabor	-	Insípida
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	1,5 mg/L
Cloruro	Cl <sup>-</sup>	400 mg/L
PH	pH	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	500 mg/L
Solidos Disueltos Totales	SDT	1500 mg/L
Compuestos fenólicos	Fenol	2 µg/L
Cloro Libre	-	0.2 mg/l y 2,0 mg/l

Parámetros	Número de muestras	Distribución	Frecuencia
Tipo I: Microbiológicos y turbiedad	120/130	Uniforme a los sectores	-
Tipo II y IV: Químicos y Organolépticos	2	Particular	Semestral
Tipo V: Desinfección	120/130	Uniforme a los sectores	diariamente
Parámetros Críticos	32	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a INN (2006a; 2006b)

### 3.2 Evaluar la calidad del agua potable a partir del índice global de calidad de agua potable

Para el segundo objetivo se tomaron los datos revisados de agua potable obtenidos desde la SISS para el periodo 2007 – 2016 y fueron evaluados a través de los índices recomendados en el Global Drinking Water Quality Index (GDWQI) utilizados en UNEP (2007), con el fin de obtener una valoración y categorización complementaria de la calidad del agua potable del área de estudio a partir de la normativa. Para el segundo objetivo fueron utilizados los parámetros analizados en el primer objetivo y a partir de las consideraciones teóricas y metodológicas, se utilizaron dos índices, el índice de calidad del agua concerniente a la aceptabilidad (AWQI) y el índice de calidad del agua concerniente a la salud (HWQI), ya que se considera que el AWQI y el HWQI permiten reflejar mejor aquellos parámetros en excedencia, ya que estos son más sensibles a las desviaciones de la normativa y más descriptivos de los posibles problemas (UNEP, 2007).

Estos evalúan el número de parámetros que excedieron la normativa u objetivos específicos, como así también la frecuencia y magnitud con la que estos ocurren, con el fin de obtener un valor entre los rangos de 0 y 100, donde el 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad, como se puede observar en la Tabla 2 (CCME, 2017b).

En la Tabla 3 se pueden observar los parámetros que componen ambos índices, siendo el de salud compuesto por los parámetros tipo II (relevantes para la salud) en adición a las muestras de coliformes totales, mientras que el de aceptabilidad corresponde a los parámetros tipo IV (organolépticos) más las de turbiedad y cloro libre residual, justificado este último a partir de que sus niveles de detección de sabor por parte de los consumidores es menor a los límites objetivo (WHO, 2017).

Para la presente investigación y la evaluación a través del GDWQI, la ciudad de Antofagasta fue considerada como la estación y el cuerpo de agua fue definido como el suministro de agua potable de la misma, el periodo de tiempo considerado correspondió a la serie de años entre 2007 y 2016, mientras que los parámetros y objetivos a cumplir fueron aquellos determinados por la normativa chilena 409/1. En primer lugar, las muestras de 41 de los 42 parámetros de los cuales presentaron muestras en Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 fueron divididas entre aquellos parámetros relacionados a la salud o aquellos relacionados con la aceptabilidad, esto se realizó a partir de las recomendaciones en UNEP (2007) y a la categorización de los tipos de parámetros de la normativa chilena 409/1 (INN, 2006a). Todos los cálculos fueron realizados a través del software *Microsoft Excel 2013* y estos son detallados en el subcapítulo 3.2.1, donde se presentan los pasos para la calculación de los índices.

Tabla 2: Categorías de calidad de agua potable a partir de UNEP (2007) y CCME (2017a)

<b>Categoría</b>	<b>Rango de valor</b>	<b>Calidad</b>
Excelente	100 – 95	La calidad del agua es protegida con una virtual ausencia de amenazas o deterioro, con condiciones muy cercanas a las naturales o niveles prístinos.
Buena	94 – 80	La calidad del agua es protegida con un grado menor de amenaza o deterioro, con condiciones que rara vez se apartan de las naturales o niveles deseables.
Justa	79 – 65	La calidad del agua es generalmente protegida pero ocasionalmente amenazada o deteriorada, las condiciones a veces se apartan de las naturales o niveles deseables.
Marginal	64 – 45	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o deteriorada, y las condiciones usualmente se aparta de las condiciones naturales o niveles deseables.
Deficiente	44 – 0	La calidad del agua casi siempre está amenazada o deteriorada y las condiciones generalmente se apartan de las naturales o niveles deseados.

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

A partir de este objetivo se obtuvo una valoración y categorización anual complementaria de la calidad de agua potable para Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016, dividida entre aquellos parámetros relevantes para la salud y aquellos para la aceptabilidad, en formato de tablas y gráficos, como así también una revisión de aquellos parámetros más relevantes para los índices y la calidad del agua potable de la ciudad.

Tabla 3: Parámetros evaluados por los índices de calidad de agua concernientes a la salud y aceptabilidad

HWQI	AWQI
Cromo	Color Verdadero
Cobre	Olor
Fluoruro	Sabor
Hierro	Amoniaco
Manganeso	Cloruro
Magnesio	pH
Selenio	Sulfato
Zinc	SDT
Arsénico	Fenol
Cadmio	Cloro libre
Cianuro	Turbiedad
Mercurio	
Nitrato	
Nitrito	
Plomo	
Tetracloroetano	
>Benceno	
Tolueno	
Xilenos	
DDT+DDD+DD	
2,4 – D	
Lindano	
Metoxicloro	
Pentaclorofenol	
Monocloroamina	
Dibromoclorometano	
Bromodichlorometano	
Tribromometano	
Triclorometano	
Coliformes totales	
<b>Número total de parámetros: 30</b>	<b>Número total de parámetros: 11</b>

Fuente: Elaboración propia en base a INN (2006a).

### 3.2.1 Cálculo de los índices de calidad de agua concernientes a la aceptabilidad y salud

El índice seleccionado para realizar la evaluación de la calidad del agua potable para Antofagasta corresponde al índice global de calidad de agua potable (GDWQI), el cual hace uso de la calculación del índice para la calidad del agua creado por el consejo canadiense de ministros del medioambiente (CCME WQI). Este fue elegido debido a su utilización de los lineamientos sobre el agua potable de la OMS, a la división en dos subíndices a partir de los parámetros relacionados a la salud (HWQI) y aquellos concernientes a la aceptabilidad (AWQI), relevante para el análisis de la calidad como se evidencio en los capítulos anteriores, y también porque está diseñado para ser aplicado a distintos cuerpos de agua, es útil para el monitoreo continuo de la calidad y porque posee un historial de utilización afuera de Canadá en países como Argentina, Marruecos, Japón, Corea del sur y Bélgica en forma del CCME WQI y adaptado para distintos cuerpos de agua en Egipto, Nueva Zelanda, Brasil y Vietnam, entre otros (UNEP, 2007; Abassi et al., 2012; CCME, 2017b).

A partir de la decisión de utilizar los lineamientos de la organización mundial de la salud, el GDWQI desarrolló tres índices para evaluar la calidad del agua potable en distintas escalas, uno compuesto por todos los parámetros (DWQI), otro para aquellos parámetros relevantes para la salud (HWQI) y otro para aquellos concernientes a la aceptabilidad (UNEP, 2007).

- 1) Drinking wáter quality index / Índice de calidad de agua potable (DWQI)
- 2) Health wáter quality index / Índice de calidad de agua concerniente a la salud (HWQI)
- 3) Acceptability wáter quality index / Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad (AWQI)

Estos índices son flexibles respecto al tipo y numero de variables de calidad a probar, como así también del periodo de aplicación y el cuerpo de agua, los cuales son determinados por quien lo utiliza. Debido a esto, se vuelve necesario antes de calcular el índice, el que se definan el **cuerpo de agua**, el **periodo de tiempo**, los **parámetros** y los **objetivos apropiados** (CCME, 2017a).

El DQWI se encuentra compuesto todos los parámetros considerados por la guía para el agua potable de la OMS. Desde una perspectiva de salud, el HWQI proveerá una evaluación más relevante en cuanto que es comprendido por aquellos parámetros relevantes para la salud y microbianos, mientras que el AWQI entregara una evaluación de la percepción del público respecto de la calidad del agua, ya que se encuentra compuesto por aquellos parámetros que pueden causar cambios en las características organolépticas del agua (UNEP, 2007).

## Calculo CCME WQI

Una vez que el cuerpo de agua, periodo de tiempo, parámetros y objetivos a seguir han sido definidos, el cálculo del CCME WQI es determinado a través de la siguiente ecuación:

*Ecuación 1: Ecuación general CCME WQI*

$$CCME\ WQI = 100 - \left( \frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

Esta es calculada por la combinación de tres factores: el **alcance** (F1), la **frecuencia** (F2) y la **amplitud** de las excursiones de la normativa (F3). La calculación de F1 y F2 es relativamente sencilla mientras que para F3 se requieren pasos adicionales, además, se determina que la contribución del primer factor (F1) al puntaje final es mayor que el resto de factores (CCME, 2017a). A continuación, se explicará la calculación para cada uno de los factores.

1) El **alcance** (F1) representa al porcentaje de parámetros que no cumplieron sus objetivos en al menos una ocasión durante el periodo de análisis (parámetros excedidos), en relación al total de parámetros considerados. Este es calculado de la siguiente forma:

*Ecuación 2: Ecuación para calcular el alcance*

$$F1 = \left( \frac{\text{Numero de parametros excedidos}}{\text{Numero total de parametros}} \right) * 100$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

2) La **frecuencia** (F2) representa al porcentaje de muestras individuales que se excedieron de sus objetivos (Incumplimientos). Este es calculado de la siguiente forma:

*Ecuación 3: Ecuación para calcular la frecuencia*

$$F2 = \left( \frac{\text{Numero de incumplimientos}}{\text{Numero total de muestras}} \right) * 100$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

3) La **amplitud** (F3) representa la extensión de cada incumplimiento por sobre los límites objetivos. Para ser calculado se requieren tres pasos:

Primero se deben calcular las excursiones, entendidas como el número de veces que el valor de una muestra es mayor (o menor dependiendo del caso) que el objetivo, esta es expresada de la siguiente forma:

*Ecuación 4: Primer paso para calcular la amplitud*

$$\text{Excursion} = \left( \frac{\text{Valor de incumplimiento}}{\text{Limite objetivo correspondiente}} \right) - 1$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

Para aquellos casos donde la muestra no debe caer bajo un límite objetivo, el valor se debe invertir con el límite objetivo correspondiente:

*Ecuación 5: Segundo paso para calcular la amplitud*

$$\text{Excursion} = \left( \frac{\text{Limite objetivo correspondiente}}{\text{Valor de incumplimiento}} \right) - 1$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

Para calcular la cantidad colectiva de todas las excursiones, entendido como la suma normalizada de excursiones (nse), es necesario realizar una suma de todas las excursiones individuales y dividir las por el número total de muestras:

*Ecuación 6: Tercer paso para calcular la amplitud*

$$\text{nse} = \left( \frac{\sum \text{Excursiones}}{\text{Numero total de muestras}} \right)$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

Posteriormente, la **amplitud** (F3) es calculado a través de una función que escala la suma normalizada de excursiones a un rango entre 0 y 100.

*Ecuación 7: Cuarto paso para calcular la amplitud*

$$\text{F3} = \left( \frac{\text{nse}}{0.01(\text{nse})+0.01} \right)$$

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007) y CCME (2017a).

Una vez que los factores han sido obtenidos, el índice es calculado al sumar los tres factores como si fueran vectores y utilizando el teorema de Pitágoras. Por lo que la suma de la raíz cuadrada de cada factor es igual a la raíz cuadrada del CCME WQI. El divisor de 1.732 normaliza los valores resultantes a un rango entre 0 y 100, donde 0 representa la “peor” calidad de agua y el 100 la “mejor”. Una vez que el índice ha sido calculado, el valor es clasificado en las siguientes categorías de calidad de agua:

- Excelente (Valor 100 – 95) – La calidad del agua es protegida con una virtual ausencia de amenazas o deterioro, con condiciones muy cercanas a las naturales o niveles prístinos.
- Buena (Valor 94 – 80) – La calidad del agua es protegida con un grado menor de amenaza o deterioro, con condiciones que rara vez se apartan de las naturales o niveles deseables.
- Justa (Valor 79 – 65) – La calidad del agua es generalmente protegida pero ocasionalmente amenazada o deteriorada, las condiciones a veces se apartan de las naturales o niveles deseables.
- Marginal (Valor 64 – 45) – La calidad del agua es frecuentemente amenazada o deteriorada, y las condiciones usualmente se aparta de las condiciones naturales o niveles deseables.
- Deficiente (Valor 44 – 0) – La calidad del agua casi siempre está amenazada o deteriorada y las condiciones generalmente se apartan de las naturales o niveles deseados.

### **3.3 Identificar la percepción respecto a la calidad del suministro de agua potable**

Debido a que los cambios en las características organolépticas suelen ser evidencias de problemas en la red, se considera que la percepción de los consumidores es un excelente indicador complementario respecto a la calidad del agua potable y un buen indicador del estado general de la red de agua potable, como se manifiesta en Doria et al (2010) y por la organización mundial de la salud (WHO, 2017).

Por lo que para el tercer objetivo se realizó una identificación de la percepción del agua potable y su calidad a partir de los estudios de percepción anuales realizados por los servicios de agua potable (Aguas Antofagasta) y por la superintendencia de servicios sanitarios (SISS) durante el periodo de estudio, como así también por las entrevistas realizadas en terreno en el marco del proyecto FONDECYT N° 1130631. En una primera instancia se consideraron las calificaciones de la población respecto a la satisfacción del servicio de agua potable evaluados por la empresa sanitaria Aguas Antofagasta durante el periodo 2009 – 2016.

A partir de la revisión de los estudios de la percepción de los clientes sobre la calidad de los servicios de las empresas sanitarias realizados desde el año 2009, se obtuvieron los promedios anuales de las notas del servicio de agua potable para la región de Antofagasta durante el periodo 2009 - 2016 y la distribución de las notas (Notas de 1-4, Notas 5, Notas 6-7) para cada atributo que la componen (el precio, sabor, olor, transparencia o claridad del agua, que no produzca sarro, que no afecta la salud por la presencia de químicos dañinos, continuidad del servicio, presión y la confianza que le da al agua que bebe en la zona) ya que no se poseen las notas promedio en específico para cada atributo, por lo que se presentara la información a partir de los promedios anuales que se poseen, las concentraciones de notas de los rangos determinados en los estudios y

aquellos atributos determinados como de mayor importancia por los clientes para cada año (SISS, 2017).

En una segunda etapa se revisaron los resultados relacionados a la percepción de la calidad de agua potable de las 1163 encuestas realizadas en terreno durante el año 2016 en la ciudad de Antofagasta en el marco del proyecto FONDECYT N° 1130631. En el subcapítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar un resumen de los criterios metodológicos y la composición de las muestras utilizadas por las empresas sanitarias para la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable y de las encuestas realizadas por el proyecto.

La revisión de las encuestas y estudios fue realizada a través del software *Microsoft Excel 2013* y entre los productos generados se encuentran la percepción de calidad del agua de los clientes de aguas Antofagasta a nivel regional durante parte del periodo de estudio, como así también la percepción de los habitantes durante el año 2016 para la ciudad de Antofagasta, con los resultados de percepción divididos por los tipos de agua potable suministrada en la ciudad.

### **3.3.1 Resumen criterios metodológicos de los estudios de percepción**

Los estudios de percepción del cliente de la calidad del agua y de los servicios de las empresas sanitarias corresponden a investigaciones efectuadas por la SISS en conjunto con las empresas sanitarias desde el año 2009 de forma anual y a nivel regional, con el objetivo de determinar la opinión de la comunidad respecto a la empresa que le entrega su servicio básico, con el fin de contribuir a la transparencia en un sector monopolio, donde el flujo información entre los actores es vital para su funcionamiento (SISS, 2017). Los objetivos específicos corresponden a identificar el conocimiento de los clientes acerca del sector sanitario, la percepción de la calidad del servicio y el desempeño de las empresas (SISS, 2017).

Estos estudios consisten en entrevistas presenciales en los hogares de los clientes, realizadas al jefe(a) de hogar o por defecto a un mayor de edad, a través de cuestionarios semi-estructurados definidos previamente por la SISS (SISS, 2017). Para el año 2016 el cuestionario está compuesto por 43 preguntas aplicadas a una cantidad representativa de clientes de las 28 empresas sanitarias más grandes de Chile (SISS, 2017).

En la Tabla 4 a continuación se puede observar un resumen de los criterios metodológicos utilizados por los estudios de percepción de clientes de las empresas sanitarias para la región de Antofagasta desde el año 2009 al 2016, en esta se puede apreciar que la población objetivo y que el número de muestras se mantiene, a excepción del año 2016, constante a lo largo del periodo de estudio. En esta se puede apreciar además que los años 2012, 2013 y 2014 no presentan información en cuanto a la confiabilidad y al margen de error del muestreo.

La definición de la cantidad de muestras es para todos los años, a excepción del 2009 y 2010, proporcional a la cantidad de clientes de cada empresa sanitaria por comuna y la selección de las viviendas se realiza con un límite de 6 por manzana, a través de un salto sistemático luego de

un empadronamiento, mientras que para los años 2009 y 2010 es realizada de forma aleatoria en las ciudades donde se efectuaron los estudios.

También se puede dar cuenta de que los periodos de terreno van desfasados 1 año, es decir que las entrevistas correspondientes a la evaluación del año 2009 son tomadas a principios del 2010, para el 2010 a principios del 2011 y así sucesivamente, y que para el año 2016 no se posee la información en cuanto a la fecha de terreno.

Tabla 4: Resumen criterios metodológicos de los estudios de percepción de clientes para Antofagasta 2009 - 2016

Año	Tipo de estudio	Población Objetivo	Muestra	Confianza	Margen de error	Periodo de terreno
2009	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Hombres y Mujeres. Mayores de 18 años. Usuarios de empresas de servicios sanitarios. Habitantes de las principales urbes de cada región.	412	95%	1,00%	4 de enero y el 25 de Marzo de 2010
2010	Cuantitativo, con encuestas aplicadas cara a cara, con selección aleatoria del hogar	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueño/as de casa.	401	95%	4,89%	21 de febrero y el 31 de marzo de 2011
2011	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueños de casa. Zonas urbanas. Mayores de 18 años.	351	95%	5,20%	9 de marzo y el 29 de abril de 2012
2012	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueño/as de casa. Mayores de 18 años.	377	-	-	28 de marzo y el 8 de mayo de 2013
2013	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueño/as de casa. Mayores de 18 años.	365	-	-	28 de marzo y el 8 de mayo de 2014
2014	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueño/as de casa. Mayores de 18 años.	384	-	-	23 de marzo y el 24 de abril de 2015
2015	Cuantitativo, con entrevistas presenciales en hogares	Clientes de empresas sanitarias evaluadas. Dueño/as de casa. Mayores de 18 años.	383	95%	5,00%	19 de marzo y 27 de abril de 2016
2016	Cuantitativo, con encuestas aplicadas cara a cara	Clientes de empresas sanitarias. Hombres y mujeres. Mayores de 18 años.	160	95%	1,49%	-

Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2009-2016).

A partir del año 2010 los estudios de percepción presentan la composición de las muestras (clientes entrevistados) en base a su grupo socioeconómico, sexo, edad, consumo y tamaño del hogar a partir de los habitantes, estos últimos dos no presentes en el estudio del año 2015. En la Tabla 5 y Tabla 6 a continuación se puede apreciar la caracterización y composición de las entrevistas durante el periodo 2010 – 2016.

Tabla 5: Caracterización de clientes entrevistados por los estudios de percepción para Antofagasta 2010 – 2016 según edad, sexo y GSE

Año	Edad				GSE					Sexo	
	18 - 34	35 - 44	44 - 54	55 y mas	ABC1	C2	C3	D	E	Mujer	Hombre
2010	17,2%	20,17%	26,9%	35,2%	8,5%	19%	44,9%	27,7%		74,6%	25,4%
2011	29%	20%	21%	30%	4%	23%	23%	45%	5%	81%	19%
2012	18,8%	16,4%	23,6%	41,1%	15,9%	26,3%	43,8%	13,5%	0,5%	56,5%	43,5%
2013	28%	22%	19%	31%	4%	46%	22%	21%	7%	61%	39%
2014	18%	19%	21,1%	41,9%	7,6%	21,1%	43,6%	26,4%	1,3%	65,6%	34,4%
2015	24%	-	-	-	11%	15%	37%	32%	4%	64%	36%
2016	-	-	-	-	0%	20%	54%	26%	0%	64%	36%

Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2010-2016).

En cuanto al sexo se puede determinar que la mayoría de los entrevistados correspondieron a mujeres, representando constantemente por sobre el 60% de las muestras durante los años de evaluación, mientras que, respecto a la edad de estos, se puede apreciar que los rangos etarios de mayor presencia corresponden a los mayores de 55 y aquellos entre 44 y 54 años.

En términos socioeconómicos, se puede apreciar que el grupo socioeconómico de mayor presencia en los estudios de percepción corresponde al C3, con un promedio del 38,3%, además, se puede determinar que el grupo con menor presencia corresponde al segmento E, seguido por el ABC1.

Tabla 6 : Caracterización de clientes entrevistados por los estudios de percepción para Antofagasta 2010 – 2016 según consumo y número de moradores

Año	Consumo al mes (en \$)					Habitantes por Hogar			
	1-10.000	10.001-20.000	20.001-30.000	30.001-40.000	Más de 40.000	1-2	3-4	5-6	Más de 6
2010	-	-	-	-	-	13%	40,6%	30,9%	15,5%
2011	24%	47%	18%	5%	6%	18%	43%	28%	12%
2012	16,7%	37,4%	23,1%	17,5%	5,3%	17,5%	57,8%	18,6%	5,3%
2013	30,7%	40,8%	15,9%	6,8%	5,8%	22,7%	45,5%	21,4%	10,4%
2014	27,2%	36,7%	16%	13,5%	6,5%	1,8%	31,3%	47,1%	19,8%
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	6%	39%	21%	18%	16%	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2010 – 2016).

Para el consumo mensual en pesos chilenos, el rango predominante corresponde a aquel entre los 10.001 y los 20.000 pesos, representando a un promedio del 40% de los encuestados durante el

periodo 2009 – 2016, mientras que, para el número de habitantes por hogar, se puede observar que se ubican principalmente entre los 2 y 3 moradores por hogar, representando un promedio del 43,6% de los clientes entrevistados.

Los espacios sin información no corresponden necesariamente a la ausencia de datos, como si lo es para el año 2015 en cuanto al consumo y tamaño del hogar, ya que para el año 2010 la información en cuanto al consumo se mide en metros cúbicos, mientras que para el resto de la serie de años se realiza en base al costo en pesos (\$) del consumo, desde lo cual no se pueden establecer símiles entre los datos.

También se tiene para los años 2015 y 2016 que los rangos etarios para agrupar las muestras cambian para ambos años, con el 2015 presentando rangos de edad entre los 19 – 34, 35 – 49 y 50 o más años, y el 2016 con rangos entre los 18 – 29, 30 – 59 y 60 o más años, presentando estas además diferencias con la cantidad de moradores por hogar, ya que presenta rangos de habitantes entre 1-3, 4 – 6, 7 – 9 o más de 10.

A partir de esto se puede determinar que existe heterogeneidad en la composición de la muestra de clientes entrevistados a lo largo del periodo de estudio, ya que todos los factores evaluados presentan porcentajes constantes a lo largo del periodo de evaluación, a excepción de aquellos años de los que no se posee información, y que también pocos de los factores evaluados se encuentran infrarrepresentados, solamente siendo relevantes los casos del GSE con las categorías ABC1 y E, y los niveles altos de consumo al mes.

### **3.3.2 Encuestas proyecto FONDECYT N° 1130631**

En segundo lugar para determinar con mayor precisión la percepción actual en torno a la calidad del agua potable para la ciudad de Antofagasta se presentan los resultados concernientes a la calidad del agua de las encuestas realizadas en el marco del proyecto FONDECYT N° 1130631 y en Monsalve et al. (2018) durante el año 2016 en la ciudad de Antofagasta, las cuales fueron efectuadas en dos etapas de terreno, realizada la primera entre el 19 y 25 de junio, y la segunda entre el 3 y 8 de julio, y que fueron aplicadas en 14 recintos o comunidades educacionales a lo largo de la ciudad de Antofagasta, apreciable en la Figura 2.

A partir de estas se consiguieron un total de 1.163 encuestas validas, con un sobre muestreo de 108 encuestas. Para estas se utilizó un muestreo de tipo probabilístico, denominado Aleatorio estratificado con afijación proporcional. El muestreo probabilístico se basa en el principio de equiprobabilidad. Es decir que todos los individuos de la población poseen la misma probabilidad de ser elegidos para ser parte de la muestra.

El Muestreo Aleatorio estratificado, considera la existencia de diversos estratos, los que poseen un alto grado de homogeneidad en su conformación interna, como los son los Grupos Socioeconómicos, etarios, etc. Estratos considerados para el cálculo de la muestra de la presente investigación. Finalmente, se utiliza la afijación proporcional, con el objeto de calcular la muestra de acuerdo a los pesos (tamaños) de cada uno de los estratos.

Para llevar a cabo el cálculo de la muestra, se utilizó la información contenida en geoadimark del

año 2013, la que indica que existen 90.899 hogares en la ciudad de Antofagasta. Además de indicar la cantidad de hogares de acuerdo al nivel socioeconómico, lo que permite calcular el peso/tamaño de cada estrato respecto de la población. Ya que la población es conocida, se hace uso de la fórmula para cálculo de la muestra poblaciones finitas. Esta se consideró con un 95% de confianza, con un error máximo admisible de 3%;  $n = 1055$ .

Tabla 7: Composición de encuestados según su GSE para Antofagasta durante el año 2016 en el proyecto FONDECYT N° 1130631 y Monsalve et al. (2018)

GSE	N° de muestras	Cuota de cobertura
ABC1	149	193,5%
C2	276	104,5%
C3	204	64.4%
D	238	72,8%
E	40	56.3%
Sin GSE	256	-

Fuente: Monsalve et al. (2018)

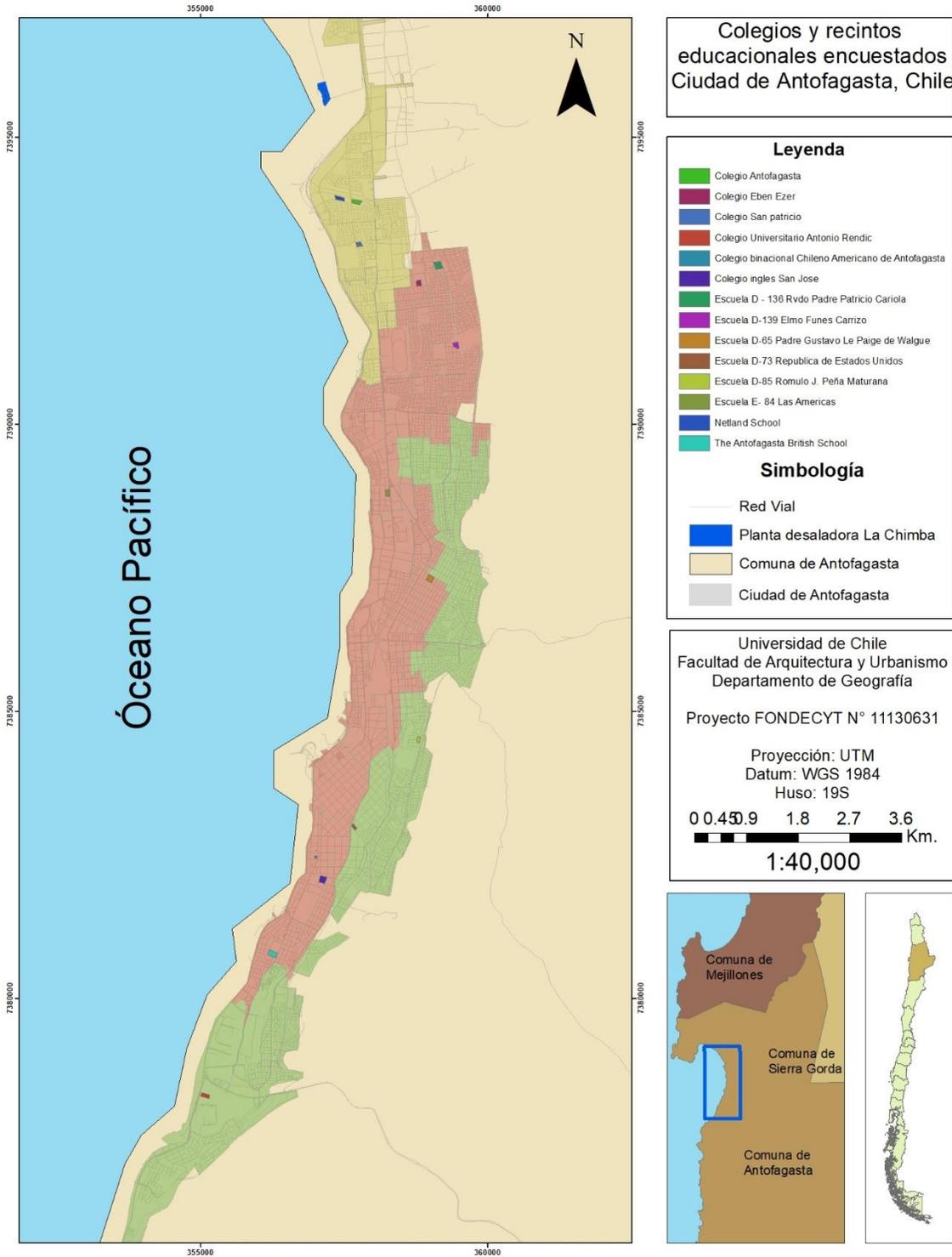
La composición de los encuestados en cuanto a su distribución en sexo correspondió a un 78% mujeres y un 22% hombres. De estos el 56% manifestó no haber nacido en la ciudad en contra de un 44% que sí. En cuanto a los grupos socioeconómicos que componen la muestra, como se puede apreciar en la Tabla 7, predominó el grupo C2, seguido de cerca por el C3 y D, con una no menor participación del ABC, una escasa participación del segmento E y 256 sin grupo socioeconómico identificable.

Se debe recalcar que la cobertura de las cuotas a partir de los GSE favorece a la ABC1 y C2, ya que la primera cubre está en un 193,5% de su proporción a la cantidad de hogares determinados, mientras que la C2 alcanza a cubrir el 100%, sin embargo, el resto de los estratos se encuentran por debajo de estos dos.

En cuanto a los años de residencia de estos, predominan quienes viven hace más de 16 años en la ciudad, correspondientes al 66,1% de los encuestados, mientras que el resto de los segmentos (0 a 5 años, 6 a 10, 11 a 15) representan el 13,3%, 12,2% y 8,4% respectivamente.

Para el número de habitantes por hogar, el 56% de los encuestados manifestó vivir con menos de 5 personas, mientras que el 42% vivía con 5 a 9 personas y solamente un 2% con más de 10 personas. Los rangos etarios de los encuestados corresponden principalmente al segmento entre 15 y 66 años, ya que la mayoría de los hogares presentaba entre 2 a 3 personas de estas edades, mientras que casi el 90% manifestaba no tener integrantes del hogar sobre los 66 años.

Figura 2 : Colegios y recintos educacionales encuestados para el proyecto FONDECYT N° 1130631 y Monsalve et al. (2018) el año 2016 en la ciudad de Antofagasta.



