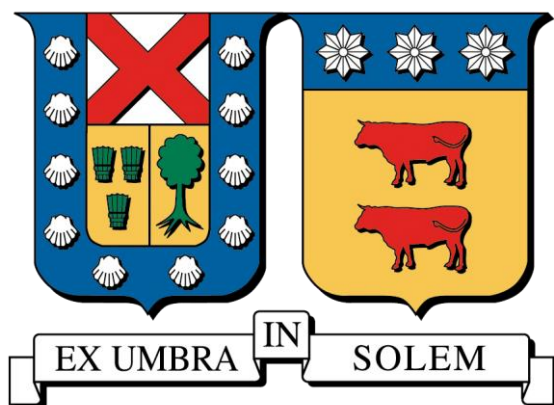


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO – CHILE



CONSECUENCIAS ECONÓMICAS POR USO DE AGUAS DURAS EN EL GRAN SANTIAGO

CRISTHIAN MATIAS ARCE INOSTROZA

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: SRA. MARÍA PILAR GÁRATE.
PROFESOR CORREFERENTE: SR. HUGO OSORIO.

OCTUBRE 2017



A las personas que amo...

A mi madre Gloria Inostroza y mi padre Juan Arce que en conjunto han sido un pilar fundamental en toda
etapa de mi vida.

A Allison Alegria por su apoyo incondicional en esta etapa final universitaria

Y a mis amigos que nunca dejaron de creer en mi



RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis consiste en determinar las consecuencias económicas por uso de aguas duras en el Gran Santiago, teniendo como objetivo general estudiar la factibilidad técnica y económica de la implementación de plantas de tratamiento de aguas duras dado el impacto económico y social que éstas generan a los habitantes de comunas del Gran Santiago, y en segundo plano la vinculación que existe entre este tipo de aguas con enfermedades renales y cardiovasculares.

Para ello se precederá inicialmente a determinar qué es un agua dura, su clasificación de acuerdo a la concentración de sales y los mecanismos disponibles para inhibir y/o eliminar la formación de la misma. Posteriormente se verificará el cumplimiento de las empresas operantes en el Gran Santiago respecto a los elementos químicos propios del agua dura y se realizará una comparación con las normativas vigentes en los países pertenecientes a la Organización de Estados Americanos, la Organización Mundial de la Salud y la Unión Europea.

La presencia del fenómeno es más habitual de lo que se puede pensar, al encontrar rastros de su uso tanto a nivel industrial, con consecuencias que pueden llevar incluso a la paralización de procesos, como también a nivel doméstico donde tanto elementos de fontanería como aquellos de uso diario que trabajan con agua a altas temperaturas se ven afectados en su funcionamiento.

El mecanismo utilizado para poder comprobar empíricamente las consecuencias del uso de aguas duras, será mediante una encuesta que abarca tanto aspectos cualitativos como cuantitativos. Los resultados de dicho estudio, serán apoyados con información del Departamento de Estadísticas e Información de Salud, el Instituto Nacional de Estadísticas y el sitio web “Agua en Chile”. El primer procedimiento será determinar si existe una vinculación entre el consumo de estas aguas y las enfermedades mencionadas anteriormente, luego la calidad con que percibe la población al considerar distintos niveles de concentración de sales y la correlación entre ambas, para finalizar con el impacto económico que genera el uso de ella a nivel doméstico ante el aumento de mantenciones como reparaciones. Sin embargo, de nada sirve detectar el problema si no se plantea al menos una solución posible que sea viable tanto técnica como económicamente para la problemática en cuestión, por lo cual se propone un proyecto evaluado a 10 años que genere un beneficio tanto al consumidor, quien obtendrá una mejor calidad de agua en cuanto a sabor como a “pureza”, como a inversionistas y empresa en el ámbito económico, aunque ésta también puede ver mejorada su imagen al realizar una diferenciación con las restantes suministradoras



ABSTRACT

The present thesis is to determine the economic consequences for the use of hard water in Greater Santiago, with the general objective of studying the technical and economic feasibility of the implementation of hard water treatment plants, given the economic and social impact that these generate to the inhabitants of communes of Greater Santiago, and in the background the link between this type of water with renal and cardiovascular diseases.

In order to do so, it will be initially necessary to determine what is a hard water, its classification according to the concentration of salts and the mechanisms available to inhibit and / or eliminate the formation of the same. Subsequently, the companies operating in Greater Santiago will comply with the chemical elements of hard water and a comparison will be made with the regulations in force in the countries belonging to the Organization of American States, the World Health Organization and the World Health Organization. European Union.

The presence of the phenomenon is more habitual than one can think, when finding traces of its use so much at industrial level, with consequences that can lead even to the paralysis of processes, as well as at the domestic level where both plumbing elements as those of daily use that work with water at high temperatures are affected in its operation.

The mechanism used to verify empirically the consequences of the use of hard water will be through a survey that covers both qualitative and quantitative aspects. The results of this study will be supported by information from the Department of Statistics and Health Information, the National Institute of Statistics and the website "Water in Chile". The first procedure will be to determine if there is a link between the consumption of these waters and the diseases mentioned above, then the quality of the population when considering different levels of salt concentration and the correlation between both, to end with the economic impact that generates the use of it at the domestic level before the increase of maintenance as repairs. However, it is useless to detect the problem if there is at least one possible solution that is feasible both technically and economically for the problem in question, which is why it proposes a project evaluated 10 years that generates a benefit to both the consumer, who will obtain a better quality of water in terms of taste as "purity", as investors and company in the economic area, although this can also see improved its image by making a differentiation with the other suppliers



ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	II
ABSTRACT	III
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	X
1.1 - Problema de Investigación	X
1.2 – Objetivos	XII
1.2.1 - Objetivo General	XII
1.2.2 - Objetivos específicos.....	XIII
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	XIV
2.1 Ciclo integral del Agua	XIV
2.2 Definición y origen del agua dura.	XV
2.3 Clasificación de la dureza del agua.	XVI
2.4 Determinación de la dureza del agua	XVIII
2.5 Enfermedades asociadas al agua dura	XIX
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROBLEMA.....	XXI
3.1 Normativa de dureza del agua de consumo a nivel nacional, países de América, U.E y la OMS ...	XXI
3.1.1 Antecedentes.....	XXI
3.1.2 Comparación de normativas	XXII
3.2 Presencia del fenómeno.....	XXIV
3.2.1 Nivel Doméstico	XXIV



3.2.2 Nivel Industrial	XXVI
3.4.2 Identificación de las incrustaciones	XXVII
3.4.3. Impacto del agua dura en industrias	XXIX
3.3 Remoción de agua dura	XXXI
3.3.1 Antecedentes de dureza del agua, incrustaciones y corrosión	XXXI
3.3.2 Métodos de descalcificación de aguas	XXXIV
3.3.3 Costos de sistemas aplicados	XLVII
3.4 Caso de Estudio	XLVIII
3.4.1 Comparativa de durezas	XLVIII
3.4.2 Enfermedades del tipo renal, glomerular y tubulointersticial y del sistema circulatorio en la R.M	LII
3.4.3 Encuesta aplicada	LX
3.4.4 Evaluación económica	LXV
CONCLUSIONES	LXXIV
REFERENCIAS	LXXV
ANEXOS	LXXXII
Anexo 1: Porcentaje de cumplimiento acumulado según concesionaria, período: enero a diciembre – 2014	LXXXII
Anexo 2: Prestadores de Servicios según N° de clientes en el país	LXXXIII



Anexo 3: Detalle de resultados de la calidad del agua potable durante 2014 por servicio de concesionaria.

..... LXXXIII

Anexo 4: Evaluación económica en un periodo de 10 años para utilización de métodos de

descalcificación en un hogar. LXXXV

Anexo 5: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de

Enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales en la RM en 2011..... LXXXVI

Anexo 6: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de

Enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales a nivel país en 2011 LXXXVIII

Anexo 7: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de

Enfermedades del sistema circulatorio (incluye enfermedades cardíacas) en la RM en 2011. LXXXIX

Anexo 8: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de

Enfermedades del sistema circulatorio (incluye enfermedades cardíacas) a nivel país en 2011. XCI

Anexo 9: Encuesta base para estudio XCII

Anexo 10: Percepción de calidad según encuesta XCV

Anexo 11: Tarifas de principales concesionarias XCIX

Anexo 12: Datos de evaluación económica C

Anexo 13: Ingresos, costos y flujos proyectados CIII



TABLAS

Tabla 1: Elementos químicos presentes en el agua y normativa chilena bajo la cual se rigen.	XII
Tabla 2: Clasificación del agua de acuerdo a la concentración de iones de Ca y Mg a un PH=10 en distintas escalas equivalentes.	XVII
Tabla 3: Valores límites de dureza, calcio y magnesio bajo la norma propia de cada país de América, U.E. y la OMS	XXIII
Tabla 4: Perdidas energéticas producto de incrustaciones	XXX
Tabla 5: Valores utilizados como referencia para el cálculo del índice de Langelier	XXXIII
Tabla 6: Comparativa de costos entre los distintos métodos de descalcificación en un periodo de 10 años.	XLVII
Tabla 7: Muestra de estudio para determinar correlación entre dureza del agua y percepción	LXIII
Tabla 8: Costo aproximado anual por consumo de agua de acuerdo a tarifas por concesionarias.	LXV
Tabla 9: Costo aproximado anual y tarifas post-modificación.....	LXVII
Tabla 10: Relación costo- ingreso de concesionarias.	LXVIII
Tabla 11: Estructura de costo de capital de Aguas Andinas	LXIX
Tabla 12: Flujos descontados del proyecto según la tasa de costo de capital.	LXXI
Tabla 13: PAYBACK actualizado del proyecto	LXXII

Figuras

Figura 1: Mapamundi de distintas regiones del orbe con enfermedades renales crónicas por causas no tradicionales.	XIX
Figura 2: Incrustaciones en tuberías de producción.....	XXVIII
Figura 3: Modelo de funcionamiento de un descalcificador eléctrico.....	XXXV



Figura 4: Proceso de Osmosis Inversa en membranas semipermeables para la purificación del agua	XL
Figura 5: Modelo que resume los diferentes procesos que presenta el sistema de membranas.	XLIII
Figura 6: Recomendación de uso de membranas de acuerdo a las dimensiones de partículas a tratar. .	XLIV
Figura 7: Rango de presiones a las cual diferentes partículas son sometidas según el proceso de membrana utilizado.....	XLIV
Figura 8: Proceso de suavizamiento de agua en un desmineralizador tipo catión – anión de doble intercambio.	XLVI
Figura 9: Mapa a nivel nacional que presenta los niveles de dureza del agua en diferentes localidades.....	L
Figura 10: Mapa del Gran Santiago que presenta los niveles de dureza del agua en las comunas que conforman la región.	LI
Figura 11: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada comuna de la Región Metropolitana, como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales.....	LII
Figura 12: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales por habitante de la comuna respectiva.....	LIII
Figura 13: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada región del país, como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales.....	LV
Figura 14: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales por habitante de la región respectiva.	LV
Figura 15: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada comuna de la región metropolitana, como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio.	LVII
Figura 16: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio por habitante de la comuna respectiva.....	LVIII



Figura 17: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada región del país, como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio.	LIX
Figura 18: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio por habitante de la región respectiva.	LX
Figura 19: Clasificación de calidad del agua de consumo según percepción de cada encuestado diferenciado por comuna de residencia.....	LXI
Figura 20: Relación entre nivel de dureza y la clasificación promedio de calidad del agua de consumo según percepción de cada encuestado diferenciado por comuna de residencia.	LXII
Figura 21: Cantidad de litros de agua mediante ingesta directa por consumidor	LXIV
Figura 22: Motivaciones para no ingerir agua directamente de “la llave”	LXIV



CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 - Problema de Investigación

La revista *Enciclopedia Libre* (2008) señala que el agua es el mayor componente dentro del cuerpo humano, representando entre un 60% - 70% del peso de una persona, la cual se encuentra distribuida en un 63% al interior de las células, y el restante 37% en el exterior de ellas.

Al considerar la proporción del agua en distintos tejidos, se destaca el 99% dentro del plasma sanguíneo, saliva y jugos gástricos, el 84% en peso de tejido nervioso, un 73% en la composición del hígado, un 71% de la piel. [1].

Además, el agua se emplea en la mayoría de las acciones cotidianas tales como aseado personal, lavado de ropa y losa, ingrediente para cocinar, etc., y en el consumo humano es vital ya que transporta los nutrientes y productos de desechos entre los tejidos y órganos del cuerpo.

Según Conant & Fadem, 2011, una ingesta de agua de baja calidad puede desarrollar enfermedades como el cólera o empeorar otros problemas de salud como la deshidratación, infecciones, desnutrición, anemia y otras del tipo diarreica dada la presencia de microbios, lombrices y/o sustancias tóxicas, lo cual puede tener consecuencias incluso mortales [2]. Es por ello que cabe replantearse: ¿La calidad del agua de consumo humano suministrada por las distintas empresas bajo la normativa vigente es adecuada para el bienestar de las personas? Y siendo más específico ¿Los niveles de dureza no generan problemas en la salud de los consumidores? El estudio realizado en esta tesis busca encontrar posibles impactos que puede estar generando la alta dureza del agua tanto en el ámbito económico como en la lozanía de los consumidores de las provincias del Gran Santiago; es decir Chacabuco, Cordillera, Maipo, Melipilla, Santiago y Talagante.

Adicionalmente se determina el porcentaje de personas con enfermedades renales y cardiovasculares en las zonas mencionadas, con la finalidad de evaluar el grado de correlación que pudiese o no existir entre la dureza del agua y las enfermedades referidas.

Tal como lo presenta Aguas Andinas (s.f.), uno de los proveedores de la zona, tiene dos tipos de fuente de abastecimiento; aguas superficiales, que representan el 85% del total del suministro (como es el caso de Río Maipo, Laguna Negra, Embalse El Yeso y Estero San Ramón) y subterráneos (15%), que contempla 150 pozos profundos y drenes que extraen el agua de 3 acuíferos [3]. El nivel de dureza del agua se presenta en una mayor o menor medida de acuerdo a la fuente de abastecimiento que utilice la planta para suministrar a



los usuarios el producto deseado, solución que puede llevar consigo componentes que inciden en la salud de las personas según sea el nivel de concentración de la mezcla; como lo expone la revista Ecologia Hoy, 2012, entre las principales sustancias se encuentran minerales como: calcio, magnesio, hierro, sodio, fluoruros, cloruros, entre otros [4]. Es oportuno señalar que los niveles de concentración dependerán de variados factores, entre ellos, la ubicación geográfica, el clima, las mantenciones de la empresa suministradora a sus ductos, etc. En lo que respecta a componentes activos, según Hanco, 2008, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas [5], los cuales son los causantes de la formación de sarro en los productos que hierven agua tales como teteras, planchas, hervidores, etc. tal como lo explica la Superintendencia de Servicios Sanitarios (de ahora en adelante SISS) [6], por lo cual también es necesario identificar el impacto económico que tiene este tipo de fenómenos.

De acuerdo a la regularización actual que presenta Chile en su artículo "norma NCh 409/1 Of. 2005", el agua suministrada a la población no tiene ninguna obligación de cumplir con ciertos límites respecto al calcio, caso contrario ocurre con el magnesio, el cual no puede superar los 125[mg/l]. En la tabla 1, se presentan los componentes químicos activos en el agua de suministro, lo cual debe cumplirse en todo el territorio nacional bajo lo que dicta la norma nacional NCh409/1, sin importar la empresa que suministre el servicio:

Tabla 1: Elementos químicos presentes en el agua y normativa chilena bajo la cual se rigen.

Elementos químicos			
Cobre	≤	2.0	mg/l
Zinc	≤	3.0	mg/l
Cromo	≤	0.05	mg/l
Fluoruro	≤	1.5	mg/l
Hierro	≤	0.3	mg/l
Manganeso	≤	0.1	mg/l
Magnesio	≤	125	mg/l
Selenio	≤	0.01	mg/l

Fuente: Centro de Investigación Periodística (CIPER). (27 de julio de 2006). Norma Chilena Oficial NCh409/1.Of2005. *Agua Potable - Parte 1 - Requisitos*, 1ª ed, pag.4. Santiago, Región Metropolitana, Chile: Instituto Nacional de Normalización (INN). Obtenido de <http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>. [7]

Finalmente, dado que la concentración de magnesio en el agua proviene directamente de las rocas que se desgastan en contacto con el fluido turbulento (Lenntech, s.f.) [8], es muy probable que con el paso del tiempo su concentración aumente debido al deterioro principalmente de los ductos.

En consideración a lo antes expuesto, el problema de altas concentraciones de ciertos minerales en el agua será abordado para demostrar tanto cuantitativa como cualitativamente las posibles consecuencias de su uso dentro del Gran Santiago como fue especificado inicialmente, lo cual involucra evaluar los niveles de concentración de elementos químicos en el agua, su variación (en caso que así sea) respecto a la norma, los gastos a nivel doméstico como a nivel industrial, correlación con enfermedades renales y cardiovasculares, entre otros.

1.2 – Objetivos

1.2.1 - Objetivo General

Estudiar la factibilidad técnica y económica de la implementación de plantas de tratamiento de aguas duras dado el impacto económico y social que éstas generan a los habitantes de comunas del Gran Santiago.



1.2.2 - Objetivos específicos

- Investigar el origen de las aguas duras y su “vinculación” con enfermedades renales y cardiovasculares, mediante información presentada por organismos internacionales y evaluaciones empíricas para descartar hipótesis infundadas sobre el consumo del bien en cuestión.
- Analizar los niveles de dureza que presenta el agua mediante muestreo en los distintos puntos de suministro para comprobar si es que la normativa está siendo cumplida por las distintas empresas suministradoras de acuerdo a lo establecido actualmente en los elementos químicos que sean regulados.
- Comparar los niveles de dureza que exige la normativa chilena en materia de concentraciones de minerales y dureza en el agua respecto a otros países de la región, a los estándares de la Organización mundial de la Salud (OMS) y también lo establecido por la Unión Europea para evaluar si existen diferencias significativas en la calidad del agua con aquellos que tienen niveles notoriamente distantes a los nuestros.
- Explicar los 5 mecanismos existentes tanto para la remoción de dureza como la inhibición de formación de la misma, tanto al interior de artefactos domésticos como también industriales.
- Evaluar económicamente el impacto de aguas duras en artefactos y accesorios a nivel doméstico, mediante encuestas que expresarán las diferencias dañinas dependiendo de la dureza del sector investigado.
- Analizar económicamente la posibilidad de implementar una planta que disminuya los niveles de dureza mediante la sensibilización del precio en consumidores utilizando como herramienta financiera criterios como VAN, TIR Y PAYBACK ACTUALIZADO.



CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Ciclo integral del Agua

El agua se encuentra en constante movimiento, desde la evaporación hasta la devolución de las aguas al mar, es por ello que se puede hablar del ciclo integral del agua. Es en su esencia es igual en cualquier planta de distribución, la cual consta principalmente de 6 etapas como lo explica Aguas Andinas (s.f.) en su sitio oficial [9]:

1. Captación: Corresponde a la obtención del agua, ya sea desde fuentes superficiales o fuentes subterráneas. En el caso de la primera fuente se trata principalmente de ríos, lagos y embalses, mientras que la segunda fuente consta de pozos y acuíferos. En Santiago el 85% de las aguas son de fuentes superficiales, mientras que el restante 15% proviene de fuentes subterráneas, generadas por la infiltración del agua en las capas inferiores.
2. Producción: Este proceso contempla una serie de pasos que permiten eliminar la turbiedad y suciedad del agua cruda captada, transformándola en agua apta para el consumo humano. Estos pasos en secuencia lógica son: Coagulación primaria, floculación primaria, pre decantación, segunda etapa de coagulación y floculación, filtración, cloración y finalmente, fluoración.
3. Distribución: El agua potable sale desde los acueductos, hasta llegar a los estanques de almacenamiento. Desde ahí se transporta a través de tuberías subterráneas, las cuales llegan al destino de cada consumidor. En el caso de Aguas Andinas, los estanques están ubicados en distintos lugares de la Región Metropolitana, con el propósito de regular y distribuir el agua potable a los distintos sectores de la red. Durante la noche, los estanques acumulan gran cantidad de agua debido al menor consumo por parte de la población, es por ello que en la mañana los estanques se encuentran llenos y permiten entregar en forma continua agua potable.
4. Consumo: Este proceso es propio de cada consumidor de acuerdo a sus necesidades, sin embargo es posible realizar un consumo promedio de una familia con cinco integrantes tanto para verano como para invierno, obteniendo así un total de $34,5[m^3]$ y $25[m^3]$ respectivamente.
5. Alcantarillado: El agua utilizada día a día según las necesidades de cada consumidor se transforma en “aguas servidas” o contaminadas dada la utilización previa. Es por ello que el cauce natural del agua es el alcantarillado, sistema que permite conducir las aguas desde el centro de consumo hasta las plantas de tratamiento de aguas servidas del proveedor del bien.



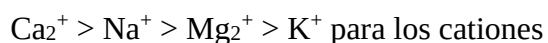
6. Depuración: El agua proveniente de los alcantarillados es tratada mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, para luego lograr un agua efluente de mejores características de calidad y cantidad, tomando como base ciertos parámetros normalizados. Posteriormente, esta agua ya tratada o depurada se envía a ríos y cauces naturales que atraviesan Santiago para comenzar nuevamente el proceso de evaporación desde estas fuentes, iniciando el ciclo integral del agua mediante la captación.

El enfoque de este estudio se contextualiza principalmente en la distribución, ya que al tratarse de fluidos turbulentos que van al interior de tuberías realizando el desgaste en las paredes en su transcurso desde la salida de la planta hasta los centros de consumo, van dando origen a un fenómeno denominado “agua dura”

2.2 Definición y origen del agua dura.

“La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua” (Valenzuela , 2004, pág. 12)[10] generada casi en su totalidad tanto por calcio (aproximadamente 2/3 del total) como por magnesio (aproximadamente 1/3 del total) ya que en términos generales se encuentran entre 5-500 mg/L de carbonato de calcio CaCO_3 .

La concentración de sustancias disueltas en el agua puede variar considerablemente, según la localización geográfica y la estación del año. Frecuentemente, en lo que respecta a componentes activos, la concentración relativa de los iones o microcomponentes más importantes del agua, en orden decreciente, es la siguiente:



“Estos iones están generalmente presentes en concentraciones que oscilan de 1 a 250 mg/L. Los restantes iones o microcomponentes se encuentran en menores concentraciones, incluso inferiores a 1 $\mu\text{g/L}$. Los iones de calcio y magnesio son los principales cationes bivalentes y conjuntamente constituyen el 95% de lo que se conoce como Dureza del Agua, la cual es una mezcla compleja y variable de cationes y aniones”. (Arias Jordá & Vitoria Miñana, 2000, pág. 11) [11]

Si bien la dureza del agua se debe principalmente a la presencia de calcio y magnesio, también contribuyen a ella el estroncio, hierro, manganeso, bario y otros iones polivalentes, los cuales se combinan con aniones como el sulfato, cloruro, nitrato y bicarbonato aunque su influencia es en mucha menor medida.



Adicionalmente, la presencia de estos elementos en el agua puede ser explicada por las ecuaciones 1 y 2 presentadas a continuación:



El ciclo de contaminación por sales en el agua, tiene su origen geológico representado en la Ecuación 1, donde el dióxido de carbono (que se encuentra en el aire) en unión con el agua de lluvia y vertientes forman ácido carbónico, el cual posteriormente al reaccionar con el carbonato de calcio, el cual es insoluble en agua, forman el Carbonato de Ácido de Calcio expuesto en la Ecuación 2, compuesto que sí es soluble en agua y genera iones de Ca^{2+} y HCO_3 . (Moreno & Mohina, 2011, pág. 20) [12].

Cabe destacar que las fuentes naturales principales de la dureza del agua provienen del suelo y son las rocas sedimentarias, las percolaciones y la escorrentía. El agua dura normalmente se origina en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y existen formaciones calcáreas. Por lo general, el agua subterránea es más dura que el agua de superficie, debido a que ésta es rica en ácido carbónico y oxígeno disuelto, suele poseer un alto potencial solubilizante, lo que va a provocar un mayor grado de erosión del suelo o de las rocas, “las cuales contienen cantidades apreciables de minerales como la calcita (CaCO_3), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$) y dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) lo que, en consecuencia, puede llegar a elevar los niveles de dureza en varios miligramos por litro”.(Neira Gutierrez, 2006, págs. 5-6) [13].

Por lo tanto, tomando en consideración las reacciones químicas expuestas en la ecuación 1 y 2 y además de acuerdo al origen del agua por el tipo de suelo proveniente, es que será posible obtener suministros con menor o mayor concentración de esos minerales, particularmente de Ca y Mg, pudiendo de esta forma clasificar las aguas de acuerdo a su nivel de dureza.

2.3 Clasificación de la dureza del agua.

Para realizar la clasificación del agua, es necesario primero presentar las distintas equivalencias que existen en el orbe para expresar la dureza; estas son:

- Grado Americano ($^{\circ}\text{a}$) $\longrightarrow$ $1^{\circ}\text{a} = 17,2 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$
- Grado Francés ($^{\circ}\text{f}$) $\longrightarrow$ $1^{\circ}\text{fH} = 10.00 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$
- Grado Alemán ($^{\circ}\text{d}$) $\longrightarrow$ $1^{\circ}\text{dH} = 17.85 \text{ mg CaCO}_3 / \text{L}$



- Grado Inglés (°e) $\longrightarrow$ 1°eH = 14.25 mg CaCO₃ /L

Bajo estas condiciones, y considerando un PH=10, las aguas se clasifican de acuerdo a su nivel de dureza como lo presenta la tabla 2:

Tabla 2: Clasificación del agua de acuerdo a la concentración de iones de Ca y Mg a un PH=10 en distintas escalas equivalentes.

Tipo de Agua	mg/l	°fH	°dH	°eH
Agua Blanda	≤17	≤1,7	≤0,95	≤1,19
Agua levemente dura	≤60	≤6,0	≤3,35	≤4,20
Agua moderadamente dura	≤120	≤12,0	≤6,70	≤8,39
Agua dura	≤180	≤18,0	≤10,05	≤12,59
Agua muy dura	>180	>18,0	>10,05	>12,59

Fuente: Rodríguez, S. (2010). Edutecne. *La Dureza del Agua*. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe . Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf. [14]

Además de poder clasificar el agua de acuerdo a su nivel de dureza, es posible realizar una categorización de acuerdo a la asociación entre sales de calcio y magnesio con iones de bicarbonatos; tal como lo expone Jorge Marcó (s.f.) [15], estas son:

Dureza total: La concentración de calcio y magnesio en el agua es total. No existe información acerca del carácter incrustante del agua ya que no contempla la concentración de iones bicarbonatos presentes.

Dureza temporal: Este tipo de dureza permite la incrustación del agua en los materiales ya que permite la unión de calcio y magnesio con iones bicarbonatos.

Dureza permanente: Si bien no genera incrustaciones en otros materiales, permite la unión de calcio y magnesio con otros tipos de iones, tales como cloruros, sulfatos y nitratos.

Por lo tanto, es posible identificar la naturaleza de la dureza del agua y sus diversas equivalencias graduales bajo las cuales es medible, es por ello que el siguiente paso es presentar distintos métodos con los cuales se puede determinar empíricamente la dureza que contiene el bien.



2.4 Determinación de la dureza del agua

Existe, entre otros, tres mecanismos para determinar la dureza del agua (“Determinación de la dureza del agua”, 2012, págs. 2-3) [16]; estos son:

1. Método del Jabón: Consiste en unir el agua con una solución de jabón de concentración conocida, donde el indicador es la propia espuma que se genera del jabón una vez que toda la dureza se ha consumido (o sea después que el jabón de sodio se ha combinado con los iones calcio y magnesio) formando así jabones insolubles con un volumen de solución de jabón que se puede determinar.
2. Método Gravimétrico: El calcio se determina por precipitación como oxalato, que luego se calcina para transformarlo en óxido de calcio. El magnesio se analiza precipitándolo como ortofosfato de magnesio y amonio, que también se calcina para convertirlo en pirofosfato de magnesio. La dureza total se calcula sumando el calcio y el magnesio de los residuos calcinados.
3. Método del EDTA: Consiste en un agua neutra (pH 6-8) la cual se une con una sal de sodio del ácido etilendiaminotetracético (EDTA), en presencia de un colorante que sirve de indicador. Uniendo una segunda alícuota de la muestra en presencia de otro indicador y otro amortiguador, se efectúa una determinación por separado del calcio, diferenciando así el calcio del magnesio.

Por lo tanto, considerando el conocimiento en cuanto al ciclo del agua, su proceso de transformación, generación de agua dura y su respectiva clasificación, es que se presenta el siguiente ítem el cual relaciona directamente el consumo del bien con enfermedades que posiblemente se podrían provocar (o en caso contrario resolver) por el consumo del bien bajo ciertas condiciones.

2.5 Enfermedades asociadas al agua dura

De acuerdo al mapamundi de la figura 1, existen diversas regiones en el mundo que presenta enfermedades renales crónicas clasificadas como no tradicionales, ya que su “etiología es multifactorial, como por ejemplo arsénico, cadmio, residuos de pesticidas, agua dura + características de los suelos”. (Ministerio de Salud de El Salvador, 2013, pág. 11). [17]



Figura 1: Mapamundi de distintas regiones del orbe con enfermedades renales crónicas por causas no tradicionales.

