



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

EL AGUA QUE BEBEMOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
GEÓLOGO

GIUSEPPE FRANCCESCO BONATICI AGUILAR

PROFESOR GUÍA:
DRA. LINDA DANIELE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DRA. CLAUDIA CANNATELLI
DR. JAMIE BUSCHER

SANTIAGO DE CHILE
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE GEÓLOGO
POR: GIUSEPPE FRANCCESCO BONATICI AGUILAR
FECHA: 2017
PROF. GUÍA: DRA. LINDA DANIELE
PROF. COGUÍA: DRA. CLAUDIA CANNATELLI

EL AGUA QUE BEBEMOS

La presente memoria tiene el objetivo de conocer a modo exploratorio la calidad fisico-química, de las aguas embotelladas minerales y purificadas en venta en el mercado chileno. El mercado de agua embotellada chilena ha mostrado un crecimiento continuo en los últimos años y ofrece una amplia gama de productos que los consumidores tienden a asociar con un estilo de vida saludable. Sin embargo, el marco regulatorio vigente (MINSAL, 1997) no obliga a declarar en los envases la composición química del agua y, el consumidor elige sin conocer la calidad de estas aguas. Este trabajo de investigación es el primer paso hacia una valoración más amplia de la calidad del agua que adquirimos y que se ha convertido en un producto de uso cotidiano para un gran número de consumidores. El interés hacía la composición de las distintas aguas que se encuentran a la venta nace de la ausencia de información detallada en el etiquetado de los envases y la limitada información pública disponible al respecto.

En este estudio se analizaron diez marcas de agua embotellada disponibles en venta en la ciudad de Santiago. Todas las aguas analizadas son sin gas, en envases de PET con tapas de PE. La capacidad de las botellas de cada marca es de 1,5 litros, con excepción de aquellas que no venían en ese formato. No se tiene más información previa de la composición de las aguas compradas que aquella en el etiquetado.

Los datos obtenidos han sido interpretados considerando las normas nacionales (Decreto 106 y NCH409/1) e internacionales y, los valores guía de diferentes organizaciones internacionales (OMS, USEPA (IBWA), EU). Los resultados revelaron que la calidad de las aguas analizadas es buena en general, cumpliendo con el reglamento de las aguas minerales chileno. Se observó que las muestras de Jahuel, Jumbo y Puyehue superan las concentraciones permitidas de arsénico por las normas internacionales y la NCH409/1, y la muestra de Cachantún supera el valor guía para nitratos de la USEPA. La concentración de nitratos de Cachantún, Jahuel, Jumbo y Porvenir resultan superiores a los valores naturales típicos de las aguas subterráneas y además presentan concentraciones menores de uranio. Finalmente, las muestras de Cachantún, Puyehue, Tottus y Benedictino presentan concentraciones relativamente elevadas de boro y la muestra de Puyehue contiene concentraciones menores de mercurio.

Los hallazgos de este estudio permiten reconocer, según la normativa vigente, que existen aguas embotelladas que no serían aptas como aguas potables. Esta peculiaridad podría ser subsanada modificando las normativas vigentes, ya que el agua embotellada es para consumo humano y, debiese cumplir con las normas del agua potable. Este estudio también demostró que las aguas purificadas no son de menor calidad fisicoquímica que algunas aguas minerales y que tampoco existe una clara relación precio/calidad. La limitación de esta investigación se encuentra en la baja cantidad de muestras analizadas y entonces se recomienda la realización de uno o más estudios con mayor cantidad de muestras, para adquirir más información sobre la calidad y seguridad de las aguas embotelladas que consumen los chilenos.

DEDICATORIA

Esta memoria está dedicada a Vanessa, quién me ha apoyado en las buenas y malas durante todas las luchas que nos hemos enfrentado. Gracias a ti he tenido la entereza y tranquilidad para enfrentarme a todo siendo, absurdamente, yo. Esta memoria es una victoria importante para una guerra mucho más grande. Quizás con algo de suerte, y unas cuantas más así, podremos comprar nuestra libertad.

Es inimaginable la cantidad de cosas que solucionas sin darte cuenta y que me han permitido avanzar con decisión a hacer las cosas que debo hacer. Como sabes, soy un estúpido que corre, que lucha y que sangra sin darse cuenta. La extraña amalgama de cosas que soy muchas veces me traicionan y me hacen presionarme más de lo que es posible. Tú me regresas al equilibrio que no existe en mi naturaleza.