Fuente: Elaboración propia en base a Monsalve et al. (2018)

## CAPITULO 4: RESULTADOS

### **4.1 Calidad de agua potable de la ciudad de Antofagasta a partir de la normativa chilena de agua y los distintos tipos de agua potable abastecida**

Los resultados presentados aquí fueron elaborados a partir de la revisión, según las normativas de calidad (NCh 409/1.Of2005) y de muestreo (NCh 409/2.Of2005, de las muestras de calidad de agua potable obtenidas desde la Superintendencia de servicios sanitarios para el periodo 2007 – 2016 de la ciudad de Antofagasta, con el fin de determinar el estado y evolución de la calidad del agua potable; y como se posiciona está bajo el trasfondo de los distintos tipos de agua potable suministrada a lo largo de la ciudad.

La cantidad total de muestras de calidad de agua potable obtenidas a través de la SISS correspondieron a 317.340 muestras para siete comunas de la segunda región, compuestas por Antofagasta, Calama, Taltal, Baquedano, Sierra gorda, Tocopilla y Mejillones, para el periodo 2002 – 2016, dividido entre los años 2002 – 2006, 2007 – 2010, 2011 – 2014 y 2015 - 2016.

En primer lugar se deber aclarar que los datos de la serie de años 2002 – 2006 de las muestras de calidad de agua no tienen forma de ser similar a las series posteriores del año 2007, esto es a causa del cambio en la normativa de muestreo en el año 2006 (SISS, 2007), ya que la información es entregada a través de porcentajes de cumplimiento acumulados según muestro y calidad, por lo que a causa de la gran cantidad de muestra realizadas, sin tener la información para cada muestra individual, el presentar la información como variación porcentual no permite obtener una clara imagen de la calidad de agua ni tampoco de la distribución de los posibles incumplimientos de la normativa, situación que se aplica también a la entrega de datos actuales por parte de la SISS, por lo tanto, el análisis de los datos de calidad de agua se enfocó en el periodo 2007 – 2016.

En segundo lugar, no se consideró problemático para la evaluación de la calidad del agua potable el que las muestras correspondieran a la comuna y no a la ciudad de Antofagasta por diversos motivos, el primero corresponde a que prácticamente la totalidad de zonas urbanas de la comuna corresponden a la ciudad de Antofagasta, como se pudo apreciar en el Anexo 3 y además como se evidencio en el marco metodológico, las evaluaciones de calidad de agua potable requieren ser realizadas en zonas urbanas.

Un total de 141.377 muestras correspondían para la ciudad de Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016. En la Tabla 8 a continuación se aprecia la cantidad de muestras anuales realizadas para Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016, como también el número de clientes anuales, donde se puede observar el aumento sostenido, a excepción del año 2009, de la cantidad de muestras de calidad de agua potable que son efectuadas por año.

Tabla 8: Número total de muestras de calidad de agua para Antofagasta periodo 2007 – 2016 y el respectivo número de clientes anuales

Año	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>N° de muestras</b>	12.097	12.174	12.090	12.545	13.586	13.578	142.42	16.208	16.962	17.895
<b>N° de clientes</b>	133.997	137.802	142.677	146.676	150.646	155.304	159.908	163.040	167.314	171.706

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016) y Aguas Antofagasta (2017).

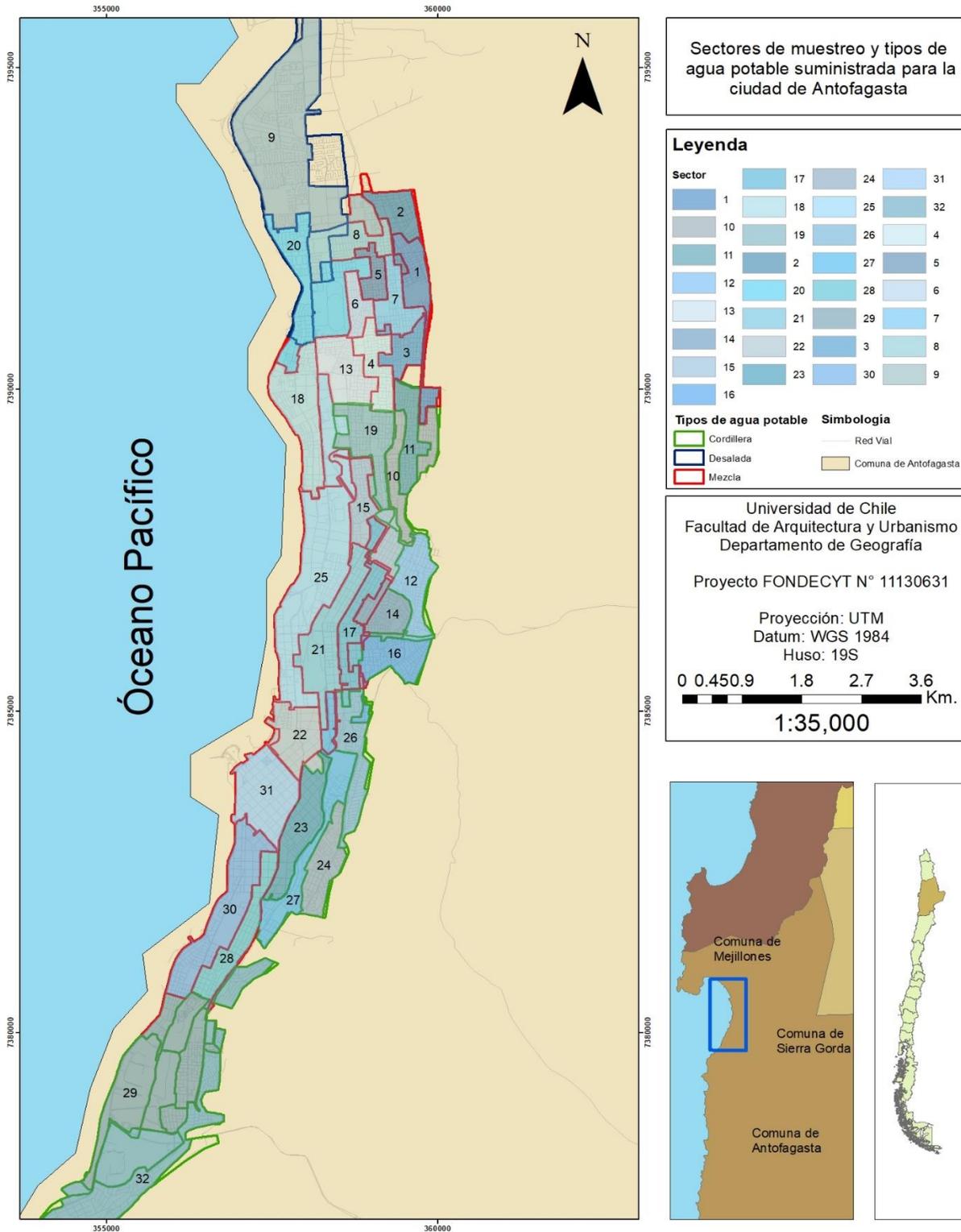
Todas las muestras presentaban información en cuanto al día, año, mes, parámetro, valor, tipo, servicio y sector, siendo este último el más relevante para determinar la ubicación de la muestras a lo largo de la ciudad y al tipo de agua que corresponden cada una de estas, debido a que no se poseen las coordenadas específicas para cada una de las muestras, a excepción de aquellas para el año 2015. Por lo que en primer lugar se expone la división en 32 sectores de muestreo de la ciudad de Antofagasta y los tipos de agua predominantes a lo largo de estos, apreciable en la Figura 3

De estos 32 sectores, 18 son suministrados principalmente de agua potable de mezcla, 12 de agua de cordillera y 2 de agua desalada, por lo que predominan aquellos sectores en los que se suministran una mezcla de ambos tipos de agua. A pesar de esto es importante notar que algunos sectores se sobreponen entre las distintas zonas de tipo de agua potable, razón por la que se habla de la predominancia en el tipo de agua abastecida o suministrada. En los sectores abastecidos por agua potable desalada se realizaron 9.929 muestras, correspondientes al 7,02% del total, mientras que para los sectores abastecidos por agua de cordillera fueron realizadas 55.169 muestras, equivalentes al 39,02% del total. Finalmente para los sectores abastecidos por agua de ambos tipos fueron realizadas 76.279 muestras, las cuales representan el 53,96% de las muestras totales realizadas para Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016.

A partir de esto, se puede determinar que aquellos sectores con la mayor concentración de muestras realizadas se encuentran ubicados principalmente en la zona centro y norte de la ciudad, predominando los sectores en que es distribuida agua de mezcla, la cual es compuesta en mayor proporción por el agua desalada.

En la Tabla 9 y Figura 4 a continuación se pueden apreciar el número total de muestras para cada sector durante el periodo de estudio y su respectivos porcentajes, donde se puede determinar que el sector 16, correspondiente a agua del tipo de cordillera, ubicado en la zona centro-este de la ciudad, concentro la mayor cantidad de muestras realizadas durante el periodo de estudio, ya que triplico o duplico en el menor de los casos al número de muestras para los otros sectores en prácticamente todos los años de estudios, a excepción de las muestras para los sectores 9, 17, 23, 25 y 28, todos de agua de mezcla, a excepción de los sectores 9 (desalada) y 23 (cordillera), los cuales presentaron una cantidad no menor de muestras totales por sobre el promedio del resto de los sectores durante periodo de estudio.

Figura 3: Sectores de muestreo de la red y tipos de agua potable en Antofagasta



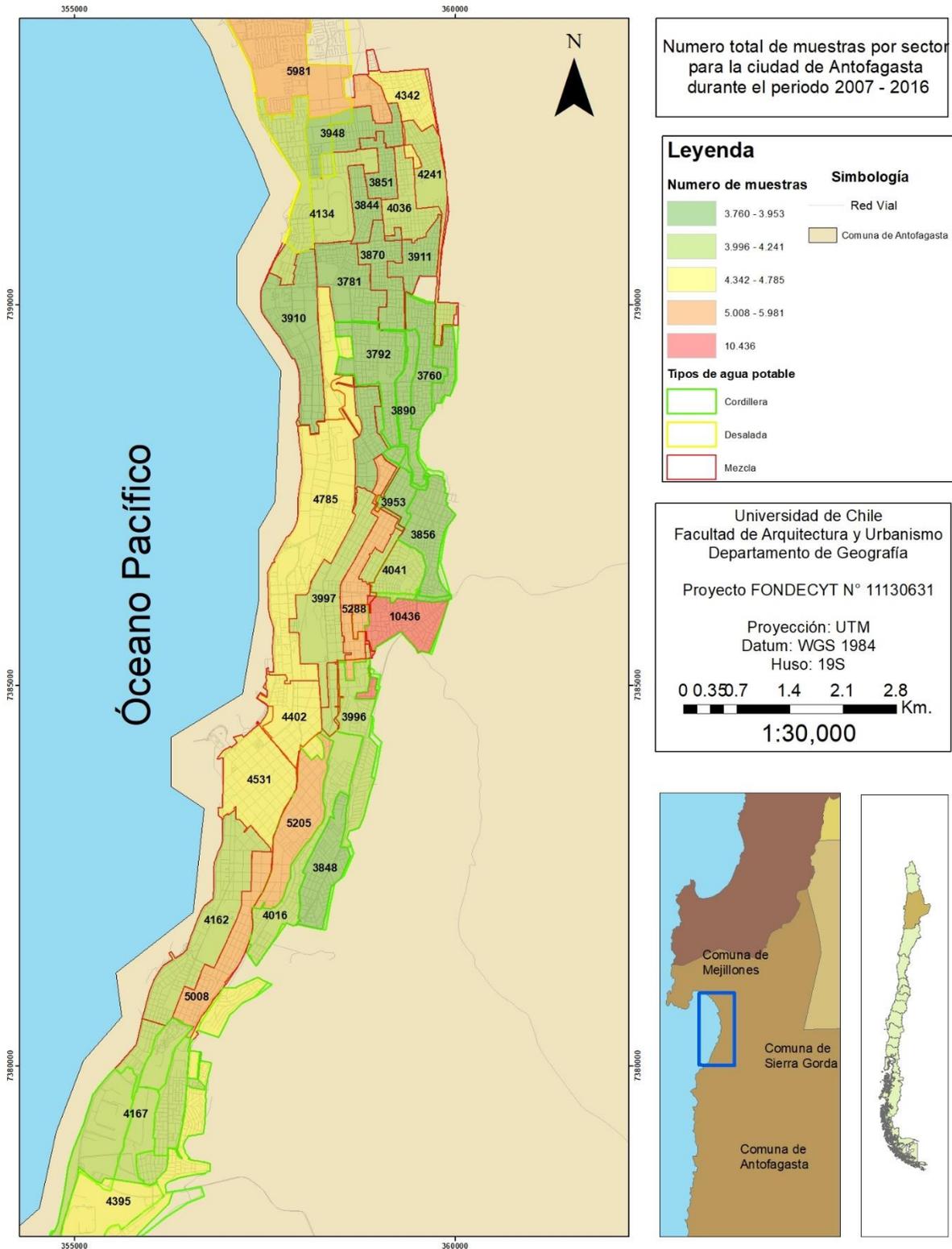
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2015).

Tabla 9: Número total de muestras para cada sector y tipo de agua potable para la ciudad de Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016

Sector	Número de muestras	% del total de muestras	Tipo de agua abastecida
1	4.241	3.00%	Mezcla
2	4.342	3.07%	Mezcla
3	3.911	2.77%	Mezcla
4	3.870	2.74%	Mezcla
5	3.851	2.72%	Mezcla
6	3.844	2.72%	Mezcla
7	4.036	2.85%	Mezcla
8	3.948	2.79%	Desalada
9	5.981	4.23%	Desalada
10	3.890	2.75%	Cordillera
11	3.760	2.66%	Cordillera
12	3.856	2.73%	Cordillera
13	3.781	2.67%	Mezcla
14	4.041	2.86%	Cordillera
15	3.953	2.80%	Mezcla
16	10.436	7.38%	Cordillera
17	5.288	3.74%	Mezcla
18	3.910	2.77%	Mezcla
19	3.792	2.68%	Cordillera
20	4.134	2.92%	Mezcla
21	3.997	2.83%	Mezcla
22	4.402	3.11%	Mezcla
23	5.205	3.68%	Cordillera
24	3.848	2.72%	Cordillera
25	4.785	3.38%	Mezcla
26	3.996	2.83%	Cordillera
27	4.016	2.84%	Cordillera
28	5.008	3.54%	Mezcla
29	4.167	2.95%	Cordillera
30	4.162	2.94%	Mezcla
31	4.531	3.20%	Mezcla
32	4.395	3.11%	Cordillera
<b>Total</b>	<b>141.377</b>	<b>100.00%</b>	<b>Desalada:2 Mezcla:18 Cordillera:12</b>

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

Figura 4: Número total de muestras por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

En cuanto a la distribución del muestreo en parámetros, de un total de 141.377 muestras analizadas durante el periodo de 2007 a 2016 para la ciudad de Antofagasta, 140.693 correspondieron a los parámetros de cloro libre, turbiedad, coliformes totales, e-coli, arsénico, hierro, fluoruro, olor, sabor, color verdadero y cloruro, representando estos 11 parámetros de los 42 evaluados el 99,5% de las muestras realizadas durante el periodo 2007 - 2016. Esto se puede apreciar en la Tabla 10, donde aparece la cantidad de muestras para cada uno de estos parámetros.

Tabla 10: Numero de muestras de parámetros cloro libre, turbiedad, coliformes totales, e-coli, arsénico, hierro, fluoruro, olor, sabor, color verdadero y cloruro durante el periodo 2007 – 2016

Parámetro	Número de muestras
Cloro Libre	33.217
Turbiedad	30.039
Coliformes totales	22.808
E-coli	22.808
Hierro	6.289
Fluoruro	4.919
Arsénico	4.843
Color verdadero	4.836
Olor	4.514
Sabor	4.353
Cloruro	2.067
<b>Total</b>	<b>140.693</b>

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

Los parámetros de hierro, arsénico, cloro libre y turbiedad corresponden a los únicos parámetros que presentaron diferencias significativas en cuanto al número de muestras realizadas para cada sector, como se puede apreciar en la Figura 5 a Figura 8. Para el arsénico, elemento de especial relevancia para la ciudad, el sector 16, de agua de cordillera, destaca notoriamente con 680 muestras. Además, es importante mencionar que el arsénico presentó entre 12 a 18 muestras promedio, a excepción de los años 2013, 2015 y 2016, donde el número de muestras de arsénico para el sector 16 fueron entre 5 a 10 veces el promedio anual de muestras por sector.

Para el hierro, el sector 16 también destacó con 717 muestras, con los sectores 17 y 23, de agua de mezcla y de cordillera respectivamente, también presentando una cantidad, aunque menor en comparación al sector 16, superior de muestras respecto al resto de los sectores. Mientras que para el cloro libre residual los sectores 9, 16, 17 y 28 presentaron una mayor cantidad de muestras, con 4.137 muestras para el sector 16.

Finalmente, para la turbiedad se tiene que los sectores 9, 16 y 17 presentan una cantidad notoria de muestras por sobre el resto de los sectores, con el sector 16 presentando la mayor cantidad de muestras (2.581). Todo esto se puede apreciar en la Tabla 11 a continuación.

Tabla 11: Sectores que presentan la mayor cantidad de muestras hierro, arsénico, cloro libre y turbiedad

Parámetro	Sector					
	9	16	17	23	25	28
Hierro	201	717	411	452	316	207
Arsénico	134	680	126	127	142	164
Cloro	1.784	4.137	1.286	1.179	1.075	1.239
Turbiedad	1.518	2.581	1.270	1.175	994	1.050

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 – 2016)

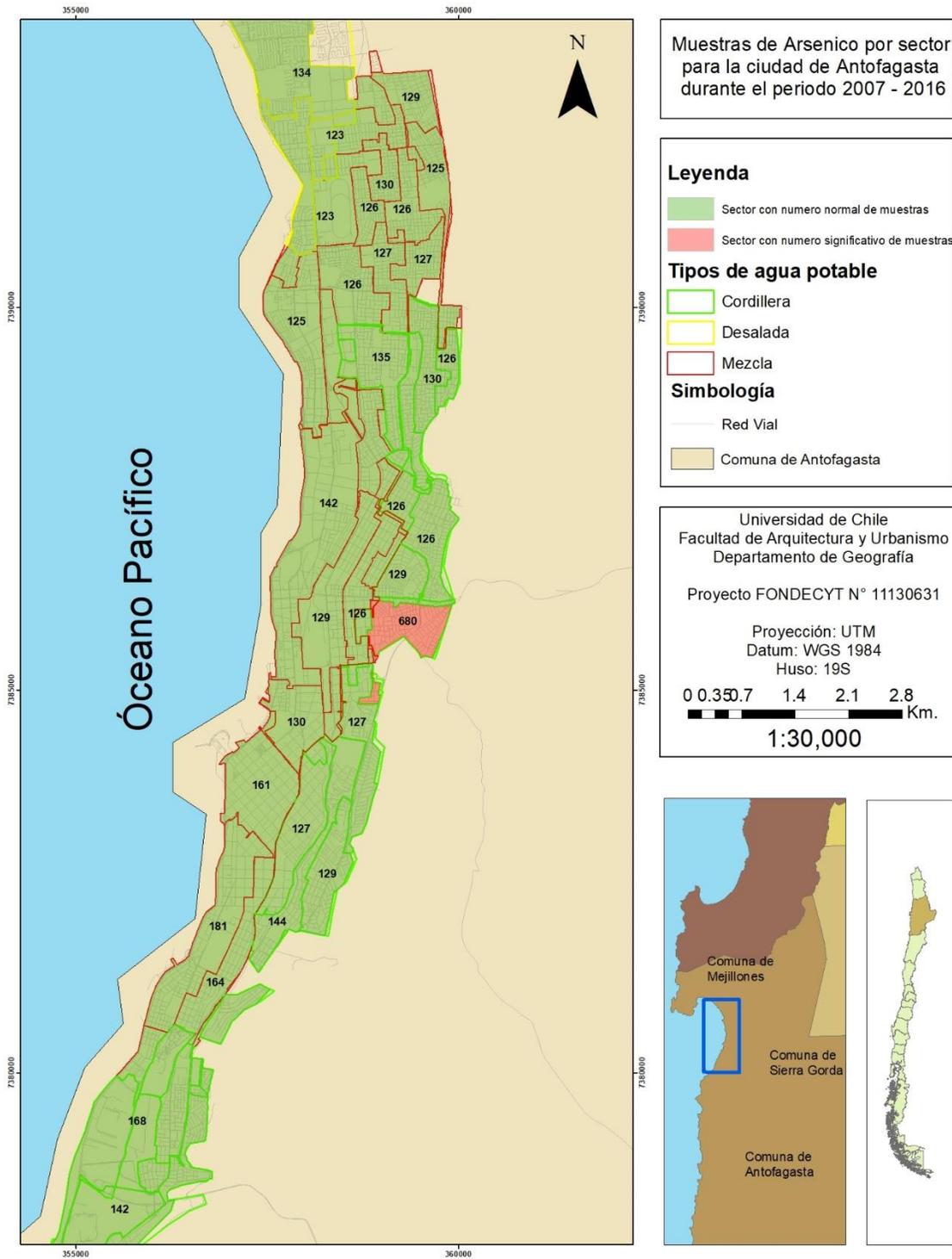
A partir de esto, destacan por el número de muestras realizadas los sectores 9, 16, 17, 23, 25 y 28, perteneciente a zonas de agua desalada el sector 9, a agua de mezcla los sectores 17, 25 y 28, y a agua de cordillera los sectores 16 y 23. Además como se expondrá adelante, estos sectores concentran la mayoría de los incumplimientos detectados durante el periodo de estudio, particularmente el sector 9, concentrando aquellos incumplimientos de olor y sabor detectados durante el año 2011, y los sectores 17 y 23 para aquellos incumplimientos de hierro y arsénico detectados para el año 2016.

Para el resto de los 10 parámetros evaluados, si bien no presentan grandes variaciones en cuanto al número de muestras a lo largo de los sectores, se mantienen ciertas particularidades, ya que por ejemplo para los parámetros organolépticos (sabor, olor, color verdadero) destacan los sectores de ambos extremos de la ciudad y la zona centro (sector 16) con mayor presencia de número de muestras, concordando con los otros parámetros y permitiendo argumentar que aquellos sectores mencionados anteriormente son de relevancia para todos.

El resto de los 31 parámetros evaluados concentraron 684 muestras, divididas entre 21 a 22 muestras totales para cada uno a excepción del pH, para el cual se realizaron 69, todos estos presentando 2 muestras anuales y solamente siendo realizadas en los sectores 7, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 32, a excepción nuevamente del pH, evaluado en todos los sectores de la ciudad.

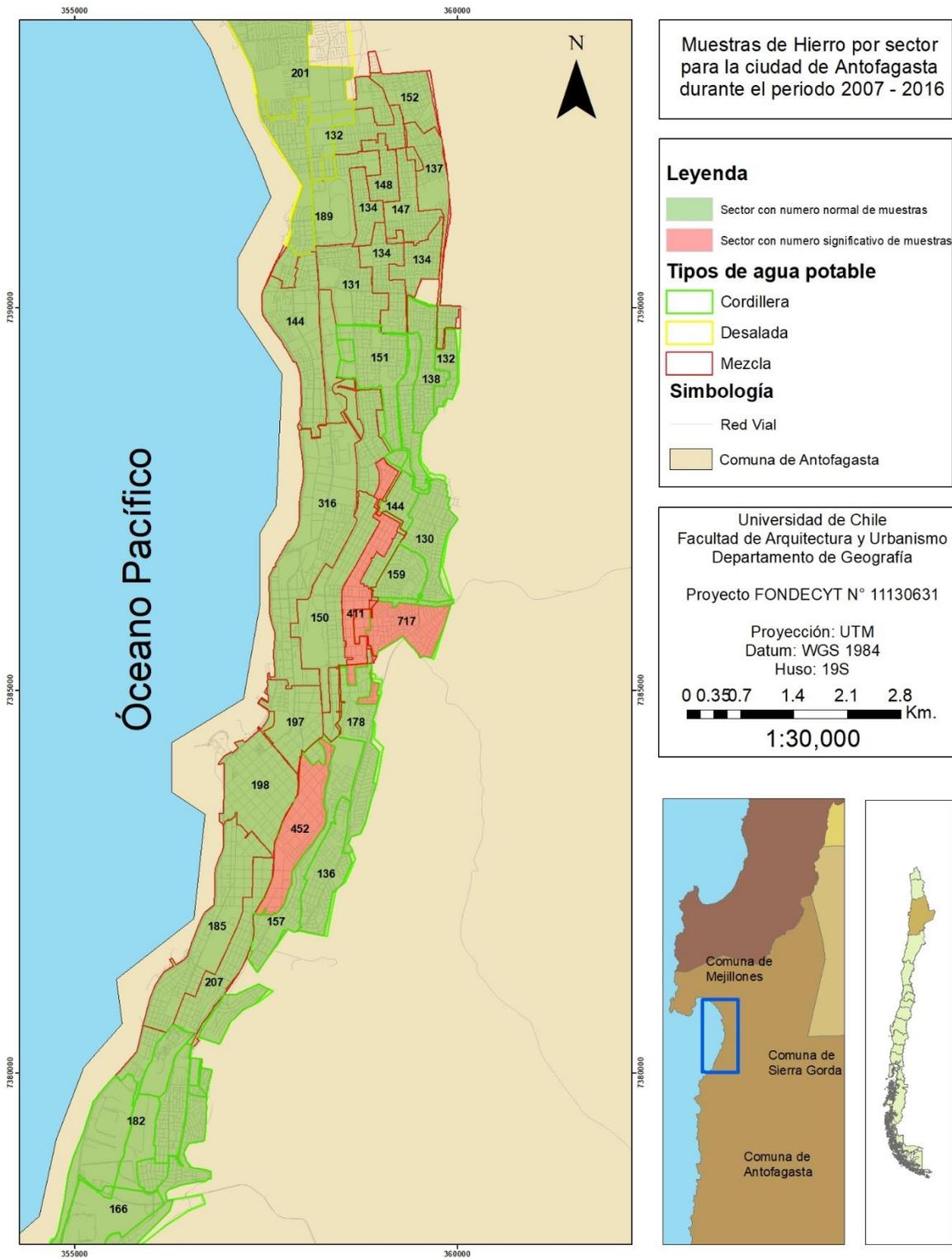
Por lo que a continuación, entre las figuras 5 y 14 se puede apreciar el número total de muestras por sector para el periodo 2006 – 2007 de los 10 parámetros que concentraron la mayor parte de las muestras realizadas, descartando las de e-coli porque se realizan en conjunto con los coliformes totales, donde se puede apreciar que se mantienen constante los mismos sectores que presentaron la mayor cantidad de muestras a lo largo del periodo de estudio, resaltando nuevamente el sector 16, observable en la figura anterior.

Figura 5: Número total de muestras de arsénico por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



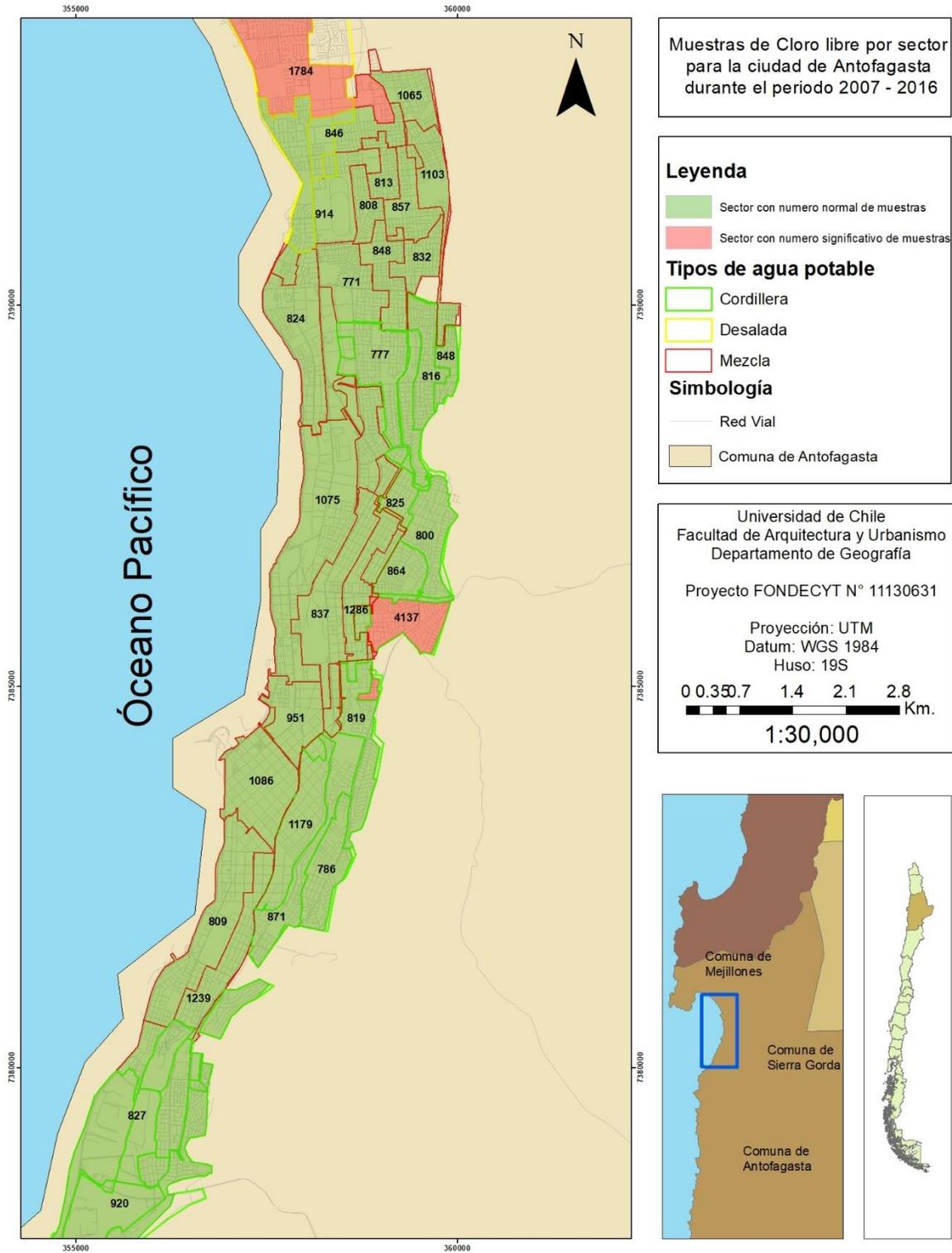
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 6: Número total de muestras de hierro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