Fuente: Afán de Rivera, B. Q. (20 de marzo de 2012). <http://www.slideshare.net/>. Obtenido de Determinación de la dureza del agua: <http://www.slideshare.net/jotacealejo/determinacin-de-la-dureza-del-agua-beatriz-afn-de-rivera>. [17]

La enfermedad renal crónica que se da en las regiones demarcadas (tales como América Central, sur de México, Sri Lanka, India, Vietnam, Nepal y Egipto) se denomina nefritis intersticial, la cual se define como “un trastorno renal en el cual los espacios entre los túbulos renales resultan hinchados (inflamados), lo cual puede causar problemas con la forma en cómo funcionan los riñones. Esta puede ser temporal o prolongada (crónica) y empeorar con el tiempo”. (Medline Plus, 2014) [18].

Este tipo de enfermedades, entre otras causas, está asociado a un alto consumo de calcio, la cual se da predominantemente en hombres jóvenes y trabajadores agrícolas.



En lo que respecta a enfermedades cardiovasculares, tal como lo señala la acta pediátrica española en su documento “*Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿molesto o necesario?*” (2002) [19], en la mayoría de los estudios de mayor duración se ha encontrado una relación inversa entre la dureza del agua de consumo y las enfermedades en cuestión. Sin embargo, existen otros estudios en que la relación no ha podido ser evidenciada o demostrada. Cabe destacar que existen diversas variables que pueden influir dentro de los resultados del estudio y que pueden generar confusión como por ejemplo, variables climáticas, socioeconómicas, alimentación, etc. Existen estudios como los realizados por Nerbrand y Cols, los cuales controlan variables como hábitos de consumo de tabaco, hipertensión e hiperlipidemia generando los mismos resultados que los mencionados anteriormente. Sin embargo, la OMS a pesar de las pruebas existentes, no afirma la veracidad de la relación.

Según Vitoria (2002) [19] respecto a la litiasis urinaria, existen estudios realizados que establecen la relación entre ésta y la ingestión de aguas ricas en calcio, sin embargo al igual como en el caso anterior (relación del agua con enfermedades cardiovasculares) existen otros estudios que no logran demostrar la relación.



CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROBLEMA

3.1 Normativa de dureza del agua de consumo a nivel nacional, países de América, U.E y la OMS

3.1.1 Antecedentes

Es evidente la importancia que tiene el agua en todo ámbito para la vida de las personas, es por ello que los países deben colocar especial énfasis a la hora de regular el proceso completo del ciclo del agua, considerando en esto su composición química. Probablemente, una de las entidades que tiene una mayor influencia en esta materia (reguladora y prevencionista) es la Environmental Protection Agency (EPA) (2008), la cual afirma que lo más importante para impedir la contaminación es proteger las fuentes del agua potable. Es mejor, más eficaz y económico prevenir la contaminación de los abastecimientos de agua potable que pagar por el tratamiento o limpieza de los mismos ya contaminados (p.8) [20]. Por la misma razón, los países generan reglamentos que dejan establecido claramente la composición que debe poseer el agua, los cuales utilizan como modelo de comparación los parámetros que expresa la OMS en su artículo de “Guías para la calidad de agua potable”.

Obviamente, el sentido de este documento es establecer normas para que la entrega del bien de consumo no genere efectos negativos en la salud de las personas, ni tampoco que se produzcan quejas por parte del consumidor por aspectos como el sabor, por ejemplo. Ello implica que los prestadores de servicio que entregan el bien en cuestión, deben realizar muestreos constantemente según lo estandarizado en la norma NCh 409/1 Of. 2005, transparentando a la vez el nivel de cumplimiento por cada uno de los parámetros establecidos, tal como se presenta en el **anexo 1** para el caso particular de la región metropolitana con sus respectivos proveedores. Ahora bien, hay que destacar la mutación que se ha producido durante los últimos años dentro del país como se ve de manifiesto en el **anexo 2** respecto a los proveedores de servicio, desde el sector público hacia el sector privado casi en su totalidad, lo cual implica fiscalizaciones continuas y rigurosas por parte de la SISS para que cumplan precisamente con las condiciones interpuestas en la norma antes mencionada.

En lo que respecta netamente a la dureza, la OMS (2003) ha ido modificando los parámetros de las normas internacionales para el agua potable, es así como en 1971 señalaron que el grado máximo permisible en aguas de consumo era de 500 [mg] de carbonato calcio por litro, basado en la aceptabilidad del agua para el uso doméstico. Sin embargo, la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicadas en 1984, concluyó que no existían pruebas sólidas de que el consumo de agua dura provocara efectos adversos



en la salud de las personas y que, por tanto, no era necesaria ninguna recomendación relativa a la restricción del ablandamiento de las aguas ni a un nivel determinado respecto a la concentración de calcio o magnesio. Se estableció un valor de referencia de 500 [mg/l] de carbonato cálcico para la dureza, basado en consideraciones sobre el sabor y el uso doméstico. Ya en las “Guías para la calidad de agua potable” de 1993 no se propuso ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza aunque, si ésta se encontraba por encima de 200 [mg/l] aproximadamente, podía provocar la formación de incrustaciones en el sistema de distribución. La aceptabilidad por parte de la población del grado de dureza puede variar considerablemente de una comunidad a otra. Es por ello que según las condiciones de cada región, los consumidores llegan a tolerar en algunos casos el sabor del agua con una dureza mayor a los 500 [mg/l] de carbonato de calcio [21]. Entonces, al no poseer información concluyentemente perjudicial respecto al nivel de dureza del agua, no se presentan valores explícitos de regulación ya que las concentraciones de sales se encuentran en valores mucho menores a los que pueden producir efectos tóxicos, sin embargo es necesario recalcar que dependiendo de los niveles presentados, el agua podría ser percibida por el consumidor con uno u otro sabor, lo que en algunas situaciones puede ser desagradable al paladar.

Es evidente que al hablar de dureza del agua, corresponde también presentar información respecto de los elementos que la explican, principalmente calcio y magnesio que para el caso particular de Chile y basado en la norma NCh 409 Of. 2005, se informa que el agua suministrada a la población no tiene ninguna obligación de cumplir con ciertos límites respecto al calcio, caso contrario ocurre con el magnesio, el cual no puede superar los 125[mg/L][7] como se ve reflejado en el **anexo 3** por cada una de las concesionarias de la región metropolitana.

3.1.2 Comparación de normativas

Para la realización de esta comparación se ha tomado como referencia el informe publicado por la Organización de Estados Americanos (OEA) en su informe de “armonización de los estándares de agua potable en las Américas” [22].

Cabe destacar que dentro de los países sobre los cuales se presentará información relevante tanto de la dureza del agua como de sus dos componentes principales (calcio y magnesio), existen parámetros que no presentan valores explícitos ya que la misma OMS no tiene evidencia concluyente para aconsejar una estandarización a los países asociados.

Como es posible identificar en la tabla 3, tanto la OMS como Chile no poseen valores estandarizados respecto a los niveles de dureza en las aguas de consumo humano. También es posible observar esta característica



para países como Estados Unidos y Panamá, además de la Unión Europea. Sin embargo, al momento de considerar los compuestos químicos es tan sólo Chile y la Unión Europea dentro de éste grupo los que poseen alguna información al respecto, lo cual permite concluir por una parte que 19 de los 21 países de América han adquirido normas reguladoras en esta materia, además de que la OMS debe poseer información suficientemente factible como para no estandarizar éstos valores, los cuales en cierta forma podrían (en caso de que así fuese) poner en peligro la salud de los consumidores a nivel mundial.

Tabla 3: Valores límites de dureza, calcio y magnesio bajo la norma propia de cada país de América, U.E. y la OMS

País	Dureza [mg/l]	Calcio [mg/l]	Magnesio [mg/l]	Año norma	Nombre norma
Chile	-	-	125	2005	NCH 409/1
Canadá	500	-	-	2004	Guidelines
Estados Unidos	-	-	-	2003	EPA 816-F
México	500	-	-	2000	NOM-127-SSA1
Guatemala	500	150	100	1998	NGO29001
Honduras	400	100	50	1995	ACUERDO N° 084
El Salvador	400	75	50	1997	NSO130701
Nicaragua	400	100	50	1994	CAPRE
Costa Rica	400	100	50	1997	DTO. 25991-S
Panamá	-	-	-	1999	RESOLUCIÓN N° 579
República Dominicana	500	200	150	1980	NOR-DOM
Cuba	400	-	-	1997	NC93-02
Colombia	160	60	36	1998	DEC 475/98
Venezuela	500	-	-	1998	NORM 187 & 138
Brasil	500	-	-	1990	PORTA-RIA 36-GM
Ecuador	500	-	-	1992	IEOS
Perú	300	-	-	1999	DIGE-S.A
Bolivia	500	200	150	1997	IBNORCA NB512
Paraguay	400	100	50	2000	LEY N° 1614
Uruguay	500	-	-	1996	DTO. 27335
Argentina	400	-	-	1994	CÓDIGO ALIMENTARIO



OMS	-	-	-	2004	VALORES GUÍAS
Unión Europea	-	100	50	1980	CD 80/778/EEC

Fuente: Truque B., P. A. (2005). *Organization of American State (OAS)*. Obtenido de Armonización de los estándares de agua potable en las Américas: <http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf> [22]

Otro aspecto que es relevante dentro de esta tabla, son los valores que presenta Colombia, los cuales denomina como “criterios de calidad química para características con implicaciones de tipo económico o acción indirecta sobre la salud” (Ministerio de Salud Pública, 1998, pág. 5) [23], valores que se encuentran bastante alejados de la realidad americana que ronda entre 400 [mg/L] - 500 [mg/L] para el ítem de dureza. Sin embargo, es necesario recalcar que estos límites son superiores a los niveles sobre los cuales se forman incrustaciones (ronda los 200 mg/L), por lo cual existe una gran probabilidad de que éstas se generen al interior de los sistemas de distribución.

3.2 Presencia del fenómeno

3.2.1 Nivel Doméstico

El fenómeno de la dureza del agua es perceptible a diario sobre cualquier producto que deba estar en contacto con ella. Físicamente, su presencia se visualiza mediante una delgada película blanca en elementos sólidos, mientras que en elementos líquidos mediante una especie de “isla flotante” que genera un mal aspecto a la vista de las personas.

Algunos ejemplos con sus respectivas implicancias se exponen a continuación:

Hervidor, ollas y teteras: El líquido ya no calienta tan rápido porque se produce una capa aislante, hay corrosión entre el metal y la capa de sarro y el agua se llena de sedimentos. Ello implica obviamente que el consumo energético aumente dada la capa aislante que no permite la libre transferencia de calor.

Lavadora: Por una parte se produce una calcificación de la resistencia eléctrica de la lavadora, la cual está encargada de calentar el agua, y que termina por destruirse o fundirse, lo que a su vez tiene un costo de reposición o mantención respectivamente. Por otra parte, la funcionalidad se ve afectada ya que disminuye la capacidad de espumar del detergente, lo cual implica un aumento de éste para lavar la misma cantidad de ropa.

Posterior al proceso de lavado se debe considerar el secado, donde el agua dura también tiene una participación directa, ya que la ropa al ser expuesta al sol sufre un nuevo golpe de temperatura, generando



cristales de calcio y magnesio incrustados (fenómeno conocido como cristalización) lo cual implica aspereza en la misma. Por la misma razón, es factible asumir el aumento de suavizantes de ropa para lavadoras.

Lavavajilla: Su debilidad principal al igual que la lavadora, se encuentra en la resistencia, la cual sufre el mismo fenómeno mencionado anteriormente. Si bien existen diversos lavavajillas que traen incluido ablandador de agua, existen otros que no y que buscan como alternativa el uso de sal, pero terminan afectando de todas maneras la resistencia acortando aún más su vida útil. El efecto de corto plazo se ve reflejado en vasos y copas de cristal debido al fenómeno de cristalización, los cuales deben ser repasados con un paño para sacarle las manchas con forma de aureolas.

Calefón: Este producto posee en su interior un serpentín (elemento generalmente de cobre con forma de espiral por donde entra el agua fría, la cual transcurre por el interior de las paredes del mismo que están siendo calentadas, para entregar en su salida el agua caliente), en el cual se va generando una capa de aislación como ha sido explicado anteriormente. Como consecuencia de este proceso continuo aumenta el gasto energético. “Está estimado que con cada milímetro de incrustación que se forma de sarro pierdes un 16 por ciento de capacidad térmica”. (Radic, 2014, pág. 13) [24].

La capacidad térmica, definida como la cantidad de energía necesaria para modificar en 1 °C la temperatura de un cuerpo, se ve disminuida principalmente por la capa aislante que genera el sarro, la cual complica la absorción de calor. A continuación se presenta la Ecuación 3 que permite explicar de mejor manera el fenómeno

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \quad (3)$$

Donde:

C: Capacidad térmica [cal/°C]

ΔQ : Variación de calor, ya sea por absorción o suministro [cal/°C]

ΔT : Variación de temperatura [cal/°C]

Cañerías y baño: Lo que ocurre generalmente con las cañerías es que se tapan, por lo cual hay que cambiarlas. En el caso de monomandos (llaves de paso de agua que permiten regular tanto el caudal como la temperatura a la vez) comienzan a filtrar como consecuencia de las incrustaciones. También se generan



problemas en válvulas semiautomáticas que poseen temporizador, como las que se encuentran generalmente en baños públicos, ya que se quedan pegadas. El sarro también complica las tazas de baños, por ejemplo los flotadores duran menos, las gomas pierden flexibilidad y no sellan bien.

3.2.2 Nivel Industrial

A este nivel, las aguas con estas características presentan serios inconvenientes principalmente en equipos que trabajan con altas temperaturas, ya que se generan incrustaciones lo cual reduce la eficiencia dada la disminución de conductividad térmica y junto con ello, el aumento de energía. En industrias con utilización de detergentes, el agua es un factor relevante, ya que ante una mayor dureza, aumenta el consumo del insumo porque la formación de espuma se dificulta dada la presencia de sales insolubles.

La acumulación de sedimentos minerales es uno de los mayores problemas que se genera en áreas de producción de algunas industrias. Se debe principalmente a que un conjunto de depósitos se incrustan en revestidores (“tubería especial que se introduce en el hoyo perforado y luego se cementa para lograr la protección de éste y permitir posteriormente el flujo de fluidos desde el yacimiento hasta la superficie”. (Cruz, 2012) [25]), tuberías de producción, bombas, etc., haciendo que se obstruya el forado e impidiendo por lo tanto el flujo normal de fluidos. Estas incrustaciones se pueden generar a lo largo de toda la trayectoria que sigue el agua, es decir, desde los pozos inyectores o fuentes abastecedoras hasta los equipos de trabajo. Por ejemplo, en el caso de campos petroleros la formación de incrustaciones se da por la precipitación de minerales presentes en el agua formada, o también como consecuencia de que el agua producida se sobresatura de éstos minerales cuando dos aguas incompatibles se encuentran en el fondo del pozo (cabe destacar la existencia de la denominada “agua formada” bajo la capa de los hidrocarburos, la cual se mezcla con el agua inyectada para lograr que el petróleo salga a la superficie generando así una máxima extracción del elemento en cuestión). También es posible encontrar efectos similares en válvulas de seguridad, las cuales pueden ser cubiertas o deterioradas producto de las incrustaciones antes mencionadas. Por ello sus efectos, ante la ausencia de políticas preventivas, pueden tener implicancias gravísimas como lo es por ejemplo la paralización completa de extracción de petróleo con sus consecuencias económicas respectivas.

El problema de incrustaciones minerales que se genera en campos petroleros, se da solamente cuando existe producción de agua. Como ésta es un buen solvente, puede transportar grandes cantidades de minerales (los cuales tienen gran dependencia de la temperatura, la presión y la salinidad). La formación de estas incrustaciones comienza cuando se perturba el estado del fluido natural, provenientes de yacimientos de carbonatos y areniscas cementadas con calcita, de tal forma que se excede el límite de solubilidad de uno o



más de sus componentes. En el caso particular del carbonato de calcio, existe una relación inversa entre su nivel de solubilidad (cantidad de iones disueltos) y la temperatura, al igual que cuando se compara la solubilidad con la presión. Esto se puede complejizar aún más ante la presencia de gases ácidos como el dióxido de carbono (CO_2), el cual ante una disminución de presión deja la fase acuosa provocando que su pH aumente, y con ello la formación de incrustaciones calcáreas.

Crabtree, M. et al. (1999) [26] plantean que si bien las incrustaciones de minerales se pueden desarrollar por un cambio de temperatura, de presión, la liberación de alguno de los gases mencionados con anterioridad, la modificación del pH o por incompatibilidad, no necesariamente el agua sobresaturada presentará problemas de incrustaciones. El origen de las éstas se desarrolla a partir de una solución, en la cual se forman grupos de átomos inestables al interior del fluido saturado (proceso denominado nucleación homogénea). Estos grupos de átomos van formando pequeños cristales (semillero de cristales). Dado un cierto grado de sobresaturación, la formación de cualquier semillero de cristales va a favorecer el aumento de incrustaciones minerales, ya que además actúa como un catalizador de formación de incrustaciones. Otra forma de que los cristales crezcan se da en superficies que presentan defectos preexistentes, como lo son las asperezas, las zonas de unión de tuberías de producción e incluso en zonas de alta turbulencia de fluidos, proceso que es denominado nucleación heterogénea. (págs. 30-32)

3.4.2 Identificación de las incrustaciones

El fenómeno de las incrustaciones a nivel industrial tiene graves consecuencias desde el punto de vista económico, es por ello que es necesario identificar la ubicación de los depósitos minerales y la composición de los mismos. Crabtree, M. et al. (1999) [26] explican que en el caso de tuberías de producción y equipos de superficie, las incrustaciones pueden presentarse como una capa espesa adherida a las paredes interiores de la tubería. Éstas pueden tener varios centímetros de espesor con cristales que incluso pueden superar la longitud de 1 [cm]. El primer efecto de la formación de incrustaciones en tuberías se ve reflejado en la disminución de la tasa de producción ya que aumenta la rugosidad de la superficie del tubo y con ello la fluencia (pág. 33). Obviamente, si es que aumenta el crecimiento de minerales depositados, la sección se va angostando lo cual dificulta el acceso a las siguientes zonas, lo que en un caso más crítico puede llegar a bloquear el flujo completo de producción (proceso reflejado en figura 2). Como se aprecia, las incrustaciones de carbonatos se encuentran más cercanas a la tubería.

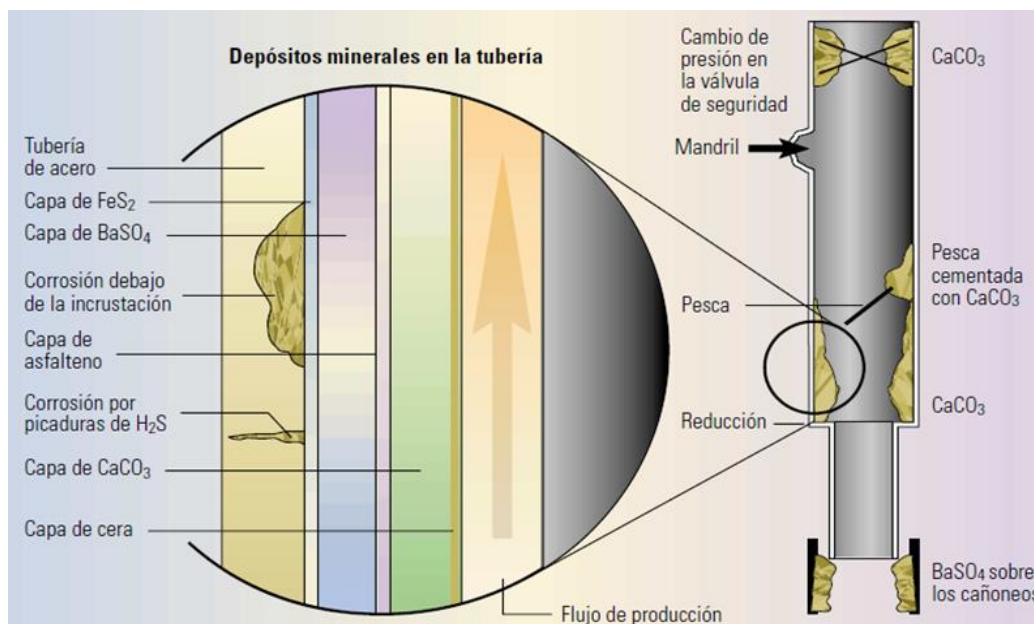


Figura 2: Incrustaciones en tuberías de producción

Fuente: Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., & King, G. (10 de enero de 1999). La lucha contra las incrustaciones - remoción y prevención. *Oilfield Review*, 11(3), 30-49. Texas, Estados Unidos. Obtenido de http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish99/aut99/p30_49.pdf [26]

Otro lugar donde es posible encontrar incrustaciones es en matrices cercanas a pozos de extracción de petróleo generadas principalmente por aguas incompatibles, donde el impacto es menor (pérdida de permeabilidad) ya que las partículas de carbonatos son de un menor tamaño en comparación con las de tuberías.

También es posible verificar incrustaciones en pozos petroleros del tipo inyector, en los cuales se aplica agua o gas para mantener la presión de un yacimiento en la operación de recuperación secundaria con la finalidad de “extraer un mayor porcentaje de los recursos que se encuentran al interior del reservorio”. (Yacimientos Petrolíferos Fiscales, 2013) [27]. Este tipo de incrustaciones son generadas principalmente por la temperatura del agua utilizada en el proceso de inyección, sin embargo también se puede generar por la mezcla incompatible del agua de formación respecto al agua de inyección. Las consecuencias principales son la disminución de permeabilidad de formación y reducción de efectividad del proceso de recuperación secundaria (inundación con agua para extraer petróleo mediante un “barrido”).

Como fue mencionado anteriormente, existe la posibilidad de encontrar evidencias de incrustaciones en formas físicas como químicas. En el primer caso es posible verificar su existencia en forma visible en



tuberías, mientras que en el segundo caso se comprueba mediante un análisis de la composición química del agua, en particular la cantidad de iones disueltos en el agua producida. Por ejemplo, si existe un cambio notable en la concentración de iones de carbonato de calcio y además la producción disminuye, puede ser un indicio que se han comenzado a formar incrustaciones. Es de vital importancia para el negocio el advertir este tipo de situaciones, ya que la producción podría bloquearse completamente en un tiempo menor a 24 horas.

3.4.3. Impacto del agua dura en industrias

El agua tiene una gran relevancia para la producción en distintas industrias, es por ello que es necesario evaluar su impacto, el cual será tratado a modo de ejemplo en diferentes operaciones de las industrias más relevantes en esta materia. Como ha sido recalcado con anterioridad, los principales “contaminantes” en las operaciones industriales son el magnesio y el calcio con un mayor grado de influencia aún, es por ello que se deben tomar las medidas necesarias para evitar o mitigar la formación de incrustaciones que tienen consecuencias directamente en el caudal de flujos, transferencias de calor, calidad de fluidos, etc.

Los iones en cuestión producen sobre las superficies de transferencia térmica y otras partes internas del sistema de calderas, depósitos voluminosos y pesados, que pueden ser desde precipitados leves hasta incrustaciones con altos niveles de dureza. Como lo explica Lamela (s.f.)[28], en el caso de calderas que alimentan sus procesos con aguas no tratadas, solo se está potenciando la aparición de incrustaciones en un lapso muy corto, lo cual hará disminuir la transferencia de calor, provocando el sobrecalentamiento del metal, su fatiga y su explosión por ser sometidos a sobrecargas térmicas a las de diseño. Las sales componentes, “son sustancias insolubles que se precipitan sobre las paredes interiores de los tubos de las calderas formando capas de notables dureza. Estas traen por consecuencias la disminución de la transferencia de calor de los gases de la combustión al agua y al mismo tiempo impiden la adecuada circulación a través de los tubos. El principal peligro que representan las incrustaciones consiste en que, al demorar la absorción del calor por el agua, hacen que la temperatura de los tubos llegue a ser excesiva; este peligro existe principalmente en los tubos sometidos al calor radiante de la llama. El sobrecalentamiento de los tubos conduce rápidamente a su ruptura”. (pág.77)

Las incrustaciones pueden producirse también en los domos, tubos de recalentadores y tuberías de alimentación, casos en los cuales su efecto es producir una resistencia al flujo de agua, exigiéndose una mayor presión de bombeo para mantener el suministro adecuado.

Cabe destacar que el tipo de incrustación formada, se dará por la presencia de uno u otro tipo de compuesto, específicamente si se está en presencia de sulfatos, carbonatos o bicarbonatos lo cual obviamente tiene



distintos costos a la hora de su remoción ya que se puede estar en presencia de dureza permanente o ante dureza temporal. Además, existen costos asociados que están vinculados directamente a la operación como se puede visualizar en la tabla 4.

Tabla 4: *Perdidas energéticas producto de incrustaciones*

Espesor de incrustaciones de residuos en tubos	Pérdida de calor que se produce	Aumento de consumo de combustible equivalente
0,8 mm	8%	2,00%
1,6 mm	12%	2,50%
3,2 mm	20%	4,00%

Fuente: Rb Bertomeu. (1999, actualizado 2015). <http://www.rbbertomeu.es>. *Incrustaciones en calderas de vapor a fuel-oil*. Fraga, Huesca, España. Obtenido de Documentación técnica: <http://www.rbbertomeu.es/html/docs/AP-H-ET-calderas%20fuel.pdf> [29]

Por otra parte, en sistemas de enfriamiento abiertos pueden formarse incrustaciones y depósitos debido a la concentración de sólidos disueltos que se produce durante el enfriamiento por evaporación. Cuando se sobrepasan los límites de solubilidad, el carbonato de calcio se precipita en la forma de depósitos o lodos.

En la industria petrolera las incrustaciones naturales que más preocupan a los productores son el carbonato de calcio y sulfato de calcio, las cuales se producen por temperatura, presión y sales disueltas totales en los diferentes procesos. En esta industria también puede producirse corrosión, la cual está muy ligada a la presencia de dióxido de carbono (CO_2).

A modo de simplicidad se encuentra el caso de cañerías, lo cual fue explicado anteriormente, y calderas, las cuales utilizan agua que debe estar desprovista de dureza temporal, porque en caso contrario las sales depositadas en torno a los tubos de fuego van formando una capa aislante que impide el intercambio adecuado de calor entre gases de la combustión y agua, con la consecuente pérdida de eficiencia. En el caso de calderas con tubos de fuego, donde circula agua a calentar por el interior a éstos, y por el exterior gases calientes generados por la combustión, la capa de sales es depositada al interior de los tubos y su consecuente aislamiento, pudiendo producir que el tubo se caliente mucho, se reblandezca y estalle generando la explosión de la caldera.



3.3 Remoción de agua dura

3.3.1 Antecedentes de dureza del agua, incrustaciones y corrosión

Cabe destacar que el agua en su esencia es “blanda”, sin embargo va adquiriendo diferentes niveles de dureza en su recorrido a los puntos de abastecimiento, cuando transcurre por las diversas fases hidrológicas en las cuales absorbe los distintos minerales que la dejan en el estado antes mencionado. Esta agua contiene una cantidad importante de sales de calcio y magnesio, que si bien por el momento no ha podido ser demostrado tener implicancias en la salud del ser humano, si es posible afirmar que afectan tanto a componentes industriales como de hogares, incluyendo en si las incrustaciones. Es por ello y dado los posibles efectos que puede tener su utilización, es que se han ido generando distintos sistemas que tratan la remoción de la dureza del agua, los cuales encuentran un gran uso a nivel industrial con la finalidad de evitar las posibles consecuencias económicas, aunque también son utilizados a nivel doméstico para el ahorro proporcional.

Dependiendo el contexto en que se encuentre operando el agua, ya sea a nivel doméstico o industrial, para un tipo de proceso en particular, bajo ciertas condiciones de trabajo, etc. es que se debe aplicar uno u otro tratamiento que esté adecuado para la remoción de sales que podrían tener un impacto dentro del uso dado con la finalidad de disminuir costos, insumos y tiempos de procesos. Pero se debe tener cuidado de no sobrepasar los límites necesarios de desmineralización ya que un agua muy blanda también puede tener implicancias negativas al carecer de estos compuestos, pudiendo llegar a ser corrosiva en algunos casos.