Recuerda nunca dejar de mirar el cielo, pues en ti esta la misión de taladrar la luna. Recuerda soñar con un mundo mejor, pues nada se puede conseguir sin algún grado de delirio. Recuerda que en la victoria no está la felicidad, sino la entretención de poder seguir adelante. Se capaz de dejar cosas atrás y vivir con tu pasado en tranquilidad. Se capaz de sobreponerte a ti misma y seguir creciendo. Olvida el miedo. Recuerda la vacilación. Olvida el fracaso. Recuerda que hay siempre algún futuro. Olvida el odio. Recuerda la voluntad. Recuerda que somos uno de muchos. Recuerda no apuntar con tu mano, sino con tus ojos. Recuerda no disparar con tu mano, sino con tu mente.

En verdad, no importa que recuerdes nada de eso, porque yo estoy aquí, así que confía en el mí que confía en el ti que yo te recordaré eso. De la misma manera que tu me lo recuerdas a diario.

No voy a decir cursilerías ni clichés. Tu sabes lo que siento por ti. Y como diría cierto general, decirlo hace que suene superfluo y es suena insultante para lo que realmente siento, y no quiero que se entienda así.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco encarecidamente al CEGA (FONDAP 15090013) y al laboratorio de geoquímica de fluidos, y a la Universidad por el apoyo brindado que hizo posible la realización de esta memoria. De Manera similar, quiero dar gracias a Linda Daniele por aceptar ser mi profesora guía a pesar de estar sobrecargada de alumnos y por ayudarme en todo, a pesar de no tener nada de tiempo de sobra, a Claudia por su ayuda e insistencia de avanzar imperiosamente, y, junto con Linda, por pensar en el tema que terminó siendo mi memoria y a Jamie Buscher por el entusiasmo y buen humor mostrado por todo lo relacionado a la memoria y fuera de ella, y finalmente a Verónica Rodríguez por su excelente labor en el laboratorio.

Agradezco todo el apoyo que me han entregado a lo largo de los años y la consecuencia que tuvo estar en el ambiente familiar en el que he vivido, ya que me ha dado las herramientas necesarias para seguir creciendo y no ahogarme en una multitud de drogas químicas, físicas y digitales.

Agradezco a la gente que me agrada pensar que son mis amigos a pesar que no hablo casi nada con ellos. Mati, gracias por mantener(nos) distraídos de la universidad, y recordarnos regularmente que al final todo se soluciona igual, además de recordarme cada cierto tiempo que las cosas importan y las conversaciones entretenidas. Beto, gracias por hacernos reír con tus chistes fomes. Ahora puedes parar, gracias. Nicha, gracias por ser una gran amiga, a pesar de que casi nos matemos al principio (Giuseppe asiente con la cabeza). Adicionalmente, te agradezco a ti y a Valeria de salvarme de morir ahogado (larga historia). Valeria, gracias por tus conversaciones voladas y por ayudarme, probablemente sin que te dieras cuenta, con esta memoria. No hay suficiente espacio para todo el resto de la gente de geología que podría querer agradecer, así que pueden considerarme un cordial mal agradecido. Muchos de ustedes hicieron la vida más agradable y amena con su sentido del humor y su falta de humor. Sería un hipócrita si no admitiera que me entretienen los conflictos con o sin sentido.

Agradezco al coro por todo lo que pasamos juntos, ha sido entretenido el camino que he tenido junto a ustedes. Espero que pueda seguir así, en algún momento.

Agradezco a mis compañeros de plan común, aunque creo que no conocí a ninguno. El equipo que tuve en el ramo de sistemas newtonianos tiene que ser el más disfuncional y, al mismo tiempo, funcional que se haya visto. Gracias sujeto 1 y sujeto 2, nunca los olvidaré (a diferencias de sus nombres). Al curso de física experimental, y al horror de ese curso, que hizo todo ser fácil y bonito en comparación. Un curso que solo puedes pasar una vez en tu vida sin enloquecer. Por cierto, ¿sabían que con una caja de zapatos y pelotas de ping pong se puede demostrar que solo existen dos tipos de partículas indistinguibles en el universo? bueno, quizás no se puede pasar sin enloquecer un poco, un gran curso, con grandes integrantes, salvo Coni y Suazo. totalmente descriteriados, ustedes saben por qué. Cristóbal, espero que te esté yendo bien.