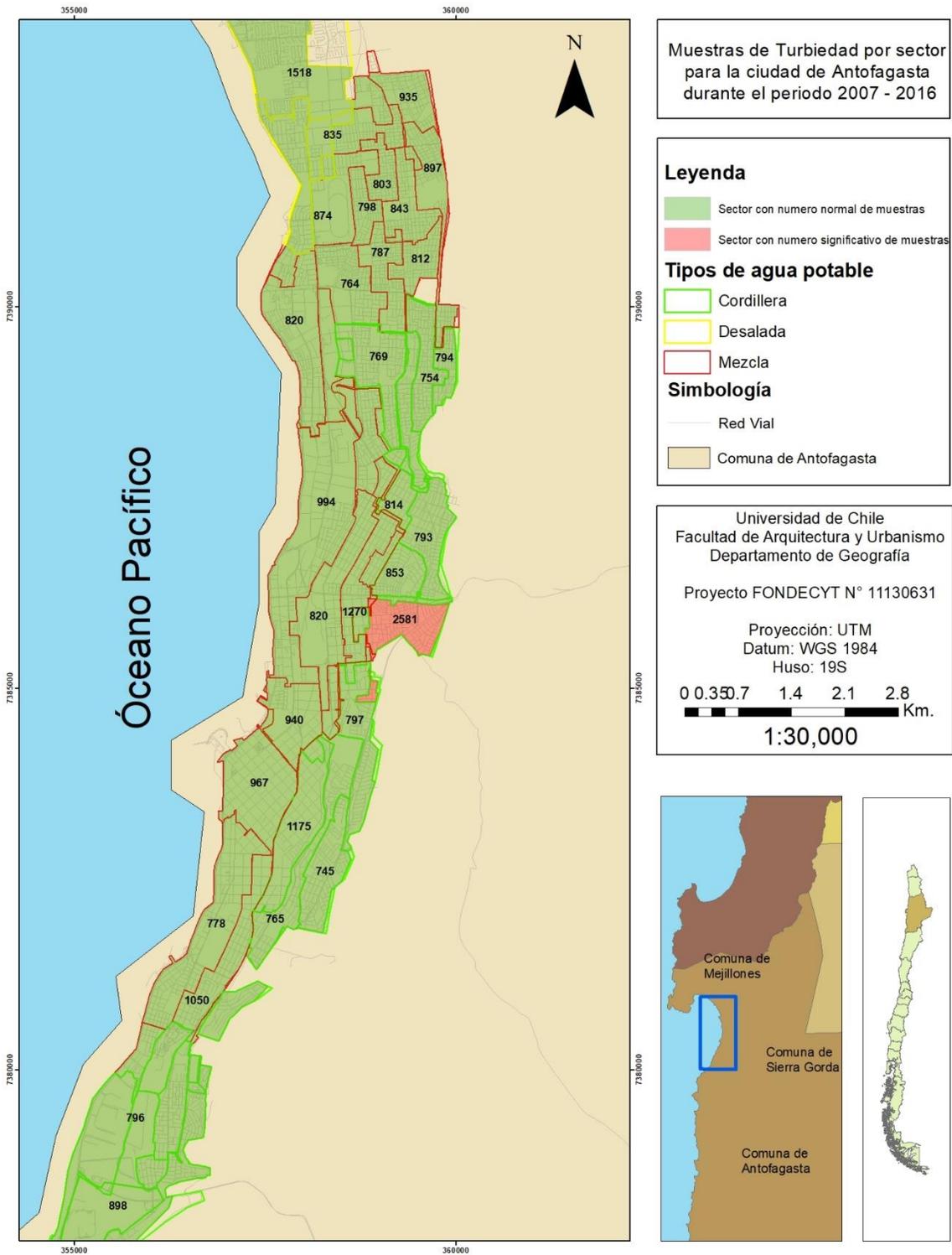
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 7: Número total de muestras de cloro libre por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



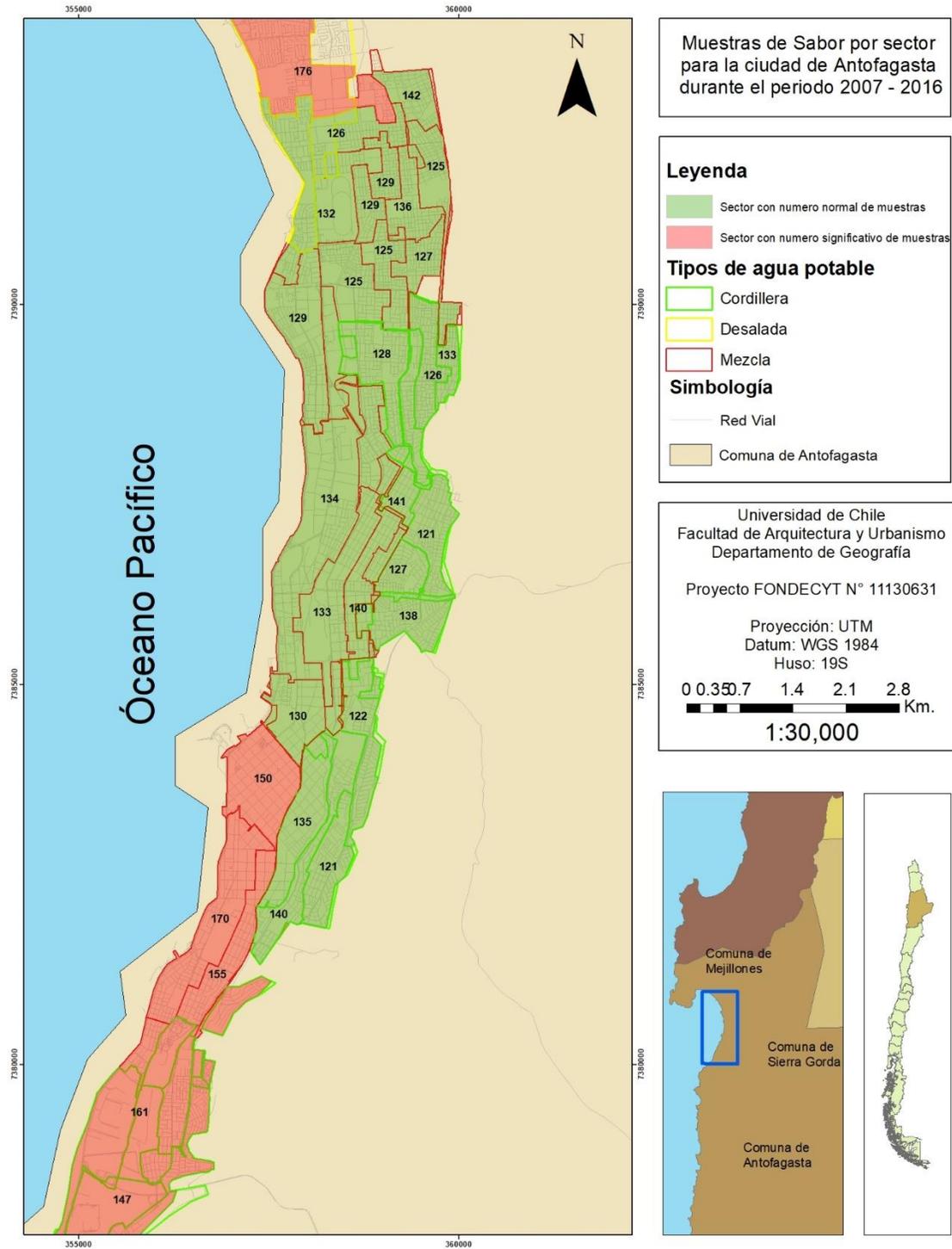
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 8: Número total de muestras de turbiedad por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



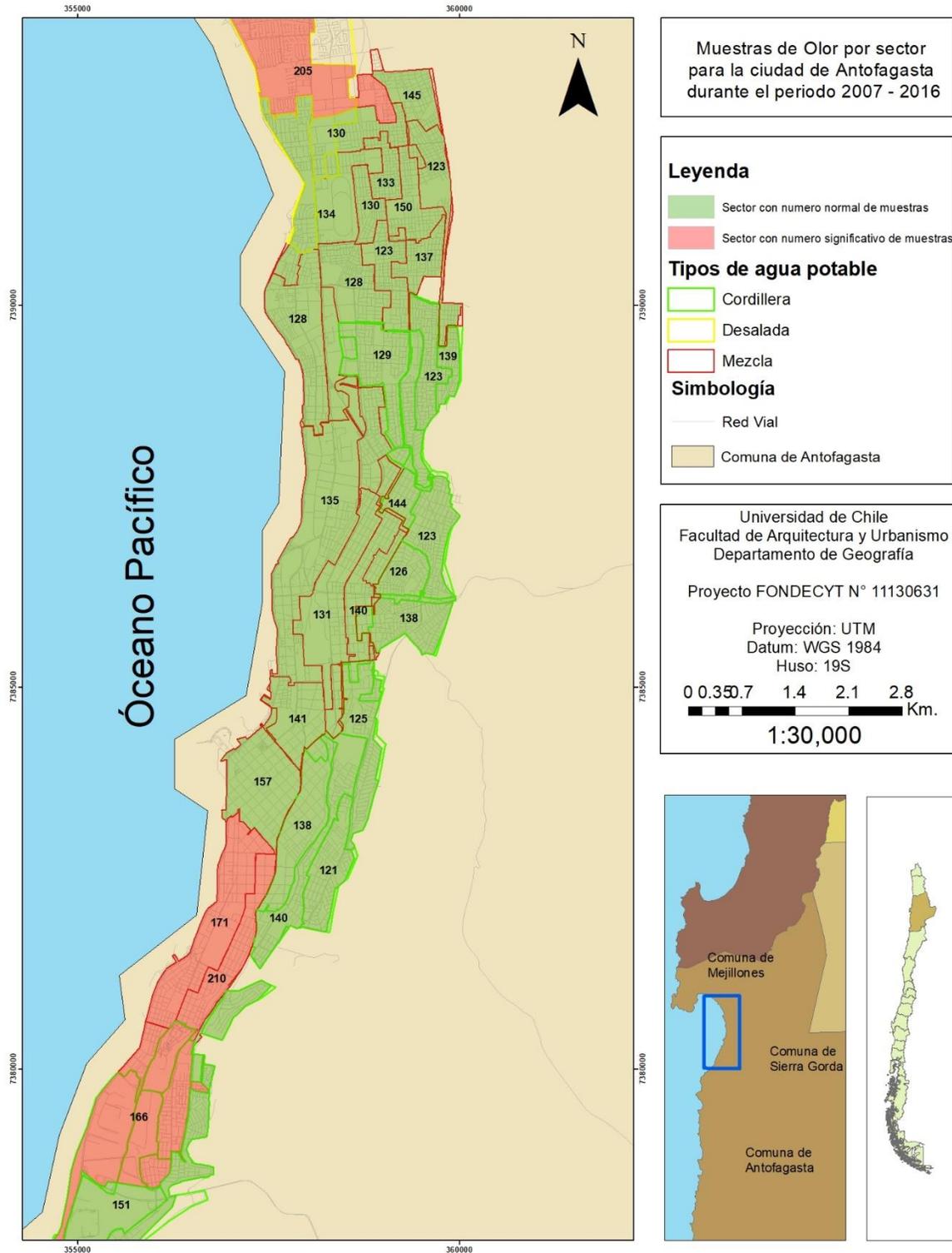
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 9: Número total de muestras de sabor por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



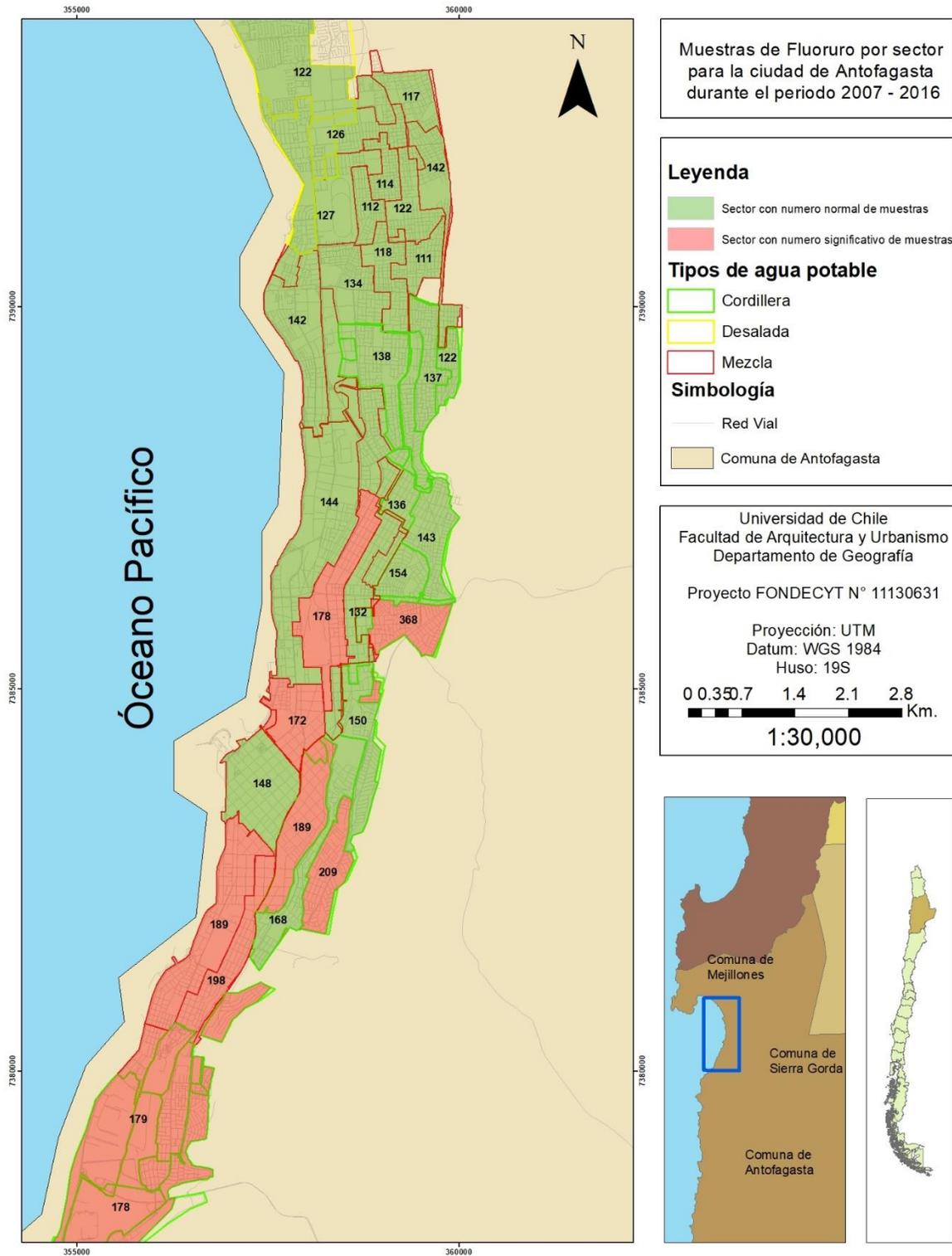
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 10: Número total de muestras de olor por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



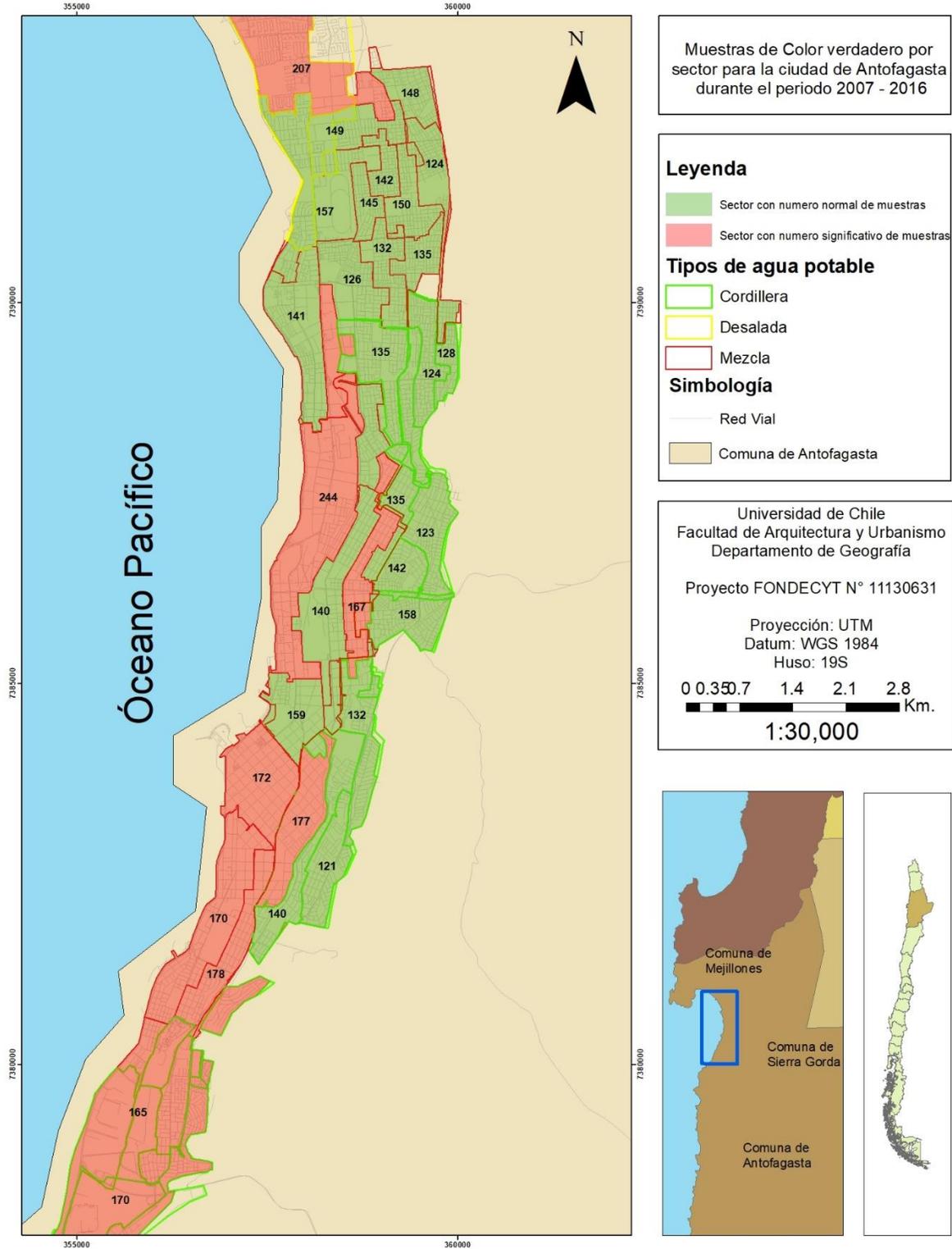
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 11: Número total de muestras de fluoruro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



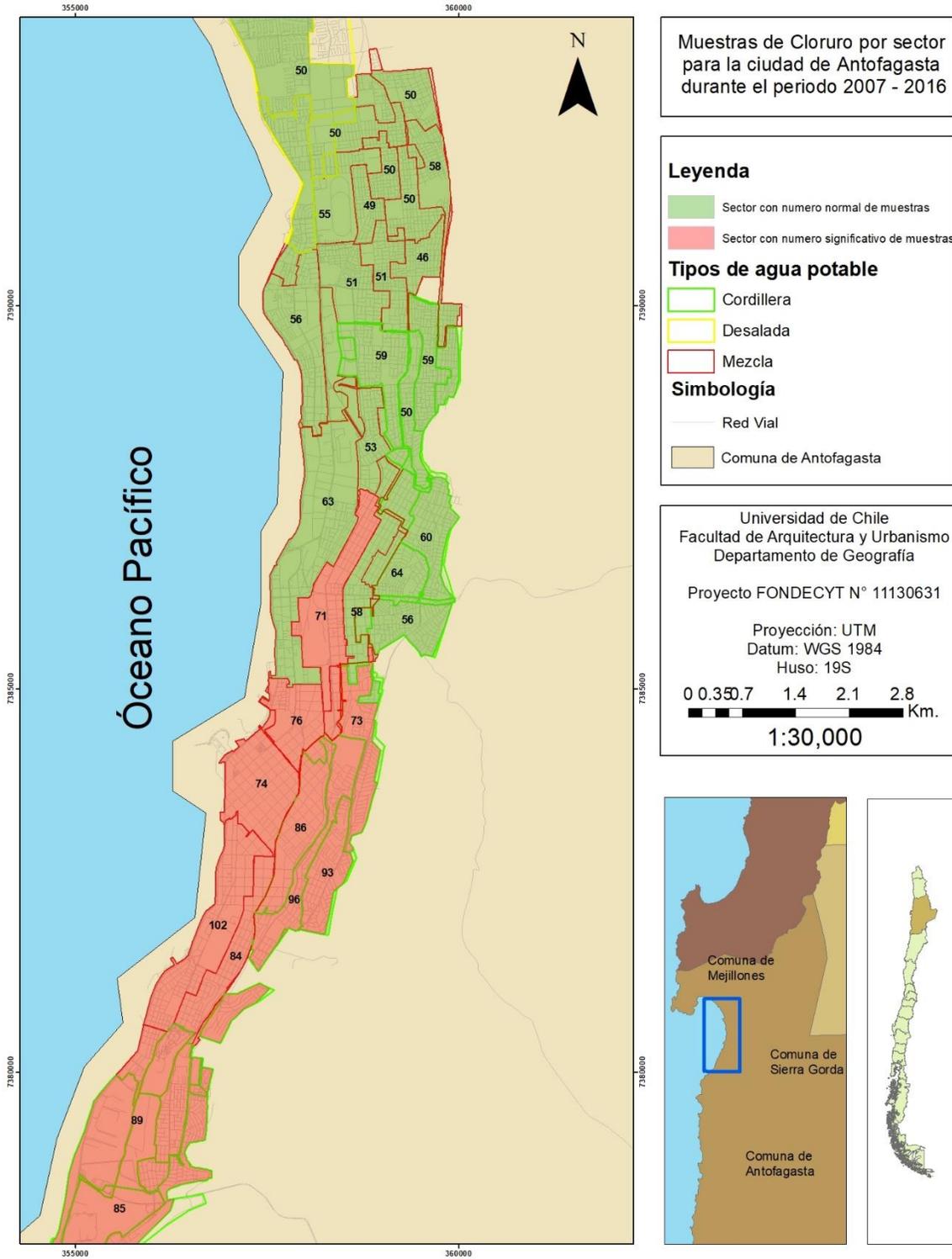
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 12: Número total de muestras de color verdadero por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



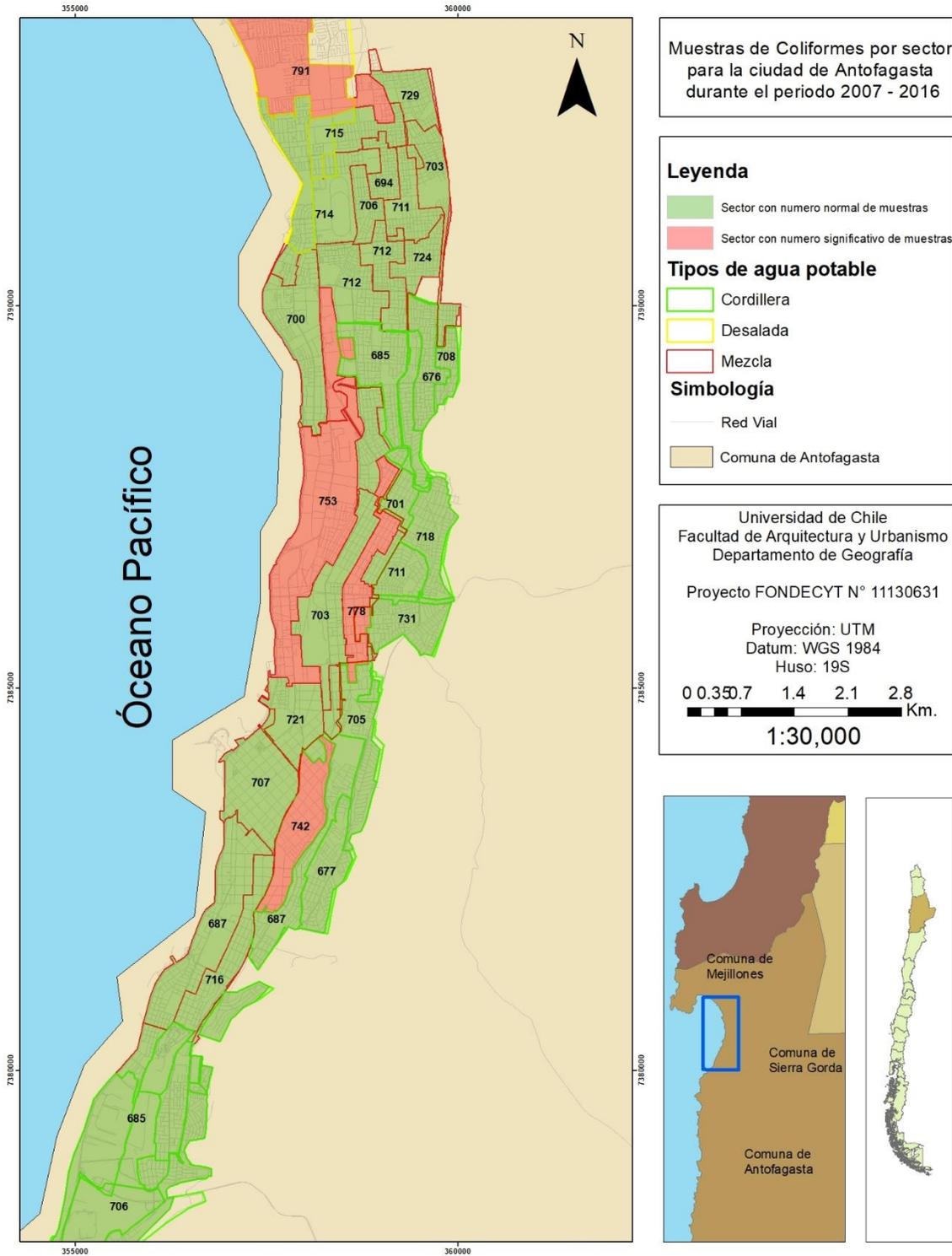
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 13: Número total de muestras de cloruro por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

Figura 14: Número total de muestras de coliformes totales por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

En cuanto al cumplimiento de la normativa y su distribución a lo largo de la ciudad, se detectaron un total de 680 instancias de incumplimiento, correspondientes al 0,48% del total de muestras realizadas para la ciudad, para 9 de los 42 parámetros evaluados, estos parámetros correspondieron a los coliformes totales, turbiedad, hierro, arsénico, color verdadero, sabor, olor, cloruro y cloro libre, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 12 a continuación.

El parámetro que presentó la mayor cantidad de incumplimientos fue el hierro, con 327 instancias de incumplimiento a lo largo del periodo de estudio, representando el 48,09% del total de incumplimientos. Estos fueron detectados durante todos los años de estudio a excepción del 2011, pero concentrándose la mayor cantidad durante los 2015 y el 2016, con 206 y 66 incumplimientos respectivamente, como se puede apreciar en la Tabla 13. El parámetro que lo sigue corresponde al cloro libre con 119 incumplimientos, un 17,50% del total, detectados durante todos los años a excepción del 2009 y 2013, con 72 de estas durante el año 2015, mientras que la cantidad de incumplimientos entre el resto de los años varían entre 1 a 15.

El olor presentó un total de 76 incumplimientos, constituyendo un 11,18% del total y detectados solamente durante los años 2011 y 2015. La turbiedad correspondió al cuarto parámetro con mayor cantidad de incumplimientos con 70 muestras y representando al 10,28% del total, con presencia uniforme a lo largo de todos los años a excepción del 2008 y 2009. También se evidenció que los promedios aritméticos mensuales de turbiedad estuvieron bajo el límite objetivo durante todo el periodo de estudio. Mientras que el resto de los parámetros presentaron entre 2 a 36 incumplimientos, representando desde el 5,29% hasta el 0,29% del total de incumplimientos.

Tabla 12: Numero y porcentaje de incumplimientos por parámetro para Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016

Número de incumplimientos por parámetro para Antofagasta 2007 - 2016		
Parámetro	N° de incumplimientos	% del total de incumplimientos
Cloruro	2	0,29%
Color Verdadero	3	0,44%
Coliformes Totales	14	2,06%
Arsénico	33	4,85%
Sabor	36	5,29%
Turbiedad	70	10,29%
Olor	76	11,18%
Cloro Libre	119	17,50%
Hierro	327	48,09%
<b>Total</b>	<b>680</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

En la Tabla 14 se pueden apreciar el número total de incumplimientos para cada sector durante el periodo 2007 – 2016, mientras que en la Figura 15 se puede observar la espacialización de estos,

donde se puede observar que los sectores que acumularon la mayor cantidad de incumplimientos corresponden a los sectores 17 (190), 23 (118) y 9 (57), siendo el 17 de agua de mezcla, el 9 correspondiente a agua potable desalada, mientras que el 23 a agua de cordillera. Resulta difícil el determinar una relación de estos con el tipo de agua presente, a causa de la baja y esporádica cantidad de incumplimientos en relación a la gran cantidad de muestras realizadas a lo largo del periodo de estudio, sin embargo, resaltan las zonas de los sectores 17 y 23 que comparten la gran cantidad de incumplimientos de hierro ocurridos durante los años 2015 y 2016, mientras que el sector 9 concentra aquellas de olor y sabor ocurridas durante el año 2011, los cuales combinados representan más de la mitad de incumplimientos registrados durante el periodo de estudio.

Se considera también relevante el sector 9 por el tipo de agua potable (desalada) que es suministrada, ya que los incumplimientos de olor y sabor identificados durante el año 2011, entre el 25 de febrero y el 5 de marzo se presentaron mayoritariamente en este sector, y estos se debieron a problemas generados en la red de agua potable a partir de la filtración de una micro alga en el sistema de la planta de desalado, la que mantuvo por casi una semana a más de 200.000 habitantes de Antofagasta sin suministro de agua potable a causa del mal olor, color, sabor y acidez presentes en el agua potable (Emol, 2011; La tercera, 2011).