La OMS (2003) [21] define a la corrosión como “la disolución parcial de los materiales que componen los sistemas de tratamiento y distribución, depósitos, tuberías, válvulas y bombas. Puede ocasionar fallos estructurales, filtraciones, pérdida de capacidad y deterioro de la calidad química y microbiológica del agua”. (p.154). La corrosión interna de tuberías y accesorios puede repercutir directamente en la concentración de algunos componentes del agua, como el plomo y el cobre. El control de la corrosión es, por consiguiente, un aspecto importante de la gestión de la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo. El control de la corrosión conlleva el monitoreo de muchos parámetros, como las concentraciones de calcio, bicarbonato, carbonato y oxígeno disuelto, así como del pH. Los requisitos específicos varían en función de la calidad del agua y de los materiales empleados en el sistema de distribución. El pH controla la solubilidad y la velocidad de reacción de la mayoría de los metales que intervienen en reacciones de corrosión. Tiene particular importancia en lo que respecta a la formación de una película protectora sobre la superficie del metal. La concentración de carbonato y bicarbonato (alcalinidad) y la concentración de calcio (dureza) también afectan a las velocidades de corrosión de algunos metales, entre los principales se encuentran:



Hierro: Es un material usado con frecuencia en sistemas de distribución de agua, y su corrosión es problemática. Si bien es raro que se produzcan fallos estructurales como consecuencia de la corrosión del hierro, cuando se genera en exceso el fenómeno en tuberías de éste metal puede ocasionar problemas de calidad del agua (por ejemplo, su coloración de rojo), lo cual visiblemente no da un buen aspecto para el consumo. Como consecuencia de la corrosión, se forman tubérculos sobre la superficie de la tubería que se encuentran determinados principalmente por el pH y la alcalinidad, aunque también las concentraciones de calcio, cloruro y sulfato influyen en la corrosión del material.

Cobre: La corrosión de tuberías y depósitos de agua caliente de cobre puede azular el agua, teñir de azul o verde los accesorios del baño y, en ocasiones ocasionar problemas organolépticos (en este caso, sensación de mal sabor del agua). Las tuberías de cobre pueden sufrir corrosión general, corrosión por erosión y corrosión por picadura. La corrosión general suele producirse con aguas blandas y ácidas: las aguas con pH menor que 6,5 y dureza menor que 60 mg de carbonato cálcico por litro tienen una alta capacidad de corrosión del cobre.

“Los métodos más frecuentemente utilizados para controlar la corrosión en redes de distribución de agua son el ajuste del pH, el aumento de la alcalinidad o la dureza, o ambas, y la adición de inhibidores de la corrosión, como polifosfatos, silicatos y ortofosfatos, aunque no siempre es posible lograr ajustar todos los parámetros a los valores deseados. Por ejemplo, el pH de las aguas duras no puede aumentarse demasiado, ya que la dureza disminuiría. La aplicación de cal y dióxido de carbono a aguas blandas puede servir para aumentar tanto la concentración de calcio como la alcalinidad hasta al menos 40 [mg/L] de carbonato cálcico”. (OMS, 2003, pág. 156) [21].

Tal como lo presenta Nordconsultors (s.f.), el índice de Langelier es un buen parámetro para determinar el carácter incrustante o corrosivo del agua, así como también los niveles de equilibrio que debe poseer el agua respecto del anhídrido carbónico, bicarbonatos-carbonatos, pH, temperatura, concentración de calcio y salinidad [30], con lo cual se puede tomar la decisión de mantener los niveles de los elementos mencionados anteriormente, o aplicar algún método para la remoción de dureza.

Este índice puede poseer tres tipos de valores, los cuales tienen obviamente su significado:

- Si el índice es 0: el agua está perfectamente equilibrada.
- Si el índice es negativo: indica que el agua es corrosiva.
- Si el índice es positivo: indica que el agua es incrustante.



Este parámetro debe variar entre $-0,5$ y $+0,5$ para que el agua sea apta para consumo humano según el Real decreto RD 140/2003 [31], valor que se puede obtener bajo la Ecuación 4, utilizando como referencia los datos aportados por la tabla 5.

Tabla 5: Valores utilizados como referencia para el cálculo del índice de Langelier

Temperatura		Dureza		Alcalinidad	
°C	TF	Ppm	HF	ppm	AF
0	0	5	0,7	5	0,7
4	0,1	25	1,4	25	1,4
8	0,2	50	1,7	50	1,7
12	0,3	75	1,9	75	1,9
16	0,4	100	2	100	2
20	0,5	150	2,2	150	2,2
24	0,6	200	2,3	200	2,3
28	0,7	250	2,4	250	2,4
32	0,7	300	2,5	300	2,5
36	0,8	400	2,6	400	2,6
40	0,9	500	2,7	500	2,7
50	1	1000	3	1000	3

Fuente: Nordconsultors. (s.f.). Obtenido de Cálculo del índice de Langelier: <http://www.nordconsultors.es/indice-langelier.html> [30]

$$I_L = pH + TF + HF + AF - 12,5 \quad , \quad (4)$$

Donde:

I_L : Índice de Langelier

pH: Medida de acidez o alcalinidad de una solución.

TF: Factor dado un cierto nivel de temperatura [°C]

HF: Factor dado un cierto nivel de dureza [ppm]

AF: Factor dado un nivel de alcalinidad [ppm]

Cabe destacar que la alcalinidad del agua se puede definir como la capacidad que posee ésta para neutralizar ácidos, donde la mayor contribución está dada por los compuestos de bicarbonatos y carbonatos.

Cuando se obtienen valores entre $+0,5$ y $+1,5$ se está en presencia de agua de carácter incrustante, donde las principales soluciones son disminuir el pH o el nivel de alcalinidad. De manera similar, cuando el índice se



encuentre entre $-0,5$ y $-1,5$ se puede afirmar la presencia de agua corrosiva, donde obviamente se puede tomar medidas mitigadoras como aumentar el pH o la alcalinidad. Por lo tanto, se considera un agua óptima para el consumo humano cuando el valor de pH fluctúa entre $7,2-7,6$, una alcalinidad entre $80-125[\text{ppm}]$ y una dureza entre $200-400[\text{ppm}]$.

Existen tecnologías para el ablandamiento del agua dividida en cinco categorías, estas son: Mecánicas, químicas, físicas, destilación y filtrado, las cuales serán abordadas a continuación.

3.3.2 Métodos de descalcificación de aguas

Como ha sido mencionado con anterioridad, es necesaria en ciertas situaciones la remoción de dureza del agua ya que en muchas ocasiones implican costos y tiempos que afectan potencialmente a los procesos de industrias así como también las labores a nivel doméstico, es por ello que a continuación se describirán cada una de las tecnologías utilizadas para el ablandamiento y/o purificación de aguas.

3.3.2.1 Métodos físicos

Son denominados de esta forma ya que alteran las condiciones físicas del agua dura, ya sea reduciendo sus niveles o eliminando los depósitos de cal. Sus imanes o espirales se enrollan en la tubería principal. Este tipo de tratamiento es posible encontrarlo en dos formas:

Descalcificadores de aguas electrónicos: Tal como lo explica Aguapura Fadecen (2012) [32], son inhibidores del tipo electrónico que se presentan físicamente mediante una pequeña caja con circuitos eléctricos y una o varias espirales que se enrollan alrededor de la tubería de entrada de agua.

En este método, una serie de bobinas montadas en el interior del descalcificador electrónico y que van alrededor de la cámara de tratamiento por la que va a circular el agua a tratar, reciben de manera constante e ininterrumpida una secuencia de impulsos eléctricos del generador electrónico, a una tensión y una frecuencia determinada. De esta manera se transmite un campo de impulsos en el curso del agua procesada, tal como se presenta en la figura 3, ionizando las partículas de carbonato cálcico para transformarlas en Aragonita (mineral no incrustante y no adherente) evitando así la formación de sarro al interior de tuberías e incluso reduciendo depósitos existentes. Cabe destacar que este tratamiento no genera electrolisis ya que la corriente no es transmitida al flujo del agua.

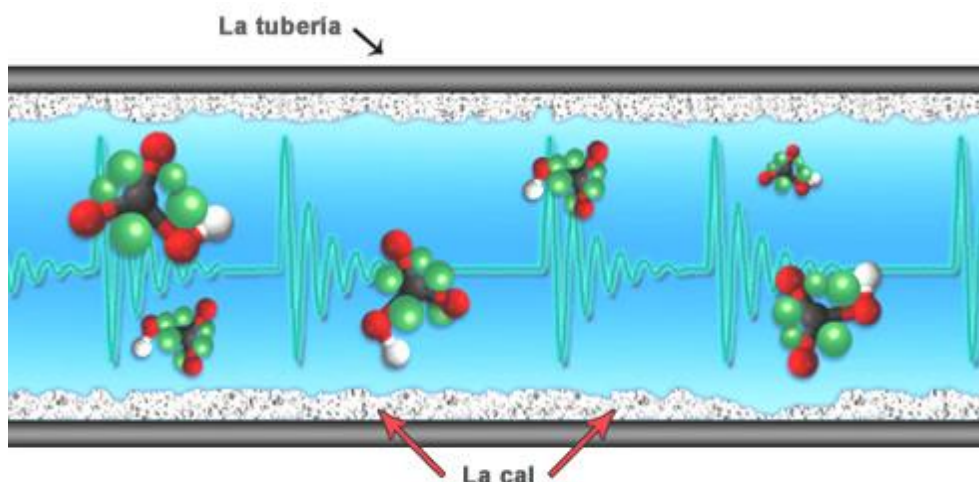


Figura 3: Modelo de funcionamiento de un descalcificador eléctrico

Fuente: Aguapura Fadecen. (2012). <http://www.descalcificador-agua.com>. Obtenido de Funcionamiento del descalcificador electrónico: <http://www.descalcificador-agua.com/tipos-de-descalcificador/electronico/> [32]

Dentro de las ventajas que posee este tipo de descalcificador es que mantiene los minerales básicos del agua, su valor de mercado es uno de los más económicos dentro de las opciones disponibles y los costos de instalación son bajos ya que no se necesitan trabajos de plomería. Sin embargo, su efecto es limitado en el tiempo y en el espacio ya que el agua no posee una composición óptima para su funcionamiento.

Descalcificadores de agua magnéticos: Son imanes que se pueden presentar como abrazaderas ubicadas en la parte exterior de la tubería de entrada como también puede encontrarse al interior de la tubería. Consiste básicamente en la alteración de las características de los minerales del agua mediante la aplicación de un campo magnético alto con un caudal bajo. Este fenómeno depende en gran medida de la intensidad de campo magnético aplicado y la velocidad del fluido, sin embargo no se tiene una total claridad respecto a la estructura del agua dado el campo aplicado. Las alternativas que surgen son dos básicamente, una implica un reforzamiento del poder de atracción de los iones diluidos y otra que actúa sobre las moléculas de agua rompiendo el fuerte encapsulamiento de los iones.

En su estudio, Zabaleta, Valera, Rivas, Mendoza y Tinoco (1998) [33] demuestran que al aplicar un campo magnético sobre aguas duras, se forman microcristales que según las condiciones, se precipitan y/o se mantiene en suspensión. El tipo de microcristales generados dependen principalmente de los constituyentes del agua dura y de los parámetros del tratamiento magnético. La efectividad de este tratamiento se encuentra



en la prevención de las incrustaciones, no en la remoción de dureza, ya que prácticamente no remueve dicha condición.

Si bien sus costos de adquisición, instalación y mantenimiento son bajos, no existe aún evidencia científica de su funcionamiento ni obviamente sus resultados concretos, inclusive existe una alta cantidad de quejas por parte de usuarios [34] [35]. Finalmente, cabe destacar que es sólo aplicable a caudales pequeños, lo cual implica que su uso es básicamente a nivel doméstico y bastante limitado.

3.3.2.2 Métodos de destilación

Es el método (“Agua con calidad”, s.f.) [36] que produce el agua más pura en comparación a cualquier otro existente hasta el momento. Su forma de presentación en viviendas es mediante grandes calderas mientras que hay otros aparatos más pequeños para propósitos comerciales o clínicas dentales. Este método consiste en calentar el agua hasta hervirla, para luego transportarla a un depósito donde se condensa y vuelve a estado líquido. Mientras se evapora el agua de la solución y el líquido se vuelve más concentrado, se llega a un punto en que los límites de solubilidad de la sal son sobrepasados, lo cual provoca la precipitación en forma de incrustaciones sobre las superficies de transferencia de calor donde el agua es evaporada. Dicho de otra forma, como se explica en el ensayo *Actividad De Metacognición Química 2* (s.f.) [37], muchos elementos de carácter contaminante quedan atrapados, especialmente los metales pesados, sin embargo no se puede controlar la formación de una solución entre el agua en proceso de condensación y los productos químicos orgánicos en estado gaseoso que no son eliminados.

Como fue mencionado anteriormente, este sistema permite obtener el agua más pura posible lograda de manera artificial, sin embargo no es conveniente desde el punto de vista económico dado su alto costo de adquisición al igual que el de instalación, por lo tanto no es recomendable a nivel doméstico al menos. Otro problema asociado, es que las incrustaciones disminuyen en gran cantidad la velocidad de transferencia de calor, retarda la evaporación y reducen la eficiencia térmica.

Cabe destacar que al ser un agua sin minerales, incluyendo aquellos que son favorables para la salud humana, el organismo buscará la obtención de los mismos en otras fuentes de menor satisfacción, por lo cual se podrían generar descompensaciones con las consecutivas enfermedades. Es por ello que a este tipo de métodos, es necesario inevitablemente sumarle la realización de otros procesos para revitalizar o energizar el producto final deseado.



3.3.2.3 Métodos de filtrado

Este tipo de método se puede presentar en diversas formas, desde formatos tan rudimentarios como por ejemplo jarros con rejillas hasta procesos más sofisticados como el de osmosis inversa. En algunos se utilizan pastillas de carbón activo, mientras que en otros membranas semipermeables. Los procesos encargados de filtrar el agua para retirar las impurezas son los siguientes:

Filtros de carbón activo: La revista *Vinculando* (2010) [38] afirma que “un filtro de carbón activado o activo trabaja como tamiz extrayendo los materiales pesados que se encuentran, por ejemplo, en el agua y el aire; actuando así como un purificador”. Este procedimiento científicamente es conocido como intercambio iónico, en dónde los iones libres de un material fundido parcial o completamente en agua permiten la formación de una solución que conduce una corriente eléctrica. Es un procedimiento similar al que utilizan los descalcificadores mecánicos para retirar la dureza del agua, aunque también en forma paralela eliminan sustancias nocivas tales como bacterias, esporas de hongos, legionela, suciedad, plomo y partículas de cal, así como asbesto y otras toxinas, ya que estas sustancias quedan atrapadas en los granulados de carbono. A menudo se le añade nitrato de plata al granulado del filtro para evitar la formación de bacterias contaminantes en el cartucho.

El carbón activo tiene como principal característica su material extremadamente permeable, el cual posee poros menores a 2 nanómetros y que son muy eficientes en los fenómenos de adsorción, es decir tiene la capacidad para “atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo” (Real Academia Española, 2012) [39]. Al cabo de este proceso, sólo las moléculas más puras del líquido son las que logran pasar por estos poros.

Cabe destacar la importancia de este tipo de procesos ya que en muchas ocasiones se puede pensar que a nivel general el agua de consumo en hogares se encuentra sin problemas, sin embargo al aplicar este tipo de filtros existe una alta probabilidad de quitar elementos nocivos para la salud humana que en ocasiones no son perceptibles ni sensibles al gusto del consumidor.

Dentro de las ventajas que poseen este tipo de procesos es el buen sabor del agua, la cual está libre de cal y cloruros, sin ser necesaria para ello la utilización de electricidad ni sal. Además, a diferencia del proceso de destilación, los minerales esenciales quedan inmersos dentro del líquido final.

Sin embargo, a diferencia de descalcificadores normales, el carbón activo no se regenera lo cual incluye cambios de cartucho en forma periódica y con ello costos asociados, por lo tanto es inviable para suministrar a toda una vivienda, limitando el proceso básicamente al consumo en forma de bebestible.



Gráficamente, se presentan en forma de pastillas que se integran en jarras o aparatos conectados a las tuberías y que asoman con un pequeño grifo.

Proceso de membranas: Una de las características principales que tiene esta tecnología de membrana es el hecho de que su trabajo es realizado sin la adición de productos químicos, con procesos bien definidos y estandarizados. La tecnología que hace referencia a membranas es solo un término genérico ya que dentro de ella es posible encontrar una serie de procesos de separaciones diferentes y muy características como fue destacado con anterioridad. Obviamente dentro de todos los procesos que se explicarán a continuación existe el hecho de que comparten la característica del uso de membrana del tipo semi-permeable.

Como lo explica Neira Gutierrez (2006) [13], el procedimiento consiste en una membrana que actúa como un filtro muy específico el que dejará pasar el agua purificada, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias que componían el fluido original. Sin embargo, para que este proceso se lleve a cabo debe existir una especie de fuerza impulsora que permita el movimiento y separación de soluciones, entre los que destaca por ejemplo la aplicación de alta presión, el mantenimiento de un gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de un potencial eléctrico. En términos sencillos, la membrana actúa como una pared de separación selectiva en donde ciertas sustancias pueden atravesar la membrana, mientras que otras quedan atrapadas en ella.

Hay dos factores que determinan la efectividad de estos procesos de filtración y que dependen obviamente de la membrana utilizada; estas son: selectividad y productividad. La selectividad se representa mediante un parámetro llamado factor de retención o de separación mientras que la productividad queda evidenciada por un parámetro denominado flujo.

A modo macro, cabe destacar la clasificación del proceso de membranas según el tipo de filtración utilizado, es decir por una parte se tiene la microfiltración y la ultrafiltración mientras que por otra parte la nanofiltración y ósmosis inversa (híper filtración). Por ejemplo, ante la situación que se esté en presencia de partículas más grandes para ser retiradas, se aplica la microfiltración y la ultrafiltración. Como este tipo de membranas poseen celdas de un mayor tamaño, la productividad es alta mientras que la diferencia de presión se ve reducida.

En casos como la desalinización del agua, es conveniente utilizar nanofiltración y ósmosis inversa ya que el tamaño de las partículas es menor en comparación con las que transcurren en los procesos mencionados con anterioridad. La presión requerida para realizar la nanofiltración y la ósmosis inversa es mucho más alta que la requerida para la micro y ultrafiltración, mientras que la productividad es mucho más baja.



La técnica de filtración mediante membranas tiene bastantes ventajas frente a las técnicas existentes de purificación del agua; por una parte es un proceso que puede ocurrir a bajas temperaturas y además es posible llevar al cabo mediante un bajo coste energético. La mayor parte de la energía requerida es la necesaria para bombear los líquidos a través de la membrana.

Sin embargo presenta dificultades a la vez en su operación, particularmente ante las inevitables situaciones de obstrucción. El nivel de aglomeración depende obviamente del tipo y cantidad de suciedad, la cual se ve influenciada por la calidad del agua, el tipo de membrana utilizada, el material de la cual está fabricada la misma, y el diseño y control del tratamiento. En casos que producto de la obstrucción el nivel de presión aumente demasiado, es recomendable hacer cambios de filtros ya que el proceso no será rentable económica ni técnicamente.

A continuación se presentan los diferentes sistemas derivados del proceso de membranas:

- **Sistema de osmosis inversa**

Cabe destacar que este tipo de procesos permite retirar tanto iones de calcio como magnesio, sin embargo su utilización fundamental tiene otros propósitos como por ejemplo; la obtención de agua más pura y limpia para consumir.

En Marionkuprat (“Métodos para filtrar el agua potable: Comparación de tecnologías”, 2013) [40] se afirma que en este tipo de sistemas, se comprime a presión el líquido a tratar mediante una membrana sintética semipermeable que solo permite el paso de agua pura, por lo cual las sustancias disueltas y no disueltas en agua, no pueden ingresar a la sección en cuestión y son desechadas regularmente a una zona de residuos. Su funcionamiento implica que el agua con altas concentraciones de sedimentos se somete a presión, siendo posteriormente dirigido hacia la membrana semipermeable, de tal forma que la presión acumulada sea mayor que la presión osmótica. Ello conlleva a que las moléculas de agua pasan desde una solución con gran concentración de diversos compuestos, hacia una solución con mejor concentración como se puede representar gráficamente en la figura 4 expuesta a continuación:

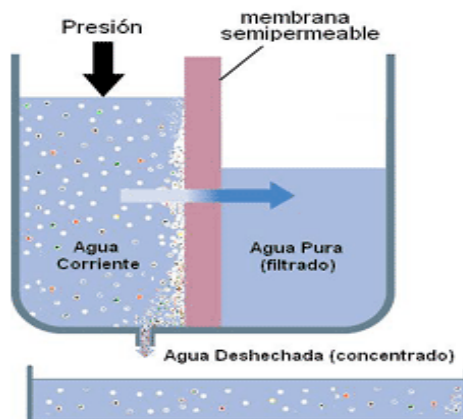


Figura 4: Proceso de Ósmosis Inversa en membranas semipermeables para la purificación del agua

Fuente: Purepro-ecuador. (2010). purepro-ecuador. Obtenido de ¿Qué es la Ósmosis inversa y en qué consiste?: <http://www.purepro-ecuador.com/osmosis.htm> [41]

Tal como lo grafica la figura 4 y lo explica la American Water Works Association (AWWA), Research Foundation Lyonnaise des Eaux & Water Research Commission of South Africa (1998) [42], existen dos fluidos con distintos niveles de concentración de diversos elementos, los cuales en estado natural (sin barreras ni oposiciones) buscaran mezclarse hasta formar un fluido con los mismos niveles de concentración, sin embargo al existir esta membrana el fluido con una menor concentración tenderá a desplazarse hacia el que tiene una mayor concentración. La diferencia de altura generada por el movimiento de los fluidos es lo que se denomina presión osmótica. Al aplicar una presión mayor (en comparación a la presión osmótica) en la sección del fluido más concentrado se genera el efecto inverso. Como consecuencia de la presión que se ejerce en el fluido contra la membrana semipermeable, los sólidos van quedando “atrapados” de tal forma que posteriormente van quedando depositados en una sección inferior.

Las presiones utilizadas en este proceso van desde los 5.0 – 8.0 MPa, dependiendo de la aplicación. El proceso de ósmosis inversa rechaza los iones monovalentes y compuestos orgánicos de peso molecular mayores a 50[gr/mol], ya que el tamaño de los poros de la membrana es de menos de 0.002 [μm].

Por este método se eliminan el calcio y el magnesio en un 94- 98%, pero también se eliminan el sodio en un 87-93%, los nitratos en 60-75% y los iones de cloruro y fluoruro (87-93%). (Neira Gutierrez, 2006, pág. 35) [13].

La desventaja que genera este tipo de procesos está dada por el costo de mantenimiento ya que se requiere reemplazar periódicamente los filtros si se quiere obtener los resultados óptimos. Además, dado el efecto



purificador que tiene este tipo de sistemas, es necesario agregar o acoplar sistemas extras para remineralizar y revitalizar el agua que se encuentra en su estado puro, ya que el cuerpo requerirá de estos elementos.

A continuación se exponen algunos ejemplos donde es posible ver aplicado este tipo de procedimiento:

- . Ablandamiento del agua.
- . Producción de agua potable.
- . Producción de agua procesada.

- **Nanofiltración**

Es un procedimiento con bastante aceptación en los últimos años, aplicado principalmente en procesos de purificación de agua potable, lo cual implica ablandamiento de agua, decoloración y eliminación de micro contaminantes, aunque también puede ser aplicado en la eliminación de sustancias orgánicas como lo son los agentes colorantes.

Como se explica en Acondicionamientos (“nanofiltración”, 2013) [43], este proceso está relacionado con la presión ejercida sobre la membrana semipermeable para la separación de moléculas con peso molecular superior a 200 [gr/mol]. Esto se debe principalmente al tamaño de sus poros, los cuales tienen dimensiones entre 0.005 y 0.5 [μm]. Obviamente, esta técnica es aplicada para sustancias del tipo orgánicas tales como micro contaminantes e iones multivalentes (incluyendo elementos como el calcio y magnesio para el ablandamiento de agua), aunque también pueden eliminar parcialmente sales univalentes como cloro y potasio (este último tipo de contaminante es removido eficazmente mediante el proceso de osmosis inversa).

La presión de trabajo oscila entre los 0.4 – 1.7 [MPa], mientras que factores como pH, turbidez y concentración de cloro del fluido en tratamiento deben encontrarse entre ciertos límites normados ya que tienen implicancias directas en la eficiencia de rendimiento de membranas.

Cabe destacar que este tipo de procesos, al igual que los otros sistemas de membranas, requieren de una etapa de pre filtrado para evitar el daño en ellas (membranas), filtros que oscilan entre 0.5 – 1.0 [mm]. Esto se debe principalmente al desconocimiento del origen del agua de alimentación.

Dada las características expuestas con anterioridad, es posible garantizar el uso del sistema de nanofiltración en comparación al de osmosis inversa en lo que respecta estrictamente a la remoción de dureza, ya que la remueve efectivamente y no elimina por completo elementos como cloruros, sodio, potasio y otros elementos univalentes necesarios para el cuerpo humano. Además, el trabajo es realizado con una menor presión, lo que se traduce en menos costos de operación y sus membranas son menos sensibles a la contaminación.



En este tipo de sistemas es posible encontrar 3 tipos de membranas; ellas son:

- Membranas de espiral, más baratos pero sensibles a la contaminación.
- Membranas Tubulares, mejor relación precio/calidad con dificultad a contaminarse.
- Membranas de cerámica, con mayor costo monetario pero aplicable a contaminantes extremos.

Sus principales aplicaciones son:

- La eliminación de metales pesados de las aguas residuales.
- Ablandamiento del agua.
- Eliminación de nitratos.

- **Ultrafiltración**

Tiene aplicaciones más “finas” respecto a la microfiltración, dado que los poros de sus membranas pueden retirar de los fluidos partículas con dimensiones entre 0.001 - 0.1 [μm]. Ello implica que es capaz de retirar por completo los virus contenidos en el fluido a diferencia de lo que ocurre con la microfiltración que solo lo realiza parcialmente.

Como lo explica Lenntech (“*Micro y ultra filtración*”, s.f.) [44], para el proceso de purificación del agua es necesario un proceso de pre-filtrado, el cual posee poros que oscilan entre los 0.5 y 1.0 [mm] dependiendo de los componentes del agua residual, con la finalidad de provenir que la membrana sea dañada al entrar en contacto con partículas duras y de carácter cortante. Una vez realizado este procedimiento, es posible recién realizar los procesos de microfiltración y ultrafiltración con un mayor grado de seguridad en que la membrana no se vea afectada.

Ejemplos de campos en los que se aplica la ultrafiltración son:

- . La industria de productos lácteos (leche, queso)
- . La industria del metal (separación de emulsiones agua/aceite, tratamiento de pinturas)
- . Pre-tratamiento del agua antes de la filtración o de la ósmosis inversa, ya que el ensuciamiento de la membrana afecta el proceso de purificación.

- Microfiltración

Como lo explica Lenntech (*"Micro y ultra filtración"*, s.f.) [44], para este tipo de procesos se utilizan membranas que oscilan el tamaño de sus poros en dimensiones entre los 0.1 – 10 μm . Se caracterizan por retener todo tipo de bacterias. También son capaces de retener la contaminación viral (aunque no en el 100% de los casos), aun cuando su tamaño es menor a las dimensiones de los poros expuestos anteriormente, ya que existen casos donde los virus se adhieren a las bacterias, por lo cual quedan retenidos en su paso por la membrana de microfiltración.

Este tipo de procesos es posible aplicarlo para diferentes tratamientos que requieran extraer partículas de un líquido con dimensiones superiores a 0,1 mm.

Algunos ejemplos de aplicaciones de la microfiltración son:

- Separación de bacterias del agua (tratamiento biológico de aguas residuales).
- Tratamiento de efluentes.
- Pre-tratamiento del agua para nano filtración y ósmosis inversa.

Finalmente, es posible verificar explícitamente en la figura 5, 6 y 7 los usos adecuados para cada uno de los procesos descritos con anterioridad para la eliminación de distintos agentes según sus características físicas y químicas, dimensiones y presiones a las cual serán sometidos.

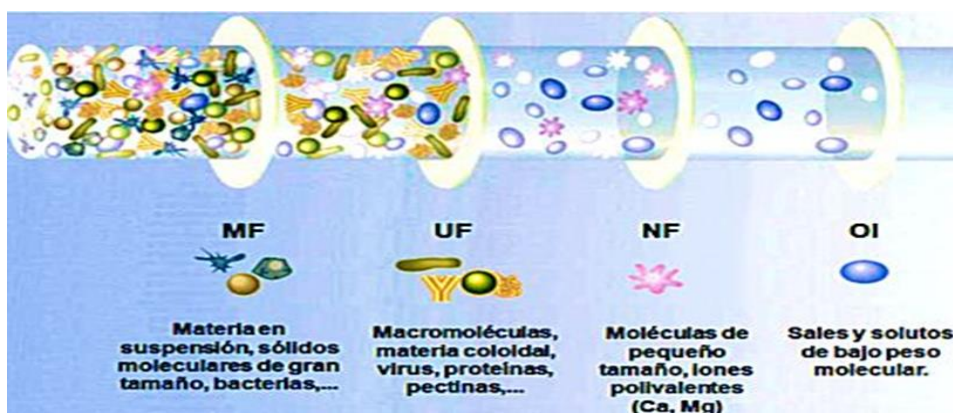


Figura 5: Modelo que resume los diferentes procesos que presenta el sistema de membranas.