Y como olvidar a Zanelli, el niño rata. Ian (solo I, II, y VII), Ivette, Angie, Presidente X-TN, Cassie, Cate, JP, JPUC, Neltume, Ivan, Mariana(s), Bica, Rodrigos Perces, Gente que me saludaba sin que tuviera idea de sus nombres, y sujeto 43 y sujeta 17, anónimos del público. Muchas gracias. Hicieron la diferencia. Lamentablemente, solo tengo una página para escribir todo esto. Reitero, muchísimas gracias por todo.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Exposición del problema	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Marcos regulatorios	5
1.3.1. Agua mineral chilena	5
1.3.2. Agua potable chilena	7
1.3.3. Rotulación o etiquetado	7
1.4. Marco geológico y territorial	8
2. Metodología	12
2.1. Selección de las muestras	13
2.2. Métodos analíticos	14
2.3. Calidad de los datos	15
2.4. Calculo del residuo seco	15
2.5. Calculo de la dureza	16
3. Elementos potencialmente tóxicos para la salud humana	17
4. Resultados	29
4.1. Validación de resultados	29
4.2. Clasificación de las aguas	30
4.2.1. Conductividad, dureza y pH	30
4.2.2. Elementos mayoritarios y tipos de agua	31
4.3. Elementos minoritarios y trazas	35
5. Discusión	38
5.1. Calidad de las aguas analizadas	44
5.1.1. Andes Mountain	44
5.1.2. Cachantun	45
5.1.3. Jahuel y Jumbo	46
5.1.4. Porvenir	46
5.1.5. Puyehue	47
5.1.6. Tottus	48
5.1.7. Vital	48
5.1.8. Benedictino	48

5.1.9. Nestlé	49
5.1.10. Calidad global	49
5.2. Datos y normativas	50
5.2.1. Las normas nacionales	50
5.2.2. Las normas chilenas y las internacionales	55
5.2.3. El rotulado	56
6. Conclusión	58
7. Bibliografía	62
8. Anexo	73
8.1. Anexo A: estudio de mercado y lista de compras	73
8.2. Anexo B: datos relativos a los cambios de actividades en las comunas dónde se envasan las aguas analizadas	75
8.3. Anexo C: resultados	79

Índice de Tablas

1.1. Concentraciones máximas admitidas en el agua embotellada según normativas internacionales y nacionales	6
1.2. Resumen de los posibles tipos de roca que las muestras pueden haber entrado en contacto	9
2.1. Marcas chilenas según tipo de agua, con mención a su punto de extracción .	14
2.2. Clasificación según residuo seco a 110°C	16
2.3. Clasificación de dureza según la USGS y la WQA	16
4.1. Resultados del cálculo del desbalance de cargas y la significancia de error . .	29
4.2. Resultados de conductividad y pH	30
4.3. Clasificación de las muestras según residuo seco	31
4.4. Muestras ordenadas según su dureza usando la clasificación de la WQA . . .	31
4.5. Resumen de los tipos de aguas y clasificaciones de las muestras analizadas .	33
4.6. Resultados aniones y cationes	34
4.7. Resultados estadísticos de los elementos minoritarios y trazas	36
4.8. Resultados de elementos minoritarios y trazas	36
4.9. Resultados de elementos minoritarios y trazas	37
5.1. Comparación de las muestras con las normas	53
5.2. Riesgos sanitarios y valores nutricionales de las muestras analizadas	54
8.1. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Cunco	75
8.2. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Coinco	75
8.3. Variaciones de la actividad económica de la comuna de San Felipe	75
8.4. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Casablanca	76
8.5. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Puyehue	76
8.6. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Colbún	76
8.7. Variaciones de la actividad económica de la comuna de Rengo	76
8.8. Fuente de las muestras 1	77
8.9. Fuente de las muestras 2	78
8.10. Resultados analíticos de los aniones en la solución estándar	79
8.11. Resultados analíticos de los cationes en la solución estándar	80
8.12. Resultados analíticos de elementos traza y minoritarios de las soluciones estándar SRM 1640a y QWSTM25	81