Tabla 13: Cantidad total de incumplimientos por parámetro y para cada año en Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016

Incumplimientos por parámetro y para cada año en Antofagasta 2007 - 2016											
Parámetro	Año										Total
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Coliformes Totales	4	1	-	-	-	3	1	2	2	1	14
Turbiedad	10	-	-	2	5	1	2	23	24	3	70
Hierro	32	1	2	1	-	7	5	7	206	66	327
Arsénico	8	-	1	6	-	2	3	6	2	5	33
Color Verdadero	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3
Olor	3	-	-	-	69	-	-	-	4	-	76
Sabor	3	-	-	-	31	-	-	-	2	-	36
Cloruro	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
Cloro Libre	8	3	-	9	1	10	-	15	72	1	119
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>18</b>	<b>106</b>	<b>23</b>	<b>12</b>	<b>53</b>	<b>314</b>	<b>76</b>	<b>680</b>

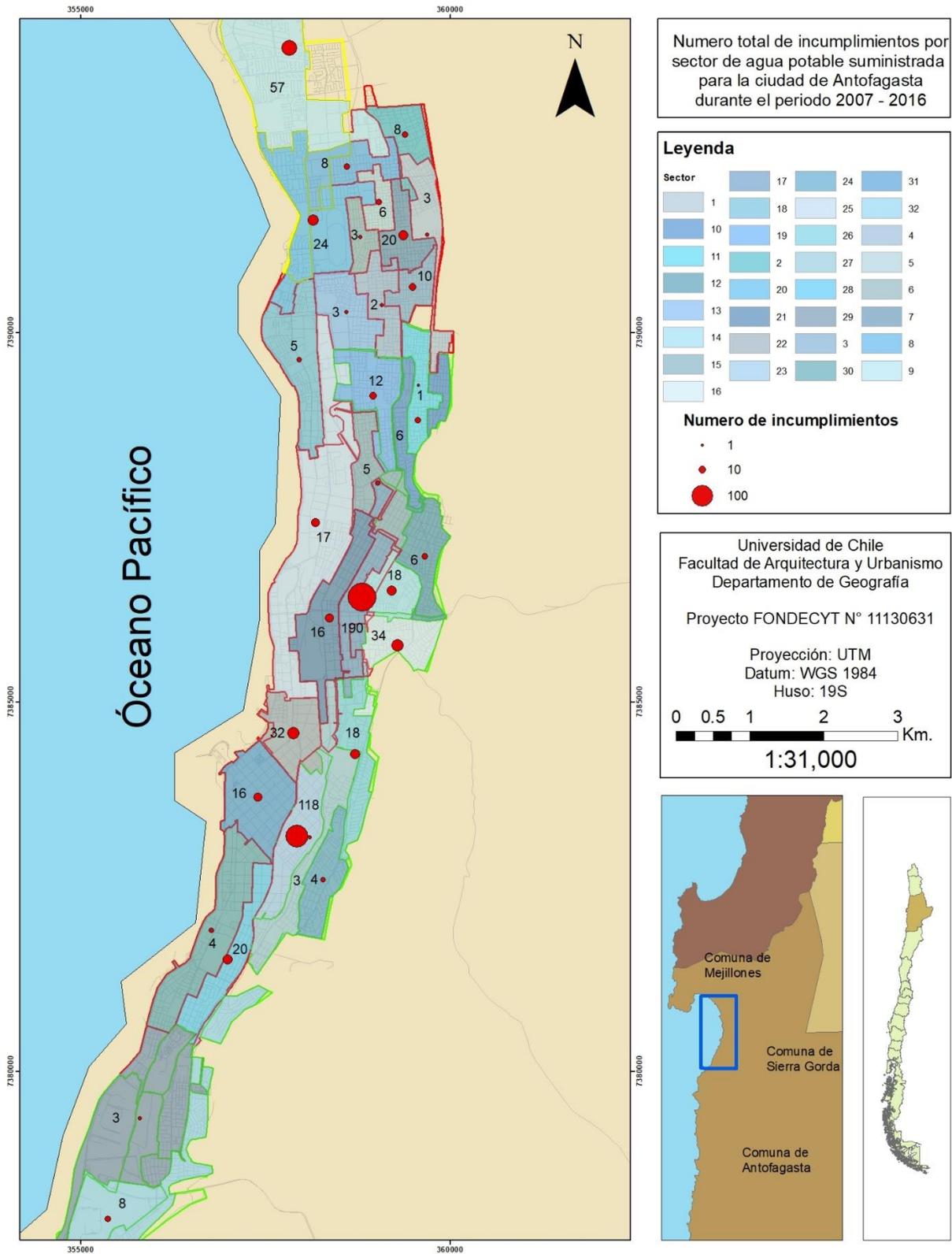
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

Tabla 14: Cantidad total de incumplimientos para cada sector de Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016

Sector	N° de incumplimientos	% de incumplimientos totales	Tipo de agua abastecida
1	3	0.44%	Mezcla
2	8	1.18%	Mezcla
3	10	1.47%	Mezcla
4	2	0.29%	Mezcla
5	6	0.88%	Mezcla
6	3	0.44%	Mezcla
7	20	2.94%	Mezcla
8	8	1.18%	Desalada
9	57	8.38%	Desalada
10	6	0.88%	Cordillera
11	1	0.15%	Cordillera
12	6	0.88%	Cordillera
13	3	0.44%	Mezcla
14	18	2.65%	Cordillera
15	5	0.74%	Mezcla
16	34	5.00%	Cordillera
17	190	27.94%	Mezcla
18	5	0.74%	Mezcla
19	12	1.76%	Cordillera
20	24	3.53%	Mezcla
21	16	2.35%	Mezcla
22	32	4.71%	Mezcla
23	118	17.35%	Cordillera
24	4	0.59%	Cordillera
25	17	2.50%	Mezcla
26	18	2.65%	Cordillera
27	3	0.44%	Cordillera
28	20	2.94%	Mezcla
29	3	0.44%	Cordillera
30	4	0.59%	Mezcla
31	16	2.35%	Mezcla
32	8	1.18%	Cordillera
<b>Total</b>	<b>680</b>	<b>100.00%</b>	<b>32</b>

Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

Figura 15: Número total de incumplimientos por sector para la ciudad Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016



Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016)

En cuanto a los parámetros considerados críticos por la normativa, solamente el hierro, arsénico, fluoruro, olor, color verdadero y sabor de los 24 considerados presentaban el mínimo de 32 muestras mensuales requeridas durante el periodo de estudio y solamente durante el año 2011 y 2015 tanto el olor como el sabor presentaron promedios mensuales por sobre el límite objetivo. En cuanto al criterio que los incumplimientos no superaran el 10% del total de muestras, esto fue violado durante el año 2011 por el olor, al presentar 61 incumplimientos de un total 548 muestras (causado por la filtración de la micro alga en el sistema de la planta de desalado mencionado anteriormente) y durante el año 2015 por el hierro al presentar 206 incumplimientos de un total de 1.052 muestras.

Se identificaron 2.156 instancias de reinspección para el periodo de estudio, a excepción del año 2016, ya que las muestras entregadas no presentaban identificación para determinar cuáles correspondían a reinspecciones. Estas fueron realizadas principalmente a los parámetros de hierro, arsénico, cloro libre, turbiedad, color verdadero, sabor, coliformes totales y e- coli, como se puede observar en la Tabla 15, son los únicos que presentan una número de muestras todos los años, aunque de cantidad fluctuante a lo largo del periodo de estudio. Mientras que el año 2012 correspondió al único año en el que se realizaron reinspecciones a una mayor cantidad de parámetros, particularmente del tipo II. Resalta también el año 2015 por la gran cantidad de reinspecciones realizadas al hierro, cloro libre y turbiedad, los cuales se concentraron en sectores de agua de mezcla (302) y de cordillera (419).

A partir de esto se determina que las reinspecciones realizadas a lo largo del periodo de estudio no se encuentran relacionadas a la cantidad de instancias de incumplimientos presentes durante los años de estudio, por lo que se encontrarían en violación de la normativa, ya que no concuerdan con la mayoría de los parámetros de los años del periodo de estudio y porque incluso se realizan reinspecciones a parámetros que no presentan incumplimientos durante todo el periodo de estudio, como en el caso de la e-coli.

Tabla 15: Numero de reinspecciones por parámetro y para cada año en Antofagasta durante el periodo 2007 - 2016

Número de reinspecciones por parámetro y para cada año en Antofagasta 2007 - 2016											
Parámetro	Año										Total
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Hierro	31	1	2	5	-	9	5	8	237	-	298
Arsénico	22		1	6	-	5	5	6	9	-	54
Cloro libre	46	24	16	20	19	52	12	103	271	-	563
Color verdadero	25	-	-	2	-	13	5	1	11	-	57
Coliformes Totales	26	18	16	6	14	35	6	24	97	-	242
Escherichia coli	26	18	16	6	14	35	6	24	97	-	242
Olor	24	-	-	-	-	1	4	10	10	-	49
Sabor	24	-	-	-	-	1	4	-	8	-	37
Turbiedad	58	19	16	13	24	52	11	105	271	-	569
Fluoruro	-	-	-	-	-	2	4	-	8	-	14
Cloruro	-	-	-	-	-	1	3	-	9	-	13
Selenio	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Cadmio	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Cianuro	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Mercurio	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Zinc	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Cobre	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Ph	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Plomo	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Solidos disueltos totales	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Manganeso	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Sulfato	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Nitrito	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Nitrato	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Magnesio	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
Amoniaco	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
<b>Total</b>	<b>282</b>	<b>80</b>	<b>67</b>	<b>58</b>	<b>71</b>	<b>221</b>	<b>65</b>	<b>281</b>	<b>1028</b>	<b>0</b>	<b>2153</b>

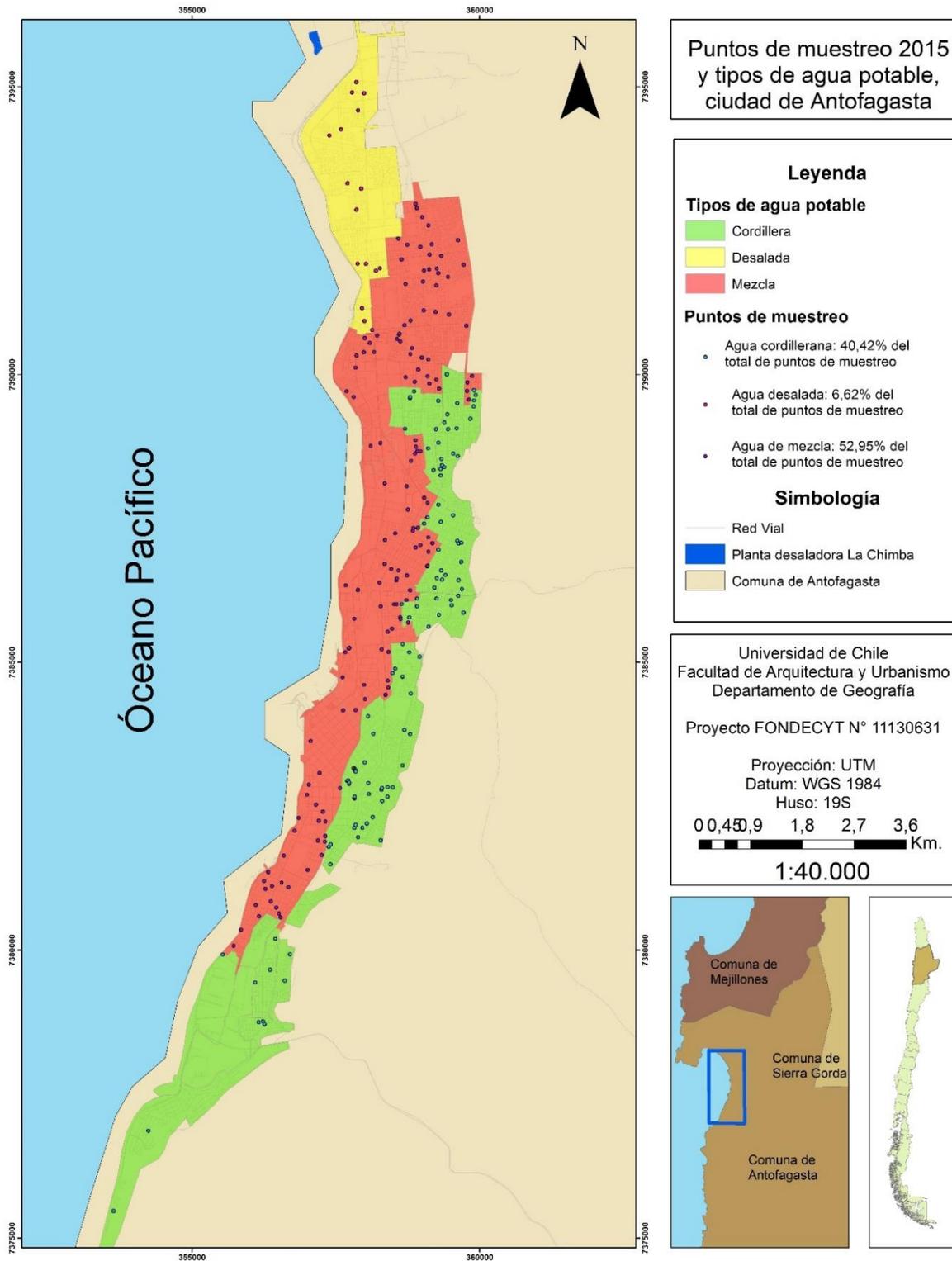
Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2007 - 2016).

Respecto a la distribución de las muestras de forma uniforme a lo largo de los sectores, para los tipos I no fue cumplida por la turbiedad desde el año 2010 hasta el 2016, mientras que para los coliformes totales no fue respetada durante años 2011 y 2015. Para el tipo V, el cloro libre residual, la distribución uniforme de las muestras no fue cumplida ningún año del periodo de estudio ya que ciertos sectores presentaron siempre una cantidad significativa por sobre el promedio del resto de sectores, siendo particularmente los sectores 9 y 16 los que presentaron mayor cantidad de muestras tanto para los tipos I como V.

En cuanto a los procedimientos de muestreo, se observó que todos los parámetros cumplen con el mínimo de muestras requeridas a lo largo del periodo de estudio, ya sean los tipos I y V (microbiológicos y desinfección) con 120 y 130 muestras mensuales dependiendo del año o los tipos II y IV (químicos y organolépticos) con 2 muestras anuales en épocas opuestas, siendo la normativa violada solamente el año 2007, ya que las muestras para todos los parámetros tipo II a excepción del arsénico, hierro y fluoruro no fueron realizadas en épocas opuestas del año.

En la Figura 16 a continuación se puede observar la espacialización de los puntos de muestra identificados para la ciudad de Antofagasta y su distribución a partir de los distintos tipos de agua potable. Estos corresponden a las muestras del año 2015, ya que este es el único año del periodo de estudio que su serie de datos incluían las coordenadas. De las 16.692 muestras para el año 2015, 15.156 poseían coordenadas, y de estas el 40,42% (6.126) de estas se encuentran en zonas de agua de cordillera, mientras que un 52,95% (5.194) en zona de mezcla y solamente un 6,62% (3.833) en agua desalada. Por lo que desde esto se puede determinar que los porcentajes de distribución de las muestras para el año 2015 a lo largo de los distintos tipos de agua son similares a aquellas determinados para el periodo de estudio a partir de los sectores, por lo que la mayor cantidad de los puntos fijos de muestreo y las muestras son realizadas para las zonas de agua de mezcla y de cordillera, destacando además ambos extremos de la ciudad por su baja concentración de muestras.

Figura 16: Puntos de muestreo identificados para el año 2015 y su distribución a partir de los distintos tipos de agua potable



Fuente: Elaboración propia en base a SISS (2015).

## 4.2 Calidad del agua potable a partir de los índices de aceptabilidad y salud

La evaluación a través del índice global de calidad de agua potable (GDWQI) se realizó con el fin de clasificar la calidad de agua potable en Antofagasta a partir de un estándar global para obtener una valoración anual diferenciada para aquellos parámetros relacionados a la salud y aquellos relacionados con la aceptabilidad, a partir de los límites objetivo considerados por la normativa chilena, con el fin de obtener una valorización de la calidad del agua potable a lo largo del periodo de estudio sintetizada a partir de los lineamientos nacionales y el cumplimiento de esta. Esto permite determinar de forma más clara el estado del suministro a lo largo del periodo de estudio en conjunto con complementar el análisis del cumplimiento de la normativa realizado en el primer objetivo.

Fueron utilizados 41 de los 42 parámetros evaluados en el primero objetivo, el parámetro no utilizado para los índices corresponde a la *Escherichia coli*, a causa de que para este no se realizan muestras específicamente, si no que se muestrea adicionalmente a los coliformes totales y porque el procedimiento de muestreo corresponde a uno de presencia/ausencia, por lo que afectaría la calculación del índice utilizado, como se destacó en el capítulo 3.

A continuación, se puede observar la calculación y los valores obtenidos para cada índice y posteriormente se presenta un gráfico con la variación para ambos índices (AWQI y HWQI) a lo largo del periodo 2007 – 2016, como así también la del DWQI para demostrar la seguridad de la calculación de los índices.

Como se puede observar en la Tabla 16 y Tabla 17, los valores finales de las evaluaciones anuales para ambos índices presentaron resultados mayoritariamente en la categoría de buena calidad, con el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad presentando valores constantes en la categoría de buena calidad (6) y con la misma cantidad de instancias (2) anuales entre justa y excelente, mientras que los valores anuales del índice de calidad de agua concerniente a la salud se encuentran divididos entre las categorías de calidad de buena (6) y excelente (4), como se puede observar a continuación.

Tabla 16: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2007 - 2016

AWQI		
Año	Valor	Calidad
2007	73,8	Justa
2008	94,8	Excelente
2009	100	Excelente
2010	89,5	Buena
2011	79	Buena
2012	89,5	Buena
2013	89,5	Buena
2014	89,5	Buena
2015	73,7	Justa
2016	89,5	Buena

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

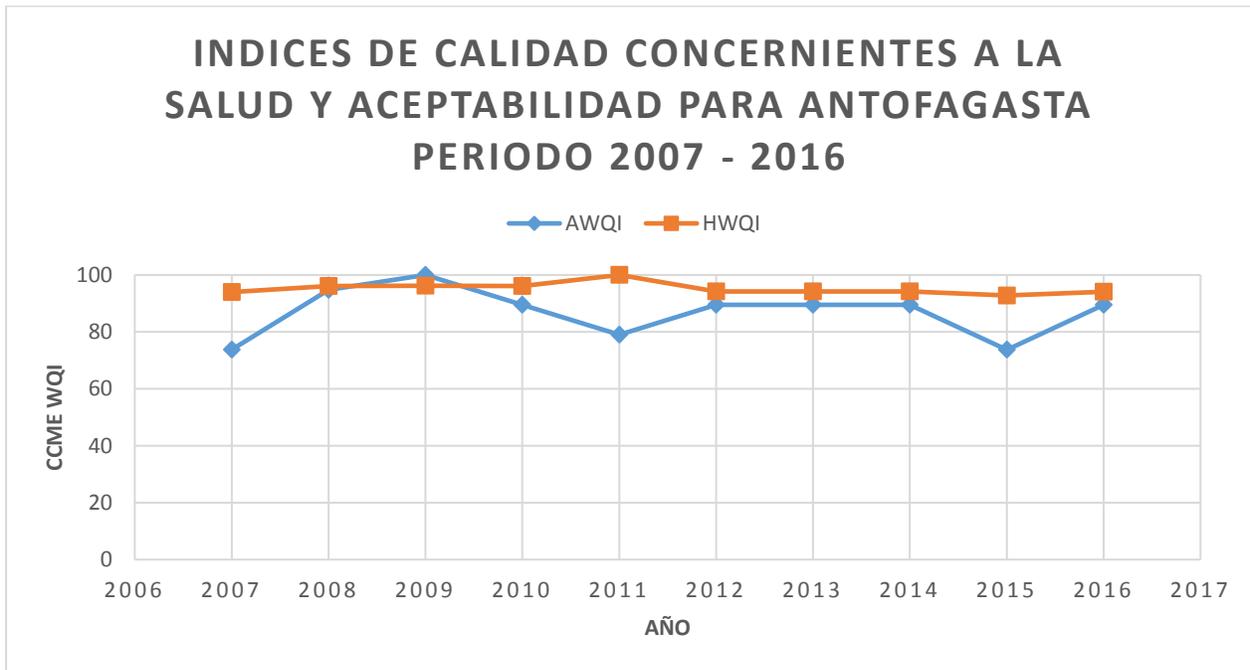
Tabla 17: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2007 - 2016

HWQI		
Año	Valor	Calidad
2007	94	Buena
2008	96,1	Excelente
2009	96,2	Excelente
2010	96,1	Excelente
2011	100	Excelente
2012	94,2	Buena
2013	94,2	Buena
2014	94,2	Buena
2015	92,8	Buena
2016	94,1	Buena

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

En la Figura 17 a continuación se observa la variación anual de ambos índices a lo largo del periodo de estudio, desde el cual se puede apreciar que el índice concerniente a la aceptabilidad presenta valores entre los rangos de 70 y 90 y que se encuentra constantemente por debajo del índice concerniente a la salud, siendo el año 2009 el único donde la valoración final de este fue superior. En cuanto al índice de calidad concerniente a la salud, este presentó valores finales por sobre los 90 a lo largo de todos los años de estudio y obtuvo una valoración perfecta el año 2011.

Figura 17: Comparación AWQI y HWQI 2007 - 2016



Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

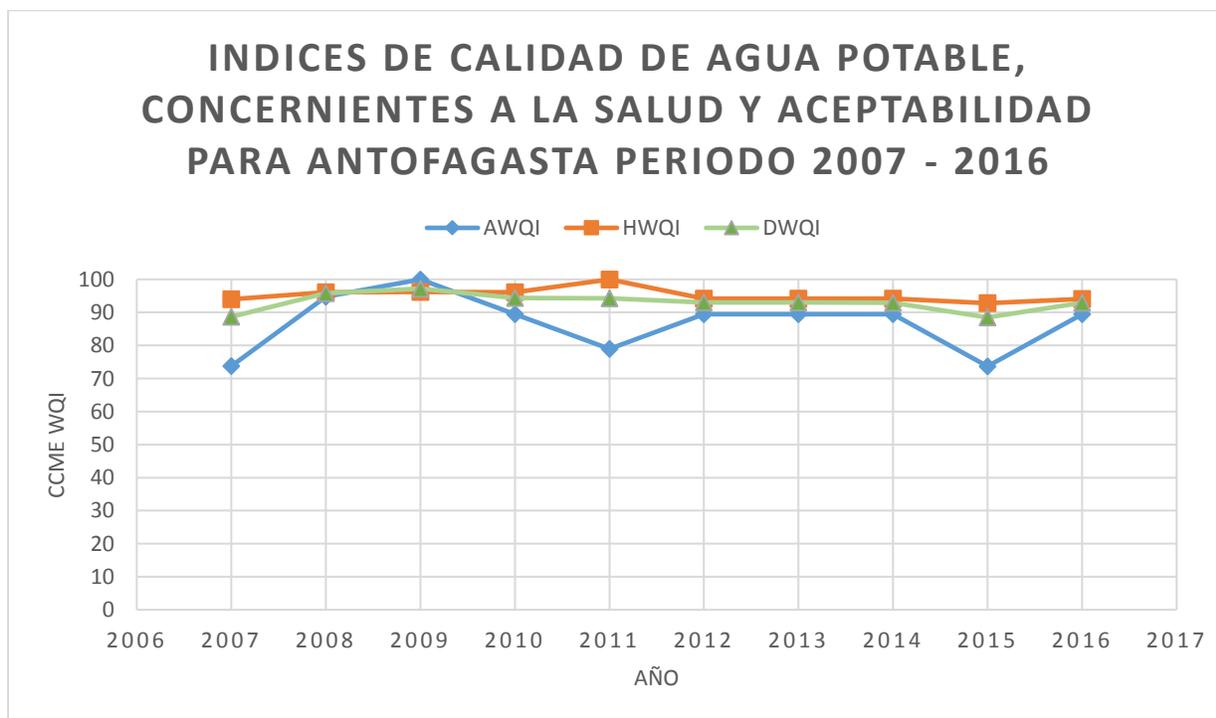
En la Tabla 18 a continuación se puede observar la comparación de los índices con el índice de calidad de agua potable (DWQI), el cual fue calculado con los mismos 41 parámetros y límites objetivos que ambos, con el fin de demostrar el mayor grado de precisión que se obtiene desde los datos al ser utilizados los índices de aceptabilidad y salud respecto a la calidad del cuerpo de agua, ya que se puede determinar como el DWQI resulta ser una ponderación entre el AWQI y el HWQI, apreciable también en la Figura 18. Además, se puede determinar que los años que muestran mayor diferencia entre ambos índices, 2007, 2011 y 2015, el DWQI muestra un valor final más cercano al índice concerniente a la salud.

Tabla 18: Comparación AWQI, HWQI Y DWQI 2007 - 2016

CCME WQI			
Año	AWQI	HWQI	DWQI
2007	73,8	94	88,7
2008	94,8	96,1	95,8
2009	100	96,2	97,2
2010	89,5	96,1	94,4
2011	79	100	94,3
2012	89,5	94,2	93
2013	89,5	94,2	93
2014	89,5	94,2	92,9
2015	73,7	92,8	88,5
2016	89,5	94,1	92,9

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

Figura 18: Comparación AWQI, HWQI Y DWQI 2007 - 2016



Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

Se vuelve necesario el reconocer el que los índices pueden presentar valoraciones finales distintas de las obtenidas si es que la cantidad de parámetros o muestras son cambiadas, como se sostuvo en el estado del asunto, ya que los índices son particularmente sensibles a la cantidad de parámetros y además en el primer objetivo se dio cuenta de que prácticamente la totalidad de las muestras realizadas durante el periodo de estudio correspondieron solamente a 11 parámetros.

Por lo que en la Tabla 19 y Tabla 20 a continuación, se puede apreciar la valoración para ambos índices pero siendo evaluados solamente los 10 parámetros (excluyendo nuevamente la e-coli) para los cuales se realizan un cantidad significativa de muestras durante el periodo de estudio, siendo el AWQI compuesto por el olor, sabor, color verdadero, cloro libre, turbiedad y cloruro, mientras que el HWQI por el arsénico, hierro, fluoruro y coliformes totales.

Tabla 19: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad con solo 6 parámetros 2007 - 2016

AWQI		
Año	Valor	Calidad
2007	42,3	Deficiente
2008	88,5	Buena
2009	100	Excelente
2010	76,9	Justa
2011	53,8	Marginal
2012	76,9	Justa
2013	80,8	Buena
2014	80,8	Buena
2015	51,9	Marginal
2016	80,8	Buena

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

Tabla 20: Resultados Índice de calidad de agua concerniente a la salud con solo 4 parámetros 2007 - 2016

HWQI		
Año	Valor	Calidad
2007	56,7	Marginal
2008	71,1	Justa
2009	71,1	Justa
2010	71,1	Justa
2011	100	Excelente
2012	56,7	Marginal
2013	56,7	Marginal
2014	56,7	Marginal
2015	56,5	Marginal
2016	56,7	Marginal

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007)

El índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad presenta 4 valores en la categoría de buena calidad a lo largo del periodo de estudio, con 2 en las categorías de calidad justa y marginal, y con 1 instancia de excelente calidad y deficiente calidad. Mientras que los valores anuales del índice de calidad de agua concerniente a la salud se presenta valores mayoritariamente (7) en la categoría de marginal, con los años 2008, 2009 y 2010, presentando justa calidad y el 2011 excelente. A partir de estos se puede determinar que los valores pueden presentar largas

variaciones, ya que, si bien se mantienen las tendencias de categorías en ciertos años, estos presentan valores más bajos y para el índice de aceptabilidad existen largas variaciones a lo largo de los años, por lo que se considera necesario mayor refinamiento de los parámetros objetivos una evaluación de la calidad del agua potable de la ciudad de Antofagasta. A continuación se presentan las tablas de calculación y valores anuales obtenidos para ambos índices durante el periodo 2007 - 2016.

#### 4.2.1 Tablas de cálculo AWQI y HWQI 2007-2016

##### Año 2007

Para el año 2007 se evaluaron un total de 9.912 muestras, de las cuales 6.740 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.172 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 73,8 y 94 respectivamente. En la Tabla 21 y Tabla 22 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2007.

Tabla 21: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2007

AWQI 2007					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2007	45,5	0,4	0,6	73,8
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
38,14	0,01	11	6740	26	6714

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017a).

Tabla 22: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2007

HWQI 2007					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2007	10,0	1,4	2,6	94,0
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
85,53	0,03	30	3172	43	3129

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017a).

## Año 2008

Para el año 2008 se evaluaron un total de 10.003 muestras, de las cuales 6.499 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.514 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 94,8 y 96,1 respectivamente. En la Tabla 23 y Tabla 24 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2008.

Tabla 23: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2008

AWQI 2008					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2008	9,1	0,04	0,03	94,8
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
2,07	0,0003	11	6499	3	6496

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017a).

Tabla 24: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2008

HWQI 2008					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2008	6,7	0,1	1,3	96,1
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
47,67	0,01	30	3514	2	3512

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2009

Para el año 2009 se evaluaron un total de 9.946 muestras, de las cuales 6.427 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.519 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 100 y 96,2 respectivamente. En la Tabla 25 y Tabla 26 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2009.

Tabla 25: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2009

AWQI 2009					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2009	0,0	0,0	0,0	100,0
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
0,00	0,00	11	6427	0	6427

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 26: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2009

HWQI 2009					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2009	6,7	0,1	0,0	96,2
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
1,67	0,00	30	3519	3	3516

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2010

Para el año 2010 se evaluaron un total de 10.362 muestras, de las cuales 6.798 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.564 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 89,5 y 96,1 respectivamente. En la Tabla 27 y Tabla 28 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2010.

Tabla 27: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2010

AWQI 2010					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2010	18,2	0,2	0,2	89,5
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
13,57	0,001	11	6798	11	6787

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 28: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2010

HWQI 2010					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2010	6,7	0,2	0,2	96,1
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
6,67	0,001	30	3564	7	3557

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2011

Para el año 2011 se evaluaron un total de 11.223 muestras, de las cuales 7.481 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.742 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 79 y 100 respectivamente. En la Tabla 29 y Tabla 30 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2011.

Tabla 29: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2011

AWQI 2011					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2011	36,4	1,4	1,5	79,0
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
111,73	0,01	11	7481	106	7375

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 30: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2011

HWQI 2011					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2011	0,0	0,0	0,0	100,0
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
0,00	0,00	30	3742	0	3742

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2012

Para el año 2012 se evaluaron un total de 11.324 muestras, de las cuales 7.568 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.172 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 89,5 y 94,1 respectivamente. En la Tabla 31 y Tabla 32 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2012.

Tabla 31: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2012

AWQI 2012					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2012	18,2	0,1	0,2	89,5
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
16,16	0,002	11	7568	11	7557

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 32: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2012

HWQI 2012					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2012	10,0	0,3	0,6	94,2
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
23,00	0,01	30	3756	12	3744

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2013

Para el año 2013 se evaluaron un total de 11.997 muestras, de las cuales 8.129 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 3.868 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 89,5 y 94,2 respectivamente. En la Tabla 33 y Tabla 34 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2013.

Tabla 33: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2013

AWQI 2013					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2013	18,2	0,03	0,1	89,5
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
6,75	0,0008	11	8129	3	8126

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 34: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2013

HWQI 2013					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2013	10,0	0,2	0,5	94,2
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
18,00	0,004	30	3868	9	3859

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2014

Para el año 2014 se evaluaron un total de 13.791 muestras, de las cuales 9.703 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 4.088 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 89,5 y 94,2 respectivamente. En la Tabla 35 y Tabla 36 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2014.

Tabla 35: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2014

AWQI 2014					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2014	18,2	0,4	0,5	89,5
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
46,16	0,004	11	9703	38	9665

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 36: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2014

HWQI 2014					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2014	10,0	0,4	0,8	94,2
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
34,87	0,01	30	4088	15	4073

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2015

Para el año 2015 se evaluaron un total de 14.490 muestras, de las cuales 9.790 fueron evaluadas por el índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad y 4.700 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 73,7 y 92,8 respectivamente. En la Tabla 37 y Tabla 38 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2015.

Tabla 37: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2015

AWQI 2015					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2015	45,5	1,1	1,9	73,7
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
190,26	0,02	11	9790	104	9686

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 38: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2015

HWQI 2015					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2015	10,0	4,5	5,8	92,8
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
290,37	0,06	30	4700	210	4490

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

## Año 2016

Para el año 2016 se evaluaron un total de 15.511 muestras, de las cuales 10.043 fueron evaluadas por el índice de calidad del agua concerniente a la aceptabilidad y 5.468 por el índice de calidad de agua concerniente a la salud, obteniendo una valoración final de 89,5 y 94,1 respectivamente. En la Tabla 39 y Tabla 40 a continuación se pueden apreciar las variables y los valores obtenidos durante la etapa de calculación del CCME WQI para ambos índices durante el año 2008.

Tabla 39: Índice de calidad de agua concerniente a la aceptabilidad 2016

AWQI 2016					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2016	18,2	0,03	0,02	89,5
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
2,87	0,0002	11	10043	4	10039

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

Tabla 40: Índice de calidad de agua concerniente a la salud 2016

HWQI 2016					
Estación	Periodo	F1	F2	F3	CCME
Antofagasta	2016	10,0	1,3	1,2	94,1
Suma de muestras fallidas	Suma Normalizada de excursiones	Número total de variables	Número de muestras	Número de muestras fallidas	Número de muestras aprobadas
67,60	0,01	30	5468	72	5396

Fuente: Elaboración propia en base a UNEP (2007), CCME (2017).