Fuente: Oxidine Water technology SL. (s.f.). Membranas. *Diferencia de la tecnología de membranas*. Bergondo, Coruña, España. Obtenido de Oxidine - water technology: <http://www.oxidine.net/productos/membranas/#toggle-id-1> [45]

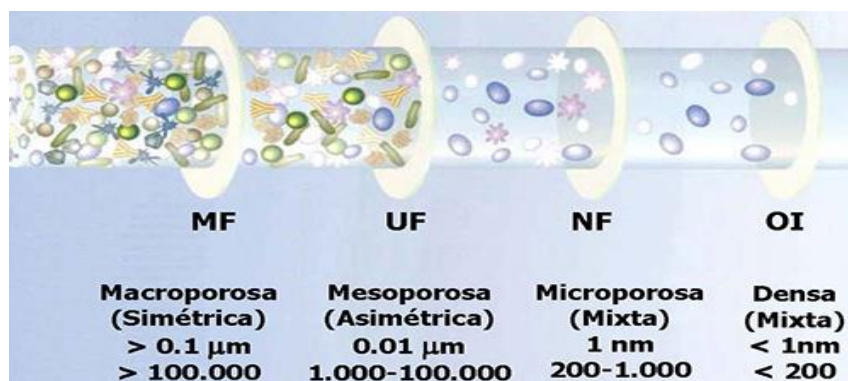


Figura 6: Recomendación de uso de membranas de acuerdo a las dimensiones de partículas a tratar.

Fuente: Oxidine Water technology SL. (s.f.). Membranas. *Diferencia de la tecnología de membranas*. Bergondo, Coruña, España. Obtenido de Oxidine - water technology: <http://www.oxidine.net/productos/membranas/#toggle-id-1> [45]

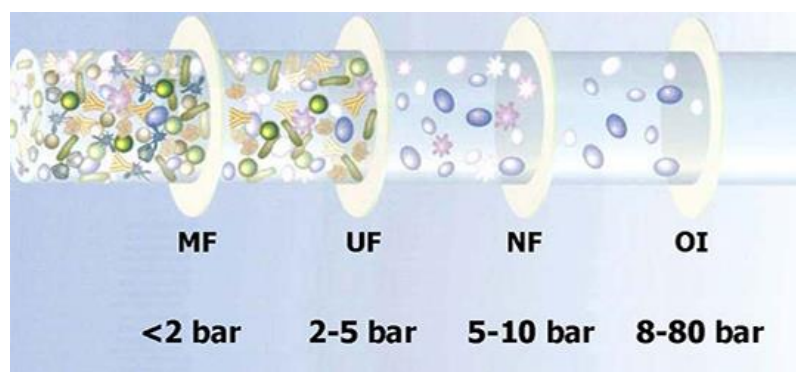


Figura 7: Rango de presiones a las cual diferentes partículas son sometidas según el proceso de membrana utilizado.

Fuente: Oxidine Water technology SL. (s.f.). Membranas. *Diferencia de la tecnología de membranas*. Bergondo, Coruña, España. Obtenido de Oxidine - water technology: <http://www.oxidine.net/productos/membranas/#toggle-id-1> [45]

3.3.2.4 Métodos mecánicos.

Este tipo de procedimientos implica la descalcificación del agua mediante el intercambio de iones como calcio, magnesio, entre otros por iones de sodio generalmente. Su funcionamiento implica el retiro de iones que producen dureza en el agua a través de iones de sodio utilizando una resina ubicada al interior del descalcificador. Continuamente esta resina tiene que ser reproducida por medio del compuesto regenerante dependiendo de la resina utilizada. En el proceso se genera una parte de agua blanda y otra parte que no lo es debido a las sustancias de rechazo.

Dependiendo de los niveles de dureza deseados y la cantidad de sólidos disueltos en agua, se debe aplicar un determinado procedimiento dada la existencia de diferentes tipos de resina que a la vez contienen



compuestos de operación distintos. Según Guerra, Struck & Villalobos (2008) [46], entre los principales procedimientos por intercambio iónico se encuentran:

Resina catiónica de ácido fuerte: Esta resina está encargada del intercambio de iones positivos para el suavizamiento del agua, operando a cualquier pH. Su función es eliminar los cationes que se encuentran en el agua dura, lo cual requiere de una gran cantidad de regenerante, generalmente ácido clorhídrico (HCl).

Resina aniónica de base fuerte: Como principal función tiene el suavizamiento del agua mediante el intercambio de iones negativos requiriendo para ello una gran cantidad de regenerante, normalmente sosa (hidróxidosódico - NaOH). (págs. 3-4)

Desmineralización: Corresponde a un ciclo combinado entre resinas catiónicas y aniónicas, lo cual sirve para eliminar prácticamente el 100% de sales disueltas en agua. Entre los principales métodos de desmineralización, como lo informa AquaSalud tractaments (2011) [47], se encuentran:

- **Desmineralizadores de lecho mixto:** Existe una mezcla de resinas iónicas y catiónicas dentro de la misma columna, que a la vez se pueden clasificar en dos tipos dependiente si existe o no regeneración:
 - **Desmineralizador de lecho mixto sin regeneración:** Este tipo de desmineralizadores es utilizado para procesos que requieren de un agua extremadamente pura. Su *modus operandi* es colocándolo a la salida de algún desmineralizador para eliminar los restos de sales que aún puedan quedar luego de una primera etapa de desmineralización. Las resinas que contienen estos desmineralizadores una vez agotadas no se regeneran y se sustituyen por otras.
 - **Desmineralizadores de lecho mixto con regeneración:** Al igual que en el caso anterior, las resinas de ambos tipos se encuentran dentro de una misma botella, sin embargo ante el agotamiento de las mismas no se sustituyen sino que se separan. Es decir, cada tipo de resina se hace pasar por un flujo de agua en contracorriente quedando configuradas de tal manera que en la parte superior de la botella se deposita la resina aniónica y por debajo la catiónica producto de la densidad. Este tipo de botellas además están diseñadas con una pequeña ventana en la parte media por donde es posible visualizar como se estratifican las resinas antes de su regeneración ya que cada una es de un color diferente. Una vez realizada la separación de NaOH y HCl en las respectivas resinas, se procede al aclarado de las mismas mediante la introducción de aire comprimido.
- **Desmineralizadores catión - anión con dos columnas o de doble intercambio:** En este tipo de desmineralizadores las resinas son colocadas en dos botellas distintas y consecutivas. El mecanismo implica el paso del agua en una primera instancia por la resina catiónica en donde los iones de carga positiva son sustituidos por iones de H^+ , para posteriormente transcurrir por la resina aniónica donde se

eliminan los ácidos siendo sustituidos por iones de OH^- [47]. Como consecuencia se forman moléculas de agua que ya han sido suavizadas, dejando los iones indeseados al interior de cada una de las resinas dependiendo de su configuración. El proceso se puede identificar en la figura 8.

Para finalizar el proceso es necesario regenerar ambas resinas, para lo cual se hace pasar ácido clorhídrico (HCl) por la de tipo catiónica mientras que sosa (NaOH) en la de tipo aniónica. Después de la regeneración hay que aclarar las resinas antes de empezar un nuevo ciclo.

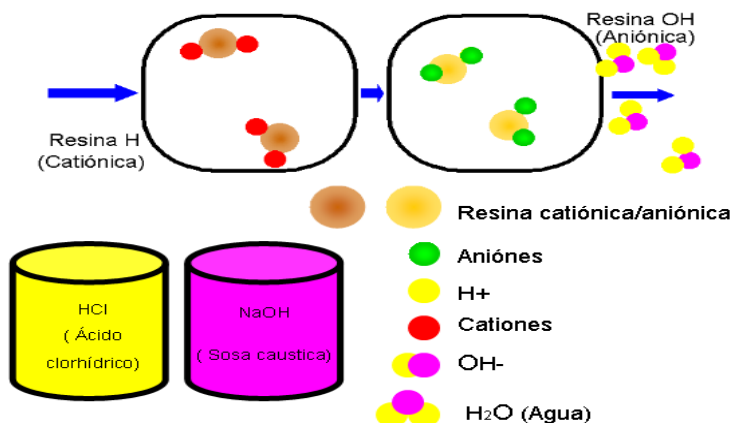


Figura 8: Proceso de suavizamiento de agua en un desmineralizador tipo catión – anión de doble intercambio.

Fuente: AquaSalud tractaments. (02 de mayo de 2011). *desmineralizadores*. Obtenido de Funcionamiento de los procesos industriales de desmineralización de agua: <http://www.desmineralizadores.com/funcionamiento.html> [47]

A modo de conclusión, los métodos mecánicos de suavizamiento del agua tienen la ventaja de poseer agua blanda en toda parte de la instalación de uso, sin embargo encuentra sus desventajas tanto en la inversión como en los costos de operación, es decir los aparatos de adquisición como los insumos (tanto la sal para operar como el agua de rechazo del proceso). Además, cabe considerar que la sal común utilizada para realizar el intercambio iónico de calcio por sodio no es una opción saludable. Adicionalmente, dada la concentración de sal no es posible utilizar este fluido para las redes de calefacción central debido a los problemas de corrosión que genera. Se debe tener en consideración que las resinas pueden ser un lugar óptimo para el crecimiento bacteriano. Finalmente, ocupan mucho espacio además del necesario para el acopio de sal.

3.3.2.5 Métodos químicos

Cabe destacar que el polifosfato se presenta en forma de cristales y se encuentran al interior de un filtro especialmente diseñado para dosificarlo de acuerdo al caudal a tratar, el cual debe ser finamente escogido si se quiere obtener buenos resultados de esta aplicación.

Como se menciona en “El almacén del agua” (2015) [48], este tipo de tratamientos son mayoritariamente eficientes en elementos como calderas o calentadores de agua por ser procesos antiincrustantes y anticorrosivos. Para ello se utilizan filtros que tienen costos bajos de adquisición y frecuencia baja de compra (entre 6 y 12 meses dependiendo de la dureza del agua de tratamiento). Sin embargo, no es precisamente el tipo de sistemas más aconsejables para aguas de consumo humano ya que el proceso implica una adición de sales en el agua tratada. Finalmente, cabe destacar que no es un proceso preventivo frente a la formación de dureza sino más bien un estabilizador frente a la generación de la misma a partir de su funcionamiento.

3.3.3 Costos de sistemas aplicados

Los procesos explicados anteriormente se pueden clasificar en 5 grandes métodos; es decir: físicos, químicos, mecánicos, filtrado y destilación. Sin embargo, dependiendo de la finalidad de uso del bien en cuestión, será más o menos viable un método aplicado, más aun considerando el presupuesto disponible para aplicar el sistema a lo largo del tiempo. En la tabla 6 es posible verificar el costo real a lo largo de un periodo de evaluación de 10 años para los distintos métodos a grandes rasgos dada la variedad de mecanismos existentes, incluyendo en ella el gasto en compra del mecanismo o artefacto, instalación y mantención del proyecto (para mayor información ver **anexo 4**):

Tabla 6: Comparativa de costos entre los distintos métodos de descalcificación en un periodo de 10 años.

Método	Evaluación Final
Físico	\$266.800
Químico/ inhibidor	\$349.600
Químico/ fosfatos	\$387.600
Mecánico	\$2.561.200
Filtros	\$66.116.000
Destilación	\$88.249.000

Nota: Conversión de valores originales en euros a CLP con fecha 29/05/2016 [49]

Fuente: AGUA CON CALIDAD. (s.f.). aguaconcalidad. Obtenido de Comparativas tecnologías descalcificación: <http://aguaconcalidad.com/tecnologias-descalcificar.php> [36].



Como es posible verificar, existe una gran diferencia económica entre los diversos métodos de descalcificación, principalmente entre los métodos físicos, químicos y mecánicos en comparación con los de filtrado y destilación, dado principalmente porque estos dos últimos incurren en costos en todo momento de uso o funcionamiento ya sea por el cambio de carbón activo o rejillas para el método de filtrado o por el consumo energético para hervir el agua en el caso de la destilación. Ello implica que estos dos últimos métodos sean prácticamente inviables dentro del total de una vivienda, a menos que la fuente suministradora del bien en cuestión sea utilizada sólo para propósitos particulares como ingesta directa para evitar con ello el gasto a diario de litros de agua utilizada en lavamanos y lavaplatos que no requieren de un agua purificada, teniendo en consideración lo informado por Aguas Andinas (s.f.) [50], respecto a que el consumo aproximado por éstas vías es de aproximadamente 80[L/día].

En el caso del tratamiento del agua mediante métodos mecánicos, los costos siguen siendo considerables debido al aumento en la factura del agua ya que gran parte de ella es rechazada durante el proceso de ablandamiento de la misma, lo cual no sólo implica el gran desperdicio del bien sino que tampoco podría ser reutilizada por ejemplo en la red de calefacción central ya que generaría problemas de corrosión en las tuberías. Esto se debe principalmente al alto uso de sal como materia prima para la realización del proceso ya que la resina requiere de ésta para regenerarse y así operar correctamente.

Finalmente, en el caso de los métodos tanto físicos como químicos existe una alta viabilidad económica al alcance de la población para poder ser aplicados dentro del hogar, donde la decisión final se tomará por factores mayoritariamente cualitativos más que cuantitativos según las pretensiones del consumidor respecto al tipo de agua que desee obtener y el uso que le dará.

3.4 Caso de Estudio

3.4.1 Comparativa de durezas

Dada la geografía y tipos de suelo que presenta nuestro país, es posible encontrar notorios contrastes en cuanto a la composición de aguas de consumo suministradas a la población con respecto al nivel de dureza, donde las mayores diferencias se reflejan entre el norte y sur del país, representado en la figura 9, dado principalmente porque en el primer caso los suelos son muy mineralizados y las fuentes de extracción están en contacto directo con éstos. Dentro de Chile es posible encontrar niveles de dureza que van desde los 10[mg/L] de carbonato de calcio en la ciudad de Coihaique, hasta los 900[mg/L] del mismo elemento en la ciudad de Copiapó en las aguas de consumo, lo cual es claramente percibido por el consumidor inicialmente por factores como el sabor, y específicamente en el mediano plazo por aspectos físicos en tuberías y utensilios



del hogar que operan con agua al visibilizar incrustaciones de cal, dificultad de producir espuma con jabón, y aumento de tarifas energéticas en el caso de aguas con alta dureza. Por su parte, en la decimoprimer y decimosegunda región del país encontramos aguas muy blandas, lo cual podría implicar la presencia de un agua corrosiva si es que no se tiene un pH levemente básico capaz de neutralizar dicha condición, que traería consecuencias en tuberías de cobre manifestándose finalmente en un agua con problema organolépticos como el sabor, además de una coloración relativamente azulada que presencialmente no es atractivo.

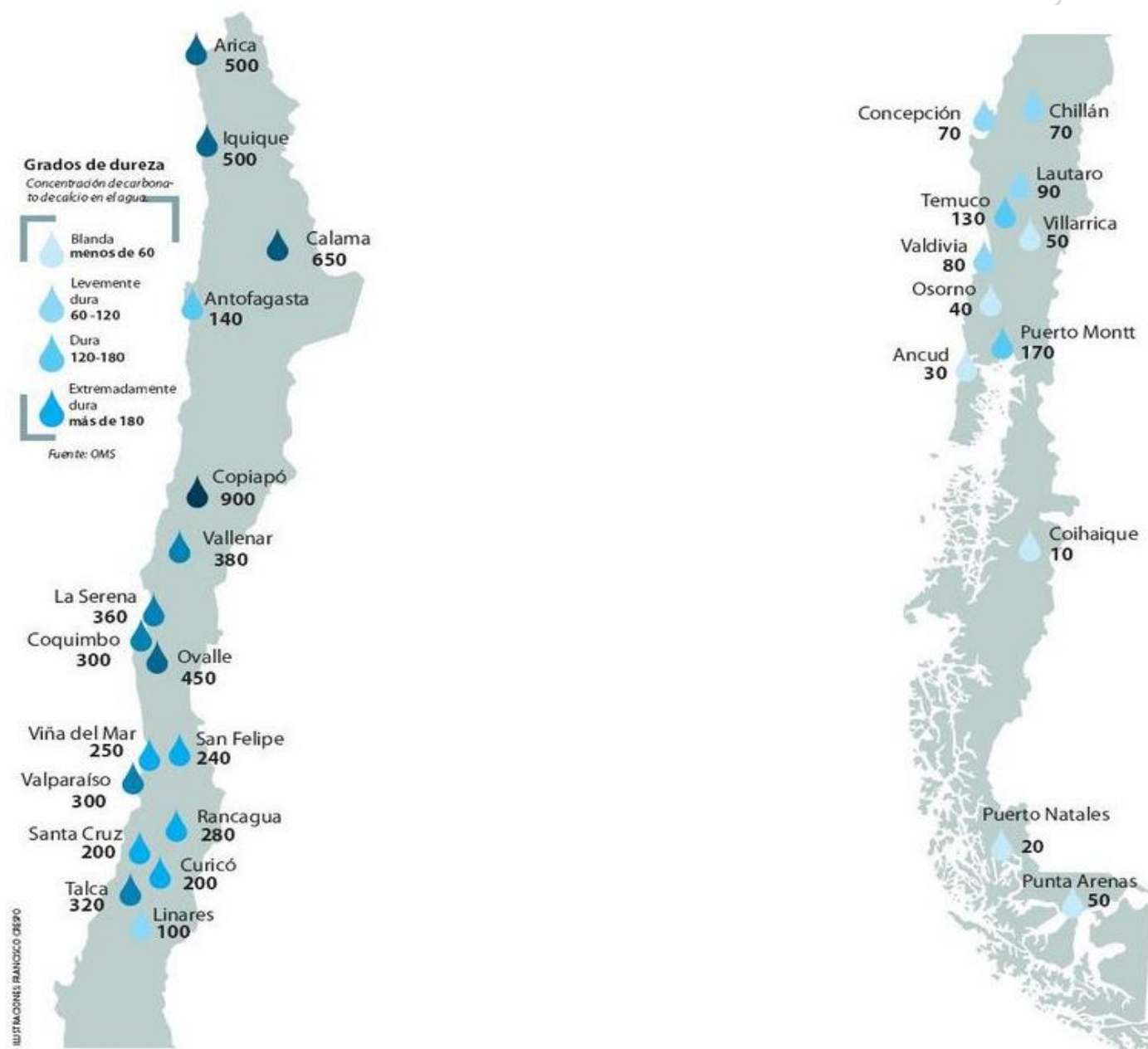


Figura 9: Mapa a nivel nacional que presenta los niveles de dureza del agua en diferentes localidades.

Fuente: Agua en Chile. (29 de septiembre de 2014). *Mapa del agua con sarro en Chile*. Obtenido de Noticias: www.aguaenchile.wordpress.com/2014/09/29/mapa-del-agua-con-sarro-en-chile/ [51].

Por otra parte, en el caso particular de la región metropolitana es posible encontrar valores de dureza comparativamente más similares que en el caso anterior, como se aprecia en la figura 10, debido principalmente a que las características geológicas del territorio es similar, además de poseer una captación mayoritariamente superficial. Los sectores con dureza más altos de la Región Metropolitana son la zona

norte y poniente, como las comunas de Colina, Lampa, Huechuraba y Maipú. Sin embargo, a pesar de que existen comunas como Maipú y San Bernardo que se encuentran bastante cercanas y no poseen el mismo distribuidor comercial, los niveles de medición de dureza del agua arrojan valores similares, lo cual indica claramente que el producto final en lo que respecta a niveles de carbonato de calcio dentro del agua no es mayoritariamente responsabilidad del proveedor, sino que su causa está explicada principalmente por efectos geológicos. Casos similares ocurren con comunas como Las Condes y Vitacura, o Santiago y Ñuñoa entre otros.

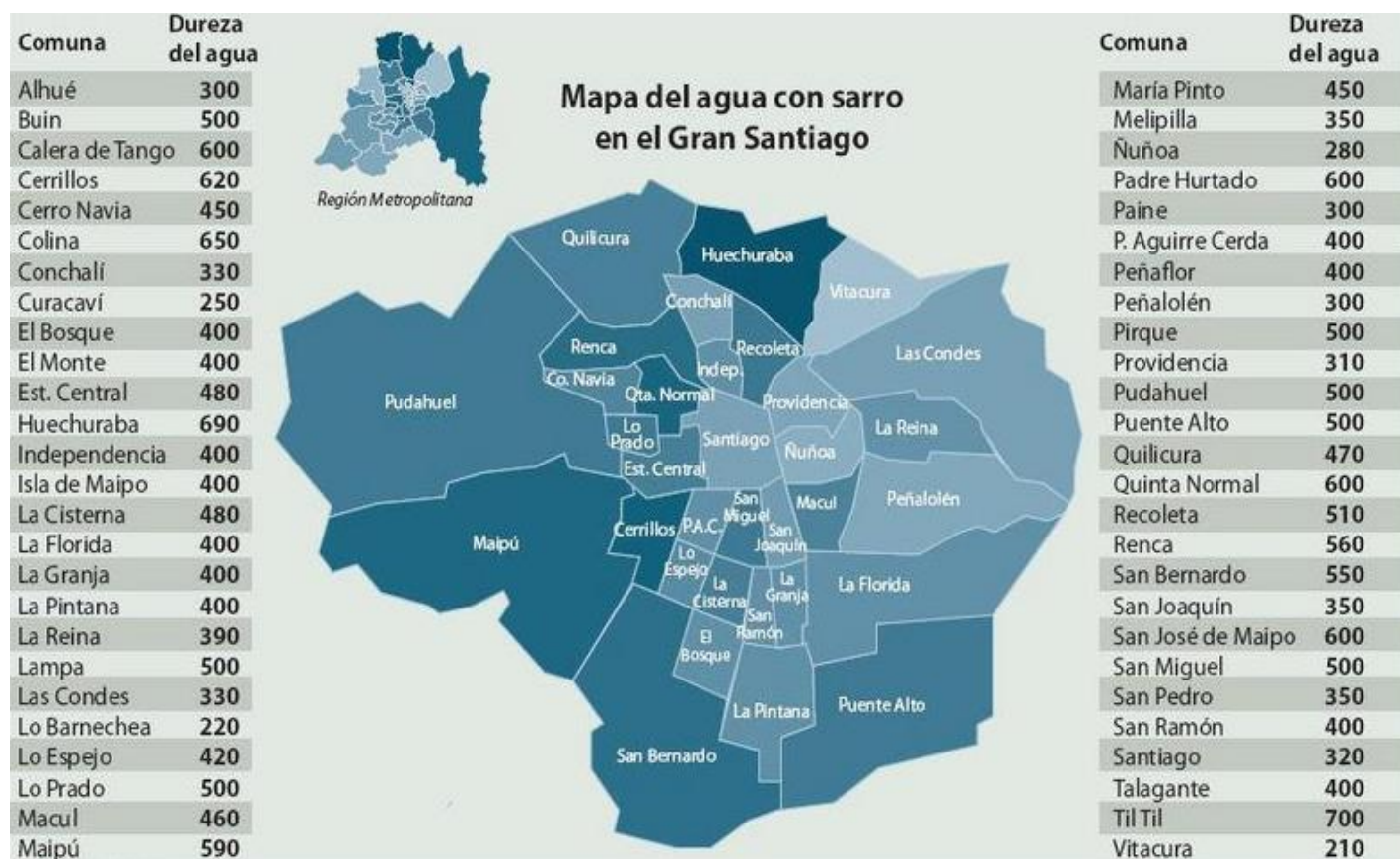


Figura 10: Mapa del Gran Santiago que presenta los niveles de dureza del agua en las comunas que conforman la región.

Fuente: Agua en Chile. (29 de septiembre de 2014). Mapa del agua con sarro en Chile. Obtenido de Noticias: www.aguaenchile.wordpress.com/2014/09/29/mapa-del-agua-con-sarro-en-chile/ [51]

3.4.2 Enfermedades del tipo renal, glomerular y tubulointersticial y del sistema circulatorio en la R.M

Entre las principales hipótesis que se plantean en este documento es la existencia de una relación directa e inversa entre la ingesta de aguas duras con enfermedades renales y cardíacas respectivamente. Para ello, se ha realizado un estudio que ocupa como base las estadísticas e información del ministerio de salud de Chile, para visualizar la cantidad de personas egresadas de recintos hospitalarios a causa, por una parte de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales y por otra parte aquellas del sistema circulatorio donde se contemplan aquellas del tipo cardíacas, entre otras, inicialmente a nivel comunal en la Región Metropolitana y posteriormente a nivel nacional entregando el detalle por cada región durante el año 2011, que es la información más actualizada y detallada a la fecha. El primer caso, enfermedades renales a nivel comunal, se visualiza en la figura 11:

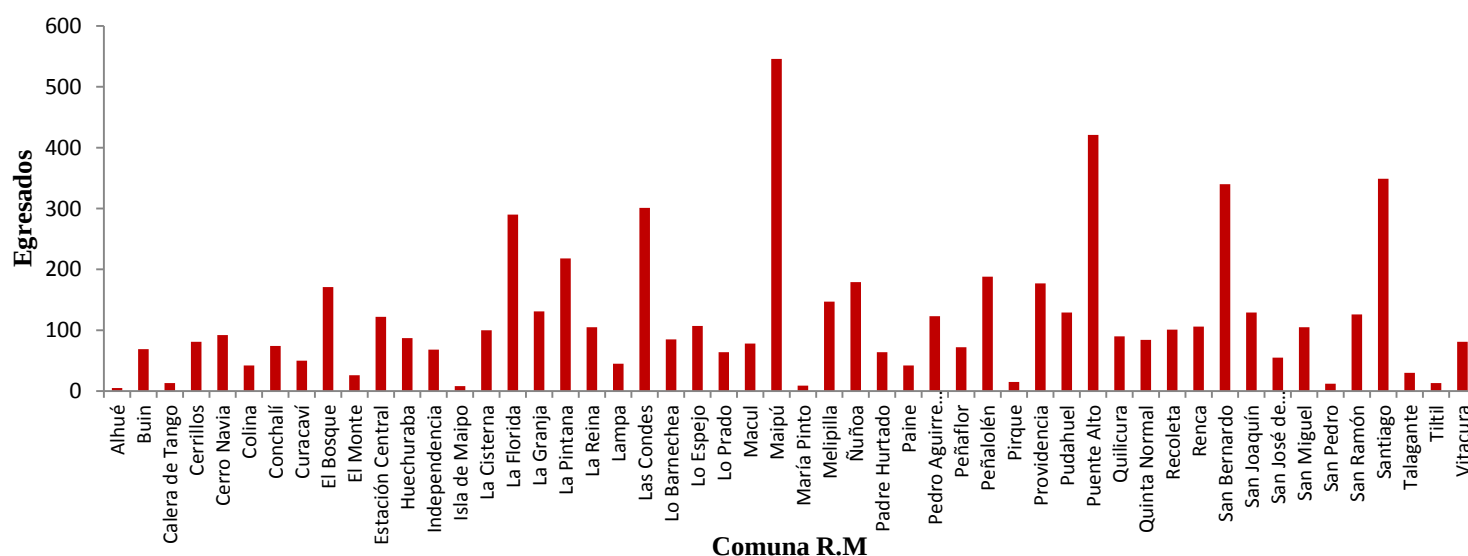


Figura 11: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada comuna de la Región Metropolitana, como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm[52], elaboración propia

Como es posible visualizar en el figura 11, a partir de la información detallada del **anexo 5**, comunas como Maipú, Puente Alto, Santiago y San Bernardo son las que concentran la mayor cantidad de pacientes egresados de recintos hospitalarios debido a enfermedades del tipo renal, glomerulares y tubulointersticiales. Estas macro enfermedades contemplan en sí a otras de mayor especificación que no se encuentran

disponibles por si solas en las bases de datos, como lo es la litiasis urinaria, nefrolitiasis o también denominada “cálculo renal” y que son objeto de estudio dado que, tal como se explica en DMedicina (“litiasis urinaria”,2016) [53], se originan cuando la orina está saturada de sales que pueden producirlos, o bien porque la orina carece de los inhibidores naturales de este proceso. Específicamente, lo que se intenta concluir es la incidencia del agua dura en la generación de cálculos renales formados por oxalato de calcio, que están constituidos por calcio y un ácido orgánico. Sin embargo, es necesario denotar que son precisamente aquellas comunas las que concentran las mayores poblaciones dentro de la Región Metropolitana, por lo cual una comparación directa con las restantes no sería válida para obtener resultados concluyentes del estudio. Es por ello que en la figura 12, a partir de la información detallada del **anexo 5**, se presenta la misma cantidad de pacientes egresados de recintos hospitalarios por las enfermedades en cuestión, pero comparados con el total de población comunal, lo cual da esta vez la posibilidad de extraer conclusiones.