Índice de Ilustraciones

1.1. Evolución del mercado de las aguas embotelladas en Chile	2
1.2. Distribución de los puntos de extracción de las marcas estudiadas a lo largo de Chile	11
4.1. Resultados en diagramas Stiff	32
4.2. Gráfico de caja y bigotes de los elementos minoritarios y trazas presentes en las muestras analizadas	35
5.1. Muestras de agua y su relación con las normas	51
8.1. Diagrama Piper de las muestras analizadas.	79
8.2. Gráfico de caja y bigotes de los aniones y cationes mayores presentes en las muestras analizadas	80

Capítulo 1

Introducción

La presente memoria titulada “El Agua que bebemos” analiza la composición fisicoquímica de algunas de las aguas embotelladas disponibles en el mercado Chileno. Este trabajo de investigación es el primer paso hacia una valoración más amplia de la calidad del agua que adquirimos y que se ha convertido en un producto de uso cotidiano para un gran número de consumidores. El interés hacia la composición de las distintas aguas que se encuentran a la venta nace de la ausencia de información detallada en el etiquetado de los envases y la limitada información pública disponible al respecto.

El consumo de agua embotellada ha crecido de manera sostenida en los últimos años bajo la consideración de ser más saludable que el agua potable suministrada por las sanitarias. En Chile, desde el año 2000 se ha triplicado el consumo de agua embotellada; desde el 2010 ha crecido un 50 %, y, se espera duplicar el consumo para el 2020 (Figura 1.1). Esta tendencia de crecimiento se observa en el mercado de las aguas envasadas a nivel mundial, y, está muy probablemente relacionado con el hecho que los consumidores asocian el agua embotellada con un producto más saludable que las aguas potables suministradas. Además, en el mercado de las aguas envasadas, algunas empresas optan por presentar productos con valor añadido y destinadas a un mercado de alto poder adquisitivo. Sus planes de marketing apuntan a destacar la pureza y calidad del agua, distanciándose del envase de plástico tradicional con botellas de vidrio de diseño más ostentosas y elegantes que las de tereftalato de polietileno (PET).

Recientemente, probablemente debido a este nuevo hábito de consumo, diferentes autores han centrado sus investigaciones en la evaluación de la calidad de las aguas embotelladas y los problemas que pueden presentar (Karamanis *et al.*, 2006; Güler, 2007; Palomo *et al.*, 2007; Güler y Alpaslan, 2009; Aldress y Al-Manea, 2010; Birke *et al.*, 2010; Brenčić *et al.*, 2010; Cichella *et al.*, 2010; Dinelli *et al.*, 2010; Peh *et al.*, 2010). Algunos resultados han permitido determinar, por ejemplo, cómo el envase y los procesos posteriores al envasado pueden afectar la calidad del agua (Krachler y Shotyky, 2009; Wagner y Oehlmann, 2010; Wu *et al.*, 2010; Amiridou y Voulsa, 2011; Li *et al.*, 2011; Bach *et al.*, 2014; Deng *et al.*, 2014; Real *et al.*, 2014; Rowell *et al.*, 2016) ya que estas pueden adquirir tanto elementos orgánicos como inorgánicos que alteran la calidad final del producto consumido. Muchos de estos compuestos tienen potenciales efectos negativos en la salud humana (Vandenberg, 2009;

Soto y Sonnenschein, 2010; Halden, 2010; Braun, 2011; Rubin, 2011; Meeker, 2012; Manikkan, 2013). En esta memoria se abordará el problema de la calidad de las aguas analizadas desde una perspectiva fisicoquímica y geomédica.