### 4.3 Percepción de la población en cuanto a la calidad del agua potable

#### 4.3.1 Percepción de clientes consumidores de agua potable para la región de Antofagasta 2009 - 2016

A continuación, se puede observar en la Tabla 41 todas las notas anuales promedio del servicio de agua potable para la región de Antofagasta durante el periodo 2009 – 2016, donde se puede apreciar el declive de las notas a lo largo de los años estudio y la predominancia de las notas en el rango de 4 a 5, como también la ausencia de notas promedio para los años 2012 y 2013.

Tabla 41: Notas anuales de satisfacción para el servicio de agua potable para la región de Antofagasta 2009 - 2016

Año	Nota
2009	5,6
2010	4,4
2011	4,8
2012	-
2013	-
2014	4
2015	4,3
2016	4

Fuente: Elaboración propia en base a Aguas Antofagasta (2009-2016).

El año 2009 el estudio presento una nota promedio de 5,6 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el sabor del agua y el precio, ya que un tercio de los clientes los calificaron a ambos atributos con notas entre 1 a 4. En cuanto a los atributos de mayor importancia estos correspondieron a que el agua no afectara la salud por la presencia de químicos, el sabor y el precio.

El estudio del año 2010 presento una nota promedio de 4,4 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el sabor del agua, el precio, la confianza que da para beberla y la presencia de sarro, ya que esto resultan los peor evaluados con notas promedio de 3,7, 3,8, 3,9 y 3,9 respectivamente. Para este año aquellos atributos determinados como los de mayor importancia por los clientes correspondieron al sabor del agua y el que no afecte a la salud por la presencia de químicos.

Durante el año 2011 el estudio presento una nota promedio de 4,8 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el sabor del agua, el precio, la confianza para beber y que no afecta la salud, ya que poseen un 40% de notas entre 1 a 4, mientras que los atributos determinados como de mayor importancia correspondieron a la transparencia o claridad del agua, el sabor del agua, la confianza que le da el agua que bebe en la zona.

Para el año 2012 el estudio no presentó una nota promedio respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados la confianza sobre el agua de la zona que bebe, el sabor del agua, el precio, que no afecta la salud y la producción de sarro, ya que todos estos presentaron por sobre un 60% de notas entre 1 a 4. Mientras que aquellos atributos determinados como de mayor importancia correspondieron a que no afectara la salud, el precio y la confianza.

De la misma forma en el año 2013 el estudio tampoco presentó una nota promedio respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el sabor del agua, el precio, que no afectara la salud, la confianza y la presencia de sarro, ya que todos estos presentaron por sobre un 60% de notas entre 1 a 4. Aquellos atributos determinados de mayor importancia correspondieron a que no afectara la salud, el precio y que produzca sarro o contenga arena.

Para el año 2014 el estudio presentó una nota promedio de 4 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados la confianza en el agua que beben, el que no afecte a la salud a través de la presencia de químicos, el sabor del agua, el precio y el que produzca sarro o contenga arena, ya que todos presentan por sobre un 60% de notas entre 1 a 4. Mientras que aquellos atributos determinados como de mayor importancia correspondieron a que no afectara la salud, el precio y la confianza que le da el agua que se bebe en la zona.

Para el año 2015 el estudio presentó una nota promedio de 4,3 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el precio, que no afecta a la salud, que no produzca o contenga arena, la confianza y el sabor del agua, ya que todos presentan por sobre el 60% de notas entre 4 y 5, lo cual representa insatisfacción para el año 2015. Los atributos determinados como de mayor importancia correspondieron al precio y al sabor del agua.

El estudio del año 2016 presentó una nota promedio de 4 respecto a la percepción de los clientes de la calidad del servicio de agua potable de la región de Antofagasta, siendo los atributos peor evaluados el que no afecte la salud, la producción de sarro o que contenga arena, el precio, la confianza que le da el agua que bebe en la zona, el sabor del agua y el olor, ya que todos poseen una nota promedio por debajo del 4, reflejando insatisfacción por parte de los clientes. Los atributos determinados como de mayor importancia corresponden al que no afecte a la salud, el precio y el sabor.

A partir de esto se puede determinar que aquellos atributos que presentan las peores calificaciones durante el periodo 2009 – 2016 en los estudios de percepción de la calidad del servicio de agua potable para la región de Antofagasta corresponden al sabor del agua, el precio, el que no afecte la salud y a la confianza que se le da al agua que bebe en la zona.

Mientras que los atributos mejor valorados corresponden a la presión general y a la continuidad del suministro de agua potable, ya que poseen a lo largo de todos los años por sobre el 45% de sus notas en el rango de 6 y 7 en los estudios de percepción de la calidad del servicio de agua potable. En cuanto a aquellos atributos de mayor importancia, se puede determinar que a lo largo del periodo de estudio el atributo de mayor importancia identificado por los clientes correspondió a que el suministro de agua potable no afecte la salud de las personas por la presencia de químicos, el sabor del agua, el precio de esta y en menor medida la confianza sobre el agua que bebe en la zona.

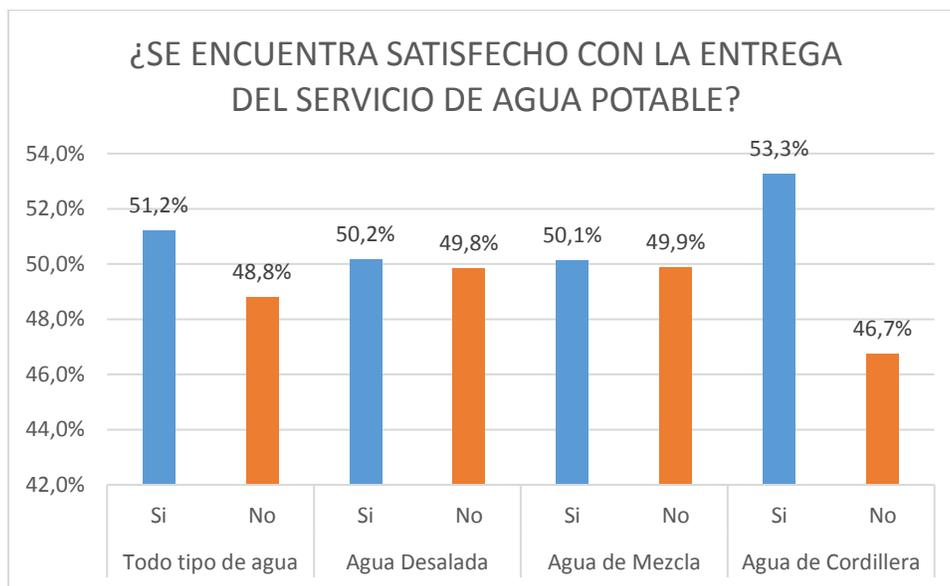
Además, se puede observar la variación en criterios o categorías de notas en los estudios de percepción a lo largo del periodo de estudio, ya que se identifican al menos 3 cambios en el formato de la presentación de los datos, particularmente relevante para el año 2016, lo que dificulta el análisis de la información.

#### 4.3.2 Encuestas de percepción sobre el agua potable año 2016

A continuación, se presentarán los resultados de las preguntas pertinentes a la calidad y la percepción entorno al suministro de agua potable, realizadas en el marco del proyecto FONDECYT N° 1130631 durante el año 2016 que investigaba aspectos de la gestión y uso de agua en la ciudad de Antofagasta. De estas se presentan los resultados de 6 de las preguntas realizadas para determinar la satisfacción y percepción entorno a la calidad del agua potable, su cambio en el tiempo y la planta desalinizadora. Además, se presentan los resultados por el tipo de agua que potable consumen los encuestados.

La primera pregunta corresponde a si es que se encontraban satisfechos con la entrega del servicio de agua potable, para la cual hubo un total 1.111 respuestas validas, donde un 51% respondió que sí, mientras que un 49% que no, evidenciando una opinión prácticamente dividida entorno a la satisfacción con el servicio de la entrega de agua potable. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 19 a continuación se puede observar que por los distintos tipos de agua se mantuvieron los porcentajes en cuanto a la opinión dividida, con aquellos que consumían agua de cordillera presentando una ligera tendencia hacia la opción sí.

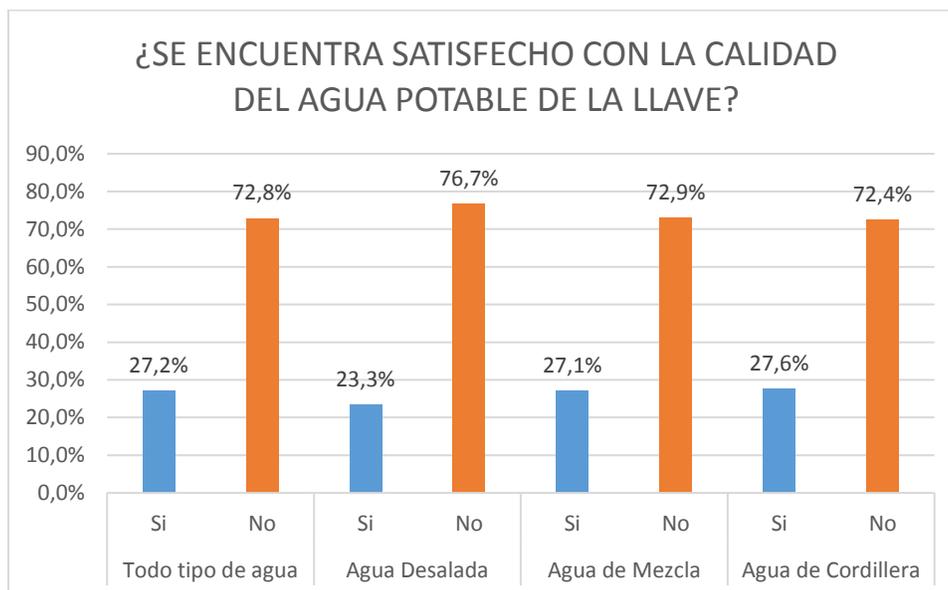
Figura 19: Resultados pregunta ¿Se encuentra satisfecho con la entrega del servicio de agua potable?



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

La segunda pregunta corresponde a si es que se encontraban satisfechos con la calidad del agua potable de la llave, para la cual hubo un total 1.116 respuestas validas, donde un 27,2% respondió que sí, mientras que un 72,8% que no, por lo que predomina la insatisfacción con la calidad del agua de la llave. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 20 a continuación se puede observar que por los distintos tipos de agua se mantuvo la opinión, con aquellos que consumían agua desalada presentando una ligera tendencia hacia la opción no.

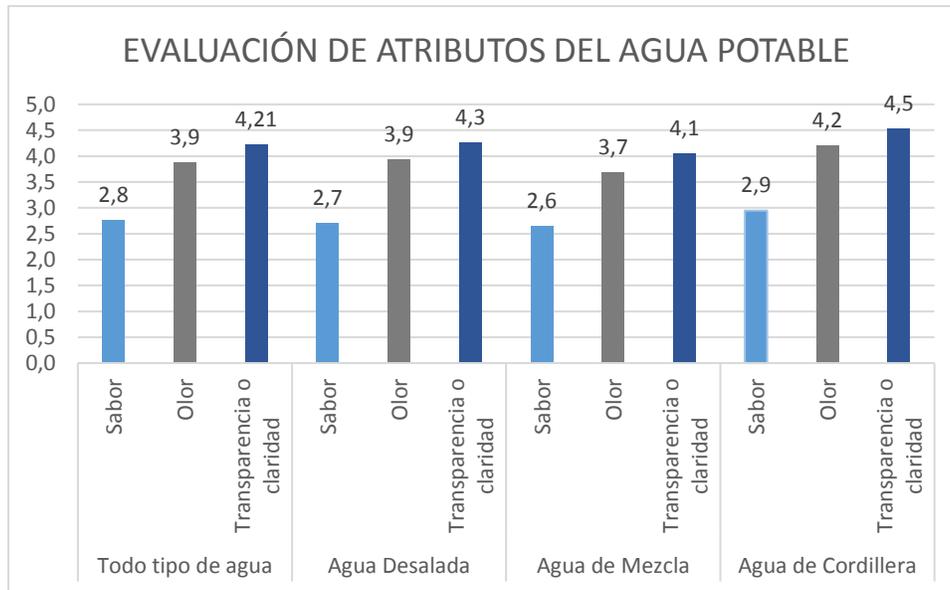
Figura 20: Resultados pregunta ¿Se encuentra satisfecho con la calidad del agua potable de la llave?



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

La tercera pregunta corresponde a las notas entre 1 a 7 de la evaluación de los servicios (sabor, olor, transparencia o claridad) de agua potable, para la cual hubo un total 1.104 respuestas validas, donde el promedio del sabor fue 2,8, para el olor 3,9 y para la transparencia 4,2, por lo que todos los servicios recibieron notas bajas. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 21 a continuación se puede observar que por los distintos tipos de agua las notas fueron similares.

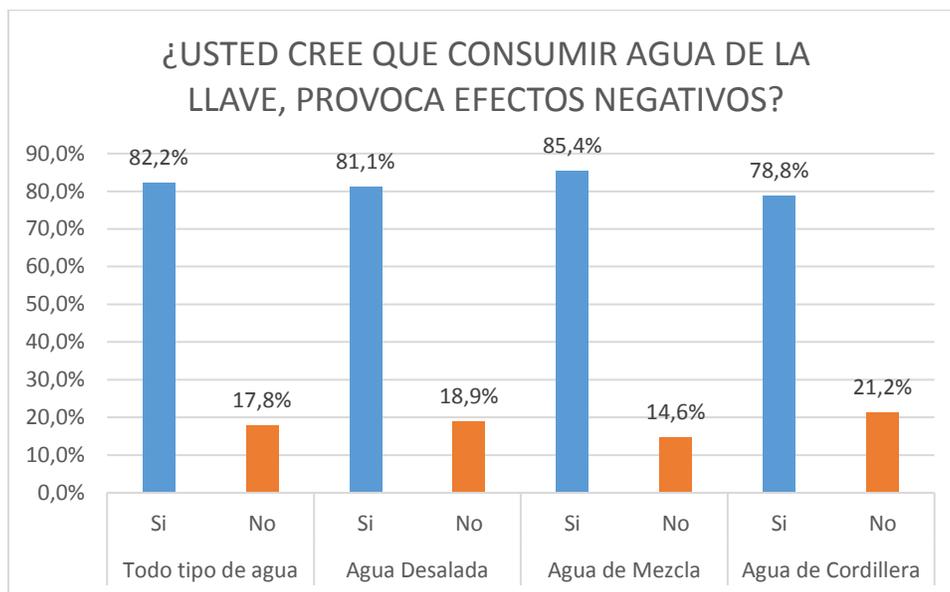
Figura 21: Resultados nota de evaluación de atributos del agua potable



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

La cuarta pregunta corresponde a si es que cree que consumir agua de llave provoca efectos negativos, para la cual hubo un total 1.097 respuestas validas, donde un 82,2% respondió que sí, mientras que un 17,8% que no, por lo que predomina la percepción de que esta provoca efectos negativos. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 22 a continuación se puede observar que por los distintos tipos de agua esta percepción es transversal a lo largo de los encuestados.

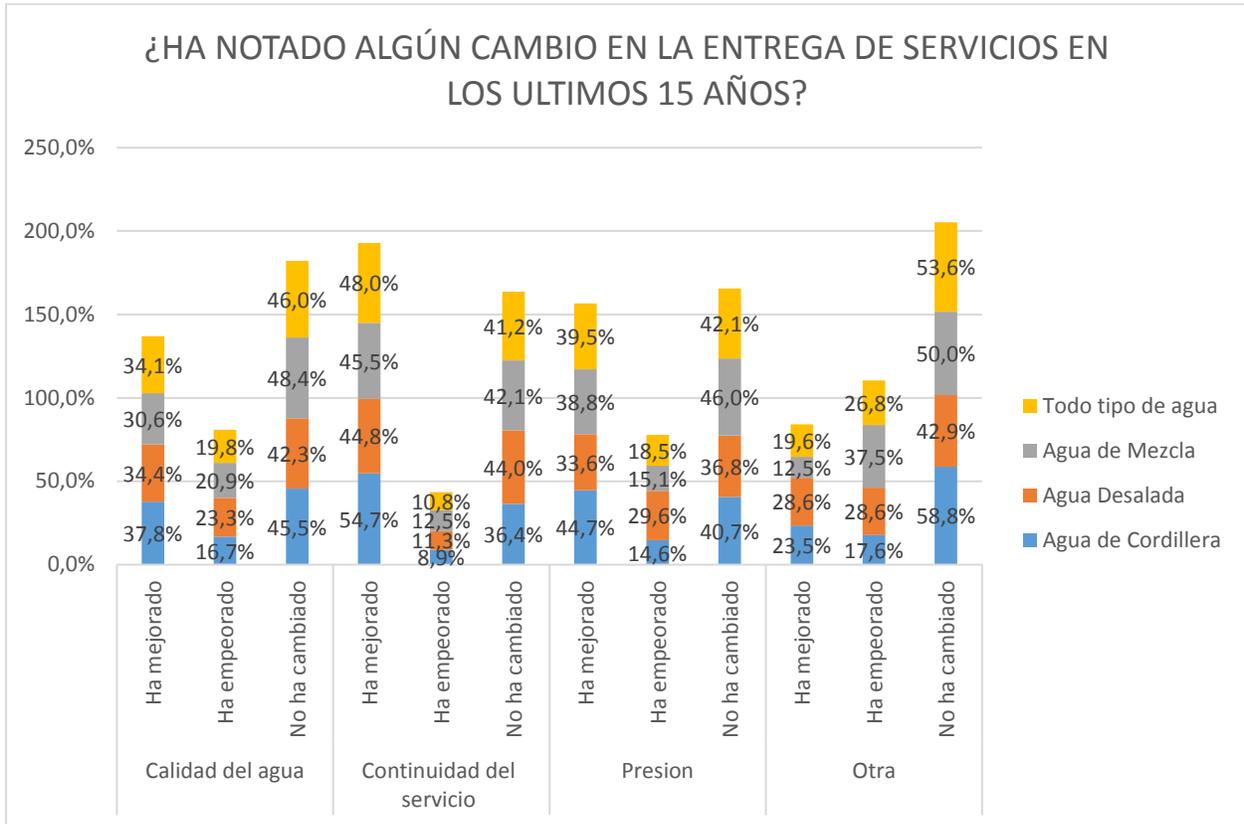
Figura 22: Resultados pregunta ¿Usted cree que consumir agua de la llave provoca efectos negativos?



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

La quinta pregunta corresponde a si es que han notado algún cambio en la entrega de los servicios de agua potable (calidad, continuidad, presión, otra) en los últimos 15 años, para la cual hubo un total 694 respuestas validas, donde por sobre el 40% manifestó que para la calidad, continuidad y presión esta no había cambiado, mientras que por sobre un 30% y hasta un 40%, para el caso de la continuidad, manifestaron que esta había mejorado, mientras que entre un 8% hasta 19% cree que esta ha empeorado, siendo este mayor para el caso de la categoría otra. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 23 a continuación se puede observar que por los distintos tipos de agua las valoraciones son similares, pero con el agua desalada y de mezcla presentan valores más altos en cuanto al empeoramiento de todos los servicios.

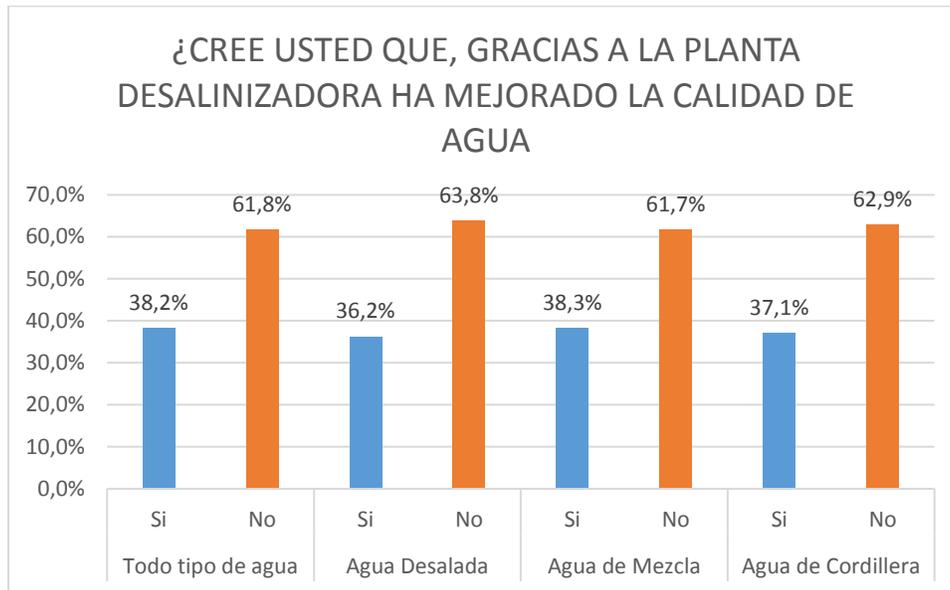
Figura 23: Resultados pregunta ¿Ha notado algún cambio en la entrega de servicios en los últimos 15 años?



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

La sexta pregunta corresponde a si es que cree que gracias a la planta desalinizadora ha mejorado la calidad del agua, para la cual hubo un total 882 respuestas validas, donde un 38,2% respondió que sí, mientras que un 61,8% que no, por lo que la mayoría de los encuestados cree que esta no ha sido beneficiosa para la calidad del agua de Antofagasta. En cuanto al tipo de agua potable que consumían los encuestados, en la Figura 24 a continuación se puede observar que esta creencia se mantiene igual independiente del tipo de agua potable con la que son abastecidos.

Figura 24: Resultados pregunta ¿Cree usted que, gracias a la planta desalinizadora ha mejorado la calidad del agua?



Fuente: proyecto FONDECYT N° 1130631

A partir de las respuestas obtenidas a estas preguntas, se puede determinar que la mayor parte de los encuestados para el año 2016 no se encontraban satisfechos con la calidad del agua potable que reciben en Antofagasta, ya que manifestaban fuertemente la creencia de que consumir el agua de llave puede crear problemas, además en cuanto a la valoración de las características organolépticas todas fueron mal evaluadas (al igual que en las encuestas de percepción), sin embargo, presentan una opinión dividida en torno a la satisfacción con la entrega del servicio.

A pesar de esto, en cuanto a si es que han notado cambios en los últimos 15 años, la mayoría de los encuestados (70%) manifestó que no esta no había cambiado o había mejorado en todas las categorías evaluadas, siendo significativo el empeoramiento en la categoría otra. Finalmente, en se puede observar que dos tercios de los encuestados creen que la planta desalinizadora no ha mejorado la calidad del agua potable en Antofagasta.

A partir de todas las preguntas se puede establecer que no existen mayores diferencias en cuanto a las respuestas entregadas por los encuestados a partir de los tipos de los distintos tipos de agua potable que consumen, ya que se da cuenta de que estos presentan mínimas diferencias porcentuales lo largo de todas las preguntas, por lo que la percepción de los habitantes en cuanto a la calidad del agua potable a lo largo de Antofagasta es transversal a lo largo de los distintos tipos de agua potable suministrada.

## CAPITULO 5: DISCUSION Y CONCLUSIONES

### 5.1 Discusión

#### 5.1.1 El panorama de la calidad del agua potable en Antofagasta

El análisis y evaluación de los datos de calidad de agua potable de Antofagasta a partir de la normativa chilena de calidad de agua para el periodo 2007 - 2016, revelan que la calidad del agua potable de Antofagasta ha sido aceptable, sin embargo, nacen inquietudes desde las particularidades y tendencias detectadas para algunos de los parámetros y los procedimientos de muestreo, esto basado en los resultados obtenidos respecto al número de muestras realizadas y su distribución en sectores a lo largo de la ciudad, como también de la relación de estos con los distintos tipos de agua potable suministradas a la ciudad (INN, 2006a).

Esto se ejemplifica con la cantidad de muestras realizadas para los parámetros importantes o de relevancia para la salud, ya que, si bien por normativa sólo se requieren 2 muestras anuales para estos, para algunos parámetros (arsénico, hierro y fluoruro) fueron realizadas más de 400 muestras anuales durante todo el periodo de estudio (INN, 2006a). Lo mismo ocurre para los parámetros relativos a las características organolépticas (sabor, olor, color, etc.) ya que para estos también se necesitan solo 2 muestras anuales por normativa, pero para los parámetros de olor, sabor, color verdadero y cloruro, se realizaron por sobre 400 muestras anuales, solamente desde el año 2013 en adelante para el cloruro, durante todo el periodo de estudio (INN, 2006a).

Lo anterior da cuenta de una diferencia abismante entre la cantidad de muestras que se le realizan a ciertos parámetros de un mismo tipo sin criterio que lo justifique, resulta paradójico cuestionarse la mayor cantidad de muestras realizadas para asegurar la calidad del agua, ya que si bien es positivo un mejor control, esto se puede deber a la cantidad de análisis a los que se somete a una misma muestra, lo que ocurre también con los parámetros e.coli y coliformes totales debido a la prácticamente idéntica cantidad de muestras presentes y la correspondencia perfecta en términos de sectores y fechas para ambos parámetros.

La mayoría de las muestras efectuadas para Antofagasta entre los años 2007 y 2016 fueron realizadas en sectores de agua potable de mezcla (53,96%), seguido por el agua de cordillera (39,02%) mientras que una cantidad ínfima de estos fueron realizadas en sectores de agua desalada (7,02%), sin embargo, debido a que el suministro está compuesto en un 85% por agua desalada y que esta domina con los sectores de mezcla, esto se ve balanceado.

En cuanto a la relación entre incumplimientos, número de muestras realizadas y los distintos tipos de agua potable suministrada a lo largo de la ciudad de Antofagasta, se pudo determinar que el sector con la mayor cantidad de muestras correspondió a uno de agua de cordillera (16), el cual duplica o triplica el número de muestras, con respecto a los otros sectores.

Este sector, paradójicamente, presentó una cantidad menor de incumplimientos en relación a la cantidad de muestras, por lo que se estima, que este corresponda a uno de especial importancia en cuanto a la evaluación de la calidad del agua para la ciudad, ya que predominan las muestras para los parámetros de cloro libre, turbiedad, hierro y arsénico, todos de especial importancia para la salud. Sin embargo, debido a la baja cantidad de incumplimientos totales en la ciudad de Antofagasta, no se puede determinar una relación directa entre los incumplimientos y los tipos de agua potable presentes, se puede argumentar que existen ciertos patrones, ya que resulta que los incumplimientos de parámetros organolépticos se encuentran concentrados hacia la zona centro y norte, al igual que la mayor parte del muestreo, siendo evidencia de esto los problemas organolépticos generados por la micro alga durante el año 2011 y reflejada en la evaluación de calidad.

Los distintos tipos de agua potable abastecidas en Antofagasta parecen corresponder a grandes rasgos con la segregación socioeconómica existente en la ciudad, ya que como se pudo apreciar para el norte de la ciudad predominan los estratos de más bajos ingresos, los cuales reciben exclusivamente agua potable desalada, mientras que, para la zona sur, de población de ingresos altos o medios altos solamente son suministrados de agua de cordillera, mientras que aquellos sectores de ingresos medios, ubicados principalmente en la zona centro, reciben principalmente agua de mezcla y de cordillera, como se pudo determinar a partir de segregación determinada en Toro et al. (2018).

Sin embargo, no se puede determinar si es que corresponde a una coincidencia o a una planificación deliberada en cuanto a la manera en que se distribuyen los tipos de agua potable a lo largo de la ciudad de Antofagasta, ya que en primer lugar el suministro de agua desalada domina la zona norte debido a que la planta se encuentra en este sector, por lo que el agua emitida por esta es provee aquellos sectores que se encuentran más cercanos, por lo que no debería sorprender la dominancia de este tipo de agua a lo largo de las zonas norte y centro norte. Además, la población de estratos más bajos a lo largo del farellón costero se encuentra bajo la influencia de agua de cordillera en su mayoría.

Los tipos de agua potable presentes en aquellos sectores relevantes a partir del análisis y evaluación (9, 16, 17, 23, 25 y 18) presentaron una distribución relativamente equitativa en cuanto a los sectores que abastecen, ya que uno corresponde a desalada (9), dos a agua de cordillera (16 y 23) y tres de mezcla (17, 25 y 28), ubicándose en la zona central y norte de Antofagasta principalmente, los cuales son resaltados a partir del número de muestras totales, distribución de los parámetros y el número de incumplimientos presentes, pero requiriendo mayor información y seguimientos para determinar las posibles diferencias en la calidad del agua potable en estos sectores. Además, se pueden determinar ciertas correlaciones con los estanques de distribución de agua potable, ya que en primer lugar la zona sur, suministrada de agua de cordillera, se ve abastecida de un mayor número de estanques que la zona centro y norte, y que para el sector 16 existe una relación directa con el estanque de distribución ubicado en el, ya que el sector se sobrepone con la zona del

estanque en un 100%, pero se requiere de información actualizada en cuanto a estos para determinar con exactitud la relación, esto debido a los cambios en la red en cuanto a la cantidad y tipos de agua potable suministrados durante los últimos años.

En la actualidad el veredicto respecto a la seguridad del agua desalada como fuente de agua potable se encuentra dividido, ya que se reconoce que esta puede no representar una calidad óptima para el consumo humano, a causa de las posibles deficiencias en la cantidad de contenido mineral, afectando el rol nutricional del agua potable, y a los problemas en cuanto a características organolépticas, los que afectan la percepción de esta como fuente de agua segura (Oron et al., 2013; Flora et al., 2018).

A partir de los autores Oron et al. (2013) y Kushawa et al. (2013), se identificaron ciertos elementos esenciales a los cuales se les debe prestar especial atención en aquellas zonas en la que el suministro de agua potable consista en parte o completamente de agua desalada desde agua de distintas fuentes (salina, salobre, etc.). Esto es a causa de que la población que consume agua desalada o destilada puede recibir una menor cantidad de nutrientes en comparación a quienes consumen desde fuentes tradicionales de agua, por lo que los consumidores de agua potable desalada se encuentran en desventaja si es que se encuentra en un contexto de deficiencia dietética previo (Cotruvo et al., 2011).

Esto se debe a que para el caso del agua potable desalada se requiere tener cuidado especial en cuanto a los micronutrientes presentes en el agua potable y que se ven removidos por el proceso de desalado, reconociéndose la importancia de estos y su relación con la salud de elementos como el flúor, calcio, cobre, selenio, magnesio, sodio y zinc (WHO, 2005; Cotruvo et al., 2011; Oron et al., 2013). De los elementos esenciales más relevantes identificados por los autores en los suministros de agua potable que ocupan agua desalada son el calcio y magnesio, pero solamente el magnesio es considerado por la normativa chilena, y se realizan 2 muestras anuales para este, muy por debajo de las recomendaciones hechas en WHO (2005).

Sumado a lo anterior, también se reconoce el hecho de que existe una asociación entre el arsénico y la nutrición, ya que la nutrición ayuda a la prevención y desarrollo de enfermedades relacionadas al arsénico, como la bronconeumonía, lesiones cutáneas y distintos tipos de cáncer, enfermedades con una fuerte presencia en Antofagasta (Ferrecio et al., 2006; Steinmaus et al 2013; Flora et al., 2018). Entre los elementos identificados como de importancia para esto se encuentran el magnesio, calcio, selenio y zinc, de los cuales ninguno es evaluado correctamente a partir de las recomendaciones bibliográficas, ya que ninguno presenta contenido mineral mínimo (Kushawa et al., 2013; Flora et al., 2018).

Por lo que en el caso de Antofagasta esto no se está cumpliendo, ya que bajo la eventualidad de que existiera un menor contenido mineral en el agua potable de la ciudad, se podría estar afectando a la salud de la población a través de varias dimensiones, ya que no solo afectaría su nutrición,

sino que también podría estar afectando a aquella población aquejada por los problemas del arsénico (Flora et al., 2018). Esto supondría una doble carga sobre la población de la ciudad.