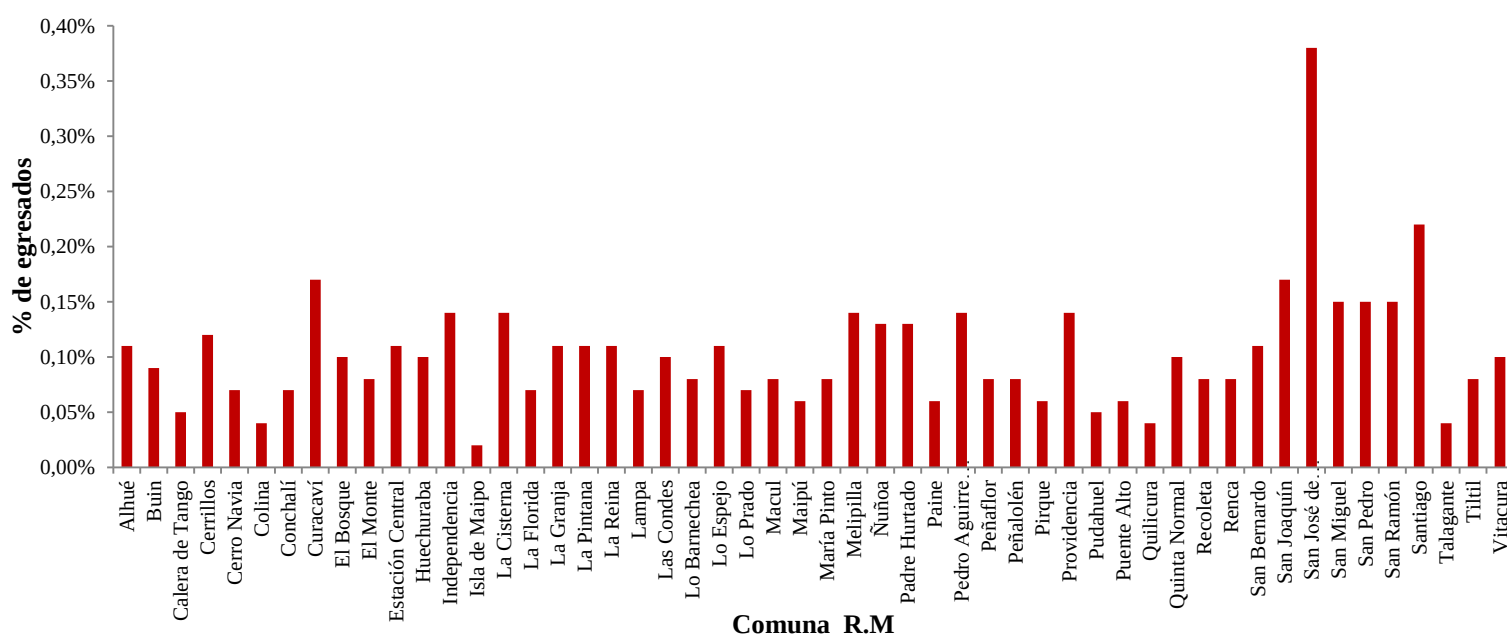


Figura 12: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales por habitante de la comuna respectiva.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm[52], Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). INE. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “comunas: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-20020. Base de datos”: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php[54], elaboración propia.



Como es posible verificar en la figura 12, cambian completamente los resultados presentados con anterioridad en la figura 11 dado que las demografías entre las distintas comunas difieren por grandes magnitudes. Es por ello, que a partir de la última información presentada ya no son precisamente las comunas de Maipú, Huechuraba, Puente Alto, entre otras, las que podrían estar siendo más afectadas por el servicio de suministro de agua en materias de salud por la causalidad de estudio, sino que ahora son comunas como Santiago y San José de Maipo las relevantes para analizar. Precisamente, es este último caso el que presenta la mayor diferencia respecto a las demás, dado que el 0,38% de la población comunal ha egresado de recintos hospitalarios durante el transcurso del año 2011 a causa de enfermedades renales, precedida por la comuna de Santiago con un 0,22%. Tal como éstas, la gran mayoría de las comunas de la Región Metropolitana tienen como prestador de servicios a la empresa “aguas andinas”, que a la vez pertenece al “grupo aguas”, un conglomerado que posee una gran participación de mercado en la región, pero que sin embargo no distribuye un agua con composición química similar en materia de dureza para todos los usuarios de las diversas comunas, explicado principalmente por la mineralización de las fuentes de extracción por sobre la causa de mantención de redes de distribución. Por consiguiente, basado en los bajos valores que presentan estas dos comunas en la figura 10, no es posible inicialmente afirmar una relación de causalidad entre variable dureza y la variable cantidad de enfermos renales, al menos para estos niveles de concentración de carbonato de calcio en el agua (300 – 500 mg/l en general), que difieren en algunos casos considerablemente con los que presentan las regiones del norte del país.

A partir de la información expuesta en el **anexo 6**, es que se generan tanto las figuras 13 y 14, las cuales presentan el mismo tipo de información expuesta en las figuras 11 y 12, pero ahora abordando cada una de las regiones que componen al país. Inicialmente, para la figura 13 se muestra el total de enfermos renales, glomerulares y tubulointersticiales egresados de recintos hospitalarios durante el año 2011 para todas las regiones del país, y posteriormente en la figura 14 el símil de la figura 12 pero a nivel regional.

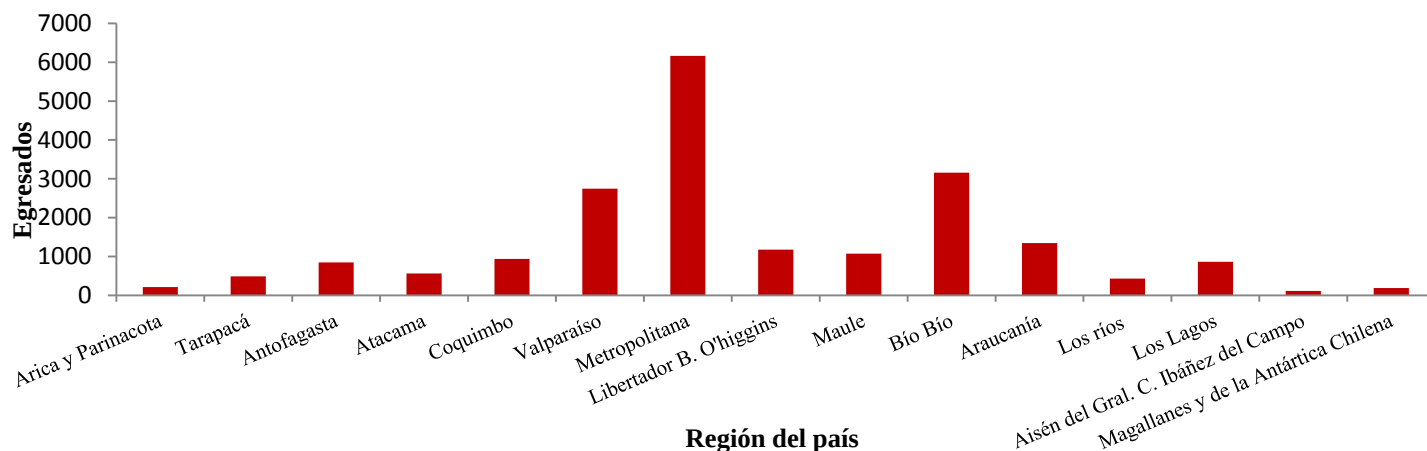


Figura 13: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada región del país, como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm [52], elaboración propia

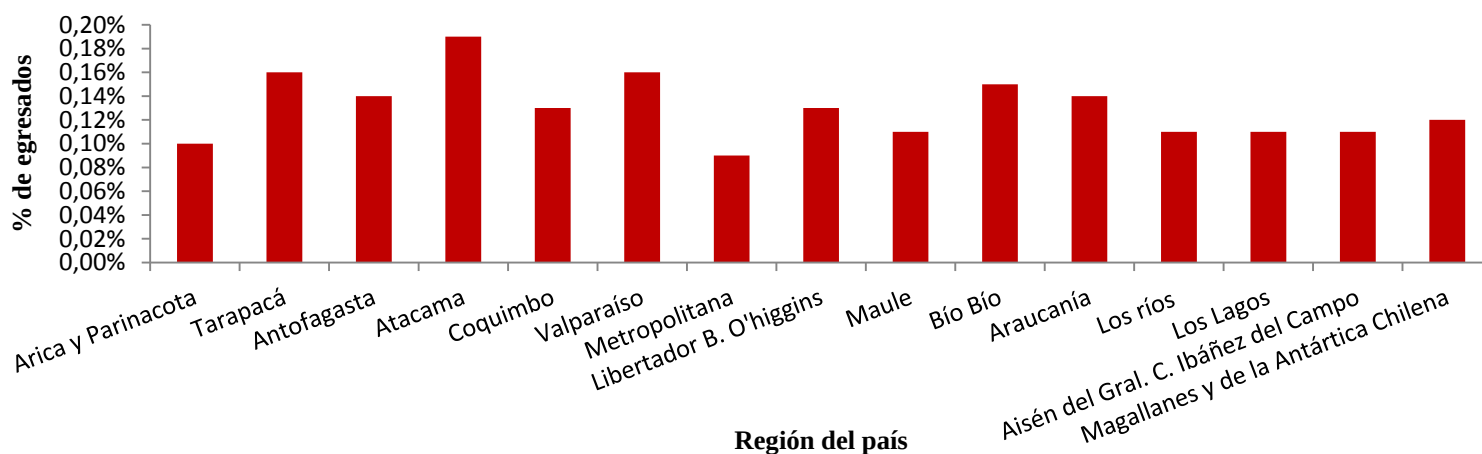


Figura 14: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales por habitante de la región respectiva.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm [52], Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). INE. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php[55], elaboración propia.



Tal como lo presentan los resultados de la figura 13, la Región Metropolitana es quien posee la mayoría de los casos de pacientes egresados de recintos hospitalarios a causa de problemas renales. Sin embargo, al igual como ocurre en el estudio a nivel comunal, los resultados se ven absolutamente modificados al considerar los habitantes comunales existentes en aquella fecha. Por ello, a partir de la figura 14 es posible extraer nuevas conclusiones menos sesgadas, donde ahora la Región Metropolitana es quien posee la menor relación a nivel nacional (enfermo renal/hab. regional) con tan sólo un 0,09% versus el 0,19% que posee la Región de Atacama con la mayor magnitud a nivel nacional. De hecho, la diferencia con otras regiones es muy poco significativa como sucede con la Araucanía o la de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo con un 0,15% y un 0,11% respectivamente, que son dos de las regiones con un menor valor de dureza de agua en todo el país. Es por ello, que al comparar la insignificante diferencia de un 0,08% entre la región de Atacama y la de Aysén, no es posible afirmar fehacientemente que el consumo de aguas duras pueda estar generando problemas reales en materia de salud, particularmente aquellos relacionados con complicaciones del tipo renal. Esto es posible respaldarlo mediante la gran diferencia que existe entre la dureza del agua en la ciudad de Copiapó, perteneciente a la Región de Atacama, con 900[mg/L] de carbonato de calcio, comparada con los 10[mg/L] de carbonato de calcio que posee el agua en la ciudad de Coihaique, de la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, como lo demuestra la figura 9.

Por otra parte, es necesario analizar los casos de enfermedades relacionadas con el sistema circulatorio, dentro de las cuales se encuentran aquellas del tipo cardíacas, para comprobar inicialmente si existen indicios de alguna relación inversa entre el consumo de aguas duras y enfermedades cardiovasculares. Para ello, se ha realizado una metodología similar al caso anterior de enfermedades renales, abordando inicialmente los casos de la Región Metropolitana para continuar posteriormente con los casos a nivel país utilizando como base la información expuesta en el **anexo 7 y 8** respectivamente.

Claramente al tratarse de enfermedades asociadas al sistema circulatorio, la cantidad de personas egresadas por dichas enfermedades de recintos hospitalarios aumentará en comparación al caso previo, dado que los factores de riesgo que abarcan son innumerables, como condiciones climáticas, socioeconómicas o los mismos clásicos factores mayores de riesgo. Es por ello, que de encontrar alguna primera relación inversa entre el consumo de aguas duras y accidentes cardiovasculares, se debería evaluar otros factores minuciosamente que podrían estar incidiendo en dichas conclusiones. En resumidas palabras, si se rechaza dicha relación desde las figuras 15, 16, 17 y 18 con el apoyo de las figuras 9 y 10, se considera como tal la aseveración, en cambio de encontrar alguna relación se evaluarán factores externos de influencia.

En la figura 15 es posible visualizar todos los casos de egresados de recintos hospitalarios durante el año 2011 a causa de enfermedades cardiovasculares por cada una de las comunas de la R.M.

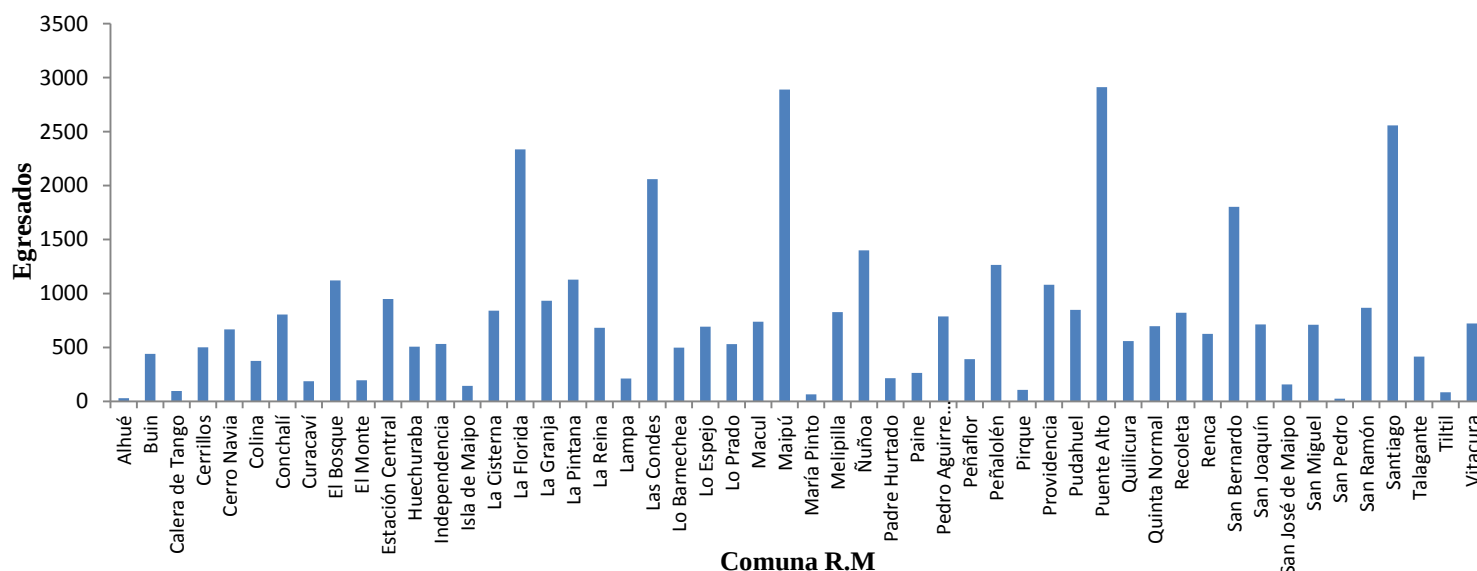


Figura 15: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada comuna de la región metropolitana, como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm [52]

Son comunas como Alhué, María Pinto, Tiltil, Calera de Tango, Pirque, Isla de Maipo, San José de Maipo, Curacaví y El Monte las que presentan la menor cantidad de casos en comparación con las restantes comunas, sin embargo cabe destacar que son precisamente esas las que tienen las menores poblaciones dentro de la región, por lo cual es necesario plantear la problemática considerando este factor, como se visualiza en el figura 16.

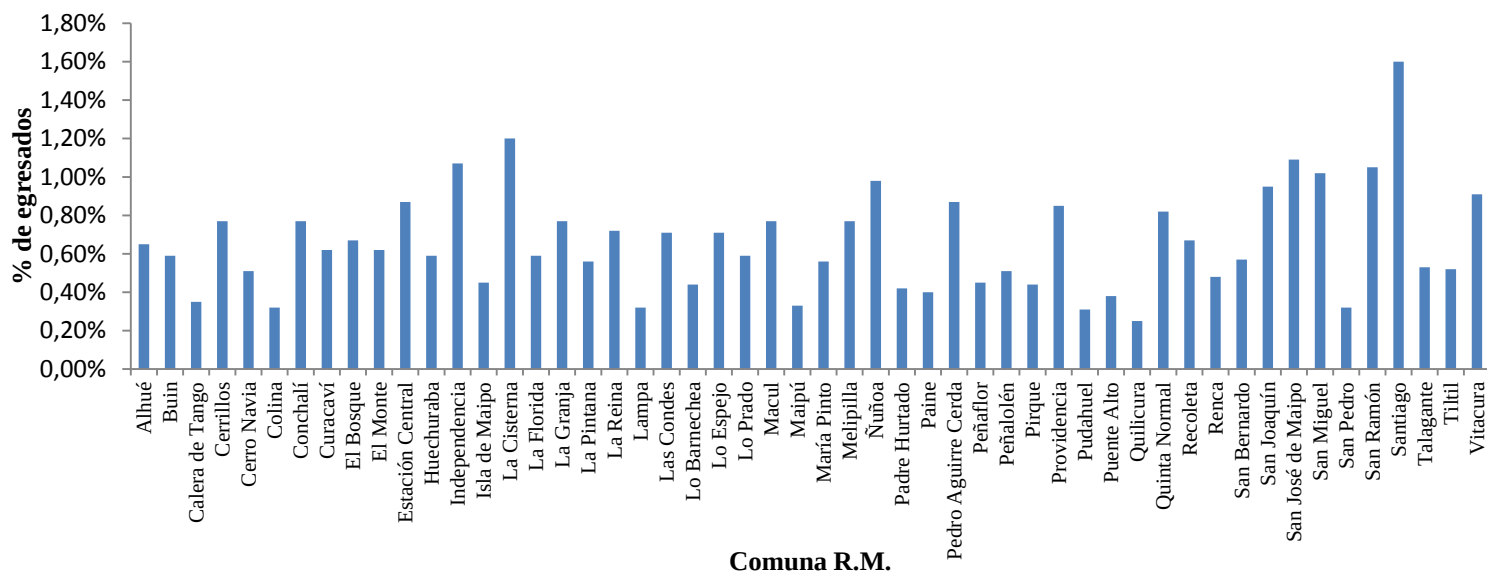


Figura 16: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio por habitante de la comuna respectiva.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm[52], Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). INE. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “comunidades: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-20020. Base de datos”: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php[54], elaboración propia.

Claramente, la información que anteriormente era muy elocuente, ahora evidencia un notable cambio al considerar la población residente en las distintas comunas de la R.M. Ante la nueva información son comunas como Colina, Lampa, Maipú, Pudahuel y Quilicura las que presentan una menor relación respecto a la cantidad de egresados de recintos hospitalarios por habitante comunal, a causa de enfermedades del sistema circulatorio (entre ellas las cardiovasculares). Considerando los niveles de dureza que presenta la figura 10, es posible afirmar que las comunas presentadas recientemente contienen un agua con una alta concentración de sales en su composición, niveles que van desde los 470 mg/L de CaCO_3 hasta los 650 mg/L de CaCO_3 . En base a esto, podría existir quizás alguna evidencia de la influencia del agua dura sobre enfermedades cardiovasculares, pero para ello se realizará una comparativa con los casos a nivel regional.

Cuando se observan los casos por cada región del país, son aquellas más extremas las que poseen la menor cantidad de pacientes egresados por recintos hospitalarios, como se muestra en la figura 17. Sin embargo, es

necesario realizar una comparativa real como en todos los casos anteriores considerando las poblaciones totales en este caso de las regiones, tal como lo evidencia la figura 18. Resulta evidente la diferencia entre las figuras 17 y 18, donde la R.M. de ser la que contiene la mayor cantidad de egresados, pasa a ser la que tiene la menor relación entre todas las regiones cuando se considera su población. Por otra parte, se genera un cierto equilibrio en la figura 18, donde no existen resultados notoriamente distintos en la muestra. Esto se evidencia al comparar regiones como Atacama y Aysén, las cuales presentan prácticamente la misma relación de egresados de recintos hospitalarios por habitante, pero con niveles de dureza extremadamente distintas, lo cual refuta, al menos parcialmente, la hipótesis planteada bajo los resultados de las figuras 15 y 16 para nivel comunal de la R.M, donde además existe la dificultad de variables fuera de control tales como nivel de actividad deportiva, consumo de tabaco, antecedentes de salud preexistentes de familiares, etc.

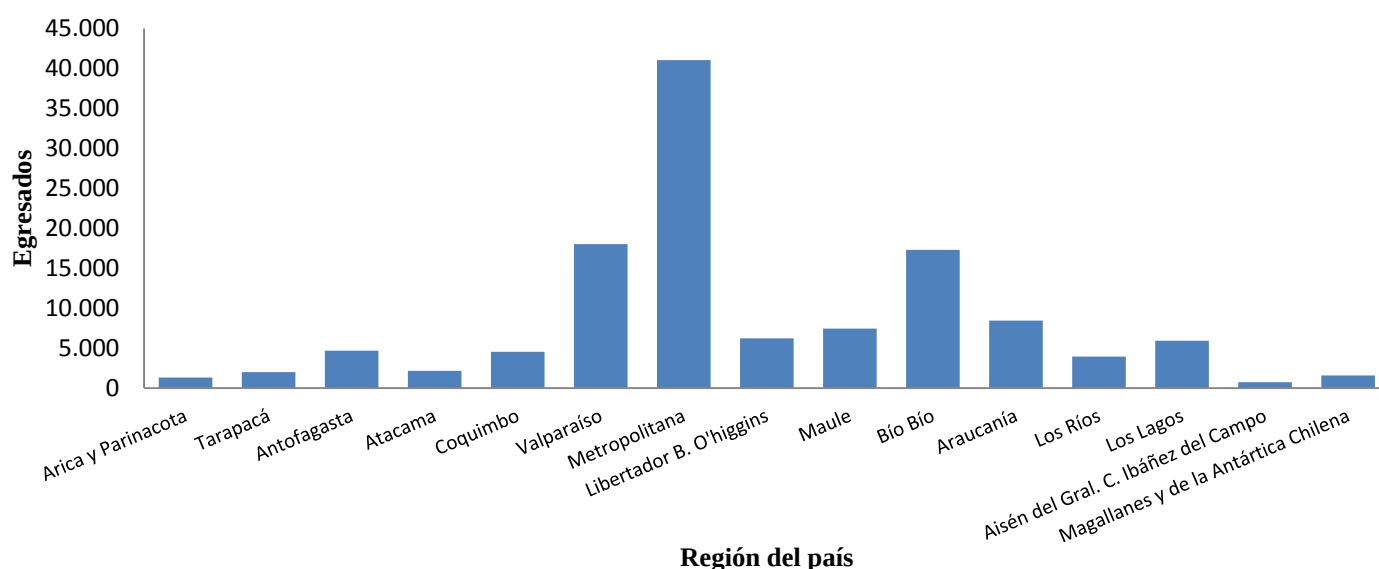


Figura 17: Cantidad de enfermos egresados en 2011 por cada región del país, como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm [52], elaboración propia

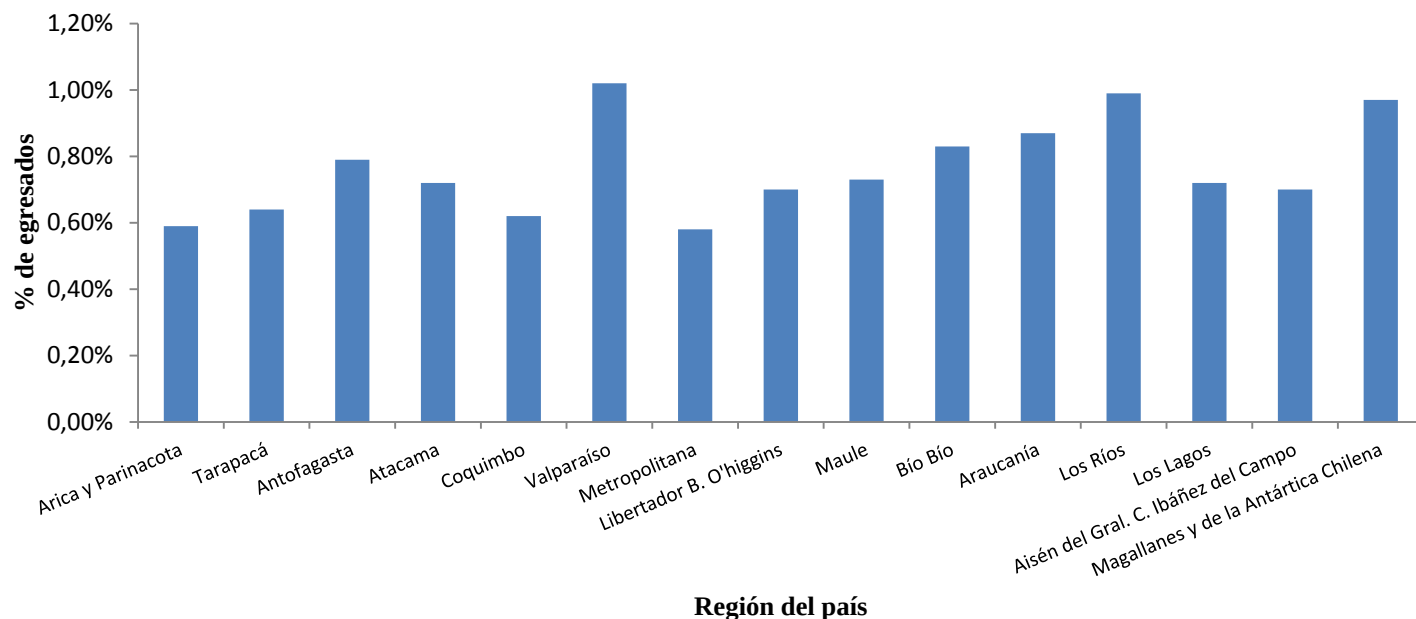


Figura 18: Relación de enfermos egresados en 2011 como consecuencia de enfermedades del sistema circulatorio por habitante de la región respectiva.

Fuente: Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm [52], Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). INE. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php[55], elaboración propia.

3.4.3 Encuesta aplicada

La encuesta, reflejada en el **anexo 9**, fue respondida por un total de 99 personas de 28 comunas pertenecientes a la región metropolitana, la cual tiene por objetivo cuantificar la percepción que tiene la población sobre la calidad de agua suministrada, el impacto económico que tiene para la población la formación de sarro y la consecuente formación de incrustaciones en tuberías, y analizar el grado de incidencia que pueda tener o no el agua dura con las enfermedades que han sido objeto de estudio anteriormente. A continuación en la figura 19 se encuentran los resultados respecto a la percepción de calidad que tienen los encuestados en sus respectivas comunas:

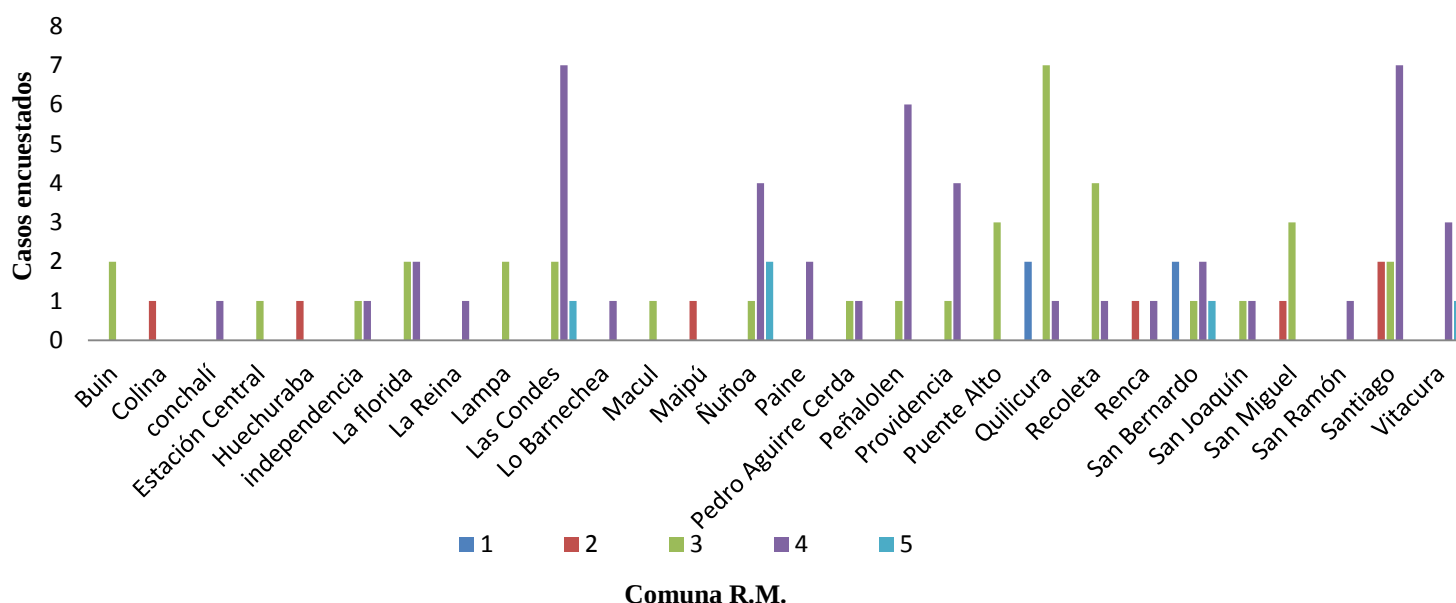


Figura 19: Clasificación de calidad del agua de consumo según percepción de cada encuestado diferenciado por comuna de residencia.