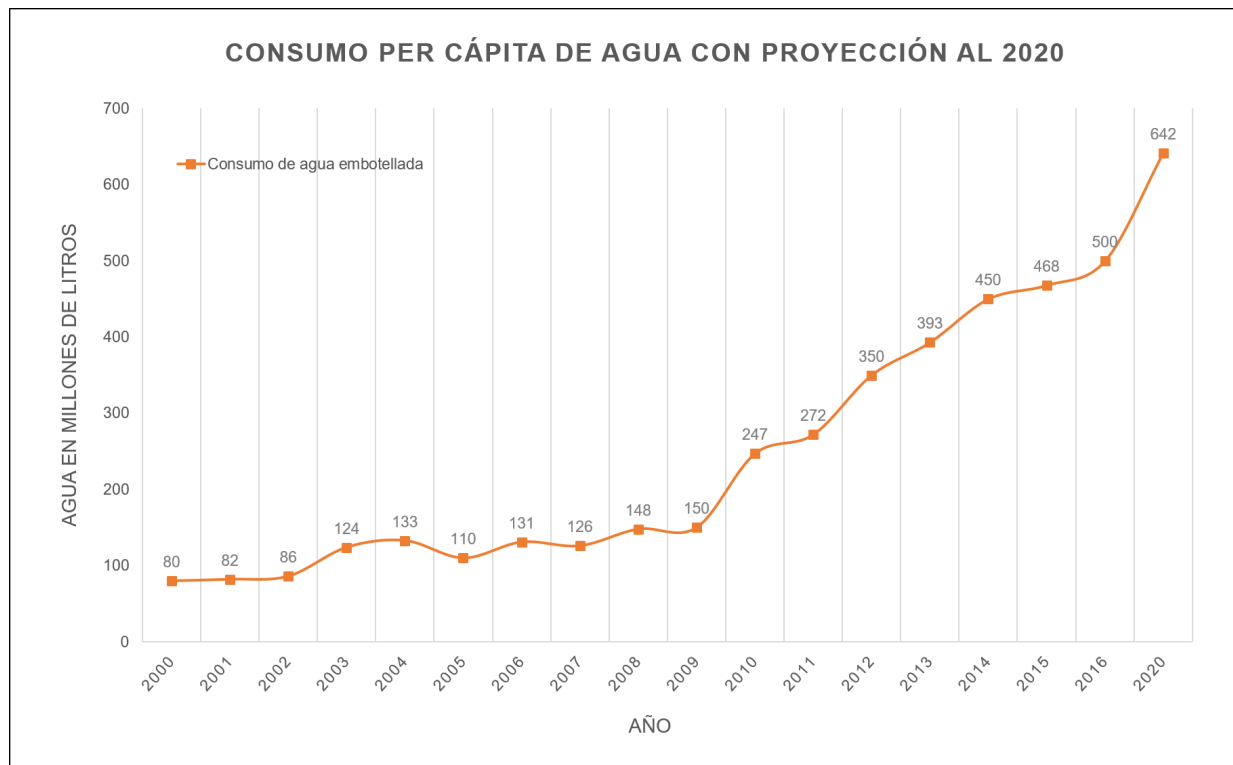


Figura 1.1: evolución del mercado de las aguas embotelladas en Chile. Elaboración propia a partir de los datos de Mesías (2009), Espinoza (2011), Emol (2012), SOFOFA (2012), Flores (2014), Sullivan (2014), Retail Financiero (2014), O'Connor (2015) y Pradel (2015).

Este estudio es basado sobre el análisis fisicoquímica de muestras de agua de 10 marcas comúnmente disponibles en el mercado chileno, y para cada muestra se ha determinado la composición iónica mayoritaria, minoritaria y, el contenido de elementos trazas. Considerando que el actual etiquetado no contempla explicitar la composición química del producto, los resultados se han comparado con las normas nacionales e internacionales. Según las normas chilenas, un agua mineral (definida por el Decreto 106, reglamento de aguas minerales MINSAL (1997)), no es sujeta a la misma reglamentación del agua potable (definida en el Decreto 977/96 o Reglamento Sanitario de los Alimentos (MINSAL, 1996), y NCH409/1 o Norma de Calidad de Agua Potable (INN *et al.*, 2005)) y si no cumple con esta última normativa, podría paradójicamente no ser apta para usos alimenticios.

Esta memoria está constituida por una parte inicial de descripción de antecedentes generales, problemática a la base del estudio y objetivos, y sigue con la metodología usada, el análisis y discusión de los resultados, y conclusiones finales.

1.1. Exposición del problema

En la sociedad se ha instalado la convicción que el agua embotellada, mineral y purificada, presenta una mejor calidad que las aguas potables suministradas por las sanitarias. Pero estudios realizados en diversos países han encontrado que algunas de las aguas analizadas presentaban concentraciones de elementos potencialmente tóxicos superiores a las permitidas o aconsejadas por la Organización Mundial de la Salud (Güler *et al.*, 2007; Palomo *et al.*, 2007; Güler *et al.*, 2009; Birke *et al.*, 2010; Cicchella *et al.*, 2010)y, a pesar de esto, numerosos son los países donde aún no se han hecho estudios y/o publicado suficientes datos relativos a la calidad de un producto de uso cotidiano para millones de personas.