Desde este punto, se podría argumentar que no existe cumplimiento de las recomendaciones bibliográficas en cuanto al contenido mineral del agua potable desalada por parte de la normativa chilena, ya que no se están considerando los lineamientos específicos para los tratamientos de desalación de agua potable, especificando el contenido mínimo de elementos esenciales y sólidos disueltos totales, por lo que esta presenta una gran falencia al no hacer diferenciaciones entre los distintos requerimientos de cada fuente de agua potable (WHO, 2005; Cotruvo et al., 2011; Oron et al., 2013).

Por lo que la ciudad se encuentra en una encrucijada en cuanto al tipo de agua que puede utilizar para su suministro de agua potable, ya que por un lado se encuentra el agua de cordillera, la que aun arrastra con el estigma de no ser una fuente confiable de agua para una parte de la población, particularmente a causa de los problemas de salud relacionados a la alta carga de arsénico en el suministro de agua potable. Mientras que por otro lado se encuentra el agua desalada, la cual presenta problemas con las características organolépticas (olor, sabor, color, turbidez, etc.) y puede presentar problemas relacionados al bajo contenido mineral, el cual puede ocupar un rol negativo para los desenlaces de salud y la recuperación de enfermedades relacionadas con el arsénico, de extrema relevancia para la ciudad. Sin embargo, cabe recalcar que independiente de las actitudes ante el agua desalada o de cordillera, la ciudad de Antofagasta cubrirá su red de agua potable desalada en un 100% a futuro, por lo que es imperativo el tomar resoluciones en torno a esto.

A partir de esto se determina que la componente de salud, como fue definida en esta investigación, no está siendo respetada bajo el actual contexto de consumo de agua potable para la ciudad de Antofagasta, ya que por un lado no es evaluada correctamente a partir de las recomendaciones bibliográficas y de los distintos autores en cuanto al contenido mineral mínimo que debe poseer de ciertos elementos esenciales, mientras que por otro lado puede estar afectando la salud tanto directa como indirectamente, a través de sus efectos en la recuperación por los problemas de arsénico o en el diario vivir de las personas a través de los problemas organolépticos en la red.

#### 5.1.2 índices de salud y aceptabilidad y el contexto de sus resultados

En cuanto a la evaluación de la calidad de agua potable a través de los índices de calidad de agua concernientes a la aceptabilidad y la salud, se puede observar que la valoración obtenida de la normativa chilena tiene limitaciones inherentes, como se explicó en los capítulos anteriores, sin embargo, ambos índices presentaron valores entre los rangos de buena calidad y excelente de forma consistente.

Pero también se debe reconocer la existencia de limitantes a partir de la información disponible, ya que en primer lugar se considera problemático el tener que ponderar parámetros con cientos de muestras anuales con aquellos con solo 2 muestras anuales, por lo que se reconoce la realidad de

que los valores anuales para ambos índices presentarían valores notoriamente más bajos si es que fuesen evaluados a partir de una menor cantidad de parámetros, ya que como se mencionó en la metodología, el número de parámetros afecta particularmente la calculación de los índices (UNEP, 2007).

Por otro lado, se determina a partir de esto que el caso podría ser el inverso, es decir, parámetros que tengan solamente 2 muestras anuales, pero que presenten incumplimientos en ambas, podrían empujar la valoración anual hacia abajo, siendo estos menos representativos de la realidad, lo cual no puede ser comprobado para el caso de Antofagasta, ya que ningún parámetro que fue muestreado 2 veces al año presentó instancias de incumplimiento a lo largo de todo el periodo de estudio.

Sin embargo, la valoración del AWQI es consistentemente menor que la del HWQI, y si es que se consideran las condiciones (parámetros y objetivos) bajos los que se evalúan ambos índices, el que se presenta en desventaja es el de la aceptabilidad, ya que está compuesto por una menor cantidad de parámetros, lo cual juega un mayor rol en la calculación del índice, como se presentó en el capítulo metodológico, a pesar de que está compuesto por una mayor cantidad de muestras que el índice concerniente a la salud (UNEP, 2007).

Esto también explicaría la tendencia del índice de calidad de agua potable (DWQI) de presentar una valoración similar al índice concerniente a la salud, ya que este empujaría la valoración más alta. A pesar de reconocer esta limitación en la metodología, en conjunto con las consideraciones sobre el mínimo de muestras a realizar, particularmente relevante para aquellos parámetros con solos 2 muestras anuales, se decidió no remover parámetros de los índices, ya que no existen recomendaciones bibliográficas para ningún otro parámetro en especial, solamente para los coliformes totales y la e-coli a causa del tipo de muestreo, y también porque al ser necesario el elegir una normativa o guía de lineamientos para la calculación de los índices, en este caso la normativa chilena de calidad de agua potable, el eliminar parámetros sin justificación afectaría la evaluación de los índices.

En síntesis, los índices utilizados para evaluar la calidad del agua presentan limitaciones debido a las deficiencias de la normativa chilena y a las propias limitaciones metodológicas de los índices.

Por lo que si bien a partir de los índices se puede asumir que la valoración para la calidad del agua potable para Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 se encuentra en un buen estado, se reconoce que estos son solo una imagen parcial, a causa de las limitantes en cuanto al uso de la normativa chilena para reflejar la calidad, incluso al ser dividida en dos índices, y que además se requiere de un mayor refinamiento en cuanto a los parámetros a utilizar para los índices, a partir de las condiciones y características del agua potable de Antofagasta.

Esto debido a que la evaluación de los índices no pudo ser realizada a partir de los distintos tipos de agua potable a causa de múltiples razones, la primordial consiste en que al no poseerse las

coordenadas específicas para cada una de estas, se debe recaer en los sectores para determinar el tipo de agua con que es abastecida, sin embargo, esto conlleva otro problema, ya que existe una gran disparidad entre el número de parámetros que realizaron muestras a largo de todos los sectores, por lo que la valoración se vería particularmente afectada a partir de la diferencia en el número de parámetros, todo esto sin mencionar la gran discrepancia en el número de muestras entre cada tipo de agua potable, lo cual imposibilitaría aún más la posibilidad de evaluar.

A partir de esto se determinó llevar a cabo una valoración secundaria solamente evaluando aquellos parámetros que dominaron el número de muestras realizadas, a partir de esta valoración se pudo contrastar la diferencia de calidad del agua potable al presentar un número de parámetros parejos y con una muestra suficiente, ya que la valoración de la calidad de agua potable para Antofagasta disminuyó notoriamente.

### 5.1.3 Percepción del agua potable en Antofagasta

Se determinó en el estado del asunto que la población puede jugar un rol activo en el cuidado de la calidad de los suministros de agua, ya que la percepción corresponde a uno de los principales factores a evaluar para complementar los análisis de calidad, debido a que los cambios organolépticos suelen ser indicadores de perturbaciones con el suministro de agua potable (Doria et al., 2010). Estos pueden ser evidencia de contaminación o de un mal funcionamiento del sistema de tratamiento de agua, por lo que la aceptabilidad representa un indicador de la posible presencia de sustancias peligrosas y debe ser investigado (Cotruvo et al., 2011; WHO, 2017).

A partir de esto se puede manifestar que para el caso de Antofagasta la percepción sobre el agua potable no está siendo considerada correctamente para las evaluaciones de la calidad, según las recomendaciones en Doria et al., (2010) y en Cotruvo et al., (2011), como también aquellas hechas por la OMS, ya que a pesar de que esta se presenta de forma negativa a lo largo de todo el periodo de estudio, principalmente en cuanto a la calidad y a la valoración de los parámetros organolépticos relevantes bajo el contexto de un suministro potable de agua desalada, estas evaluaciones de la percepción no son integradas realmente a la evaluación final de la calidad del agua potable, ya que estas son consideradas sólo en la evaluación de satisfacción de clientes de las propias empresas sanitarias y no integradas a la evaluaciones de calidad de la SISS.

Por otro lado, se reconoce la dificultad de evaluar la calidad del agua, en particular la percepción, debido a que corresponde a un tema de carácter multifactorial, ya que como se evidencio en Doria (2006) en cuanto al consumo de agua embotellada y en Fragkou & McEvoy (2016) para el caso de Antofagasta, la percepción negativa para la ciudad no se debe solamente al rechazo por el agua potable desalada por su calidad o los posibles problemas a la salud, sino que también por los problemas históricos con el arsénico, la desconfianza institucional y el marketing de las empresas embotelladoras, ya que se reconoce que el agua embotellada que consumen los habitantes es en su inmensa mayoría agua potable sujeta a procesos adicionales.

Como fue evidenciado en las encuestas de percepción de los clientes de agua potable y en aquellas encuestas realizadas en el año 2016, la población de la región y ciudad presenta altos índices de insatisfacción con el agua potable suministrada, concentrados en su mayoría en los problemas organolépticos del suministro, sin embargo, a partir de las encuestas realizadas durante el año 2016, no se evidencian diferencias sustantivas en cuanto a la percepción de la población a partir de los distintos tipos de agua potable suministrada, si no que la misma valoración se encontró presente de forma transversal a lo largo de la ciudad.

Por otro lado, se pueden extender críticas para la evaluación de la percepción de los clientes de las empresas sanitarias, ya que en primer lugar estas son realizadas a nivel regional, volviendo difícil cualquier tipo de diferenciación a otra escala (comuna, provincia, ciudad), el número de clientes entrevistados a lo largo del periodo de estudio resulta un universo pequeño a nivel regional y además los periodos de terreno son realizados el año posterior al que se desea evaluar. Pero se puede manifestar a partir de esto que los estudios de percepción se demuestran ineficientes en cuanto a su alcance para complementar la evaluación de la calidad de los distintos tipos de agua potable presentes.

Por lo que pareciera que existe una suerte de disociación cognitiva en cuanto a la real valorización de las encuestas de percepción sobre la calidad del agua potable, ya que a pesar de que estas llevan más de una década entregando valores bajos en cuanto a la calidad, parámetros organolépticos e insatisfacción general con la calidad del agua potable por parte de la población, están no resultan consideradas por la institucionalidad y las evaluaciones de la calidad del agua potable, ya que, de otra forma, hubiesen ocurrido cambios a partir de los problemas evidenciados para el agua potable de Antofagasta y estas no seguiría arrastrando hasta el día de hoy estos problemas.

## 5.2 Conclusiones

A partir del análisis y evaluación de la calidad del agua potable de Antofagasta, se puede concluir que el agua potable para la ciudad se encontró entre los márgenes aceptables determinados por la normativa chilena durante el periodo 2007 - 2016, ya que presentó una baja cantidad de incumplimientos en relación a la cantidad total de muestras realizadas. Sin embargo, ésta presenta claras falencias, ya que si bien ésta sigue los principales lineamientos internacionales en torno a lo que se estima como agua potable “óptima” y considera aquellos parámetros más relevantes para su inocuidad, la normativa chilena evalúa una menor cantidad de elementos en comparación a normativas más estrictas, no establece límites mínimos para elementos esenciales y la percepción de los habitantes y/o consumidores no es correctamente considerada para la evaluación de la calidad del agua.

De los 42 parámetros evaluados, 10 parámetros concentraron el 99,5% de las muestras realizadas durante el periodo de estudio, mientras que los 31 restantes ni siquiera fueron muestreados a lo largo de todos los sectores, si no que todos comparten muestras en exactamente los mismos sectores, pero debido a la baja cantidad de muestras realizadas para estos, resulta difícil el determinar una mayor relación del muestreo de estos parámetros con los distintos tipos de agua potable. Además, solamente 9 de estos concentraron prácticamente la totalidad de los incumplimientos, de los cuales destacan el hierro (48,09%) y el cloro (17,05%), sin embargo, se detectaron una cantidad menor pero consistente de incumplimientos respecto a la distribución de las muestras a lo largo de la ciudad para varios parámetros. Además, existen particularidades no especificadas por la normativa en cuanto al número de muestras realizadas para ciertos parámetros, presentando algunos 400 muestras (arsénico, olor, hierro, sabor, etc.), mientras que otros solo las 2 muestras mínimas (cobre, magnesio, zinc, etc.)

Las zonas suministradas de distintos tipos de agua potable en la ciudad presentan diferencias en términos del total de muestras, presentando el agua de mezcla el mayor volumen de muestras realizadas con un 53,96%, mientras que el agua de cordillera presentó un 39,02% de las muestras, mientras que aquellas de agua desalada solamente un 7,02%. Sin embargo, se debe aclarar que el agua de mezcla corresponde en mayor proporción a agua desalada, por lo que a pesar de que se realicen una cantidad menor de muestras a estas, se ven equilibradas y el agua potable desalada domina la mayor parte de la red de agua de Antofagasta.

A excepción del sector 16 de agua de cordillera ubicado en la zona centro Oriente de la ciudad, el cual presenta un notoria cantidad por sobre el resto de los sectores, y las diferencias para los parámetros de hierro, arsénico, cloro libre y turbiedad presentes en los sectores 9, 16, 17, 23, 25 y 28, para los cuales hubo cierta correspondencia entre el tipo de agua y los problemas asociados, como por ejemplo los incumplimientos de olor y sabor para el agua desalada del sector 9 y la exorbitante cantidad de muestras de arsénico para el sector 16, de agua de cordillera.

En síntesis, existen ciertos indicios respecto a la relación entre los tipos de agua presente y la percepción identificada, lo que se demuestra en el caso de los incumplimientos de los parámetros organoléptico, particularmente para el año 2011, relacionado a los problemas de la planta desaladora y la predominancia de muestras de arsénico para los sectores de agua de cordillera, siendo la permanente percepción negativa un importante indicador de posibles problemas presentes en la red de agua potable de Antofagasta, lo cual entra en directa oposición con la evaluación de la calidad, pero que se ve apoyado a partir de las particularidades presentes en términos de muestreo a lo largo de los sectores de distintos tipos de agua potable. Sin embargo, se debe mantener presente que la percepción negativa de la población en cuanto a la calidad del agua potable es una realidad continua a lo largo de Antofagasta.

Por lo que la investigación realizada permite observar que existen evidencias de ciertas diferencias a lo largo de la red de agua potable de la ciudad de Antofagasta a partir de los distintos tipos de agua, pero no se pueden determinar con exactitud las diferencias en la calidad a lo largo de la ciudad, por lo que se recomienda un mayor seguimiento para determinar concretamente la relación.

La evaluación a través del índice de global de calidad de agua potable determino que, para aquellos parámetros relevantes para la salud, los valores del índice fluctuaron entre las categorías de excelente y buena, mientras que para el índice concerniente a la aceptabilidad los valores se encontraron entre las categorías de buena y justa durante los años 2007 – 2016. Pero se considera que estos requieren de lineamientos específicos para ser aprovechados al máximo, ya que se reconoce que el número de muestras y la cantidad de parámetros evaluados por la normativa chilena empujaron las valoraciones más arriba, por lo que se reconoce que bajo objetivos más específicos o bajo una normativa más estricta la valoración sería menor.

En términos de la percepción del suministro de agua potable, los estudios de percepción de los clientes realizados entre los años 2009 y 2016 dan cuenta del aumento sostenido de la insatisfacción con la calidad del agua potable para la región de Antofagasta, ya que presentaron notas promedio de cercanas al 4 a lo largo de la mayoría del periodo de estudio. En cuanto a las encuestas realizadas en el marco del FONDECYT N° 113063, éstas dan cuenta de un panorama similar, en el que la calidad del servicio de agua potable es mal valorada, principalmente las características organolépticas del suministro de agua, pero las cuales se presentan de forma transversal a lo largo de los distintos tipos de agua potable abastecida. Esta investigación permite concluir sobre la necesidad a futuro de fortalecer nuestra normativa de calidad de agua, la que debe ser más incluyente en cuanto a los parámetros que fiscaliza, especialmente relevante bajo el contexto de consumo de agua desalada, ya que los últimos estudios en cuanto a la calidad y uso del agua desalada como suministro de agua potable revelan que esta puede no ser una óptima fuente de agua potable.

Pero la especial relevancia que tiene uso de agua desalada como fuente de agua potable para la ciudad de Antofagasta se ve determinada a partir de los problemas de contaminación con arsénico,

ya que se considera un hecho preocupante la posibilidad de que se esté suministrando agua potable de un bajo contenido mineral a una ciudad con un historial de problemas de arsénico, los cuales se han extendido por más 40 años, cuyas enfermedades, desarrollo y tratamiento relacionadas al arsénico se ven afectadas por el consumo de elementos esenciales y micronutrientes presentes en el agua, los cuales no son debidamente evaluados por la normativa chilena, particularmente el calcio y el magnesio, debido a su notada relación con la salud, pero también siendo relevantes el zinc y selenio para el tema del arsénico, los cuales reciben un mínimo muestreo a lo largo del periodo de estudio. Por lo que se considera que es necesario prestar especial atención al contenido mineral del agua potable de Antofagasta, independiente de su fuente.

De acuerdo a lo anterior, a partir de la experiencia en la ciudad de Antofagasta se puede manifestar que la normativa no puede evaluar suministros de agua potable desalada ni sus características específicas, por lo que se recomiendan ajustes en términos del número de parámetros y límites acorde a la investigación científica actual sobre la desalación como fuente de agua potable, ya que la ciudad será abastecida en el futuro en un 100% de agua potable desalada.

Por lo que se concluye que la calidad del suministro de agua potable para la ciudad de Antofagasta durante el periodo 2007 – 2016 se encuentra en los márgenes aceptables determinados por la normativa chilena, ya que presentó una cantidad menor de incumplimientos, cuyos límites son levemente sobrepasados y una distribución anormal en cuanto al número de muestras realizadas para ciertos parámetros, lo cual, si bien no resulta un problema, deja la normativa abierta a interpretaciones.

Sin embargo, el problema central evidenciado en esta investigación, es la deficiente capacidad de la normativa chilena de regular la cantidad y distribución de muestreos que permitan vigilar de manera óptima la calidad del agua. Cómo también la deficiente capacidad de regulación de la norma al agua potable desalada utilizada en las últimas décadas, lo que evidencia la necesidad imperante de una nueva legislación que incluya las particularidades de este tipo de suministro de agua potable, el cual permitirá un mejor control no solo para la ciudad de Antofagasta, sino que también para la población en Chile bajo el panorama de estrés hídrico y la proliferación de las plantas desalinizadoras como una nueva fuente de agua potable.

## BIBLIOGRAFIA

ALARY, M., PATOUX, J., & POURRUT, P. (1998). Sagara: Sistema de ayuda a la gestión del agua en la región de Antofagasta. *Bull. Inst. fr. études andines*, 27(3), 355-365. [En línea] <[http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/27\(3\)/355.pdf](http://www.ifeanet.org/publicaciones/boletines/27(3)/355.pdf)> Consulta: 8 de octubre, 2015.

BLINKEY, J., SÁNCHEZ, R., SARZOSA, E., MONTGOMERY, R., & MONTER, E. (2003). Planta desalinizadora de Antofagasta (CH-0171) informe de impacto ambiental y social. Banco Interamericano de desarrollo. Julio 2003. Consulta: 6 de octubre, 2015.

BORGONÑO, JM., VICENT, P., VENTURINO, H., & INFANTE, A. (1977). Arsenic in the Drinking Water of the City of Antofagasta: Epidemiological and Clinical Study before and after the Installation of a Treatment Plant. *Environmental Health Perspectives* Vol. 19, pp. 103-105. [en línea] <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1637404/pdf/envhper00485-0102.pdf> > Consulta: 9 de octubre, 2015.

COTRUVO, J. VOUTCHKOV, N. FAWELL, J. PAYMENT, P. CUNLIFFE, D. LATTEMANN, S. (2011). *Desalination Technology: Health and environmental impacts*. Consulta: 5 de octubre, 2015.

FERRER, G., & BALLESTER, A. (2014) *La importancia social del agua: intereses y valores en juego*. fundacion Nueva cultura del agua. Consulta: 9 de octubre, 2015.

GREENLEE, F., LAWLER, D., FREEMAN, B., MARROT, B., & MOULIN, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology and today's challenges. *ELSEVIER, water research* 43 (2009) 2317–2348. Consulta: 6 de octubre, 2015.

MARTIN, F., & SHANCHEZ, J. (2002). Planta desaladora de Antofagasta: un impacto positivo al medio ambiente. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Madrid, 13 – 14 feb. Consulta: 13 de octubre, 2015.

LATTEMANN, S., & HÖPNER, T. (2007). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *ELSEVIER, Desalination*. Consulta: 6 de octubre, 2015.

MINISTERIO DE SALUD. UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. (2010). Encuesta Nacional de Salud ENS Chile 2009 – 2010 [en línea] <<http://web.minsal.cl/portal/url/item/bcb03d7bc28b64dfe040010165012d23.pdf>> Consult a: 7 de octubre, 2015.

MOE, C., & RHEINGANS, R. (2006). Global challenges in water, sanitation and health. *Journal of Water and Health*, 04.Supp 2006 [En línea] < <http://www.ircwash.org/sites/default/files/Moe-2006-Global2.pdf>> Consulta: 8 de octubre, 2015.

DORIA, M. F. (2006). Bottled water versus tap water: understanding consumers' preferences. *Journal of Water and Health*, 4(2), 271–276.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2011). Safe drinking-water from desalination. [En línea] <[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70621/1/WHO\\_HSE\\_WSH\\_11.03\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70621/1/WHO_HSE_WSH_11.03_eng.pdf)> Consulta: 6 de octubre, 2015.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR, BUREAU OF RECLAMATION. (2003). Desalination and water purification technology roadmap: A report of the executive comitee. *Desalination & Water Purification Research & Development Program Report #95*. Consulta: 7 de octubre, 2015.

WILSON, C. (2011). Method 3 of 100: Freelisting. [En línea] < <http://dux.typepad.com/dux/2011/01/this-is-the-third-in-a-series-of-100-short-articlesabout-ux-design-and-evaluation-methods-todays-method-is-called-freeli.html>> Consulta: 15 de octubre, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2005). Nutrients in Drinking Water. [En línea] < [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/nutrientsindw.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/nutrientsindw.pdf)> Consulta: 6 de octubre, 2015.

MARCH, H. (2015). The politics, geography, and economics of desalination: a critical review. *WIREs Water* 2015, 2:231–243. doi: 10.1002/wat2.1073. Consulta: 20 de octubre, 2015.

REVISTA TECNICOS MINEROS. (2016). Antofagasta: Ampliación de desaladora dejó 85% de la ciudad abastecida con agua de mar. 17 noviembre 2016. [en línea]

<<http://www.revistatecnicosmineros.com/2016/11/antofagasta-ampliacion-de-desaladora-dejo-85-de-la-ciudad-abastecida-con-agua-de-mar/>> Consulta: 30 de febrero, 2017.

HUNTER, PR., MACDONALD, AM., & CARTER, RC. (2010). Water Supply and Health. PLoS Med 7(11): e1000361. doi:10.1371/journal.pmed.1000361. Consulta: 20 de octubre, 2015.

AHUMADA, G. (2014). ARSÉNICO EN EL AGUA POTABLE: UNA PREOCUPACIÓN A NIVEL GLOBAL. Revista AIDIS, Octubre 2014. [En línea] < <http://www.aidis.cl/files/revista-mayo/GAhumada-Arsenico2014.pdf>> Consulta: 22 de octubre, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (2007). División Político Administrativa y Censal. SÍNTESIS GEOGRÁFICA DE LA REGIÓN DE ANTOFAGASTA. Consulta: 27 de febrero, 2016.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANTOFAGASTA 2013 - 2022 (2013). Plan de desarrollo comunal de Antofagasta. Consulta: 27 de febrero, 2016.

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL (2013). Reportes Estadísticos Comunes 2012. [en línea] <[http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Antofagasta#Indicadores\\_econ.C3.B3micos](http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Antofagasta#Indicadores_econ.C3.B3micos)> Consulta: 27 de febrero, 2016.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE ANTOFAGASTA. (2016). Historia. [en línea] <<http://www.municipalidadantofagasta.cl/index.php/2013-05-09-15-13-34/historia>> Consulta: 27 de febrero, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (2006a). Norma chilena de calidad de agua Nch409/01. [en línea] <<http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>> Consulta: 17 de febrero, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (2006b). Norma chilena de calidad de agua Nch409/02. [en línea] < <http://www.ecosoft.cl/clientes/Kupfer/documents/NCh00409-02-2004.pdf>> Consulta: 17 de febrero, 2016.

BOYD, DAVID (2006). The water we drink: An international comparison of drinking water

quality guidelines [en línea] < <http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2006/DSF-HEHC-water-web.pdf> > Consulta: 18 de febrero, 2016.

SAFE DRINKING WATER FOUNDATION. (2009a). Purpose of Drinking Water Quality Guidelines/Regulations. [en línea] < <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/purposeguidelinesregulations> > Consulta: 15 de febrero, 2016.

SAFE DRINKING WATER FOUNDATION. (2009b). Drinking water quality and health. [en línea] < <https://static1.squarespace.com/static/583ca2f2d482e9bbbef7dad9/t/5876a68de6f2e1b3ddbcf9d6/1484170895051/Drinking+Water+Quality+and+Health.pdf> > Consulta: 15 de febrero, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2007). Chemical safety of drinking-water: Assessing priorities for risk management. [en línea] < [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43285/1/9789241546768\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43285/1/9789241546768_eng.pdf) > Consulta: 17 de febrero, 2016.

INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA CHILENA. (2015). Radiación. [en línea] < [http://www.ispch.cl/oirs/SIAC\\_2007/siac.php?page=R&respuesta=RADIACIONES&cod=134](http://www.ispch.cl/oirs/SIAC_2007/siac.php?page=R&respuesta=RADIACIONES&cod=134) > Consulta: 16 de febrero, 2016.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (2008). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP, 37(2–4). Consulta: 20 de febrero, 2016.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY (1999). RADON IN DRINKING WATER: Questions and Answers. Octubre, 1999. Consulta: 22 de febrero, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2011). Safe drinking-water from desalination. [en línea] <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/desalination\\_guidance\\_en.pdf/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/desalination_guidance_en.pdf/)> Consulta: 18 de febrero, 2016.

WORLD WILDLIFE FUND. (2007). Making Water Desalination: option or distraction for a thirsty world? Consulta: 18 de febrero, 2016.

ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. (2016). Table of regulated water drinking water

contaminants. Octubre, 1999. Consulta: 25 de febrero, 2016. [en línea] < <http://www.epa.gov/your-drinking-water/table-regulated-drinking-water-contaminants>> Consulta: 17 de febrero, 2016.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. (2007). Manual de métodos de ensayo para agua potable. [en línea] < [http://www.siss.cl/577/articles-9648\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.cl/577/articles-9648_recurso_1.pdf)> Consulta: 1 de mayo, 2017.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. (2017). Control de calidad agua potable. [en línea] < <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-4371.html>> Consulta: 21 de octubre, 2015.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. (2018). Informes anuales de cobertura de clientes de servicios sanitarios 2007 - 2016. [en línea] < <http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3445.html>> Consulta: 21 de octubre, 2015.

SHENKIN, A. (2006). [en línea] Micronutrients in health and disease < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2585731/>> Consulta: 19 de febrero, 2016.

RAMESH, A., BLANCHET, K., ENSINK, J.H.J., & ROBERTS B. (2015). Evidence on the Effectiveness of Water, Sanitation, and Hygiene (WASH) Interventions on Health Outcomes in Humanitarian Crises: A Systematic Review. PLoS ONE 10(9): e0124688. doi:10.1371/journal.pone.0124688. Consulta: 18 de febrero, 2016.

ENCUESTA NACIONAL DE SALUD. (2010). Encuesta Nacional de Salud ENS Chile 2009 – 2010. Consulta: 20 de febrero, 2016.

EDUCAR CHILE. (2013). Ficha tematica Region de Antofagasta. [en línea] < <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=130256>> Consulta: 24 de febrero, 2016.

HIDALGO, R., DE MATTOS, C., & ARENAS, F. (2009). Chile: del país urbano al país metropolitano. Consulta: 10 de mayo, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2006). Principales causas de muerte en Chile 1997 - 2003. [en línea]

<[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/estadisticas\\_vitales/pdf/causas\\_de\\_muerte\\_regiones%202003.PDF](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/estadisticas_vitales/pdf/causas_de_muerte_regiones%202003.PDF)> Consulta: 26 de febrero, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2010). Sistema de demografía y estadísticas vitales. [en línea] < [http://palma.ine.cl/demografia/SELECCION\\_HVITALES2.aspx](http://palma.ine.cl/demografia/SELECCION_HVITALES2.aspx)> Consulta: 26 de febrero, 2016.

OBSERVATORIO DE CONFLICTOS MINEROS DE AMÉRICA LATINA. (2013) Los contaminantes del agua en Antofagasta [en línea] < <http://www.conflictosmineros.net/contenidos/9-chile/12666-los-contaminantes-del-agua-en-antofagasta>> Consulta: 28 de febrero, 2016.

FERRECCIO, C., & SANCHA, A. (2006). Arsenic Exposure and Its Impact on Health in Chile. Consulta: 27 de febrero, 2016.

PIZARRO, I., ROMAN, S., & SOLAR, C. (2012). Presencia de altos niveles de arsénico en tejidos cardiovasculares de pacientes de áreas contaminadas en Chile. Revista Chilena de Cardiología - Vol. 31 Número 1, abril 2012. Consulta: 27 de febrero, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2002). Arsenic: mass poisoning on an unprecedented scale World. viernes 22 de marzo 2002. [en línea] < [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/71243/1/feature\\_206.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/71243/1/feature_206.pdf)> Consulta: 27 de febrero, 2016.

ARROYO, A. (2005). El arsenico y la segunda región de Chile. Rev. Fac. Med. Odontol. - Univ. Antofagasta Vol I (1): 20 – 28. [en línea] < [https://www.uantof.cl/docs/doc/revista\\_Vol1\\_numero1.pdf](https://www.uantof.cl/docs/doc/revista_Vol1_numero1.pdf)> Consulta: 19 de febrero, 2016.

FRASER B. (2012). Cancer cluster in Chile linked to arsenic contamination. www.thelancet.com Vol 379 february 18, 2012. Consulta: 28 de febrero, 2016.

PIZARRO, I., ROMAN, S., & SOLAR, C. (2013). Niveles de elementos traza en tejidos cardiovasculares de pacientes sometidos a cirugía cardíaca en la región de Antofagasta, Chile. Revista Chilena de Cardiología - Vol. 32 Número 3, diciembre 2013. Consulta: 28 de febrero, 2016.

EL MOSTRADOR. (2016). Colegio médico exige fiscalización y transparencia respecto a la calidad del agua potable en Antofagasta. [en línea] <

<http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2016/02/16/colegio-medico-exige-fiscalizacion-y-transparencia-respecto-a-la-calidad-del-agua-potable-en-antofagasta/> > Consulta: 29 de febrero, 2016.

SOYCHILE. (2014). Advierten sobre graves patologías por la contaminación por metales pesados en Antofagasta. [en línea] <<http://www.soychile.cl/Antofagasta/Sociedad/2014/01/14/225654/Advierten-sobre-graves-patologias-por-la-contaminacion-por-metales-pesados-en-Antofagasta.aspx>> Consulta: 28 de febrero, 2016.

CARMONA, A. (2011). El mapa del cáncer en Antofagasta. [en línea] <<http://www.elmostrador.cl/noticias/pais/2011/11/10/el-mapa-del-cancer-en-antofagasta/>> Consulta: 27 de febrero, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2007). División político administrativa y censal, 2007 DPA, 2007. Subdirección Técnica, Departamento de Infraestructura Estadística y Censos. [en línea] <[http://historico.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/territorio/division\\_politico\\_administrativa/pdf/DPA\\_COMPLETA.pdf](http://historico.ine.cl/canales/chile_estadistico/territorio/division_politico_administrativa/pdf/DPA_COMPLETA.pdf)> Consulta: 12 de febrero, 2017.