Nota: ¹ Mala. ² Deficiente. ³ Regular. ⁴ Buena. ⁵ Excelente.

Fuente: Elaboración propia.

Tal como lo demuestra la figura 19, el agua tiene una distinta percepción por parte de cada consumidor, efecto que está provocado en parte por los niveles de dureza que presenta el agua en las respectivas comunas de consumo, al ser un parámetro no regulado totalmente bajo la normativa actual, aunque también al ser una pregunta del tipo sensorial, existen parámetros organolépticos como el color y el olor que tienen influencia en las respuestas de cada encuestado.

Cabe destacar la tendencia que tienen en sus respuestas los pobladores de la misma comuna, donde si bien no existe una sentencia igual, si son bastante similares considerando que se trata de respuestas sensoriales. Por ejemplo, en comunas como Las Condes, Ñuñoa y Providencia, existe un consenso entre los encuestados al expresar que el agua de consumo es posible calificarla como “buena” en la gran mayoría de los casos. Sin embargo, la sola categorización de la calidad de agua de consumo percibida por parte de consumidores no basta, es por ello que a partir de la información extraída de la figura 19, se genera la figura 20 la cual expresa la estrecha relación entre la dureza del agua y la percepción en cuanto a sabor por parte de los encuestados, con la finalidad de evaluar la existencia de correlación entre ambos aspectos.

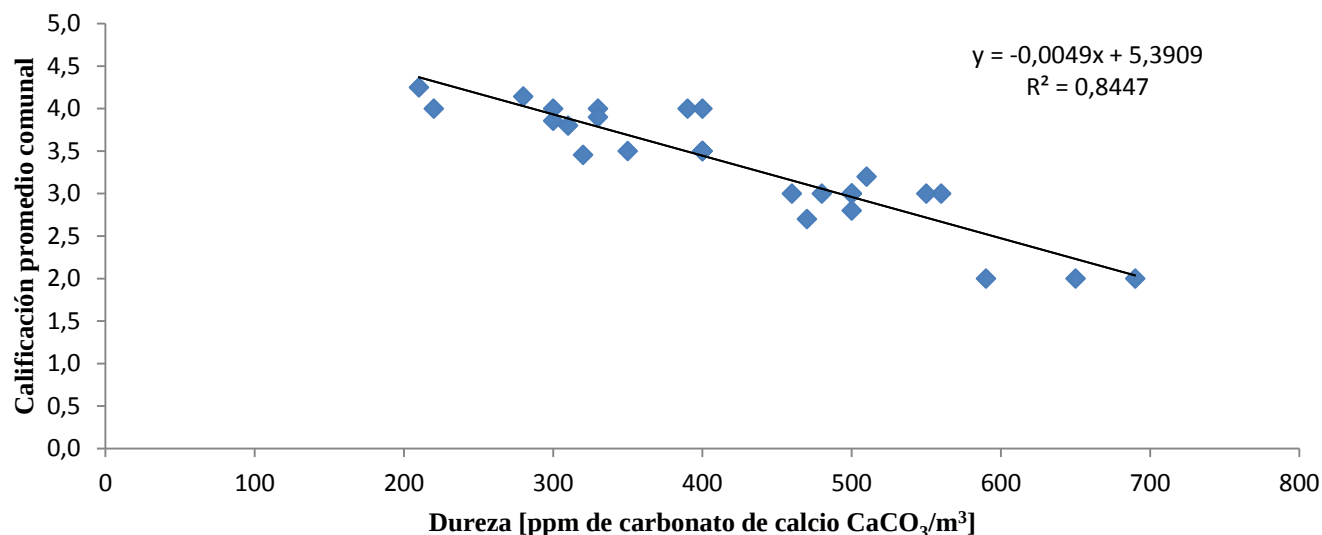


Figura 20: Relación entre nivel de dureza y la clasificación promedio de calidad del agua de consumo según percepción de cada encuestado diferenciado por comuna de residencia.

Fuente: **Anexo 10**, elaboración propia.

Para la realización de la figura 20, se realizó un promedio de las respuestas cualitativas mediante la transformación de cada una de ellas en una variable cuantitativa, es decir desde la clasificación de calidad de agua como “mala” con valoración 1 hasta la clasificación “excelente” con valor 5, lo cual ayuda a obtener una respuesta promedio en aquellas comunas que son residencia de más de un encuestado (el detalle se encuentra reflejado en el **anexo 10**). Sin embargo, es necesario determinar el grado de correlación entre las variables, es por ello que basados en la ecuación 5 que permite obtener el Coeficiente de correlación muestral de Pearson y con la información presentada en la tabla 7 es que se logra encontrar el valor de interés.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{99} (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{99} (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^{99} (y_i - \bar{y})^2}} , \quad (5)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Promedio de durezas de la muestra = 425

$\bar{y}$ = Promedio de calificación de la muestra= 3,325

Tabla 7: Muestra de estudio para determinar correlación entre dureza del agua y percepción

Comuna	Dureza	Calificación Promedio	$x_i - \bar{X}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{X}) * (y_i - \bar{y})$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
Buin	500	3,0	75	-0,3	-24,387	5.625	0,106
Colina	650	2,0	225	-1,3	-298,162	50.625	1,756
Conchalí	330	4,0	-95	0,7	-64,110	9.025	0,455
Estación Central	480	3,0	55	-0,3	-17,884	3.025	0,106
Huechuraba	690	2,0	265	-1,3	-351,168	70.225	1,756
Independencia	400	3,5	-25	0,2	-4,371	625	0,031
La Florida	400	3,5	-25	0,2	-4,371	625	0,031
La Reina	390	4,0	-35	0,7	-23,619	1.225	0,455
Lampa	500	3,0	75	-0,3	-24,387	5.625	0,106
Las Condes	330	3,9	-95	0,6	-54,610	9.025	0,330
Lo Barnechea	220	4,0	-205	0,7	-138,342	42.025	0,455
Macul	460	3,0	35	-0,3	-11,381	1.225	0,106
Maipú	590	2,0	165	-1,3	-218,652	27.225	1,756
Ñuñoa	280	4,1	-145	0,8	-118,566	21.025	0,669
Paine	300	4,0	-125	0,7	-84,355	15.625	0,455
Pedro Aguirre Cerda	400	3,5	-25	0,2	-4,371	625	0,031
Peñalolén	300	3,9	-125	0,5	-66,498	15.625	0,283
Providencia	310	3,8	-115	0,5	-54,606	13.225	0,225
Puente Alto	500	3,0	75	-0,3	-24,387	5.625	0,106
Quilicura	470	2,7	45	-0,6	-28,132	2.025	0,391
Recoleta	510	3,2	85	-0,1	-10,639	7.225	0,016
Renca	560	3,0	135	-0,3	-43,897	18.225	0,106
San Bernardo	550	3,0	125	-0,3	-40,645	15.625	0,106
San Joaquín	350	3,5	-75	0,2	-13,113	5.625	0,031
San Miguel	500	2,8	75	-0,5	-39,387	5.625	0,276
San Ramón	400	4,0	-25	0,7	-16,871	625	0,455
Santiago	320	3,5	-105	0,1	-13,585	11.025	0,017
Vitacura	210	4,3	-215	0,9	-198,840	46.225	0,855

Fuente: Elaboración propia

Con la información presentada con anterioridad es que se logra obtener un valor de coeficiente de correlación igual a -0,9191 (**$r = -0,9191$ y $r^2 = 0,8447$**), el cual nos indica que existe una relación indirecta evidente entre

el nivel de dureza del agua y la calidad de la misma, es decir, ante un aumento de la dureza disminuye el nivel de calidad con que la muestra capta el agua de consumo, efecto que se respalda en el capítulo 3.1.1 basado en la información proporcionada por la “Guía para la calidad de agua potable” [21] de la OMS en su capítulo 12.67 sobre los “Antecedentes de la determinación del valor de referencia” para la dureza.

Para finalizar la sección de la encuesta relacionada con calidad del agua, cabe destacar las respuestas entregadas por los consumidores respecto a la cantidad de ingesta directa de agua y las motivaciones de aquellos que no beben directamente de “la llave” o que beben en bajas cantidades de ella presentadas por las figuras 21 y 22 respectivamente:.

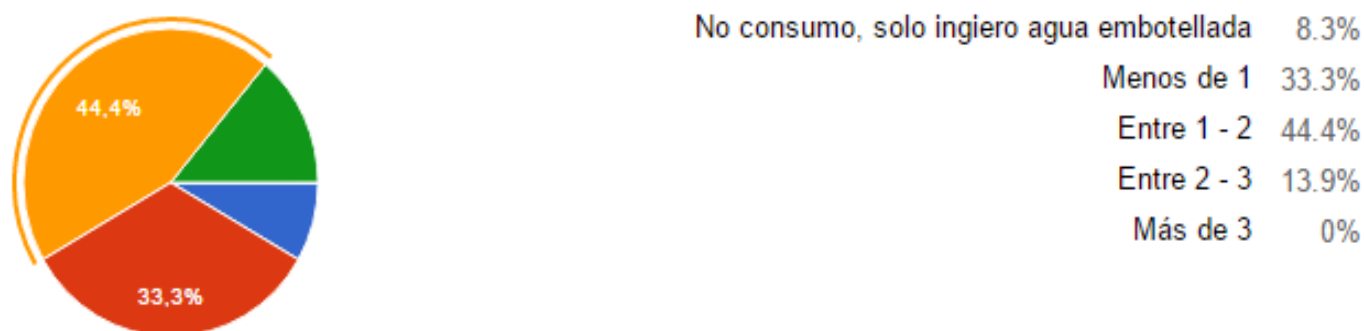


Figura 21: Cantidad de litros de agua mediante ingesta directa por consumidor

Fuente: **Anexo 9**, elaboración propia.

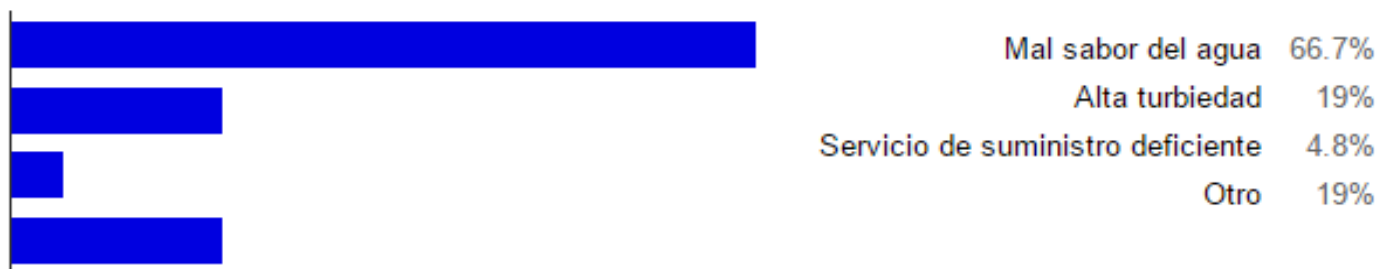


Figura 22: Motivaciones para no ingerir agua directamente de “la llave”

Fuente: **Anexo 9**, elaboración propia.

Como es posible verificar, existe un 8,3% de los encuestados que no bebe directamente agua de “la llave” junto con un 33,3% que bebe menos de un litro de la misma fuente, lo cual demuestra que más de un 41% al menos previenen realizar la ingesta en forma directa. Entre aquellos que lo evitan, lo hacen esencialmente



por el mal sabor de agua (aspecto que considera la dureza) con un 66,7%, junto con otros factores como turbiedad y mal servicio de empresas suministradoras.

3.4.4 Evaluación económica

Para medir el impacto que genera la mayor concentración de sales en el agua dentro del presupuesto de cada familia, es que se realiza una evaluación económica considerando para ello los costos en que incurren tres de éstas en distintas comunas pertenecientes a la región metropolitana, usando el supuesto de un mismo consumo promedio de acuerdo a la información que presenta Aguas Andinas (25.050 [L] de consumo en invierno y 34.500[L] en verano) [50]. Para ello, se ha realizado la tabla 8 que resume el costo total anual por familia de acuerdo a un consumo de aproximadamente 30 [m³] y considerando las tarifas de distintas concesionarias presentadas en el **anexo 11**.

Tabla 8: Costo aproximado anual por consumo de agua de acuerdo a tarifas por concesionarias.

Costos\Comuna	Aguas Andinas		Aguas Andinas		Aguas Cordillera	
	Huechuraba		Santiago		Las Condes	
Cargo fijo (\$/mes)	\$	617	\$	617	\$	800
Tarifa agua potable no punta [\$/m ³]	\$	346,81	\$	346,81	\$	459,05
Tarifa agua potable punta [\$/m ³]	\$	346,81	\$	346,81	\$	457,91
Tarifa promedio [\$/m ³]	\$	346,81	\$	346,81	\$	458,48
Sobreconsumo [\$/m ³]	\$	1.017,68	\$	1.017,68	\$	750,55
Consumo promedio hogar mensual [l]		29.775		29.775		29.775
Consumo promedio hogar mensual [m ³]		30		30		30
Costo promedio mensual[\$]	\$	11.942	\$	11.942	\$	14.886
Costo anual por consumo[\$]	\$	143.304	\$	143.304	\$	178.633
Reparaciones y mantenciones [\$]	\$	60.000	\$	29.697	\$	14.333
Total anual[\$]	\$	203.304	\$	173.001	\$	192.966

Fuente: Elaboracion propia.

Para la construcción de la tabla 8, se han considerado los siguientes aspectos:

- Tarifa “normal” = Promedio entre tarifa de agua potable no punta y tarifa de agua potable punta.
- Consumo Promedio hogar mensual [1] = Promedio entre consumo de meses de invierno y verano.
- Costo promedio mensual = Costo fijo + 95% de consumo en tarifa normal + 5 % de sobreconsumo.
- Reparaciones y mantenciones: Se calcula a partir de las respuestas de los encuestados de cada comuna respectivamente, considerando para ello el gasto promedio en que incurren por cada cambio de elemento de fontanería las veces al año que sean requeridos, agregando a ello el costo de mantenciones (2 veces al año en aquellos que lo realizan). Por ejemplo, un individuo de la comuna de Santiago responde que realiza cambios de elementos de fontanería en periodos sobre 1 año lo cual le significa un valor que fluctúa entre los \$10.000 y \$20.000, y además realiza 2 mantenciones que le generan un costo de aproximadamente \$10.000 c/u. Es por ello, que el costo total por gastos y mantenciones se resumen en el promedio de su gasto, \$15.000 en un año, más \$20.000 por mantenciones, es decir \$35.000 al año. El mismo proceso se realiza para cada encuestado de la comuna lo cual entrega un valor promedio de \$29.697 para la comuna de Santiago, \$60.000 en Huechuraba y \$14.333 en Las Condes.

Como es posible apreciar, existen diferencias en los gastos en que incurren familias (usando el supuesto de 4 personas que la conforman) de distintas comunas ante el mismo consumo, donde el mayor beneficiado en esta comparativa de resultados son los habitantes de la comuna de Santiago, al gastar \$30.303 menos que un residente de la comuna de Huechuraba en un año, y \$19.964 menos que aquellos que viven en la comuna de Las Condes. En la primera comparación, los resultados se ven explicados por la diferencia en gastos y mantenciones que deben realizar ya que la calidad del agua en términos de dureza son notoriamente distintas (Santiago 320 [ppm] y Huechuraba 690[ppm], ver figura 10). En el segundo caso, la diferencia está explicada principalmente por ser distintas las concesionarias que proveen (Santiago y Huechuraba son atendidos por Aguas Andinas, mientras que algunos sectores de Las Condes por Aguas Cordillera), encontrando en este caso tarifas más elevadas por parte de Aguas Cordillera a sus consumidores, dado seguramente por apuntar a un segmento de la sociedad con un mayor poder adquisitivo capaz de pagar aquella diferencia por el mismo suministro de consumo, ya que los gastos operacionales son similares al tratarse de una filial de Aguas Andinas S.A.

Para poder realizar una mejora en el sistema de agua de consumo, es decir disminuir los niveles de dureza, se requiere por parte de la empresa realizar modificaciones en sus procesos. Éstas implican costos para las



empresa que claramente no realizarán si les implica solo flujos negativos, por lo cual se debe evaluar por una parte cuánto está dispuesto el consumidor a ver modificada su tarifa sin implicar un coste total (incluye reparaciones y mantenciones) mayor al que cancela hoy anualmente, y además la inversión que le genera a la empresa tal modificación.

Por parte del consumidor, se realiza un análisis de sensibilización de la variable tarifa promedio considerando la comparacion entre las comunas de Huechuraba y Santiago al tener al mismo proveedor. Para ello, se realiza el supuesto de que al disminuir los niveles de dureza del agua en la comuna de Huechuraba a niveles similares a los de la comuna de Santiago, los costos por concepto de reparaciones y mantenciones disminuirán a los que poseen los consumidores de esta ultima. Por lo tanto, al disminuir los costos desde \$60.000 a \$29.697 existiría un ahorro de \$30.303 en los consumidores de Huechuraba, lo cual la empresa proveedora podría utilizar como referencia para considerar hasta qué valor podría subir hipoteticamente la tarifa, es decir desde el punto en que el consumidor se vería beneficiado hasta el punto en que la opción le es económicamente indiferente. Mediante la sensibilización se llega a los resultados presentados en la tabla 9.

Tabla 9: Costo aproximado anual y tarifas post-modificación

Costos\Comuna	Aguas Andinas		Aguas Andinas	
	Huechuraba		Santiago	
Cargo fijo (\$/mes)		617 \$		617
Tarifa agua potable no punta [\$/m ³]	\$	436,08	\$	346,81
Tarifa agua potable punta [\$/m ³]	\$	436,08	\$	346,81
Tarifa promedio [\$/m ³]	\$	436,08	\$	346,81
Sobreconsumo [\$/m ³]	\$	1.017,68	\$	1.017,68
Consumo promedio hogar mensual [L]		29.775 \$		29.775
Consumo promedio hogar mensual [m ³]		30 \$		30
Costo promedio mensual[\$]	\$	14.467	\$	11.942
Costo anual por consumo[\$]	\$	173.606	\$	143.304
Reparaciones y mantenciones [\$]	\$	29.697	\$	29.697
Total anual[\$]	\$	203.303	\$	173.001

Fuente: Elaboracion propia.

Como es posible apreciar en la tabla 9, la tarifa hasta la cual el consumidor estaría dispuesto a acceder por una mejora en la calidad del agua, sería de 436,08[\$/m³] ya que mantendría su costo total anual y tendría un



beneficio en el bien suministrado, además que podría disminuir el tiempo gastado en mantenciones y cambio de elementos de fontanería, y en el ámbito cualitativo accedería a un mejor “sabor” de agua.

Evidentemente el cambio de tarifas realizado a los consumidores le significa un aumento en los ingresos a la empresa por el servicio de suministro de agua, sin embargo también aumentan los costos por las necesidades extras de operación para disminuir los niveles de dureza que la empresa pretende alcanzar (similares a los que tiene la comuna de Santiago) a cambio de satisfacer en calidad a los usuarios que verán en el mediano plazo los efectos de dicha modificación tanto al momento de reparar como de realizar mantenciones en periodos más prolongados que los que tienen actualmente.

Para ello se considera a modo macro los niveles de ingresos y costos que poseen ambas empresas actualmente con la finalidad de relacionar ambos montos para poder realizar una evaluación económica que permita verificar si el proyecto como tal es rentable o no. La tabla 10 muestra dicha relación:

Tabla 10: Relación costo- ingreso de concesionarias.

	Ingresos Totales (\$MM)	Costos totales (\$MM)	Resultado del ejercicio (\$MM)	Relacion Costo/ingreso
Aguas				
Andinas	\$ 492.002.980	\$ 341.427.314	\$ 150.575.666	69,40%
Aguas				
Cordillera	\$ 81.122.340	\$ 49.097.254	\$ 32.025.086	60,52%

Fuente: Aguas Andinas S.A. (2016). *Memoria anual*. Santiago [56]. Elaboración propia.

Por lo tanto, y basándose en los datos presentados en el **anexo 12**, es que se puede construir una proyección de ingresos desde el año 2016 al 2025 por comuna considerando para ello la población residente [54], el crecimiento poblacional promedio de acuerdo a las proyecciones desde el 2005 hasta el 2020 [55], la cantidad de familias que deberían habitar en dicho periodo considerando en este caso un total de cuatro personas por clan, y la variación promedio de IPC desde el 2007 al 2016.

Como las tarifas se ven modificadas en Huechuraba desde 346,81 [\$/m³] hasta 436,08 [\$/m³], la empresa aumenta sus ingresos por la venta del suministro que ahora debe poseer niveles más bajos de dureza similares a los de Santiago centro como fue mencionado con anterioridad. Dichos ingresos proyectados se ven aumentados en un total de \$MM 8.315 lo cual permitirá amortizar el aumento directo de costos para responder a dicha demanda. Considerando la relación costo/ingreso de un 69,40% que posee Aguas Andinas



es que se puede construir a la vez la proyección de costos que tendría la empresa con la tarifa actual dado los ingresos por venta de agua. Sin embargo, se debe considerar que los costos por realizar el ablandamiento de agua mediante un proceso de filtrado aumentan en un 5% aproximadamente principalmente por la mantención de los equipos de operación.

Lo más relevante al momento de considerar la relación entre costos e ingresos, es que se da por un nivel de producción en particular, sin embargo al aumentar la tarifa cobrada y mantener la misma productividad el efecto en los costos será menormente influenciado que si aumentaran globalmente los ingresos por un aumento en la demanda. Por lo tanto, el cálculo de la nueva proyección de costos se da mediante la suposición del mismo nivel de productividad, con cambio de tarifa, y aumento en un 5% por mantenciones. Con esta información disponible, se obtienen los nuevos resultados del ejercicio ante la implementación del proyecto de ablandamiento de agua, lo cual traduce para la empresa un aumento de \$MM 4.270 sin considerar aún la evaluación económica en un plazo de 10 años dado que se debe realizar aún la inversión (el detalle tanto de ingresos como costos y resultado de ejercicio se encuentran en **anexo 13**).

Para poder realizar la evaluación económica es necesario saber a que tasa se evaluará el proyecto dado que requiere de un financiamiento por parte de inversionistas, para lo cual se considera la estructura financiera que posee la empresa al año 2016, y las condiciones de mercado que están disponibles como lo presenta la tabla 11:

Tabla 11: Estructura de costo de capital de Aguas Andinas

Estructura de Costo de Capital	
Activos (V) (\$M)	\$ 1.771.819.136
Pasivos (B) (\$M)	\$ 1.084.936.711
Patrimonio (P) (\$M)	\$ 686.882.425
t_c	27,00%
k_b	1,70%
Resultado Operacional Neto (RON)	\$ 224.504.000
$V^{s/d}$	\$ 1.478.886.224
P	11,08%
k_p	21,90%

Fuente: Aguas Andinas S.A. (2016). *Memoria anual*. Santiago [56]. Elaboracion propia.



Donde:

t_c : Tasa de impuesto corporativa

k_b : Costo de la deuda o tasa de descuento de la misma

$V^{s/d}$: Valor de mercado de una empresa sin deuda

ρ : Tasa de costo de capital de la empresa sin deuda

k_p : Tasa de costo patrimonial o rentabilidad que exigen los accionistas de la empresa

Existe informacion que la regula el mercado como es por ejemplo k_b la cual es también conocida como tasa libre de riesgo, y en este caso en el año 2016 está fijada en un 1,7% mientras que t_c para ese mismo año era de un 24%. Sin embargo, dada la nueva reforma tributaria esta tasa irá aumentando con el paso de los años, siendo fijada para el año 2017 en un 25,5 % y del 2018 en adelante en un 27%.

Para poder obtener la tasa de descuento para evaluar el proyecto, es que se debe comenzar por calcular datos como el valor de la empresa sin deuda y por consiguiente la tasa de costo de capital de la empresa sin deuda mediante las ecuaciones 6 y 7:

$$V^{c/d} = V^{s/d} + B * t_c \quad (6)$$

$$V^{s/d} = E(ROE) * \frac{(1 - t_c)}{\rho} \quad (7)$$

Inicialmente desde la ecuación 6 mediante un despeje simple de variables se calcula el valor de la empresa sin deuda ($V^{s/d}$), y posteriormente el mismo proceso en la ecuación 7 para obtener la tasa de descuento de la empresa sin deuda (ρ) ya que se posee el valor de las otras variables[56]. Con esta información y basandose en la ecuación 8 es que se puede calcular el valor de la tasa de costo patrimonial (k_p).

$$k_p = \rho + (\rho - k_b) * \left(\frac{B}{P}\right) * (1 - t_c) \quad (8)$$

Finalmente, con esta información y basandose en la ecuación 9 solo resta por calcular la tasa de costo de capital promedio ponderado (k_o) también conocida como WACC (referencia a sus siglas en ingles, Weighted Average Cost of Capital).

$$WACC = k_b(1 - t_c) * \left(\frac{B}{V}\right) + k_p \left(\frac{P}{V}\right) \quad (9)$$

En este caso, el WACC solo se verá modificado en ciertos periodos de la evaluación del proyecto ya que la reforma tributaria varía t_c desde un 24%, seguido de un 25,5% para terminar en un 27% como fue explicado con anterioridad.

Los flujos para el proyecto implementado a modo de ejemplo en la comuna de Huechuraba ante una modificación en su tarifa se presentan en la tabla 12, considerando tambien en ella los flujos descontados a la tasa correspondiente al año operativo del proyecto.

Tabla 12: *Flujos descontados del proyecto según la tasa de costo de capital.*

Año	Flujo	Flujo Descontado	Tasa
1	\$ 565.375.730	\$ 515.713.440	9,63%
2	\$ 590.882.752	\$ 493.345.358	9,44%
3	\$ 617.540.528	\$ 473.592.405	9,25%
4	\$ 645.400.975	\$ 453.052.609	9,25%
5	\$ 674.518.350	\$ 433.403.628	9,25%
6	\$ 704.949.360	\$ 414.606.827	9,25%
7	\$ 736.753.271	\$ 396.625.247	9,25%
8	\$ 769.992.021	\$ 379.423.532	9,25%
9	\$ 804.730.342	\$ 362.967.858	9,25%
10	\$ 841.035.889	\$ 347.225.871	9,25%

Fuente: Elaboracion propia.

Toda esta información será el apoyo fundamental para verificar la viabilidad o inviabilidad del proyecto mediante el criterio de evaluación VAN (valor actual neto), sin embargo primero es necesario obtener el nivel de inversión para poder ejecutar dicho plan.

Si bien no existen plantas de aguas que realicen ablandamiento, es posible comparar el nivel de inversión que realiza Aguas Andinas en proyectos relacionados con la eliminación de sustancias químicas que impactan negativamente en la salud de la población. A modo ejemplo, la planta de abatimiento de arsénico del recinto San Antonio, ubicada en la comuna de Lo Barnechea tuvo una inversión total de \$3.178.086.000.



Considerando la población de dicha comuna (112.822 versus los 86.201 que consta Huechuraba en el año 2012, ver datos en anexo 5 y/o 7) y que la eliminación de ambos elementos, tanto dureza como arsénico, se pueden realizar mediante un proceso de filtrado como el de osmosis inversa, se puede concluir tempranamente que debería construirse una planta similar a escala que tenga un costo aproximado de \$2.428.198.000. Por lo tanto, mediante la ecuación 10 se puede obtener el valor exacto del VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^{10} \frac{F_t}{(1+i)^t} - Inv. \quad (10)$$

Como resultado, se entrega un VAN igual a \$1.841.758.000 lo cual indica que es un proyecto rentable y a la vez atractivo para inversionistas que tienen un margen cuantioso en caso de que existan costos mayores a los considerados, o inversiones intermedias que pudiesen disminuir dicho valor.

Otro mecanismo que ayuda a la toma de decisiones es la Tasa Interna de Retorno (TIR), la cual es intrínseca al proyecto y que logra que el VAN=0. En caso de que la tasa de interés sea menor a la TIR será conveniente realizar dicha inversión, para ello se utiliza la ecuación 11:

$$0 = \sum_{t=0}^{10} \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (11)$$

Mediante el uso de herramienta excel y considerando los flujos, periodos e inversión del proyecto se llega a un resultado de TIR igual a 12,88%, lo cual nos indica que el proyecto es atractivo desde el punto de vista de un inversionista ya que el uso de capital en este proyecto en particular es más rentable que la elección de otra alternativa (9,63% < 12,88%).

Finalmente, es relevante para los inversionistas saber cuando recuperarán el capital invertido. Para ello se utiliza el método del PAYBACK actualizado el cual considera tanto la inversión como las proyecciones de flujos descontados, lo cual va generando un flujo acumulado que se evalúa periodo a periodo, tal como se presenta en la tabla 13

Tabla 13: PAYBACK actualizado del proyecto



Año	Flujo Descontado	PAYBACK actualizado
0	\$ -2.428.198.324	\$ -2.428.198.324
1	\$ 515.713.440	\$ -1.912.484.884
2	\$ 493.345.358	\$ -1.419.139.526
3	\$ 473.592.405	\$ -945.547.120
4	\$ 453.052.609	\$ -492.494.511
5	\$ 433.403.628	\$ -59.090.883
6	\$ 414.606.827	\$ 355.515.944

Fuente:Elaboración propia

Como es posible verificar, los inversionistas podrán recuperar el capital aportado al proyecto al cabo de 6 años, sin embargo se debe destacar que el uso de la herramienta de evaluación como lo es el payback actualizado, es sólo una herramienta de ayuda en la toma de decisiones al momento de invertir, y bajo ninguna circunstancia se debe considerar por si solo como el mecanismo a utilizar para optar por un proyecto u otro dado que no considera los flujos futuros y se enfoca en el factor de liquidez por sobre el de rentabilidad.