La calidad del agua que se consume esta fundamentalmente determinada por tres factores. La calidad en la fuente de extracción, la cual está determinada por el comportamiento del agua y las rocas y suelos por las que circula previa a su extracción. De este sustrato el agua puede contaminarse con cualquier elemento natural de las rocas o introducidas en el medio por el ser humano. Este proceso puede variar en el tiempo dependiendo de cambios naturales o artificiales de los cursos de agua y de la composición del sustrato por el que circula. Una vez que el agua es extraída, esta puede ser contaminada por la disolución de material de las cañerías por las que se retira, otros procesos industriales y, una vez embotellada, con el envase donde se encuentra (Rowell *et al.*, 2016). En el tiempo en que se mantiene envasada el agua, la interacción entre el agua y el envase pueden ser afectados por cómo es conservada y almacenada (Bach *et al.*, 2014; Rowell *et al.*, 2016) tanto antes y después de ser comprada por el consumidor final. En esta memoria se evaluará la composición química del agua ya procesada y envasada, sin reconocer, en esta ocasión, los efectos de cada uno de estos factores. Sin embargo, los análisis realizados permiten disponer de una primera evaluación de la calidad de estas aguas y evaluar si el contenido en algunos elementos podría representar un riesgo para salud pública.

En Chile por aguas minerales se entiende aquellas aguas obtenidas en un contexto natural, definidas como tales en el Decreto 106 (MINSAL, 1997). Debido a ello, las composiciones de las aguas pueden ser afectadas por procesos relacionados con la climatología, meteorología, geología y actividades antrópicas relacionadas con el área de recarga de las aguas explotadas. Todo lo anteriormente citado puede afectar a la calidad del agua y hacer que ésta no sea siempre apta para el consumo humano siendo necesario que la revisión de su calidad sea periódica.

En Chile también se comercializan aguas purificadas, tales como las marcas Benedictino y Nestlé, que tienen mayor libertad en cuanto a los tratamientos que se les puede aplicar (destilación, nanofiltración, osmosis inversa o cualquier otro método similar (artículo 487° A, MINSAL, 1996), además de los tratamientos permitidos en el agua mineral (desferrización, ozonificación, radiación ultravioleta, filtración, gasificación y decantación (MINSAL, 1997)). Estos procesos puedan influir en la composición química original, sin necesariamente eliminar algunos elementos potencialmente dañinos para la salud humana.

Existen pocos estudios sobre los cambios a los cuales están sujetas las aguas embotelladas y la relevancia de cada uno de los procesos en la composición final del agua. Sin embargo, algunos estudios realizados en otros países (Wu *et al.*, 2010; Bach *et al.*, 2014; Amiridou y

Voulsa, 2011; Li, 2014; Rowell *et al.*, 2016) han permitido observar que el agua puede adquirir compuestos orgánicos o inorgánicos de los envases, pudiéndose dar concentraciones que superen las concentraciones permitidas, o los valores guía sugeridos para estos compuestos.

El estudio de los cambios que puede sufrir el agua embotellada una vez envasada es emergente a nivel mundial. En Chile la situación es similar, donde no existe ningún estudio público que analice estos cambios en detalle, ni la composición de las aguas embotelladas en general. A nivel nacional, los únicos estudios públicos a la fecha son dos, donde ambos evalúan bajo el estándar nacional. El Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC, 2002) hizo un estudio en detalle de 18 muestras, de las cuales se analizaron 9 muestras de 6 marcas chilenas (Cachantun, Vital, Porvenir, Villa Alegre, Socos y Líder), donde Villa Alegre representa la actual agua Life. Mesías (2009) entrega conocimientos generales de la calidad química de las aguas embotelladas tanto nacionales (Benedictino, Cachantun, Jahuel, Liv, Nestlé, Next, Porvenir, Puyehue, Vital) como internacionales, y critica la falta de información en el rotulado de las aguas chilenas para identificar las diferencias entre ellas.

Los estudios hidrogeológicos de las áreas donde se extraen las aguas son escasos y/o no disponibles para consulta dificultando el reconocimiento de las potenciales fuentes de los iones disueltos en las aguas analizadas. Tampoco existe un seguimiento de eventuales cambios composicionales en el tiempo.