MIGUEL DE FRANCA DORIA. (2010). Factors influencing public perception of drinking water quality. Water policy. Division of Water Sciences, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Unesco) [en línea]<<http://wp.iwaponline.com/cgi/doi/10.2166/wp.2009.051>> Consulta: 14 de mayo, 2017.

DELPLA, I., JUNG, A.-V., BAURES, E., CLEMENT, M., & THOMAS, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environment International, volumen 35, noviembre 2009. Consulta: 12 de junio, 2017.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. (2016). Atlas del agua – 2016 Chile, Capítulo 4, Gestión del agua. [en línea] <<http://www.dga.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte4-17marzo2016b.pdf>> Consulta: 29 de agosto, 2017.

CHAKRABARTY, N. (2015). Arsenic Toxicity: Prevention and Treatment. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. Consulta: 27 de febrero, 2016.

FLORA, S.J., & SHARMA, A. (2018) Nutritional management can assist a significant role in alleviation of arsenicosis. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. Enero, 2018. [en

línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0946672X17306740>> Consulta: 31 de marzo, 2016.

MARSHALL, G., FERRECCIO, C., YUAN, Y., BATES, M.N., STEINMAUS, G., SELVIN, S., LIAW, J., & SMITH, A.H. (2007). Fifty-year study of lung and bladder cancer mortality in Chile related to arsenic in drinking water. *Journal of the National Cancer Institute*, volumen 99, Jun 20, 2007. Consulta: 25 de noviembre, 2016.

KARAGIANNIS, I.C., & SOLDATOS, P.G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. Presented at the conference on Desalination and the Environment. Sponsored by the European Desalination Society and Center for Research and Technology Hellas (CERTH), Sani Resort, Halkidiki, Greece, April 22–25, 2007. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0011916407008843> > Consulta: 26 de diciembre, 2016.

GREENE, V.W. (2001). Personal hygiene and life expectancy improvements since 1850: Historic and epidemiologic associations; Presented at the Institut Pasteur Euroconference, “Hygiene and Health,” Paris, France, January 25-27, 2001. *American Journal of Infection Control*. Consulta: 27 de febrero, 2017.

MEHTA, L., ALLOUCHE, J., NICOL, A., & WALNYCKI, A. (2013). Global environmental justice and the right to water: The case of peri-urban Cochabamba and Delhi. *Geoforum*, volumen 54. Julio, 2014. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016718513001309>> Consulta: 27 de mayo, 2016.

SUŠNIK, J., & VAN DER ZAAG, P. (2017). Correlation and causation between the UN Human Development Index and national and personal wealth and resource exploitation. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. Vol. 30, no. 1, 1705–1723. [en línea] <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1331677X.2017.1383175>> Consulta: 3 de octubre, 2017.

COZ, F., FERNÁNDEZ, M. I., & LOPEZ, F. VIVALDI, B. (2012) Long-Term Impact of Arsenic in Drinking Water on Bladder Cancer Health Care and Mortality Rates 20 Years After End of Exposure. *The Journal of Urology*. Vol. 187, marzo 2012. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002253471105508X>> Consulta: 23 de mayo, 2017.

UNEP GEMS/Water Program (2007). Report: Global drinking water quality index development and sensitivity analysis. United Nations Environmental Program Global Environmental Monitoring System (Gems)/Water Program. [en línea] <<http://www.gemswater.org/publications/pdfs/gwqi.pdf>> Consulta: 20 de febrero, 2016.

STEINMAUS, C.M., FERRECCIO, C., ROMO, A., YUAN, Y., CORTES, S., MARSHALL, G., MOORE, L.E., BALMES, J.R., LIAW, J., GOLDENT, T., & SMITH, A.H. (2013). Drinking Water Arsenic in Northern Chile: High Cancer Risks 40 Years after Exposure Cessation. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*. Vol.22. [en línea] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3848421/>> Consulta: 27 de enero, 2016.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIROMENT. (2017b). Synthesis of research and application of the CCME Water Quality Index, 2017. Canadian Council of Ministers of the Enviroment, Winnipeg, Manitoba, Canadá. [en línea] <[https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water\\_quality/Synthesis%20of%20Research%20and%20Application%20of%20the%20CCME%20Water%20Quality%20Index%202017.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/Synthesis%20of%20Research%20and%20Application%20of%20the%20CCME%20Water%20Quality%20Index%202017.pdf)> Consulta: 7 de mayo, 2017

WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2017). Guidelines for drinking-wáter quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. [en línea] <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/)> Consulta: 12 de agosto, 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006). Constitution of the world health organization Basic Documents, Forty-fifth edition, Supplement, October 2006. [en línea] <[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/drinking-water-quality-guidelines-4-including-1st-addendum/en/)> Consulta: 19 de junio, 2016.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIROMENT. (2017a). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update. Canadian Council of Ministers of the Enviroment, Winnipeg, Manitoba, Canadá. [en línea] <[http://www.ccme.ca/files/Resources/water/water\\_quality/WQI%20Manual%20EN.pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/water/water_quality/WQI%20Manual%20EN.pdf)> Consulta: 7 de febrero, 2017.

LUMB, A., SHARMA, T.C., & BIBEALUT, J-F. (2011). A Review of Genesis and Evolution of

Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Quality, Exposure and Health* Received: 31 December 2010 / Revised: 28 February 2011 / Accepted: 28 February 2011 / Published online: 25 March 2011. [en línea] <<http://link.springer.com/10.1007/s12403-011-0040-0>> Consulta: 2 de febrero, 2017.

ABASSI, T., & ABASSI, S.A. (2012). *Why Water-Quality Indices*. Elsevier Science & Technology Books. 2012. [en línea] <<http://international.scholarvox.com/book/88812064>> Consulta: 16 de abril, 2016.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS. (2017). *Estudios de percepción de clientes de la calidad del servicio de las empresas sanitarias 2009 - 2016, Informe Final Aguas Antofagasta – Región de Antofagasta*. [en línea] <<http://www.siss.gob.cl/577/w3-propertyvalue-3452.html>> Consulta: 22 de noviembre, 2017.

ORON, G., AVNI, N., & EBEN-CHAIME, M. (2013). Optimizing desalinated sea water blending with other sources to meet magnesium requirements for potable and irrigation waters. *Water Research*, Vol.40. Consulta: 28 de enero, 2016.

KUSHWAHA, A.S., & VERMA, K.C. (2013). Demineralization of drinking water: Is it prudent? *Medical Journal Armed Forces India*. Vol.70. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377123713002074>> Consulta: 27 de febrero, 2016.

NRIAGU, J., DARROUDI, F., & SHOMAR, B. (2016). Health effects of desalinated water: Role of electrolyte disturbance in cancer development. *Environmental Research*. Vol.150. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935116302109>> Consulta: 18 de octubre, 2017.

SHOMAR, B., & HAWARI, J. (2017). Desalinated drinking water in the GCC countries – The need to address consumer perceptions. *Environmental Research*. Vol. 158. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935117311842>> Consulta: 27 de septiembre, 2017.

MARNEWICK, A., MHLONGO, S., & MATIVENGA, P. (2017). Water quality in a mining and water-stressed region. *Journal of Cleaner Production*. Vol.171. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617323211>> Consulta: 7 de octubre, 2017.

CANTER, L.W., NELSON, D.I., & EVERETT, J.W. (1992). Public Perception of Water Quality Risks-Influencing Factors and Enhancement Opportunities. *Journal of Environmental Systems*. Vol.22. [en línea] <<http://www.portico.org/Portico/article?article=pgk5sx4f56>> Consulta: 13 de junio, 2016.

DOLNICAR, S., & SCHÄFER, A. (2008). Desalinated versus recycled water: Public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*. Vol. 90. Consulta: 28 de abril, 2017.

ABBOT, P., TURMOV, S., & WALLACE, C. (2005). Health world views of post-soviet citizens. *Social Science & Medicine*. Vol. 62. [en línea] <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0277953605002522>> Consulta: 27 de febrero, 2017.

LA TERCERA. (2011). Onemi activa plan de contingencia en suministros básicos tras corte de agua en Antofagasta. [en línea] <<http://www.latercera.com/noticia/onemi-activa-plan-de-contingencia-en-suministros-basicos-tras-corte-de-agua-en-antofagasta/>> Consulta: 29 de febrero, 2016.

EL MERCURIO. (2016). Suministro de agua potable fue restablecido en Antofagasta tras cinco días de corte. [en línea] <<http://www.emol.com/noticias/nacional/2011/03/05/468318/suministro-de-agua-potable-fue-restablecido-en-antofagasta-tras-cinco-dias-de-corte.html>> Consulta: 29 de marzo, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2017a). Informe anual de medioambiente 2017. Instituto Nacional de Estadísticas: Subdirección Técnica. Unidad Estadísticas Medioambientales. Departamento de Comunicaciones e Imagen Corporativa. [en línea] <<http://www.ine.cl/docs/default-source/publicaciones/2017/informe-anual-de-medio-ambiente-2017.pdf?sfvrsn=7>> Consulta: 12 de febrero, 2017.

GOBIERNO REGIONAL DE ANTOFAGASTA. (2014). Gobierno regional de Antofagasta. Plan regional de gobierno 2014 – 2018. [en línea] <[https://www.goreantofagasta.cl/goreantofagasta/site/artic/20161006/asocfile/20161006165641/plan\\_regional\\_de\\_gobierno\\_2014\\_2018.pdf](https://www.goreantofagasta.cl/goreantofagasta/site/artic/20161006/asocfile/20161006165641/plan_regional_de_gobierno_2014_2018.pdf)> Consulta: 29 de mayo, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. (2017b) Instituto nacional de estadísticas, Resultados definitivos encuestas de población 2017. [en línea] <[http://www.ineantofagasta.cl/contenido.aspx?id\\_contenido=13](http://www.ineantofagasta.cl/contenido.aspx?id_contenido=13)> Consulta: 29 de mayo, 2017

BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. (2012). Biblioteca del congreso nacional de Region de Antofagasta, Chile. [en línea] <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region2>> Consulta: 25 de julio, 2016.

TSUJI, J., PEREZ, V., GARRY, M., & ALEXANDER, D. (2014). Association of low-level arsenic exposure in drinking water with cardiovascular disease: A systematic review and risk assessment. *Toxicology*. Vol. 323. Consulta: 22 de febrero, 2016.

FRAGKOU, M. C., & MCEVOY, J. (2016). Trust matters: Why augmenting water supplies via desalination may not overcome perceptual water scarcity. *Desalination*, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.007>. Consulta: 2 de mayo, 2018.

INTERNATIONAL DESALINATION ASSOCIATION. (2018). Desalination by the numbers. [en línea] <<http://idadesal.org/desalination-101/desalination-by-the-numbers/>> Consulta: 9 de octubre, 2018.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. (2016). Desalination – Past, Present and Future. [en línea] <<http://www.iwa-network.org/desalination-past-present-future/>> Consulta: 9 de octubre, 2018.

MONSALVE TAPIA, T., FRAGKOU, M. C., & UNIVERSIDAD DE CHILE. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. (2018). (In)seguridad hídrica a nivel doméstico : Análisis multidimensional en el caso de la ciudad de Antofagasta. Santiago. Consulta: 2 de mayo, 2018.

TORO, F., & OROZCO, H. (2018). Concentración y homogeneidad socioeconómica: representación de la segregación urbana en seis ciudades intermedias de Chile. *Revista de Urbanismo*, 38, 1-21. <http://dx.doi.org/10.5354/07175051.2018.48834> Consulta: 2 de mayo, 2018.

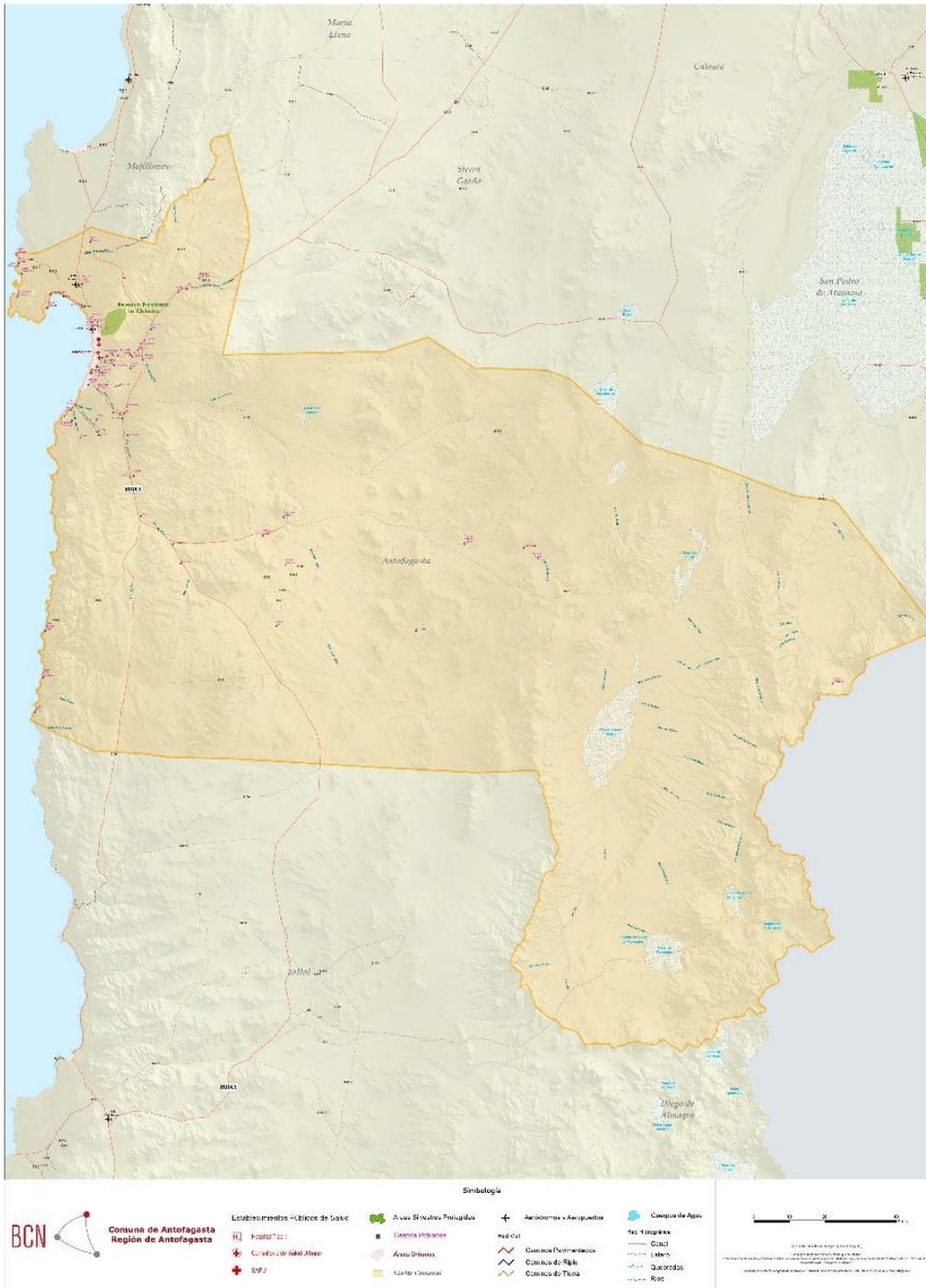
## ANEXOS

Anexo 1: Estanques, tipos y distribución de agua potable para la ciudad de Antofagasta

ESTANQUE/SECTOR	CONSUMO [m3/año]	Agua desalada [m3/año]	Agua cordillera [m3/año]	% agua desalada	% agua cordillera
La Chimba	3.550.948	3.550.948	0	100%	0%
Bonilla	4.968.489	4.022.409	946.080	81%	19%
Balmaceda	803.635	0	803.635	0%	100%
Prat	1.529.723	0	1.529.723	0%	100%
El Salto	400.789	0	400.789	0%	100%
Ancla	3.352.815	2.564.415	788.400	76%	24%
Centro	2.182.501	0	2.182.501	0%	100%
Alto Gran Vía	145.150	0	145.150	0%	100%
Amarillos	4.165.562	3.377.162	788.400	81%	19%
Independencia	950.368	0	950.368	0%	100%
Sur	1.584.097	0	1.584.097	0%	100%
Pob. Bulnes	13.612	0	13.612	0%	100%
<b>TOTAL [m3/año]</b>	<b>23.647.688</b>	<b>13.514.933</b>	<b>10.132.755</b>	57,2%	42,8%

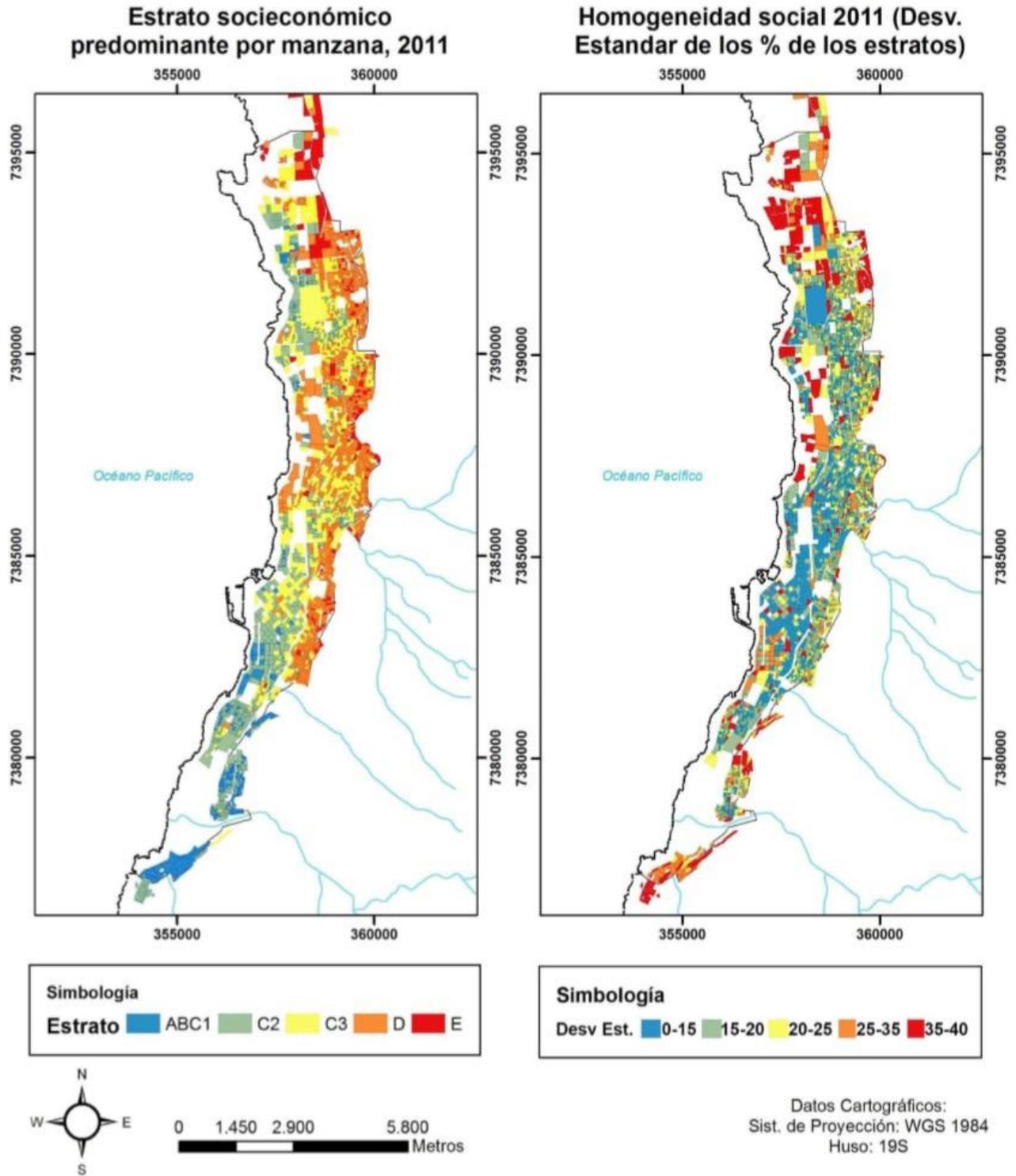
Fuente: Aguas Antofagasta, 2014

Anexo 2: Áreas urbanas comuna de Antofagasta



Fuente: Biblioteca del congreso nacional, 2012

Anexo 3: Estratos socioeconómicos predominantes y homogeneidad social a lo largo de Antofagasta 2011



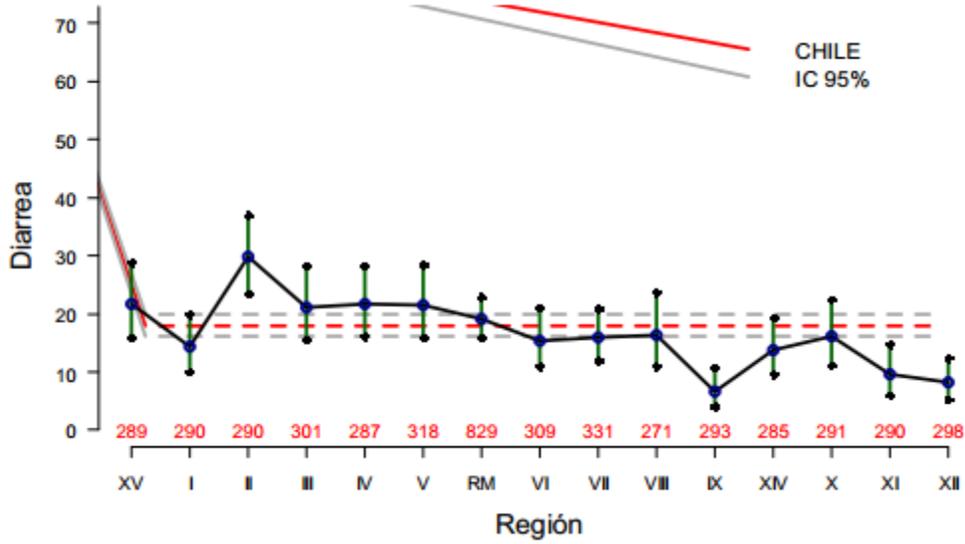
Fuente: Toro et al. (2018)

Anexo 4: Temas de salud evaluados e instrumentos de medición ENS 2009 - 2010

Nº	TEMA DE SALUD	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		
		ENCUESTA	MEDICIÓN BIOFÍSICA	TEST LABORATORIO
1	Presión arterial elevada	X	X	
2	Dislipidemia	X		X
3	Estado nutricional	X	X	
4	Diabetes	X		X
5	Exposición a tabaco	X		
6	Consumo de alcohol y problemas relacionados	X		X
7	Consumo de sal			X
8	Consumo de alimentos protectores	X		
9	Actividad física	X	X	
10	Síndrome metabólico	X	X	X
11	Daño hepático crónico	X		X
12	Riesgo cardiovascular	X	X	X
13	Enfermedad cardiovascular	X		
14	Síntomas respiratorios crónicos	X		
15	Síntomas músculo-esqueléticos	X		
16	Patología biliar	X		X
17	Síntomas digestivos	X		
18	Síntomas depresivos	X		
19	Patología tiroidea	X		X
20	Deterioro cognitivo del adulto mayor	X		
21	Visión	X		
22	Audición	X		
23	Salud dental	X		
24	Trastornos del sueño	X		
25	Daño renal crónico			X
26	Cáncer de mama	X		
27	Cáncer cérvico-uterino	X		
28	Calidad de vida relacionada con salud	X		
29	Discapacidad	X		
30	Determinantes sociales y psicológicos de la salud	X		
31	Salud sexual y reproductiva	X		
32	Consumo de medicamentos y productos naturales	X		
33	Percepción del modelo de atención primaria	X		
34	Uso de medicinas alternativas	X		
35	Déficit de vitamina B12 y de ácido fólico			X
36	Virus de hepatitis B y C			X
37	Virus de inmunodeficiencia humano	X		X
38	Enfermedad de Chagas			X
39	Virus HTLV I-II			X
40	Grupo sanguíneo y Rh			X
41	Enfermedad celíaca	X		X
42	Riesgo de fracturas y caídas	X		

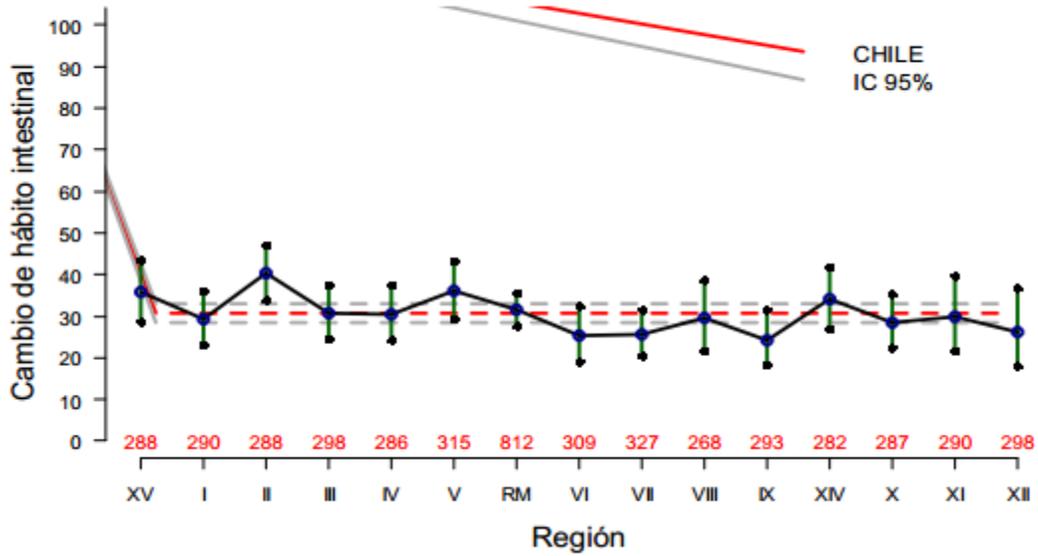
Fuente: Encuesta Nacional de Salud, 2010

Anexo 5 : Gráfico Diarrea en los últimos 15 días



Fuente: Encuesta Nacional de Salud, 2010

Anexo 6: Gráfico Cambios hábitos intestinales en los últimos 3 meses



Fuente: Encuesta Nacional de Salud, 2010

Anexo 7: Causas de muerte para la región de Antofagasta 1997 - 2009

Clasificación internacional	Grupos de causas de muerte	Defunciones													
		Años de ocurrencia													
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
CIE10	Definición														
A00-Y89	Total	2201	2371	2319	2232	2409	2388	2368	2368	2403	2441	2799	2774	2628	
A00-A09	Enfermedades infecciosas intestinales	13	10	12	12	7	12	7	5	18	4	5	10	9	
A15-A19	Tuberculosis	17	11	11	12	11	9	8	6	12	4	17	3	4	
A20-B99	Otras enfermedades infecciosas y parasitarias	40	41	38	49	45	33	28	30	28	28	40	47	48	
C00-C97	Tumores malignos	570	588	556	596	691	655	683	683	670	666	759	748	683	
D00-D48	Tumores in situ, benigno y comportamiento incierto o desconocido	14	18	16	23	25	21	23	23	26	23	33	25	31	
D50-D89	Enfermedades	14	16	12	10	6	14	10	9	7	12	8	18	8	
E00-E90	Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas	58	86	112	72	105	111	115	106	123	112	133	113	116	
F00-F99	Trastorno mentales y del comportamiento	28	23	17	34	63	87	83	88	89	74	90	91	87	
G00-G99	Enfermedades del sistema nervioso	25	23	25	41	50	44	38	53	58	59	91	71	74	
H00-H59	Enfermedades del ojo y sus anexos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H60-H95	Enfermedades del oído de la apófisis mastoideas	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
I00-I99	Enfermedades del sistema circulatorio	537	589	632	521	552	572	590	609	621	657	693	684	633	
J00-J99	Enfermedades del sistema respiratorio	273	301	262	239	203	214	175	187	175	180	215	232	223	
K00-K93	Enfermedades del sistema digestivo	178	192	155	174	187	216	196	188	155	158	196	209	201	
L00-L99	Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo	5	12	23	9	5	8	7	3	2	11	8	13	6	
M00-M99	Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo	8	13	7	15	19	13	7	19	18	17	15	14	13	
N00-N99	Enfermedades del sistema genitourinario	69	70	68	68	83	71	70	62	88	82	87	101	93	
O00-O99	Embarazo, parto y puerperio	1	5	5	3	4	0	1	3	2	1	2	1	2	
P00-P96	Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal	49	43	45	48	45	35	39	25	38	25	49	34	40	
Q00-Q99	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	38	44	43	23	31	28	30	28	36	35	37	32	33	
R00-R99	Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte.	62	70	60	68	48	46	61	49	40	61	78	55	77	
V01-Y89	Causas externas de morbilidad y normalidad	202	216	219	214	229	199	197	192	197	231	243	273	247	

Fuente: elaboración propia en base a INE (2006;2010)

Anexo 8: Causas de muerte Total país 1997 - 2009

Clasificación internacional	Grupos de causas de muerte	Defunciones													
		Años de ocurrencia													
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
CIE10	Definición														
A00-Y89	Total	78472	80257	81984	78814	81873	81079	83672	86138	86102	85639	93000	90168	91965	
C00-C97	Tumores malignos	17000	17472	17886	18262	18394	19146	19700	19900	20480	20781	21488	21824	22637	
I00-I99	Enfermedades del sistema circulatorio	20733	22057	22730	21958	22866	22453	23771	24268	24290	24087	26038	24809	24838	
J00-J99	Enfermedades del sistema respiratorio	9987	10222	11467	8287	8532	7688	7432	8345	8007	7691	9430	8352	8933	
K00-K93	Enfermedades del sistema digestivo	5858	5788	5530	5693	6348	6374	6601	6564	6130	6225	6556	6694	6726	
V01-Y89	Causas externas de morbilidad y normalidad	8280	8125	7652	7754	7623	7319	7407	7508	7518	7847	7994	8316	8151	

Fuente: elaboración propia en base a INE (2006;2010)

Anexo 9: Patógenos Microbiológicos transmitidos por el agua potable

**Table 7.1 Pathogens transmitted through drinking-water<sup>a</sup>**

Pathogen	Health significance <sup>b</sup>	Persistence in water supplies <sup>c</sup>	Resistance to chlorine <sup>d</sup>	Relative infectivity <sup>e</sup>	Important animal source
<b>Bacteria</b>					
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	High	May multiply	Low	Low	No
<i>Campylobacter jejuni, C. coli</i>	High	Moderate	Low	Moderate	Yes
<i>Escherichia coli</i> – Pathogenic <sup>f</sup>	High	Moderate	Low	Low	Yes
<i>E. coli</i> – Enterohaemorrhagic	High	Moderate	Low	High	Yes
<i>Francisella tularensis</i>	High	Long	Moderate	High	Yes
<i>Legionella</i> spp.	High	May multiply	Low	Moderate	No
<i>Leptospira</i>	High	Long	Low	High	Yes
Mycobacteria (non-tuberculous)	Low	May multiply	High	Low	No
<i>Salmonella</i> Typhi	High	Moderate	Low	Low	No
Other salmonellae	High	May multiply	Low	Low	Yes
<i>Shigella</i> spp.	High	Short	Low	High	No
<i>Vibrio cholerae</i>	High	Short to long <sup>g</sup>	Low	Low	No
<b>Viruses</b>					
Adenoviruses	Moderate	Long	Moderate	High	No
Astroviruses	Moderate	Long	Moderate	High	No
Enteroviruses	High	Long	Moderate	High	No
Hepatitis A virus	High	Long	Moderate	High	No
Hepatitis E virus	High	Long	Moderate	High	Potentially
Noroviruses	High	Long	Moderate	High	Potentially
Rotaviruses	High	Long	Moderate	High	No
Sapoviruses	High	Long	Moderate	High	Potentially
<b>Protozoa</b>					
<i>Acanthamoeba</i> spp.	High	May multiply	High	High	No
<i>Cryptosporidium hominis/parvum</i>	High	Long	High	High	Yes
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	High	Long	High	High	No
<i>Entamoeba histolytica</i>	High	Moderate	High	High	No
<i>Giardia intestinalis</i>	High	Moderate	High	High	Yes
<i>Naegleria fowleri</i>	High	May multiply <sup>h</sup>	Low	Moderate	No
<b>Helminths</b>					
<i>Dracunculus medinensis</i>	High	Moderate	Moderate	High	No
<i>Schistosoma</i> spp.	High	Short	Moderate	High	Yes

<sup>a</sup> This table contains pathogens for which there is some evidence of health significance related to their occurrence in drinking-water supplies. More information on these and other pathogens is presented in [chapter 11](#).