CONCLUSIONES

.El análisis económico realizado para el proyecto que contempla la implementación de una nueva planta procesadora del agua de consumo humano, la cual tiene como objetivo disminuir los niveles de dureza, indica que su ejecución es posible dada la viabilidad tanto técnica como económica, pues así lo demuestra el mecanismo de osmosis inversa que permite realizar dicho proyecto, y donde además la empresa tiene la capacidad de solventar este plan al modificar la tarifa de consumidores de una determinada comuna como en este caso lo es Huechuraba. Sin embargo, ningún proyecto podría ser ejecutado sin el previo consentimiento por parte del ente regulador como es en este caso la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), la cual entre otras funciones, modifica las tarifas canceladas por los clientes. Claramente, la viabilidad del proyecto en cuestión es bajo el supuesto del acceso a las tarifas planteadas, es decir un aumento desde 346,81 [\$/m³] hasta los 436,08[\$/m³], lo que si bien no parece ser significativo monetariamente (aumento de 89,27[\$/m³]), si lo es porcentualmente al destacar el aumento de un 25,74% que no será bien recibido por parte del consumidor en primera instancia al menos. Es por ello que tan importante como es la ejecución de dicho proyecto, también lo es la promoción e información a la comunidad de este plan innovador, en donde el ser pionero traerá críticas por parte de la comunidad que sólo lo verá como un motivo para extraer un mayor excedente aún al consumidor. Por lo tanto, se recomienda a la empresa poner énfasis en explicar y educar a la población respecto a los beneficios que traerá consigo esta implementación, donde cuantitativamente disminuirán los gastos de mantención y de reparación, realizando estas labores en periodos más lejanos como ocurre con clientes de comunas de la misma región y con un mismo distribuidor pero con otro nivel de dureza principalmente explicado por la fuente de extracción. En el caso del aspecto cualitativo, demostrar explícitamente mediante muestras las diferencias entre aguas que se entregan a distintos clientes. Es decir, evaluar tácitamente si estarían dispuestos a ver aumentada su tarifa (no así su gasto global) con tal de poseer un agua con mejor calidad en sabor y que no afectará significativamente como se da en el presente en artefactos del hogar como teteras, ollas, calefón, etc.

Finalmente, desde el punto de vista del inversionista es un proyecto atractivo según las condiciones expuestas donde el riesgo es bajo si se compara con lo innovador que éste es. Por otra parte, se tiene una recuperación de capital en un plazo relativamente corto si se considera la envergadura del proyecto, en donde se pueden tener buenos réditos si se considera que las condiciones de mercado no fluctúan demasiado ya que es un bien de primera necesidad y las tarifas son reguladas en contratos serios.



REFERENCIAS

1. Clase Qsl. (20 de diciembre de 2008). Distribución del agua en el cuerpo: Estadísticas. (3. temas, Ed.) *Enciclopedia Salud*. Recuperado de <http://www.enciclopediasalud.com/categorias/cuerpo-humano/articulos/distribucion-del-agua-en-el-cuerpo-estadisticas>
2. Conant, J., & Fadem, P. (2011). Problemas de salud por el consumo de agua no potable. En H. Foundation, T. Jailer, J. Maxwell, & S. McCallister (Edits.), *Guía comunitaria para la salud ambiental* (A. Caracostis, Trad., 1º ed., pág. 47). Berkeley, California, Estados Unidos: Pablo Acevedo. Recuperado de http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap05.pdf
3. Aguas Andinas (s.f.). Obtenido de La empresa: <https://www.aguasandinas.cl/la-empresa/que-hacemos/captación>
4. Ecologiahoy. (22 de mayo de 2012). Minerales en el agua. *Ecología Hoy*. Obtenido de <http://www.ecologiahoy.com/minerals-en-el-agua>
5. León , W. H. (2008). *Impacto en la salud por consumo de agua dura en pobladores de la parte baja del río Chili, Arequipa, Perú*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de ingeniería química, Puno. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos67/salud-consumo-agua-dura/salud-consumo-agua-dura.shtml>
6. Superintendencia de servicios sanitarios. (s.f.). SISS. Calidad del agua potable. Obtenido de: http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-3815.html#i__w3_ar_EidoxCuerpo_1_3815_Agua20Dura
7. Centro de Investigación Periodística (CIPER). (27 de julio de 2006). Norma Chilena Oficial NCh409/1.Of2005. *Agua Potable - Parte 1 - Requisitos, 1º ed*, pag.4. Santiago, Región Metropolitana, Chile: Instituto Nacional de Normalización (INN). Obtenido de <http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>
8. Lenntech. (s.f.). Lenntech - water treatment solutions. *Magnesio y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud*. Rotterdamseweg, Delft, Países Bajos. Obtenido de <http://www.lenntech.es/magnesio-y-agua.htm>



9. Aguas Andinas. (s.f.). *Aguasandinas*. Obtenido de Ciclo Integral del Agua:
<https://aguasandinas.cl/la-empresa/que-hacemos/ciclo-integral-del-agua>
10. Valenzuela , T. M. (11 de diciembre de 2004). Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso. *Tesis profesional como requisito parcial para obtener el título en Licenciatura en Ingeniería Química con área en Ingeniería de Procesos* . Cholula, Puebla, México. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf
11. Arias Jordá, T., & Vitoria Miñana, I. (2000). *Importancia nutricional del agua de consumo público y del agua de bebida envasada en la alimentación del lactante. Estudio descriptivo de base poblacional*. IV Premio especial Nestlé sobre nutrición infantil, Asociación española de pediatría, pag.11, Valencia. Obtenido de <http://www.aguainfant.com/BIBLIOGRAF/aguas-2000-i-v.pdf>.
12. Moreno, P., & Mohina, G. (2011). *Química* (1 ed., Vol. 2). (M. Vittón, Ed.) Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación de la Nación. Obtenido de <http://bibliotecadigital.educ.ar/uploads/contents/M-Quimica.pdf>
13. Neira Gutierrez, M. A. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. Estudio de caso: Chile* (1 ed., Vol. 1). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de ingeniería civil. Obtenido de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
14. Rodríguez, S. (2010). Edutecne. *La Dureza del Agua*. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe . Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/agua/dureza_agua.pdf
15. Marcó, J. (s.f.). Química del agua. *Típos de dureza*. Barcelona, España. Obtenido de <http://www.quimicadelagua.com/Conceptos.Analiticos.Dureza.2.html>
16. Afán de Rivera, B. Q. (20 de marzo de 2012). <http://www.slideshare.net/>. Obtenido de Determinación de la dureza del agua: <http://www.slideshare.net/jotacealejo/determinacin-de-la-dureza-del-agua-beatriz-afn-de-rivera>.



17. Ministerio de Salud de El Salvador. (18 de julio de 2013). *Abordaje integral para la prevención y atención de la Enfermedad Renal Tubulointersticial crónica de CentroAmérica*. Reuición del sector de salud de Centroamérica y República Dominicana (RESSCAD), Instituto nacional de salud (INS). Obtenido de <http://www.paho.org/resscad/images/stories/GUATEMALA/PRESENTACIONES/tema%207%20ppt%201%20carlos%20orantes%20ercnt%20els.pdf>
18. Medline Plus. (16 de Mayo de 2014). <http://www.nlm.nih.gov/>. Obtenido de Nefritis Intersticial: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/000464.htm>
19. Vitoria , I. M. (2002). *Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿molesto o necesario?* Acta pediátrica española, Universidad de Valencia, Salud Pública, Valencia. Obtenido de <http://www.desincal.com/pdf/CalcioenelAguabebidainfancia.pdf>
20. Environmental protection agency (EPA). (enero de 2002). EPA. Obtenido de Drinking Water From Household Wells: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/200024OD.PDF?Dockkey=200024OD.PDF>
21. Organización Mundial de la Salud. (06 de abril de 2003). Guía para la calidad del agua potable. *Recomendaciones, volumen 1* (tercera edición). Ginebra, Suiza. Obtenido de http://www.who.int/entity/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf?ua=1
22. Truque B., P. A. (2005). *Organization of American State (OAS)*. Obtenido de Armonización de los estándares de agua potable en las Américas: <http://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
23. Ministerio de Salud Pública. (10 de marzo de 1998). Decreto 475 de 1998. *Ministerio de Salud Pública*. Santa Fé, Bogotá, Colombia: Universidad de Antioquia (UdeA). Obtenido de http://ingenieria.udea.edu.co/isa/normas_decretos/Decreto%20475-1998.%20Agua%20Potable..pdf
24. Radic, I. (28 de septiembre de 2014). EL mapa del sarro en el agua potable de Chile. (P. González, Ed.) *Las Ultimas noticias*, pág. 13. Obtenido de <http://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=28-09-2014%200:00:00&BodyID=0&PaginaId=13>



25. Cruz, A. R. (29 de abril de 2012). *Diseño de Revestidores*. Tecana American University , Accelerated Degree Program. Florida: PerfoBlogger. Obtenido de <http://perfob.blogspot.cl/2012/04/disenode-revestidores.html>
26. Crabtree, M., Eslinger, D., Fletcher, P., Miller, M., Johnson, A., & King, G. (10 de enero de 1999). La lucha contra las incrustaciones - remoción y prevención. *Oilfield Review*, 11(3), 30-49. Texas, Estados Unidos. Obtenido de http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish99/aut99/p30_49.pdf
27. Yacimientos Petrolíferos Fiscales. (2013). *YPF*. Obtenido de Recursos Convencionales: <http://www.ypf.com/EnergiaYPF/Paginas/recursos-convencionales.html>
28. Lamela, V. H. (s.f.). *Termodinámica y transferencia de calor*. Base material, Centro Politécnico del Petróleo. Obtenido de Termodinámica y transferencia de calor: <http://educaciones.cubaeduca.cu/medias/pdf/2426.pdf>
29. Rb Bertomeu. (1999, actualizado 2015). <http://www.rbbertomeu.es>. *Incrustaciones en calderas de vapor a fuel-oil*. Fraga, Huesca, España. Obtenido de Documentación técnica: <http://www.rbbertomeu.es/html/docs/AP-H-ET-calderas%20fuel.pdf>
30. Nordconsultors. (s.f.). Obtenido de Cálculo del índice de Langelier: <http://www.nordconsultors.es/indice-langelier.html>
31. Dirección general de Salud Pública del Ministerio de Sanidad y Consumo. (2013). *noticias.juridicas.com*. Obtenido de noticias.juridicas.com/base_datos/admin/rd140-2003.html
32. Aguapura Fadecen. (2012). <http://www.descalcificador-agua.com>. Obtenido de Funcionamiento del descalcificador electrónico: <http://www.descalcificador-agua.com/tipos-de-descalcificador/electronico/>
33. Zabaleta, M., Valera, A., Rivas, E., Mendoza, A., & Tinoco, S. (22 de 03 de 1998). *Efecto del campo magnético en el tratamiento de aguas duras*. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Lima. Obtenido de www.ionozone.cl/descarga.php?file=Campo_Magnetico.pdf
34. Gómez, D. (22 de marzo de 2013). *Descalcificadoresmagneticosestafa*. Obtenido de La estafa de los descalcificadores magnéticos...: <http://descalcificadoresmagneticosestafa.blogspot.cl/>



35. Organización de Consumidores y Usuarios. (06 de agosto de 2012). *OCU*. Obtenido de Falsos mitos sobre los descalcificadores magnéticos: <http://www.ocu.org/alimentacion/agua/noticias/descalcificadores-n770086>
36. AGUA CON CALIDAD. (s.f.). *aguaconcalidad*. Obtenido de Comparativas tecnologías descalcificación: <http://aguaconcalidad.com/tecnologias-descalcificar.php>
37. *Clubensayos*. (s.f.). Obtenido de Actividad De Metacognición Química 2: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Actividad-De-Metacognici%C3%B3n-Quimica-2/813007.html>
38. Revista Vinculando. (07 de diciembre de 2010). ¿Qué es un filtro de carbón activado? *Vinculando*. Recuperado el 04 de marzo de 2015, de http://vinculando.org/microblogging/que_es_un_filtro_de_carbon_activado.html
39. Real Academia Española. (2012). *RAE*, 22ª edición. Recuperado el 02 de Marzo de 2015, de [www.rae.es: http://lema.rae.es/drae/?val=adsorber](http://lema.rae.es/drae/?val=adsorber)
40. Alfaro, L. (20 de enero de 2013). *marionkuprat*. Recuperado el 05 de marzo de 2015, de Métodos para filtrar el agua potable: Comparación de tecnologías: <http://marionkuprat.com/metodos-para-filtrar-el-agua-potable-comparacion-de-tecnologias/>
41. Purepro-ecuador. (2010). *purepro-ecuador*. Obtenido de ¿Qué es la Ósmosis inversa y en que consiste?: <http://www.purepro-ecuador.com/osmosis.htm>
42. American Water Works Association (AWWA), Research Foundation Lyonnaise des Eaux, & Water Research Commission of South Africa. (1998). *Tratamiento del agua por procesos de membrana : principios, procesos y aplicaciones* (5 ed., Vol. 1). (A. W. Association, J. Mallevalle, P. E. Odendaal, Edits., C. Gómez, R. Urcela y Azpitarte, & M. Gómez, Trads.) Madrid, España: S.A. McGraw-Hill / Interamericana de España.
43. Acondicionamientos. (10 de septiembre de 2013). *Acondicionamientos, soluciones en tratamientos de agua*. Obtenido de nanofiltración: <http://www.acondicionamientos.com.ar/nanofiltracion/>
44. Lenntech . (s.f.). Micro y ultra filtración. *Tecnología de membrana*. Rotterdamseweg, Delft, Países Bajos. Obtenido de <http://www.lenntech.es/micro-y-ultra-filtracion.htm>



45. Oxidine Water technology SL. (s.f.). Membranas. *Diferencia de la tecnología de membranas*. Bergondo, Coruña, España. Obtenido de Oxidine - water technology: <http://www.oxidine.net/productos/membranas/#toggle-id-1>
46. Guerra, F. M., Struck, A. G., & Villalobos, S. S. (29 de septiembre de 2008). Práctica 6: Ablandamiento por Intercambio Iónico. *Trabajo Prelaboratorio*, págs. 3-4. Ciudad de México, México: Universidad Iberoamericana. Obtenido de http://fjartnmusic.com/Personal/8o_Semestre_files/LIAPreP6.pdf
47. AquaSalud tractaments. (02 de mayo de 2011). *desmineralizadores*. Obtenido de Funcionamiento de los procesos industriales de desmineralización de agua: <http://www.desmineralizadores.com/funcionamiento.html>
48. El Almacén del Agua. (2015). *elalmacendelagua*. Obtenido de Filtros Domésticos - Filtros antical: <http://www.elalmacendelagua.es/filtro-antical-calentador>
49. www.valor-euro.cl. (29 de mayo de 2016).
50. Aguas Andinas. (s.f.). *La empresa - consumo - ¿Cuánta agua utilizo en mi hogar?*. Obtenido de <https://www.aguasandinas.cl/la-empresa/que-hacemos/consumo>.
51. Agua en Chile. (29 de septiembre de 2014). *Mapa del agua con sarro en Chile*. Obtenido de Noticias: www.aguaenchile.wordpress.com/2014/09/29/mapa-del-agua-con-sarro-en-chile/
52. Departamento de estadísticas e información de Salud. (2011). www.deis.cl. Obtenido de Base de datos, egresos hospitalarios: intradeis.minsal.cl/egresoshospitalarios/menu_publica_nueva/menu_publica_nueva.htm
53. Revistas, U. E. (Ed.). (23 de febrero de 2016). DMedicina. (Diario Médico y Correo Farmacéutico) Obtenido de Enfermedades: Litiasis Renal: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/urologicas/litiasis-renal.html#otros-datos>
54. Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). *INE*. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “comunas: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-2020. Base de datos”: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php



55. Instituto Nacional de Estadísticas. (30 de junio de 2015). *INE*. Obtenido de Productos Estadísticos: Demográficas y vitales, “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php
56. Aguas Andinas S.A. (2016). *Memoria anual*. Santiago. Obtenido de <https://www.aguasandinasinversionistas.cl/~media/Files/A/Aguas-IR-v2/annual-reports/es/aguas-andinas-memoria-anual-2016.pdf>
57. Aguas Andinas. (2016). *Aguasandinas/Clientes*. Obtenido de Tarifas: <https://www.aguasandinas.cl/clientes/tarifas>
58. WORLDWIDE INFLATION DATA. (2017). *Inflation.eu*. Obtenido de Inflación histórica Chile - inflación IPC: <http://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/chile/inflacion-historica/ipc-inflacion-chile.aspx>



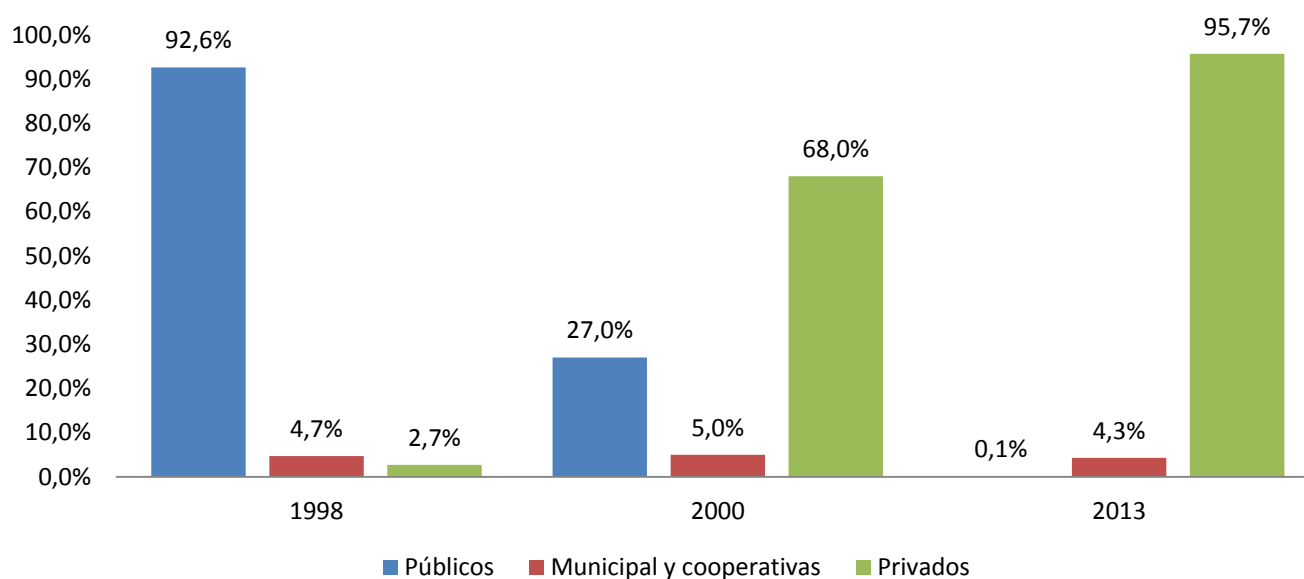
ANEXOS

Anexo 1: Porcentaje de cumplimiento acumulado según concesionaria, período: enero a diciembre – 2014

CONCESIONARIA	BACTERIOLOGÍA		TURBIEDAD		CLORO LIBRE RESIDUAL		PARÁMETROS CRÍTICOS		PARÁMETROS NO CRÍTICOS	
	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD	MUESTREO	CALIDAD
AGUAS ANDINAS	91,8%	100,0%	99,9%	92,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AGUAS CORDILLERA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AGUAS DE COLINA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	99,8%	99,8%
AGUAS DEL CENTRO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	66,7%	66,7%
AGUAS MANQUEHUE	82,4%	100,0%	85,6%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
AGUAS SANTIAGO PONIENTE (ASP)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	91,7%	95,8%	100,0%	100,0%
DE LA ESTACION	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	75,0%	No Tiene	No Tiene	93,1%	92,7%
EXPLOTACIONES SANITARIAS (ESSA)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	92,3%	92,3%
IZARRA DE LO AGUIRRE	100,0%	100,0%	91,7%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	8,3%	100,0%	98,5%
LARAPINTA (SELAR)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	19,8%	19,6%
LO AGUIRRE (EMAPAL)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
LO PRADO (SEPPRA)	75,0%	100,0%	75,0%	100,0%	83,3%	100,0%	66,7%	100,0%	100,0%	100,0%
REMODELACION SAN BORJA (COSSBO)	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	No Tiene	No Tiene	100,0%	100,0%
SANTA ROSA DEL PERAL	100,0%	100,0%	100,0%	91,7%	100,0%	100,0%	100,0%	91,7%	100,0%	99,6%
SEMBCORP AGUAS CHACABUCO	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	98,4%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
SEMBCORP AGUAS LAMPA	66,7%	100,0%	66,7%	100,0%	66,7%	75,0%	No Tiene	No Tiene	100,0%	100,0%
SEMBCORP AGUAS SANTIAGO	100,0%	93,0%	100,0%	100,0%	100,0%	98,7%	100,0%	0,5%	100,0%	100,0%
SMAPA	59,0%	100,0%	48,7%	97,4%	72,4%	100,0%	97,1%	94,5%	100,0%	100,0%

Fuente: SISS – “Fiscalización de empresas sanitarias”

Anexo 2: Prestadores de Servicios según N° de clientes en el país



Fuente: SISS – “Informe de Gestión del Sector Sanitario 2013”, elaboración propia.

Anexo 3: Detalle de resultados de la calidad del agua potable durante 2014 por servicio de concesionaria.

Fuente: SISS – “Fiscalización de empresas sanitarias”

CONCESIONARIA	SERVICIO	TIPO DE PARÁMETRO	PARÁMETRO	LÍMITE	UNIDADES	VALOR PROMEDIO	EVALUACIÓN
AGUAS ANDINAS	BUIN - PAINE – LINDEROS	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	CALERA DE TANGO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	35,3	Cumple
AGUAS ANDINAS	CURACAVI	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	EL MONTE - EL PAICO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	ISLA DE MAIPO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	LAS VERTIENTES - EL CANELO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	1,1	Cumple
AGUAS ANDINAS	MAIPO LAGUNA NEGRA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	12,8	Cumple



AGUAS ANDINAS	MALLOCO – PEÑAFLO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	MELIPILLA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	PADRE HURTADO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	PIRQUE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	11,9	Cumple
AGUAS ANDINAS	POMAI	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	QUILICURA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	26,9	Cumple
AGUAS ANDINAS	RINCONADA DE MAIPU	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	SAN GABRIEL	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	SAN JOSE DE MAIPO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	TALAGANTE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	TILTIL	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS ANDINAS	VALDIVIA DE PAINE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS CORDILLERA	AGUAS CORDILLERA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	6	Cumple
AGUAS CORDILLERA	LOS DOMINICOS	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	4,2	Cumple
AGUAS DE COLINA	SANTA ELENA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS DEL CENTRO	AGUAS DEL CENTRO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS MANQUEHUE	CHAMISERO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS MANQUEHUE	CHICUREO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS MANQUEHUE	LOS TRAPENSES	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	3,7	Cumple
AGUAS MANQUEHUE	SANTA MARIA (RM)	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
AGUAS SANTIAGO PONIENTE (ASP)	BARRANCAS	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
DE LA ESTACION	S.S DE LA ESTACION	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
EXPLOTACIONES (ESSA)	SANITARIAS	QUILICURA - VALLE GRANDE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	Cumple
IZARRA DE LO AGUIRRE	IZARRA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
LARAPINTA (SELAR)	LARAPINTA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		No Informado



LO AGUIRRE (EMAPAL)	LOMAS DE LO AGUIRRE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L	17	Cumple
LO PRADO (SEPPA)	LO PRADO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
REMODELACION SAN BORJA	SAN BORJA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SANTA ROSA DEL PERAL	SANTA ROSA DEL PERAL	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS CHACABUCO	AYRES DE CHICUREO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS CHACABUCO	TULLERÍAS	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS CHACABUCO	ESMERALDA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS CHACABUCO	COLINA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS CHACABUCO	LO SECO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS LAMPA	LAMPA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS SANTIAGO	BARNECHEA	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS SANTIAGO	LOS ALAMOS – RM	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS SANTIAGO	PAN DE AZUCAR	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SEMBBCORP AGUAS SANTIAGO	VALLE ESCONDIDO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SMAPIA	EL ABRAZO	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SMAPIA	HARAS FIGURON	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SMAPIA	MAIPU – CERRILLOS	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple
SMAPIA	SAN JOSE	NO CRITICO	MAGNESIO	125	mg/L		Cumple

Anexo 4: Evaluación económica en un periodo de 10 años para utilización de métodos de descalcificación en un hogar.

Método/año		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Evaluación final
Físico	Compra	0										

	Instalación	0											
	Mantenición	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	266,75
Químico/ inhibidor	Compra	304,0											
	Instalación	45,6											
	Mantenición	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	349,6
Químico/ fosfatos ^a	Compra	38,0											
	Instalación	45,6											
	Mantenición	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	30,4	387,6
Mecánico ^b	Compra	342,0											
	Instalación	91,2											
	Mantenición	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	212,8	2.561,2
Filtros ^c	Compra	456,0											
	Instalación	0											
	Mantenición	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	6.566	66.116
Destilación ^d	Compra	608,0											
	Instalación	91,2											
	Mantenición	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	8.755	88.249

Nota: Todos los valores en miles de pesos, previa conversión de euros a CLP con fecha 29/05/2016. [46] . ^a Los costos de mantención consideran dos cambios anuales de cartuchos. ^b El costo total de mantención se descompone en \$114.000 en compra de sal, además de \$91.200 extras en la factura del agua anual por la rechazada en el mismo proceso y finalmente \$7.600 en la factura eléctrica. ^c El costo de mantención se estima en \$228 por litro, considerando un consumo de 80[L/día] desde la fuente que sirve para la preparación de comidas y lavado de platos[47], se traduce en un total de \$6.566.000 por mantención anual. ^d El costo de mantención se estima en \$304 por litro, lo cual entrega el alto costo de mantención anual de \$8.755.000

Fuente: AGUA CON CALIDAD. (s.f.). aguaconcalidad. Obtenido de Comparativas tecnologías descalcificación: <http://aguaconcalidad.com/tecnologias-descalcificar.php> [32].

Anexo 5: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de Enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales en la RM en 2011

Comunas de Región metropolitana	Total	Grupo de Edad (años)						Total población	Relación enfermo/total
		0-4	5-9	10-19	20-44	45-64	65 +		
Alhué	5	1	0	1	2	0	1	4.646	0,11%
Buin	69	12	2	5	18	19	13	74.232	0,09%
Calera de Tango	13	1	2	1	5	4	0	27.781	0,05%



Cerrillos	81	10	3	2	18	16	32	65.262	0,12%
Cerro Navia	92	30	3	7	15	19	18	131.850	0,07%
Colina	42	3	1	2	15	10	11	116.410	0,04%
Conchalí	74	8	1	9	18	18	20	104.634	0,07%
Curacaví	50	3	4	8	16	10	9	30.157	0,17%
El Bosque	171	12	6	7	37	55	54	166.514	0,10%
El Monte	26	4	0	1	10	6	5	31.525	0,08%
Estación Central	122	12	6	8	24	27	45	109.573	0,11%
Huechuraba	87	16	4	3	29	17	18	86.201	0,10%
Independencia	68	15	0	3	15	18	17	49.944	0,14%
Isla de Maipo	8	1	1	1	1	3	1	32.174	0,02%
La Cisterna	100	10	2	3	31	23	31	69.943	0,14%
La Florida	290	38	7	13	49	77	106	397.497	0,07%
La Granja	131	26	4	6	33	34	28	121.833	0,11%
La Pintana	218	51	10	14	54	48	41	202.146	0,11%
La Reina	105	17	5	4	32	21	26	94.802	0,11%
Lampa	45	11	0	5	12	8	9	67.256	0,07%
Las Condes	301	33	10	11	99	74	74	289.949	0,10%
Lo Barnechea	85	18	4	4	29	18	12	112.822	0,08%
Lo Espejo	107	5	1	0	28	43	30	97.386	0,11%
Lo Prado	64	13	0	2	18	15	16	90.047	0,07%
Macul	78	25	2	1	21	10	19	95.827	0,08%
Maipú	546	70	16	40	120	151	149	888.377	0,06%
María Pinto	9	2	0	0	6	1	0	11.823	0,08%
Melipilla	147	29	9	10	19	42	38	107.698	0,14%
Ñuñoa	179	30	4	8	49	32	56	142.857	0,13%
Padre Hurtado	64	6	3	6	13	18	18	50.696	0,13%
Paine	42	6	1	3	12	13	7	66.512	0,06%
Pedro Aguirre Cerda	123	15	2	5	30	30	41	90.565	0,14%
Peñaflor	72	8	4	2	19	25	14	87.741	0,08%
Peñalolén	188	64	18	13	42	31	20	249.621	0,08%



Pirque	15	0	0	0	5	3	7	24.180	0,06%
Providencia	177	33	9	6	49	30	50	126.487	0,14%
Pudahuel	129	32	11	6	40	24	16	274.330	0,05%
Puente Alto	421	47	15	32	103	135	89	757.721	0,06%
Quilicura	90	16	3	8	35	19	9	222.145	0,04%
Quinta Normal	84	18	3	3	18	22	20	85.118	0,10%
Recoleta	101	16	0	4	28	21	32	122.050	0,08%
Renca	106	40	7	9	16	14	20	129.531	0,08%
San Bernardo	340	46	11	24	86	77	96	315.221	0,11%
San Joaquín	129	21	4	2	30	33	39	75.305	0,17%
San José de Maipo	55	4	2	4	15	11	19	14.455	0,38%
San Miguel	105	9	1	5	28	26	36	69.959	0,15%
San Pedro	12	1	6	0	1	2	2	8.062	0,15%
San Ramón	126	19	1	8	26	31	41	82.580	0,15%
Santiago	349	63	7	16	129	79	55	159.919	0,22%
Talagante	30	3	0	4	9	4	10	78.887	0,04%
Tiltil	13	1	0	1	4	6	1	16.405	0,08%
Vitacura	81	21	0	4	16	18	22	78.964	0,10%

Fuente: Departamento de Estadísticas e información de Salud (DEIS) [52], Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “comunas: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-20020. Base de datos” [54], elaboración propia.