Finalmente, existen problemas de comunicación productor-consumidor ya que la etiqueta definida por el Decreto 977/96 (MINSAL, 1996) no considera definir el tipo de agua que se está consumiendo; ni muestra las concentraciones de todos los elementos presentes en el producto puesto a la venta, salvo excepciones, cuando el producto contenga concentraciones cercanas a las máximas permitidas en dos situaciones (alta concentración de sulfatos, y sólidos disueltos).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general de esta memoria es generar información de base para el estudio de las aguas embotelladas (minerales, gasificadas y purificadas) en Chile, a través del análisis de sus propiedades físico-químicas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinación de los parámetros fisicoquímicos de aguas embotelladas seleccionadas, que son comercializadas en Chile.
- Comparación de las composiciones químicas y de los parámetros físicos con los límites establecidos por las normas nacionales (MINSAL, 1997; INN *et al.*, 2005) e internacionales (OMS, SCF, USEPA o IBWA) que regulan el consumo de agua embotellada.

- • Evaluar los resultados en función de sus posibles implicancias en la salud.

1.3. Marcos regulatorios

En esta sección se mencionan las principales normas y valores guías fijados por centros internacionales y nacionales como la Organización mundial de la Salud (*World Health Organization* o OMS), la subdivisión del programa internacional por la seguridad química (*International Programme on Chemical Safety* o IPCS), la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) asociada con la organización internacional de agua embotellada (IBWA), el comité científico de la alimentación humana de la Unión Europea (*Scientific Committee On Food* o SCF), la Agencia internacional de investigación en cáncer (*International Agency for Research on Cancer* (IARC), el Ministerio de Salud Chileno y la Comisión Nacional de Medio Ambiente Chilena. Las normas chilenas consideradas como base por la fijación de concentraciones máximas admitidas son el Decreto 106 (MINSAL, 1997) sobre aguas embotelladas, tanto mineral como purificada, en Chile y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) sobre la calidad de agua potable chilena. En la tabla 1.1 se propone una lista de elemento potencialmente tóxico y relativas concentraciones máximas admitidas según normativas nacionales e internacionales.

1.3.1. Agua mineral chilena

En Chile, las aguas minerales, según el Artículo 1, Decreto 106 (MINSAL, 1997), se entienden como aquellas aguas naturales que surgen del suelo, que no provienen de napas o cursos de aguas superficiales, de composición conocida y que, por su constitución o propiedades físico-químicas o biológicas, son susceptibles de aplicaciones beneficiosas para la salud. Estas se clasifican según su temperatura: si la temperatura del agua, en el sitio donde surge la fuente es igual o superior a 18°C se clasifica como termal, en caso de ser inferior, estas aguas se denominan aguas minerales.

El Decreto 106 (MINSAL, 1997) declara que las aguas minerales envasadas destinadas al consumo deben provenir de fuentes naturales y cumplir con condiciones bacteriológicas similares a las demandadas al agua potable, definida en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). En cuanto a residuos secos no pueden ser superiores a 1.5 gr/l y no sobrepasar las concentraciones máximas de las sustancias mencionadas en la tabla 1.1. Adicionalmente, no puede estar presentes en concentraciones detectables (sin definir método): compuestos fenólicos, agentes tensoactivos, plaguicidas, bifenilos policlorados, aceites minerales e hidrocarburos polinucleares (Artículo 32°, MINSAL, 1997).

Los tratamientos posibles a las que se pueden someter a las aguas minerales quedan definidos en el Artículo 35° del Decreto 106 (MINSAL, 1997), donde se permiten únicamente la desferrización, ozonificación, radiación ultravioleta, filtración, gasificación y decantación.

En cuanto a las aguas envasadas, o embotelladas, existen 3 tipos: aguas minerales, que responden a la clasificación antes mencionada, sin embargo, el término “agua mineral gaseosa”

Tabla 1.1: concentraciones máximas admitidas en el agua embotellada según normativas internacionales y nacionales. La suma de las razones entre los NO_3^- y NO_2^- presentes en relación a su concentración máxima no puede superar 1. (*) definido provisionalmente por la incertidumbre de las bases de datos científicas. (**) El valor en paréntesis es el valor original de la norma, el resultado es la transformación al estándar (B, NO_3^- y NO_2^-). (***) Expresado como Cr hexavalente. (MINSAL, 1997; SCF, 2003; INN *et al.*, 2005); EPA, 2009; OMS, 2011a). OMS = *World Health Organization, Guidelines for Drinking Water (2011a)*; EPA = *United States Environmental Protection Agency (2009)*; SCF = *Scientific Committee on Food (2003)*; Decreto 106 = Reglamento de aguas minerales (MINSAL, 1997); NCH409/1 = Norma chilena de Calidad de Agua Potable (INN *et al.*, 2005).