<sup>b</sup> Health significance relates to the incidence and severity of disease, including association with outbreaks.

<sup>c</sup> Detection period for infective stage in water at 20 °C: short, up to 1 week; moderate, 1 week to 1 month; long, over 1 month.

<sup>d</sup> When the infective stage is freely suspended in water treated at conventional doses and contact times and pH between 7 and 8. Low means 99% inactivation at 20 °C generally in < 1 min, moderate 1–30 min and high > 30 min. It should be noted that organisms that survive and grow in biofilms, such as *Legionella* and mycobacteria, will be protected from chlorination.

<sup>e</sup> From experiments with human volunteers, from epidemiological evidence and from experimental animal studies. High means infective doses can be 1–10<sup>2</sup> organisms or particles, moderate 10<sup>2</sup>–10<sup>4</sup> and low > 10<sup>4</sup>.

<sup>f</sup> Includes enteropathogenic, enterotoxigenic, enteroinvasive, diffusely adherent and enteroaggregative.

<sup>g</sup> *Vibrio cholerae* may persist for long periods in association with copepods and other aquatic organisms.

<sup>h</sup> In warm water.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 10: Categorización de químicos contaminantes a partir de su fuente

**Table 8.1 Categorization of source of chemical constituents**

Source of chemical constituents	Examples of sources
Naturally occurring	Rocks, soils and the effects of the geological setting and climate; eutrophic water bodies (also influenced by sewage inputs and agricultural runoff)
Industrial sources and human dwellings	Mining (extractive industries) and manufacturing and processing industries, sewage (including a number of contaminants of emerging concern), solid wastes, urban runoff, fuel leakages
Agricultural activities	Manures, fertilizers, intensive animal practices and pesticides
Water treatment or materials in contact with drinking-water	Coagulants, DBPs, piping materials
Pesticides used in water for public health	Larvicides used in the control of insect vectors of disease

Fuente: WHO, 2017

Anexo 11: Químicos naturales para los que no se establecen valores base

**Table 8.7 Naturally occurring chemicals for which guideline values have not been established**

Chemical	Reason for not establishing a guideline value	Remarks
Bromide	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern	
Chloride	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Hardness	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Hydrogen sulfide	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Iron	Not of health concern at levels causing acceptability problems in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Manganese	Not of health concern at levels causing acceptability problems in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Molybdenum	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern	
pH	Not of health concern at levels found in drinking-water	An important operational water quality parameter
Potassium	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern	
Sodium	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Sulfate	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)
Total dissolved solids	Not of health concern at levels found in drinking-water	May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10)

Fuente: WHO, 2017

Anexo 12: Valores base para químicos naturales que son de significancia para la salud

**Table 8.16 Guideline values for chemicals used in water treatment or materials in contact with drinking-water that are of health significance in drinking-water**

Chemical	Guideline value <sup>a</sup>		Remarks
	µg/l	mg/l	
<b>Disinfectants</b>			
Chlorine	5 000 (C)	5 (C)	For effective disinfection, there should be a residual concentration of free chlorine of $\geq 0.5$ mg/l after at least 30 min contact time at pH < 8.0. A chlorine residual should be maintained throughout the distribution system. At the point of delivery, the minimum residual concentration of free chlorine should be 0.2 mg/l.
Monochloramine	3 000	3	
Sodium dichloroisocyanurate	50 000	50	As sodium dichloroisocyanurate
	40 000	40	As cyanuric acid
<b>Disinfection by-products</b>			
Bromate	10 <sup>a</sup> (A, T)	0.01 <sup>a</sup> (A, T)	
Bromodichloromethane	60 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	
Bromoform	100	0.1	
Chlorate	700 (D)	0.7 (D)	
Chlorite	700 (D)	0.7 (D)	
Chloroform	300	0.3	
Dibromoacetonitrile	70	0.07	
Dibromochloromethane	100	0.1	
Dichloroacetate	50 <sup>a</sup> (D)	0.05 <sup>a</sup> (D)	
Dichloroacetonitrile	20 (P)	0.02 (P)	
Monochloroacetate	20	0.02	
N-Nitrosodimethylamine	0.1	0.0001	
Trichloroacetate	200	0.2	
2,4,6-Trichlorophenol	200 <sup>a</sup> (C)	0.2 <sup>a</sup> (C)	
Trihalomethanes			The sum of the ratio of the concentration of each to its respective guideline value should not exceed 1
<b>Contaminants from treatment chemicals</b>			
Acrylamide	0.5 <sup>a</sup>	0.0005 <sup>a</sup>	
Epichlorohydrin	0.4 (P)	0.0004 (P)	
<b>Contaminants from pipes and fittings</b>			
Antimony	20	0.02	
Benzo[a]pyrene	0.7 <sup>a</sup>	0.0007 <sup>a</sup>	
Copper	2000	2	Staining of laundry and sanitary ware may occur below guideline value
Lead	10 (A, T)	0.01 (A, T)	
Nickel	70	0.07	
Vinyl chloride	0.3 <sup>a</sup>	0.0003 <sup>a</sup>	

A, provisional guideline value because calculated guideline value is below the achievable quantification level; C, concentrations of the substance at or below the health-based guideline value may affect the appearance, taste or odour of the water, leading to consumer complaints; D, provisional guideline value because disinfection is likely to result in the guideline value being exceeded; P, provisional guideline value because of uncertainties in the health database; T, provisional guideline value because calculated guideline value is below the level that can be achieved through practical treatment methods, source control, etc.

<sup>a</sup> For substances that are considered to be carcinogenic, the guideline value is the concentration in drinking-water associated with an upper-bound excess lifetime cancer risk of  $10^{-6}$  (one additional case of cancer per 100 000 of the population ingesting drinking-water containing the substance at the guideline value for 70 years). Concentrations associated with estimated upper-bound excess lifetime cancer risks of  $10^{-4}$  and  $10^{-5}$  can be calculated by multiplying and dividing, respectively, the guideline value by 10.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 13: Químicos de fuentes industriales y asentamientos humanos sin valores base

**Table 8.9 Chemicals from industrial sources and human dwellings for which guideline values have not been established**

<b>Chemical</b>	<b>Reason for not establishing a guideline value</b>
Beryllium	Rarely found in drinking-water at concentrations of health concern
Cyanide	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern, except in emergency situations following a spill to a water source
1,3-Dichlorobenzene	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
1,1-Dichloroethane	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
1,1-Dichloroethene	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Di(2-ethylhexyl)adipate	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Hexachlorobenzene	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Methyl <i>tertiary</i> -butyl ether	Any guideline that would be derived would be significantly higher than concentrations at which methyl <i>tertiary</i> -butyl ether would be detected by odour
Monochlorobenzene	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern, and health-based value would far exceed lowest reported taste and odour threshold
Nitrobenzene	Rarely found in drinking-water at concentrations of health concern
Petroleum products	Taste and odour will in most cases be detectable at concentrations below those of health concern, particularly with short-term exposure
Trichlorobenzenes (total)	Occur in drinking-water at concentrations well below those of health concern, and health-based value would exceed lowest reported odour threshold
1,1,1-Trichloroethane	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern

Fuente: WHO, 2017

Anexo 14: Valores base para químicos de fuentes industriales y asentamientos base que son de significancia para la salud

**Table 8.10 Guideline values for chemicals from industrial sources and human dwellings that are of health significance in drinking-water**

Chemicals	Guideline value		Remarks
	µg/l	mg/l	
<b>Inorganic</b>			
Cadmium	3	0.003	
Mercury	6	0.006	For inorganic mercury
<b>Organic</b>			
Benzene	10 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>	
Carbon tetrachloride	4	0.004	
1,2-Dichlorobenzene	1000 (C)	1 (C)	
1,4-Dichlorobenzene	300 (C)	0.3 (C)	
1,2-Dichloroethane	30 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	
1,2-Dichloroethene	50	0.05	
Dichloromethane	20	0.02	
Di(2-ethylhexyl)phthalate	8	0.008	
1,4-Dioxane	50 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	Derived using TDI approach as well as linear multistage modelling
Edetic acid	600	0.6	Applies to the free acid
Ethylbenzene	300 (C)	0.3 (C)	
Hexachlorobutadiene	0.6	0.0006	
Nitrilotriacetic acid	200	0.2	
Pentachlorophenol	9 <sup>a</sup> (P)	0.009 <sup>a</sup> (P)	
Styrene	20 (C)	0.02 (C)	
Tetrachloroethene	40	0.04	
Toluene	700 (C)	0.7 (C)	
Trichloroethene	20 (P)	0.02 (P)	
Xylenes	500 (C)	0.5 (C)	

C, concentrations of the substance at or below the health-based guideline value may affect the appearance, taste or odour of the water, leading to consumer complaints; P, provisional guideline value because of uncertainties in the health database

<sup>a</sup> For non-threshold substances, the guideline value is the concentration in drinking-water associated with an upper-bound excess lifetime cancer risk of 10<sup>-5</sup> (one additional case of cancer per 100 000 of the population ingesting drinking-water containing the substance at the guideline value for 70 years). Concentrations associated with estimated upper-bound excess lifetime cancer risks of 10<sup>-4</sup> and 10<sup>-6</sup> can be calculated by multiplying and dividing, respectively, the guideline value by 10.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 15: Químicos de actividades agrícolas excluidos

**Table 8.11 Chemicals from agricultural activities excluded from guideline value derivation**

<b>Chemical</b>	<b>Reason for exclusion</b>
Amitraz	Degrades rapidly in the environment and is not expected to occur at measurable concentrations in drinking-water supplies
Chlorobenzilate	Unlikely to occur in drinking-water
Chlorothalonil	Unlikely to occur in drinking-water
Cypermethrin	Unlikely to occur in drinking-water
Deltamethrin	Unlikely to occur in drinking-water
Diazinon	Unlikely to occur in drinking-water
Dinoseb	Unlikely to occur in drinking-water
Ethylene thiourea	Unlikely to occur in drinking-water
Fenamiphos	Unlikely to occur in drinking-water
Formothion	Unlikely to occur in drinking-water
Hexachlorocyclohexanes (mixed isomers)	Unlikely to occur in drinking-water
MCPB <sup>a</sup>	Unlikely to occur in drinking-water
Methamidophos	Unlikely to occur in drinking-water
Methomyl	Unlikely to occur in drinking-water
Mirex	Unlikely to occur in drinking-water
Monocrotophos	Has been withdrawn from use in many countries and is unlikely to occur in drinking-water
Oxamyl	Unlikely to occur in drinking-water
Phorate	Unlikely to occur in drinking-water
Propoxur	Unlikely to occur in drinking-water
Pyridate	Not persistent and only rarely found in drinking-water
Pyriproxyfen	Unlikely to occur in drinking-water <sup>b</sup>
Quintozene	Unlikely to occur in drinking-water
Toxaphene	Unlikely to occur in drinking-water
Triazophos	Unlikely to occur in drinking-water
Tributyltin oxide	Unlikely to occur in drinking-water
Trichlorfon	Unlikely to occur in drinking-water

<sup>a</sup> 4-(4-chloro-*o*-tolylloxy)butyric acid.

<sup>b</sup> The use of pyriproxyfen as a larvicide for public health purposes is discussed further in section 8.6.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 16: Químicos de actividades agrícolas sin valores base

**Table 8.12 Chemicals from agricultural activities for which guideline values have not been established**

<b>Chemical</b>	<b>Reason for not establishing a guideline value</b>
Ammonia	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Bentazone	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Carbaryl	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
1,3-Dichloropropane	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Diquat	May be used as an aquatic herbicide for the control of free-floating and submerged aquatic weeds in ponds, lakes and irrigation ditches, but rarely found in drinking-water
Endosulfan	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Fenitrothion	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Glyphosate and AMPA <sup>a</sup>	Occur in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Heptachlor and heptachlor epoxide	Occur in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Malathion	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Methyl parathion	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Parathion	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
2-Phenylphenol and its sodium salt	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Propanil	Readily transformed into metabolites that are more toxic; a guideline value for the parent compound is considered inappropriate, and there are inadequate data to enable the derivation of guideline values for the metabolites

<sup>a</sup> Aminomethylphosphonic acid.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 17: Valores base para químicos de actividades agrícolas que son de significancia para la salud

**Table 8.13 Guideline values for chemicals from agricultural activities that are of health significance in drinking-water**

Chemical	Guideline value		Remarks
	µg/l	mg/l	
<b>Non-pesticides</b>			
Nitrate (as NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50 000	50	Short-term exposure
Nitrite (as NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3 000	3	Short-term exposure; a provisional guideline value for chronic effects of nitrite that was in the third edition has been suspended and is under review owing to significant uncertainty surrounding the endogenous formation of nitrite and concentrations in human saliva.
<b>Pesticides used in agriculture</b>			
Alachlor	20 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	
Aldicarb	10	0.01	Applies to aldicarb sulfoxide and aldicarb sulfone
Aldrin and dieldrin	0.03	0.000 03	For combined aldrin plus dieldrin
Atrazine and its chloro-s-triazine metabolites	100	0.1	
Carbofuran	7	0.007	
Chlordane	0.2	0.000 2	
Chlorotoluron	30	0.03	
Chlorpyrifos	30	0.03	
Cyanazine	0.6	0.000 6	
2,4-D <sup>b</sup>	30	0.03	Applies to free acid
2,4-DB <sup>c</sup>	90	0.09	
1,2-Dibromo-3-chloropropane	1 <sup>a</sup>	0.001 <sup>a</sup>	
1,2-Dibromoethane	0.4 <sup>a</sup> (P)	0.000 4 <sup>a</sup> (P)	
1,2-Dichloropropane	40 (P)	0.04 (P)	
1,3-Dichloropropene	20 <sup>a</sup>	0.02 <sup>a</sup>	
Dichlorprop	100	0.1	
Dimethoate	6	0.006	
Endrin	0.6	0.000 6	
Fenoprop	9	0.009	
Hydroxyatrazine	200	0.2	Atrazine metabolite
Isoproturon	9	0.009	
Lindane	2	0.002	
MCPA <sup>d</sup>	2	0.002	
Mecoprop	10	0.01	
Methoxychlor	20	0.02	
Metolachlor	10	0.01	

Fuente: WHO, 2017

Anexo 18: Químicos utilizados en el tratamiento de agua para los que no se establecen valores base

**Table 8.15 Chemicals used in water treatment or materials in contact with drinking-water for which guideline values have not been established**

Chemical	Reason for not establishing a guideline value
<b>Disinfectants</b>	
Chlorine dioxide	Rapidly breaks down to chlorite, and the chlorite provisional guideline value is protective for potential toxicity from chlorine dioxide
Dichloramine	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Iodine	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value, and lifetime exposure to iodine through water disinfection is unlikely
Silver	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Trichloramine	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
<b>Disinfection by-products</b>	
Bromochloroacetate	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Bromochloroacetonitrile	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Chloral hydrate	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Chloroacetones	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline values for any of the chloroacetones
2-Chlorophenol	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Chloropicrin	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Cyanogen chloride	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Dibromoacetate	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
2,4-Dichlorophenol	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
Formaldehyde	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Monobromoacetate	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
MX <sup>a</sup>	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Trichloroacetonitrile	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline value
<b>Contaminants from treatment chemicals</b>	
Aluminium	A health-based value of 0.9 mg/l could be derived, but this value exceeds practicable levels based on optimization of the coagulation process in drinking-water plants using aluminium-based coagulants: 0.1 mg/l or less in large water treatment facilities and 0.2 mg/l or less in small facilities
<b>Contaminants from pipes and fittings</b>	
Asbestos	No consistent evidence that ingested asbestos is hazardous to health
Dialkyltins	Available data inadequate to permit derivation of health-based guideline values for any of the dialkyltins
Fluoranthene <sup>b</sup>	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Inorganic tin	Occurs in drinking-water at concentrations well below those of health concern
Zinc	Not of health concern at levels found in drinking-water <sup>c</sup>

<sup>a</sup> 3-Chloro-4-dichloromethyl-5-hydroxy-2(5H)-furanone.

<sup>b</sup> See fact sheet on polynuclear aromatic hydrocarbons.

<sup>c</sup> May affect acceptability of drinking-water (see chapter 10).

Fuente: WHO, 2017

Anexo 19: Valores base para químicos utilizados en el tratamiento de agua

**Table 8.16** Guideline values for chemicals used in water treatment or materials in contact with drinking-water that are of health significance in drinking-water

Chemical	Guideline value <sup>a</sup>		Remarks
	µg/l	mg/l	
<b>Disinfectants</b>			
Chlorine	5 000 (C)	5 (C)	For effective disinfection, there should be a residual concentration of free chlorine of $\geq 0.5$ mg/l after at least 30 min contact time at pH < 8.0. A chlorine residual should be maintained throughout the distribution system. At the point of delivery, the minimum residual concentration of free chlorine should be 0.2 mg/l.
Monochloramine	3 000	3	
Sodium dichloroisocyanurate	50 000	50	As sodium dichloroisocyanurate
	40 000	40	As cyanuric acid
<b>Disinfection by-products</b>			
Bromate	10 <sup>a</sup> (A, T)	0.01 <sup>a</sup> (A, T)	
Bromodichloromethane	60 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	
Bromoform	100	0.1	
Chlorate	700 (D)	0.7 (D)	
Chlorite	700 (D)	0.7 (D)	
Chloroform	300	0.3	
Dibromoacetonitrile	70	0.07	
Dibromochloromethane	100	0.1	
Dichloroacetate	50 <sup>a</sup> (D)	0.05 <sup>a</sup> (D)	
Dichloroacetonitrile	20 (P)	0.02 (P)	
Monochloroacetate	20	0.02	
N-Nitrosodimethylamine	0.1	0.0001	
Trichloroacetate	200	0.2	
2,4,6-Trichlorophenol	200 <sup>a</sup> (C)	0.2 <sup>a</sup> (C)	
Trihalomethanes			The sum of the ratio of the concentration of each to its respective guideline value should not exceed 1
<b>Contaminants from treatment chemicals</b>			
Acrylamide	0.5 <sup>a</sup>	0.0005 <sup>a</sup>	
Epichlorohydrin	0.4 (P)	0.0004 (P)	
<b>Contaminants from pipes and fittings</b>			
Antimony	20	0.02	
Benzo[a]pyrene	0.7 <sup>a</sup>	0.0007 <sup>a</sup>	
Copper	2000	2	Staining of laundry and sanitary ware may occur below guideline value
Lead	10 (A, T)	0.01 (A, T)	
Nickel	70	0.07	
Vinyl chloride	0.3 <sup>a</sup>	0.0003 <sup>a</sup>	

A, provisional guideline value because calculated guideline value is below the achievable quantification level; C, concentrations of the substance at or below the health-based guideline value may affect the appearance, taste or odour of the water, leading to consumer complaints; D, provisional guideline value because disinfection is likely to result in the guideline value being exceeded; P, provisional guideline value because of uncertainties in the health database; T, provisional guideline value because calculated guideline value is below the level that can be achieved through practical treatment methods, source control, etc.

<sup>a</sup> For substances that are considered to be carcinogenic, the guideline value is the concentration in drinking-water associated with an upper-bound excess lifetime cancer risk of  $10^{-5}$  (one additional case of cancer per 100 000 of the population ingesting drinking-water containing the substance at the guideline value for 70 years). Concentrations associated with estimated upper-bound excess lifetime cancer risks of  $10^{-4}$  and  $10^{-6}$  can be calculated by multiplying and dividing, respectively, the guideline value by 10.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 20: Valores base para radionucleidos naturales y artificiales

**Table 9.2 Guidance levels for common<sup>a</sup> natural and artificial radionuclides for members of the public**

Category	Radionuclide	Dose coefficient (Sv/Bq)	Guidance level <sup>b</sup> (Bq/l)
Naturally occurring radioactive isotope that starts the uranium decay series <sup>c</sup>	Uranium-238	$4.5 \times 10^{-8}$	10
Naturally occurring radioactive isotopes belonging to the uranium decay series	Uranium-234	$4.9 \times 10^{-8}$	1
	Thorium-230	$2.1 \times 10^{-7}$	1
	Radium-226	$2.8 \times 10^{-7}$	1
	Lead-210	$6.9 \times 10^{-7}$	0.1
	Polonium-210	$1.2 \times 10^{-6}$	0.1
Naturally occurring radioactive isotope that starts the thorium decay series	Thorium-232	$2.3 \times 10^{-7}$	1
Naturally occurring radioactive isotopes belonging to the thorium decay series	Radium-228	$6.9 \times 10^{-7}$	0.1
	Thorium-228	$7.2 \times 10^{-8}$	1
Artificial radionuclides that can be released to the environment as part of the fission products found in reactor emissions or nuclear weapons tests	Caesium-134 <sup>d</sup>	$1.9 \times 10^{-8}$	10
	Caesium-137 <sup>d</sup>	$1.3 \times 10^{-8}$	10
	Strontium-90 <sup>d</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$	10
Artificial radionuclide that can be released to the environment as a fission product (see above). It is also used in nuclear medicine procedures and thus can be released into water bodies through sewage effluent.	Iodine-131 <sup>d,e</sup>	$2.2 \times 10^{-8}$	10
Radioactive isotope of the hydrogen produced artificially as a fission product from nuclear power reactors and nuclear weapons tests. It may be naturally present in the environment in a very small amount. Its presence in a water source suggests potential industrial contamination.	Tritium <sup>e</sup>	$1.8 \times 10^{-11}$	10 000
Naturally occurring radioactive isotope widely distributed in nature and present in organic compounds and in the human body	Carbon-14	$5.8 \times 10^{-10}$	100
Artificial isotope formed in nuclear reactors that also exists in trace quantities in <i>natural</i> uranium ores	Plutonium-239 <sup>d</sup>	$2.5 \times 10^{-7}$	1
Artificial isotope by-product formed in nuclear reactors	Americium-241 <sup>d</sup>	$2.0 \times 10^{-7}$	1

<sup>a</sup> This list is not exhaustive. In certain circumstances, other radionuclides should be investigated (see Annex 6).

<sup>b</sup> Guidance levels are rounded to the nearest order of magnitude.

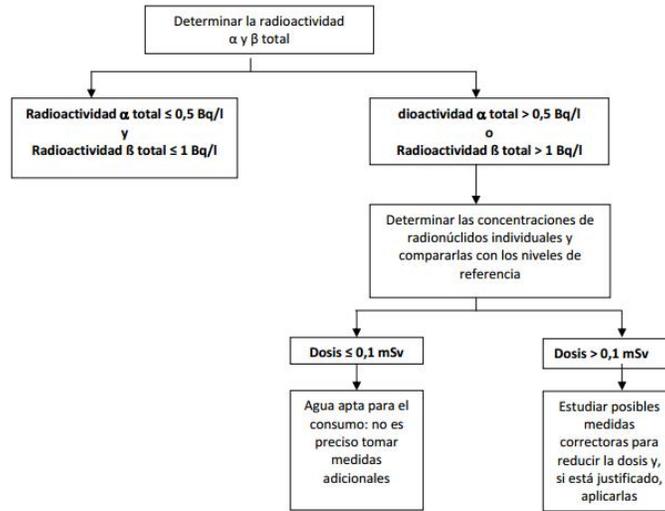
<sup>c</sup> Separate guidance levels are provided for individual uranium radioisotopes in terms of radioactivity (i.e. expressed as Bq/l). The provisional guideline value for total content of uranium in drinking-water is 30 µg/l based on its chemical toxicity, which is predominant compared with its radiological toxicity (see chapter 12).

<sup>d</sup> These radionuclides either may not occur in drinking-water in normal situations or may be found at doses that are too low to be of significance to public health. Therefore, they are of lower priority for investigation following an exceedance of a screening level.

<sup>e</sup> Although iodine and tritium will not be detected by standard gross activity measurements and routine analysis for these radionuclides is not necessary, if there are any reasons for believing that they may be present, radionuclide-specific sampling and measurement techniques should be used. This is the reason for including them in this table.

Fuente: WHO, 2017

Anexo 21: Aplicación de los umbrales y niveles de referencia de radionúclidos para determinar la calidad del agua de consumo



Fuente: WHO, 2017

Anexo 22: Elementos Esenciales

Elemento	Expresado como elementos totales	Límite máximo mg/L
Cobre	<i>Cu</i>	2,0
Cromo total	<i>Cr</i>	0,05
Fluoruro	<i>F<sup>-</sup></i>	1,5
Hierro	<i>Fe</i>	0,3
Manganeso	<i>Mn</i>	0,1
Magnesio	<i>Mg</i>	125,0
Selenio	<i>Se</i>	0,01
Zinc	<i>Zn</i>	3,0

Fuente: INNa, 2006

Anexo 23: Elementos o sustancias no esenciales

Elemento o sustancia	Expresado como elementos o sustancias totales	Límite máximo mg/L
Arsénico	<i>As</i>	0,01 <sup>1)</sup>
Cadmio	<i>Cd</i>	0,01
Cianuro	<i>CN</i> <sup>-</sup>	0,05
Mercurio	<i>Hg</i>	0,001
Nitrato	<i>NO</i> <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50
Nitrito	<i>NO</i> <sub>2</sub> <sup>-</sup>	3
Razón nitrato + nitrito	<sup>2)</sup>	1
Plomo	<i>Pb</i>	0,05

1) Con el informe previo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la Autoridad Competente de salud podrá establecer el plazo en que se deberá alcanzar el límite máximo señalado para el arsénico por aquellos servicios de agua que al momento de entrar en vigencia esta norma lo sobrepasan. Este plazo no podrá superar los 10 años y se fijará considerando la infraestructura que se requiera implementar para ello, conforme al plan de contingencia que presente la respectiva empresa. En todo caso, y sujeto también a informe previo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el tiempo que se conceda para alcanzar el límite de 0,03 mg/L no podrá superar los cinco años.

2) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo.

Fuente: INNa, 2006

Anexo 24: Sustancias Orgánicas

Sustancia	Límite máximo µg/L
Tetracloroetano	40
Benceno	10
Tolueno	700
Xilenos	500

Fuente: INNa, 2006

Anexo 25: Plaguicidas

Plaguicida	Limite máximo µg/L
DDT + DDD + DDE	2
2,4 - D	30
Lindano	2
Metoxicloro	20
Pentaclorofenol	9

Fuente: INNa, 2006

Anexo 26: Productos secundarios de la desinfección

Producto	Limite máximo mg/L
Monocloroamina	3
Dibromoclorometano	0,1
Bromodiclorometano	0,06
Tribromometano	0,1
Triclorometano	0,2
Trihalometanos	1 *)
*) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo.	

Fuente: INNa, 2006

Anexo 27: Parámetros elementos radioactivos

Elemento	Limite máximo Bq/L
Estroncio 90	0,37
Radio 226	0,11
Actividad base total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	37
Actividad beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros radioemisores naturales)	1,9
Actividad alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	0,55

Fuente: INNa, 2006

Anexo 28: Calidad parámetros organolépticos

Parámetros	Expresado como	Unidad	Limite máximo
<b>Físicos:</b> Color verdadero Olor Sabor	- - -	Unidad Pt-Co - -	20 inodora insípida
<b>Inorgánicos:</b> Amoníaco Cloruro pH Sulfato Sólidos disueltos totales	$NH_3$ $Cl^-$ - $SO_4^{-2}$ -	mg/L mg/L - mg/L mg/L	1,5 400 <sup>1)</sup> 6,5 < pH < 8,5 500 <sup>1)</sup> 1 500
<b>Orgánicos:</b> Compuestos fenólicos	Fenol	µg/L	2
1) La Autoridad Competente, de acuerdo con las instrucciones impartidas por el Ministerio de Salud, podrá autorizar valores superiores a los límites máximos señalados en esta tabla, conforme a la reglamentación sanitaria vigente.			

Fuente: INNa, 2006

Anexo 29 : Parámetros de desinfección

<b>PARÁMETROS DE DESINFECCIÓN</b>
<b>Tipo V (de desinfección)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se establece máximo de cloro libre residual:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- ≤ 2 mg/l</li> </ul> </li> <li>➤ Se cambia tolerancia para mínimo de 0.2 mg/l:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solo hasta el 10 % de las muestras analizadas en el mes</li> </ul> </li> <li>➤ Se cambia tolerancia para ausencia de desinfectante residual (0.0 mg/l):                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 muestras, cuando se analicen 100 o más muestras mensuales.</li> <li>- Solo 1 muestra, cuando se analicen menos de 100 muestras mensuales.</li> </ul> </li> <li>➤ Todo desinfectante distinto de cloro debe ser autorizado por MINSAL.</li> </ul>

Fuente: INNa, 2006

Anexo 30: Tabla comparativa normativas de calidad de agua potable Chile - OMS - EE.UU

	Todos los valores son en unidades de mg/L.	Noma Chilena Oficial 409/1.Of2005	National Primary Drinking Water Regulations (USA)		WHO Guidelines for Drinking Water Quality
			MCL 1c	MCL 2d	
Parametro	Limite Maximo	MCL 1c	MCL 2d	Guideline Value	
<b>Esenciales</b>	Cobre	2.0	1.3	1.0	2.0
	Cromo Total	0.05	0.1		0.05
	Floruro	1.5	4	2.0	1.5
	Hierro	0.3		0.3	
	Manganeso	0.1		0.05	0.4
	Magnesio	125.0			
	Selenio	0.01	0.05		0.01
	Zinc	3.0		5.0	
<b>No Esenciales</b>	Arsenico	0.01	0.05		0.01
	Cadmio	0.01	0.005		0.003
	Cianuro	0.05	0.2		0.07
	Mercurio	0.001	0.002		0.006
	Nitrato	50	10		50
	Nitrito	3	1		3
	Plomo	0,05	0.015		0.01
<b>Plaguicidas</b>	2,4 - D	0.03	0.07		0.03
	Lindano	0.002	0.0002		0.002
	Metoxicloro	0.02	0.04		0.02
	Pentaclorofenol	0.009	0.001		0.009
<b>Desinfeccion</b>	Monocloroamina	3			
	Dibromoclorometano	0.1	0.06		0.1
	Bromodichlorometano	0.06	0		0.06
	Tribromometano	0.1			
	Triclorometano	0.2			
	Trihalometanos	1	0		
<b>Organicas</b>	Tetracloroetano	0.04			0,04
	Benceno	0.01	0.005		0.01
	Tolueno	0.7	1.0		0.7
	Xilenos	0.5	10		0.5

Fuente: Elaboración propia en base a INN, 2006a; EPA, 2016; WHO, 2017