Anexo 6: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de Enfermedades renales, glomerulares y tubulointersticiales a nivel país en 2011

Región del país	Total	Grupo de Edad (años)						Total población	Relación enfermo/total
		0-4	5-9	10-19	20-44	45-64	65+		
Arica y Parinacota	215	16	4	11	65	59	60	222.916	0,095%
Tarapacá	489	121	11	35	150	108	64	305.138	0,156%
Antofagasta	848	137	58	79	236	185	153	585.438	0,143%
Atacama	563	120	29	52	161	112	89	295.598	0,188%
Coquimbo	940	283	52	74	232	161	138	722.998	0,128%



Valparaíso	2.748	290	84	210	834	664	666	1.754.653	0,155%
Metropolitana	6.165	995	215	344	1.577	1.491	1.543	7.007.620	0,087%
Libertador B. O'higgins	1.179	157	32	93	328	306	263	886.178	0,132%
Maule	1.075	98	37	72	310	270	288	1.013.186	0,105%
Bío Bío	3.159	280	135	172	878	846	848	2.059.171	0,152%
Araucanía	1.346	141	59	112	376	293	365	964.096	0,139%
Los ríos	432	46	26	41	130	87	102	393.072	0,109%
Los Lagos	863	95	48	100	260	186	174	815.756	0,105%
Aisén del Gral. C. Ibáñez del Campo	115	21	8	5	30	28	23	104.421	0,109%
Magallanes y de la Antártica Chilena	188	10	2	8	74	52	42	161.007	0,116%

Fuente: Departamento de Estadísticas e información de Salud (DEIS) [52], Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” [55], elaboración propia.

Anexo 7: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de Enfermedades del sistema circulatorio (incluye enfermedades cardíacas) en la RM en 2011.

Comunas de Región metropolitana	Total	Grupo de Edad (años)						Total población	Relación enfermo/total
		0-4	5-9	10-19	20-44	45-64	65 +		
Alhué	30	0	0	1	3	15	11	4.646	0,65%
Buín	441	5	5	7	66	143	215	74.232	0,59%
Calera de Tango	97	1	1	1	18	32	44	27.781	0,35%
Cerrillos	501	0	0	13	49	152	287	65.262	0,77%
Cerro Navia	667	3	0	15	79	265	305	131.850	0,51%
Colina	376	0	0	9	88	142	137	116.410	0,32%
Conchalí	806	1	1	7	85	251	461	104.634	0,77%
Curacaví	188	0	1	1	14	70	102	30.157	0,62%
El Bosque	1.121	5	6	20	112	395	583	166.514	0,67%
El Monte	196	0	0	2	18	67	109	31.525	0,62%
Estación Central	949	4	1	14	96	266	568	109.573	0,87%
Huechuraba	508	5	0	9	87	168	239	86.201	0,59%
Independencia	533	3	0	17	53	175	285	49.944	1,07%
Isla de Maipo	145	3	0	3	15	54	70	32.174	0,45%



La Cisterna	841	2	1	9	64	277	488	69.943	1,20%
La Florida	2.335	38	7	41	233	800	1.216	397.497	0,59%
La Granja	933	5	1	18	68	374	467	121.833	0,77%
La Pintana	1.129	6	4	13	118	495	493	202.146	0,56%
La Reina	682	1	3	14	92	215	357	94.802	0,72%
Lampa	212	0	0	4	38	79	91	67.256	0,32%
Las Condes	2.060	9	9	36	313	645	1.048	289.949	0,71%
Lo Barnechea	499	6	4	28	84	190	187	112.822	0,44%
Lo Espejo	693	6	3	15	51	220	398	97.386	0,71%
Lo Prado	531	2	1	7	68	169	284	90.047	0,59%
Macul	738	2	1	7	97	256	375	95.827	0,77%
Maipú	2.889	12	5	40	445	1.157	1.230	888.377	0,33%
María Pinto	66	1	0	4	4	18	39	11.823	0,56%
Melipilla	828	2	1	8	87	317	413	107.698	0,77%
Ñuñoa	1.399	2	4	8	191	373	821	142.857	0,98%
Padre Hurtado	215	5	3	7	28	68	104	50.696	0,42%
Paine	265	1	2	6	35	101	120	66.512	0,40%
Pedro Aguirre Cerda	788	6	6	6	69	228	473	90.565	0,87%
Peñaflor	392	1	0	9	50	121	211	87.741	0,45%
Peñalolén	1.265	4	6	32	188	464	571	249.621	0,51%
Pirque	107	1	0	2	8	32	64	24.180	0,44%
Providencia	1.081	6	2	10	158	286	619	126.487	0,85%
Pudahuel	849	6	1	14	145	312	371	274.330	0,31%
Puente Alto	2.911	41	9	63	363	1.171	1.264	757.721	0,38%
Quilicura	560	1	3	14	141	237	164	222.145	0,25%
Quinta Normal	697	1	5	13	69	265	344	85.118	0,82%
Recoleta	822	1	1	8	92	287	433	122.050	0,67%
Renca	626	2	5	13	73	238	295	129.531	0,48%
San Bernardo	1.803	19	12	38	239	678	817	315.221	0,57%
San Joaquín	714	4	4	15	51	200	440	75.305	0,95%
San José de Maipo	157	1	0	4	18	49	85	14.455	1,09%



San Miguel	711	9	7	4	81	222	388	69.959	1,02%
San Pedro	26	0	0	1	2	8	15	8.062	0,32%
San Ramón	867	8	4	11	74	282	488	82.580	1,05%
Santiago	2.558	13	14	30	447	843	1.211	159.919	1,60%
Talagante	415	0	0	3	57	150	205	78.887	0,53%
Tiltil	85	0	0	0	5	34	46	16.405	0,52%
Vitacura	722	2	4	17	81	193	425	78.964	0,91%

Fuente: Departamento de Estadísticas e información de Salud (DEIS) [52], Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “comunas: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-20020. Base de datos” [54], elaboración propia.

Anexo 8: Total de pacientes que egresaron de recintos de salud, por grupos de edad, producto de Enfermedades del sistema circulatorio (incluye enfermedades cardíacas) a nivel país en 2011.

Regiones del país	Total	Grupo de Edad (años)						Total población	Relación Enfermo/total
		0-4	5-9	10-19	20-44	45-64	65 +		
Arica y Parinacota	1.331	1	3	29	223	464	611	222.916	0,59%
Tarapacá	1.994	9	5	32	301	837	810	305.138	0,64%
Antofagasta	4.686	17	21	120	790	1.948	1.790	585.438	0,79%
Atacama	2.159	28	23	59	280	755	1.014	295.598	0,72%
Coquimbo	4.548	54	30	95	574	1.546	2.249	722.998	0,62%
Valparaíso	18.016	48	56	251	1.741	5.785	10.135	1.754.653	1,02%
Metropolitana	41.029	256	147	691	5.210	14.249	20.476	7.007.620	0,58%
Libertador B. O'higgins	6.223	35	26	117	724	2.243	3.078	886.178	0,70%
Maule	7.456	39	18	116	822	2.483	3.978	1.013.186	0,73%
Bío Bío	17.301	68	58	263	1.970	5.859	9.083	2.059.171	0,83%
Araucanía	8.451	40	33	127	851	2.725	4.675	964.096	0,87%
Los Ríos	3.936	14	11	40	373	1.354	2.144	393.072	0,99%
Los Lagos	5.928	31	46	91	701	1.999	3.060	815.756	0,72%
Aisén del Gral. C. Ibáñez del Campo	735	5	5	18	96	281	330	104.421	0,70%
Magallanes y de la Antártica Chilena	1.575	4	3	21	165	578	804	161.007	0,97%

Fuente: Departamento de Estadísticas e información de Salud (DEIS) [52], Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” [55], elaboración propia.



Anexo 9: Encuesta base para estudio

Estudio de aguas duras en la R.M.

Encuesta para la evaluación de potenciales impactos del uso de agua de consumo en artefactos de uso diario y en la población.

¿Cuál es su comuna de residencia? *

¿Cuánto tiempo lleva residiendo en esa comuna? *

- ☐ Menos de 1 año
- ☐ Entre 1 - 3 años
- ☐ Entre 3 - 5 años
- ☐ Entre 5 - 10 años
- ☐ Más de 10 años

¿Cómo califica la calidad de agua de consumo de su comuna? *

- ☐ Excelente
- ☐ Buena
- ☐ Regular
- ☐ Deficiente
- ☐ Mala

¿Cada cuánto tiempo aproximadamente requiere realizar cambios de elementos de fontanería? *

Por ejemplo filtros, tuberías, llaves de lavamanos, etc.



- ☐ Entre 1 - 3 meses
- ☐ Entre 3 - 6 meses
- ☐ Entre 6 - 12 meses
- ☐ Más de 1 año

¿A cuánto asciende el gasto aproximadamente debido al cambio de elementos de fontanería? *

- ☐ Menor a \$10.000
- ☐ Entre \$10.000 y \$20.000
- ☐ Entre \$20.000 y \$50.000
- ☐ Entre \$50.000 y \$100.000
- ☐ Mayor a \$100.000

¿Realizan MANTENCIONES preventivas de formación de sarro periódicamente en equipos con uso frecuente de agua? *

Por ejemplo en calefón, lavadoras, lavavajillas, hervidores, ollas, etc.

- ☐ Si
- ☐ No

Si la respuesta anterior es sí, ¿A cuánto asciende dicho valor aproximadamente?

- ☐ Menor a \$5.000
- ☐ Entre \$5.000 y \$10.000
- ☐ Mayor a \$10.000

Posibles enfermedades



¿Cuál es su sexo? *

- ☐ Masculino
- ☐ Femenino

¿Qué edad tienes? *

¿Cuántos litros consumes a diario de agua de "llave"? *

- ☐ No consumo, solo ingiero agua embotellada
- ☐ Menos de 1
- ☐ Entre 1 - 2
- ☐ Entre 2 - 3
- ☐ Más de 3

En caso de no consumir "agua de la llave" o ingerir en bajas cantidades, selecciona los motivos principales

- ☐ Mal sabor del agua
- ☐ Alta turbiedad
- ☐ Servicio de suministro deficiente
- ☐ Otro:

¿Has presentado alguna vez enfermedades de tipo renal, glomerular o tubulointersticial? *

Por ejemplo litiasis urinaria (cálculos), entre otras.

- ☐ Si



- ☐ ☒ No

¿Tienes familiares directos que hayan sufrido de estas enfermedades? *

(Por ejemplo padre, madre, hermanos)

- ☐ ☒ Si
☐ ☒ No

¿Has presentado alguna vez enfermedades cardiovasculares? *

- ☐ ☒ Si
☐ ☒ No

¿Tienes familiares directos que hayan sufrido de este tipo de enfermedades? *

(Por ejemplo padre, madre, hermanos)

- ☐ ☒ Si
☐ ☒ No

Anexo 10: Percepción de calidad según encuesta

¿Cuál es su comuna de residencia?	¿Cuánto tiempo lleva residiendo en esa comuna?	¿Cómo califica la calidad de agua de consumo de su comuna?	Calificación (1-mala, 5-excelente)
Buín	Más de 10 años	Regular	3
Buín	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Colina	Entre 1 - 3 años	Deficiente	2
Conchalí	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Estación Central	Más de 10 años	Regular	3
Huechuraba	Más de 10 años	Deficiente	2



Independencia	Más de 10 años	Buena	4
Independencia	Más de 10 años	Regular	3
La florida	Más de 10 años	Buena	4
La florida	Menos de 1 año	Regular	3
La florida	Más de 10 años	Buena	4
La florida	Más de 10 años	Regular	3
La Reina	Entre 1 - 3 años	Buena	4
Lampa	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Lampa	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Las Condes	Más de 10 años	Buena	4
Las Condes	Entre 1 - 3 años	Buena	4
Las Condes	Más de 10 años	Buena	4
Las Condes	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Las Condes	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Las Condes	Entre 5 - 10 años	Excelente	5
Las Condes	Más de 10 años	Buena	4
Las Condes	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Las Condes	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Las Condes	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Lo Barnechea	Entre 1 - 3 años	Buena	4
Macul	Más de 10 años	Regular	3
Maipú	Más de 10 años	Deficiente	2
Ñuñoa	Entre 1 - 3 años	Buena	4
Ñuñoa	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Ñuñoa	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Ñuñoa	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Ñuñoa	Entre 3 - 5 años	Excelente	5
Ñuñoa	Más de 10 años	Excelente	5
Ñuñoa	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Paine	Más de 10 años	Buena	4
Paine	Más de 10 años	Buena	4



Pedro Aguirre Cerda	Más de 10 años	Regular	3
Pedro Aguirre Cerda	Más de 10 años	Buena	4
Peñalolén	Más de 10 años	Buena	4
Peñalolén	Más de 10 años	Buena	4
Peñalolén	Más de 10 años	Buena	4
Peñalolén	Más de 10 años	Buena	4
Peñalolén	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Peñalolén	Más de 10 años	Regular	3
Peñalolén	Más de 10 años	Buena	4
Providencia	Más de 10 años	Buena	4
Providencia	Más de 10 años	Buena	4
Providencia	Más de 10 años	Buena	4
Providencia	Más de 10 años	Buena	4
Providencia	Entre 5 - 10 años	Regular	3
Puente Alto	Entre 3 - 5 años	Regular	3
Puente Alto	Más de 10 años	Regular	3
Puente Alto	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Entre 5 - 10 años	Mala	1
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Más de 10 años	Mala	1
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Quilicura	Más de 10 años	Regular	3
Recoleta	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Recoleta	Más de 10 años	Regular	3
Recoleta	Más de 10 años	Regular	3
Recoleta	Más de 10 años	Regular	3



Recoleta	Más de 10 años	Regular	3
Renca	Más de 10 años	Buena	4
Renca	Más de 10 años	Deficiente	2
San Bernardo	Más de 10 años	Mala	1
San Bernardo	Más de 10 años	Mala	1
San Bernardo	Más de 10 años	Buena	4
San Bernardo	Más de 10 años	Regular	3
San Bernardo	Más de 10 años	Buena	4
San Bernardo	Más de 10 años	Excelente	5
San Joaquín	Más de 10 años	Regular	3
San Joaquín	Más de 10 años	Buena	4
San Miguel	Menos de 1 año	Regular	3
San Miguel	Más de 10 años	Regular	3
San Miguel	Entre 5 - 10 años	Deficiente	2
San Miguel	Entre 1 - 3 años	Regular	3
San Ramón	Más de 10 años	Buena	4
Santiago	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Santiago	Entre 1 - 3 años	Deficiente	2
Santiago	Más de 10 años	Buena	4
Santiago	Entre 3 - 5 años	Buena	4
Santiago	Entre 1 - 3 años	Regular	3
Santiago	Entre 1 - 3 años	Regular	3
Santiago	Más de 10 años	Buena	4
Santiago	Menos de 1 año	Deficiente	2
Santiago	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Santiago	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Santiago	Más de 10 años	Buena	4
Vitacura	Entre 5 - 10 años	Buena	4
Vitacura	Más de 10 años	Excelente	5
Vitacura	Más de 10 años	Buena	4
Vitacura	Más de 10 años	Buena	4



Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Tarifas de principales concesionarias

AGUAS ANDINAS S.A.			
Diario de publicación:		LUN	
Fecha de publicación:		07-ene-16	
Fecha de vigencia:		07-ene-16	
Grupo tarifario:		1	
Localidades:		Gran Santiago, Pirque, Plazuela Los Toros, Rinconada de Maipú, Sectores La Florida y Puente Alto	
Cargos		Valores	
Cargo fijo cliente (\$/mes)		617	
Variables (\$/m3)		Corte (\$/evento)	
		visita de corte	3.896
		primera instancia	3.896
		segunda instancia	5.367
		Reposición (\$/evento)	
		primera instancia	3.896
		segunda instancia	5.367
Riles (\$ por control o por análisis)		Aportes financiamiento reembolsable (\$/m3)	
	Batch	28.607	
	8 horas	84.200	
	12 horas	88.970	
	24 horas	112.808	
	grupo 1	3.751	
	grupo 2	6.749	
	grupo 3	9.273	
	grupo 4	6.006	
	grupo 5	5.149	
	grupo 6	7.549	
	grupo 7	34.232	
	costo administ.	72.602	
		Revisión de Proyectos	
		< o = a\$10.879.716	200.027
		Para \$10.879.716< l <\$217.594.326 1,35% * l	
		> o = a \$217.594.326	4.000.543

Fuente: Aguas Andinas. (2016). *Aguasandinas/Clientes*. Obtenido de Tarifas: <https://www.aguasandinas.cl/clientes/tarifas> [57]

AGUAS CORDILLERA S.A.

Diario de publicación: LUN
Fecha de publicación: 07-ene-16
Fecha de vigencia: 07-ene-16
Grupo tarifario: Cordillera (Incluye Los Dominicos)
Localidades: Los Dominicos, San Carlos de Apoquindo, Parque del Sol etapa III

Cargos	Valores	Cargos	Valores
Cargo fijo cliente (\$/mes)	800	Corte (\$/evento)	
Variables (\$/m3)		visita de corte	3.942
Agua Potable no punta	459,05	primera instancia	3.942
Alcantarillado no punta y punta	381,84	segunda instancia	5.432
Agua Potable punta	457,91	Reposición (\$/evento)	
Sobreconsumo agua potable punta	750,55	primera instancia	3.942
Interconexiones alcantarillado (\$/m3)		segunda instancia	5.432
Aguas Manquehue (Sta. Ma.)	245,37	Riles (\$ por control o por análisis)	
Sembcorp Aguas Santiago (Valle Escondido-Barnechea)	290,53	Batch	28.954
Otros cobros (\$/mes)		8 horas	85.222
Grifos públicos	1.646	12 horas	90.049
Aportes financiamiento reembolsable (\$/m3)		24horas	114.176
Producción Agua Potable	1.397,00	grupo 1	3.796
Producción Agua Potable con flúor	1.414,76	grupo 2	6.830
Distribución Agua Potable	1.256,06	grupo 3	9.386
Recolección Agua Servida	620,00	grupo 4	6.078
Recolección Agua Servida con interconexión	684,56	grupo 5	5.211
		grupo 6	7.640
		grupo 7	34.648
		costo administ.	73.483

Fuente: Aguas Andinas. (2016). *Aguasandinas/Clientes*. Obtenido de Tarifas: <https://www.aguasandinas.cl/clientes/tarifas> [57]

Anexo 12: Datos de evaluación económica

Crecimiento poblacional R.M.

Año	Población	Crecimiento
2005	6.538.896	-
2006	6.607.805	1,05%
2007	6.676.745	1,04%
2008	6.745.651	1,03%



2009	6.814.630	1,02%
2010	6.883.563	1,01%
2011	6.945.593	0,90%
2012	7.007.620	0,89%
2013	7.069.645	0,89%
2014	7.131.682	0,88%
2015	7.193.719	0,87%
2016	7.247.115	0,74%
2017	7.300.506	0,74%
2018	7.353.887	0,73%
2019	7.407.295	0,73%
2020	7.460.708	0,72%
Crecimiento Promedio		0,88%

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “país y regiones total: Actualización de población 2002-2012 y proyecciones 2013-2020” [55], elaboración propia.

IPC %	
2007	7,823
2008	7,093
2009	-2,581
2010	2,975
2011	4,438
2012	1,483
2013	3,025
2014	4,64
2015	4,378
2016	2,697
Promedio	3,597

Fuente: WORLDWIDE INFLATION DATA. (2017). *Inflation.eu*. Obtenido de Inflación histórica Chile - inflación IPC: <http://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/chile/inflacion-historica/ipc-inflacion-chile.aspx> [58]

Población			
Año	Huechuraba	Santiago	Las Condes
2012	86.201	159.919	289.949
2013	86.962	161.331	292.508
2014	87.729	162.755	295.090
2015	88.504	164.191	297.695
2016	89.285	165.640	300.322
2017	90.073	167.102	302.973
2018	90.868	168.577	305.648
2019	91.670	170.065	308.345
2020	92.479	171.567	311.067
2021	93.296	173.081	313.813
2022	94.119	174.609	316.583
2023	94.950	176.150	319.377
2024	95.788	177.705	322.196
2025	96.633	179.273	325.040

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE) – “comunas: población estimada al 30 de junio por sexo y edad simple 2002-2020. Base de datos” [54], elaboración propia.

Hogares		
Huechuraba	Santiago	Las Condes
21.550	39.980	72.487
21.740	40.333	73.127
21.932	40.689	73.773
22.126	41.048	74.424
22.321	41.410	75.081
22.518	41.776	75.743
22.717	42.144	76.412
22.918	42.516	77.086
23.120	42.892	77.767



23.324	43.270	78.453
23.530	43.652	79.146
23.737	44.037	79.844
23.947	44.426	80.549
24.158	44.818	81.260

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13: Ingresos, costos y flujos proyectados

Ingresos estimados con tarifas actuales				
Año	Huechuraba	Santiago	Las Condes	
2016	\$ 3.198.731.343	\$ 5.934.245.748	\$ 13.411.856.090	
2017	\$ 3.343.042.654	\$ 6.201.970.257	\$ 14.016.934.267	
2018	\$ 3.493.864.594	\$ 6.481.773.204	\$ 14.649.310.649	
2019	\$ 3.651.490.891	\$ 6.774.199.509	\$ 15.310.216.799	
2020	\$ 3.816.228.526	\$ 7.079.818.676	\$ 16.000.939.844	
2021	\$ 3.988.398.328	\$ 7.399.225.904	\$ 16.722.824.976	
2022	\$ 4.168.335.599	\$ 7.733.043.244	\$ 17.477.278.079	
2023	\$ 4.356.390.771	\$ 8.081.920.810	\$ 18.265.768.463	
2024	\$ 4.552.930.084	\$ 8.446.538.046	\$ 19.089.831.725	
2025	\$ 4.758.336.302	\$ 8.827.605.052	\$ 19.951.072.742	

Fuente: Elaboración propia.

Costos estimados con tarifas actuales				
Año	Huechuraba	Santiago	Las Condes	
2016	\$ 2.219.771.618	\$ 4.118.092.102	\$ 8.117.188.250	
2017	\$ 2.319.916.993	\$ 4.303.880.530	\$ 8.483.396.584	
2018	\$ 2.424.580.444	\$ 4.498.050.835	\$ 8.866.126.468	
2019	\$ 2.533.965.805	\$ 4.700.981.166	\$ 9.266.123.277	



2020	\$ 2.648.286.105	\$ 4.913.066.734	\$ 9.684.166.011
2021	\$ 2.767.763.984	\$ 5.134.720.578	\$ 10.121.068.813
2022	\$ 2.892.632.129	\$ 5.366.374.374	\$ 10.577.682.561
2023	\$ 3.023.133.721	\$ 5.608.479.270	\$ 11.054.896.515
2024	\$ 3.159.522.915	\$ 5.861.506.769	\$ 11.553.640.058
2025	\$ 3.302.065.330	\$ 6.125.949.648	\$ 12.074.884.501

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de Ejercicios estimados con tarifas actuales				
Año	Huechuraba		Santiago	Las Condes
2016	\$	978.959.726	\$ 1.816.153.645	\$ 5.294.667.840
2017	\$	1.023.125.661	\$ 1.898.089.727	\$ 5.533.537.683
2018	\$	1.069.284.150	\$ 1.983.722.369	\$ 5.783.184.181
2019	\$	1.117.525.087	\$ 2.073.218.342	\$ 6.044.093.522
2020	\$	1.167.942.422	\$ 2.166.751.942	\$ 6.316.773.833
2021	\$	1.220.634.343	\$ 2.264.505.326	\$ 6.601.756.163
2022	\$	1.275.703.470	\$ 2.366.668.870	\$ 6.899.595.519
2023	\$	1.333.257.050	\$ 2.473.441.540	\$ 7.210.871.948
2024	\$	1.393.407.169	\$ 2.585.031.277	\$ 7.536.191.667
2025	\$	1.456.270.972	\$ 2.701.655.404	\$ 7.876.188.241

Fuente: Elaboración propia.

Ingresos estimados con cambio de tarifa				
Año	Huechuraba		Santiago	Las Condes
2016	\$	3.875.095.654	\$ 5.934.245.748	\$ 13.411.856.090
2017	\$	4.049.921.256	\$ 6.201.970.257	\$ 14.016.934.267
2018	\$	4.232.634.144	\$ 6.481.773.204	\$ 14.649.310.649
2019	\$	4.423.590.156	\$ 6.774.199.509	\$ 15.310.216.799
2020	\$	4.623.161.181	\$ 7.079.818.676	\$ 16.000.939.844
2021	\$	4.831.735.887	\$ 7.399.225.904	\$ 16.722.824.976



2022	\$ 5.049.720.476	\$ 7.733.043.244	\$ 17.477.278.079
2023	\$ 5.277.539.478	\$ 8.081.920.810	\$ 18.265.768.463
2024	\$ 5.515.636.572	\$ 8.446.538.046	\$ 19.089.831.725
2025	\$ 5.764.475.458	\$ 8.827.605.052	\$ 19.951.072.742

Fuente: Elaboración propia.

Costos estimados con cambio de tarifa			
Año	Huechuraba	Santiago	Las Condes
2016	\$ 2.330.760.198	\$ 4.118.092.102	\$ 8.117.188.250
2017	\$ 2.435.912.843	\$ 4.303.880.530	\$ 8.483.396.584
2018	\$ 2.545.809.466	\$ 4.498.050.835	\$ 8.866.126.468
2019	\$ 2.660.664.095	\$ 4.700.981.166	\$ 9.266.123.277
2020	\$ 2.780.700.410	\$ 4.913.066.734	\$ 9.684.166.011
2021	\$ 2.906.152.183	\$ 5.134.720.578	\$ 10.121.068.813
2022	\$ 3.037.263.735	\$ 5.366.374.374	\$ 10.577.682.561
2023	\$ 3.174.290.407	\$ 5.608.479.270	\$ 11.054.896.515
2024	\$ 3.317.499.061	\$ 5.861.506.769	\$ 11.553.640.058
2025	\$ 3.467.168.597	\$ 6.125.949.648	\$ 12.074.884.501

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de Ejercicios estimados con cambio de tarifa			
	Huechuraba	Santiago	Las Condes
\$	1.544.335.455	\$ 1.816.153.645	\$ 5.294.667.840
\$	1.614.008.413	\$ 1.898.089.727	\$ 5.533.537.683
\$	1.686.824.678	\$ 1.983.722.369	\$ 5.783.184.181
\$	1.762.926.061	\$ 2.073.218.342	\$ 6.044.093.522
\$	1.842.460.772	\$ 2.166.751.942	\$ 6.316.773.833
\$	1.925.583.704	\$ 2.264.505.326	\$ 6.601.756.163
\$	2.012.456.741	\$ 2.366.668.870	\$ 6.899.595.519
\$	2.103.249.071	\$ 2.473.441.540	\$ 7.210.871.948



\$	2.198.137.511	\$	2.585.031.277	\$	7.536.191.667
\$	2.297.306.861	\$	2.701.655.404	\$	7.876.188.241

Fuente: Elaboración propia.

Resultado de ejercicio en Huechuraba			
Año	Tarifa Actual		Tarifa Modificada
2016	\$	978.959.726	\$ 1.544.335.455
2017	\$	1.023.125.661	\$ 1.614.008.413
2018	\$	1.069.284.150	\$ 1.686.824.678
2019	\$	1.117.525.087	\$ 1.762.926.061
2020	\$	1.167.942.422	\$ 1.842.460.772
2021	\$	1.220.634.343	\$ 1.925.583.704
2022	\$	1.275.703.470	\$ 2.012.456.741
2023	\$	1.333.257.050	\$ 2.103.249.071
2024	\$	1.393.407.169	\$ 2.198.137.511
2025	\$	1.456.270.972	\$ 2.297.306.861

Fuente: Elaboración propia.