Componentes	Decreto 106 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	NCH409/1 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	OMS ($\mu\text{g}/\text{l}$)	SCF ($\mu\text{g}/\text{l}$)	EPA ($\mu\text{g}/\text{l}$)
Sb	-	-	20	5	6
As	50	10	10(*)	10	10
Asbestos	-	-	-	-	7 fibras por millón
Ba	1000	-	700	1000	2000
Be	-	-	-	-	4
B	5490(30000(**))	-	2400	-	-
BrO_3^-	-	-	10(*)	-	10
Cd	10	10	3	3	5
Cl	-	2000	5000	-	4000
Cr	50(***)	50	50(*)	50	100
Cu	1000	2000	2000	1000	1300
CN	10	50	-	70	200
F	2000	1500	1500	5000	4000
Mn	2000	100	-	500	-
Mg	-	125000	-	-	-
Hg	1	1	6	1	2
Ni	-	-	70	20	-
NO_3^-	45000	50000	50000	50000	44240(10000(**))
NO_2^-	50	3000	3000	100	3280(1000(**))
Pb	50	50	10(*)	10	15
Se	10	10	40(*)	10	20
SO_4^{2-}	-	500000	-	-	-
S	50	-	-	-	-
U	-	-	30(*)	-	30
Tl	-	-	-	-	2
Zn	5000	3000	-	-	-

solo puede usarse cuando el agua es naturalmente efervescente, requiriendo una comprobación *in situ* bajo experiencias e inspecciones técnicas reiteradas (Artículo 33°, MINSAL, 1997); aguas purificadas, por medio de destilación, nanofiltración, ósmosis inversa o cualquier otro método similar (artículo 487° A, MINSAL, 1996); aguas saborizadas, si se adicionan colorantes y saborizantes. Todas aquellas aguas tienen que cumplir con las normas exigidas al agua potable, y pueden ser gasificadas (artículo 487° A, MINSAL, 1996).

El artículo 34° del Decreto 106 (MINSAL, 1997) define que el proceso de industrialización, importación, exportación, envase, rotulación y distribución estarán regidos bajo las disposiciones del Decreto 977/96 (MINSAL, 1996), y similarmente la adición de gas carbónico debe cumplir con este reglamento (Artículo 33°, MINSAL, 1997).

1.3.2. Agua potable chilena

El marco regulatorio del agua potable en Chile está definido por la NCh409/1 (INN *et al.*, 2005) con vigencia desde el 2007. Esta es fiscalizada en materia de legislación sanitaria y sus normas técnicas por la superintendencia de servicios sanitarios, anulando la anterior NCh409/1 de 1984. Esta norma define las condiciones físicas, químicas y biológicas para ser considerada agua potable (INN *et al.*, 2005).

Se define el agua potable como “agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección descritos en NCh409/1, que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano” (INN *et al.*, 2005).

En caso de que se sobrepase el límite de algún elemento, la autoridad competente de salud informa la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la cual determina en cuanto tiempo se debe remediar la situación. En el caso de arsénico, si la concentración sobrepasa el límite establecido por la ley pero es menor de 30 $\mu\text{g}/\text{l}$, la Superintendencia de Servicios Sanitarios tiene un plazo máximo de 10 años para tomar medidas de remediación (INN *et al.*, 2005), no obstante, si la concentración de arsénico supera los 30 $\mu\text{g}/\text{l}$, el plazo máximo no puede superar los 5 años para bajar las concentraciones a un nivel igual o menor que 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ (INN *et al.*, 2005).

1.3.3. Rotulación o etiquetado

El etiquetado de los alimentos queda definido en el párrafo II del título II del Decreto 977/96 (MINSAL, 1996). En este párrafo se define, entre otros, la declaración de nutrientes, la declaración de propiedades nutricionales, declaración de propiedades saludables (en el caso del agua mineral se prohíbe la declaración de propiedades o efectos medicinales), descriptores, factor alimentario, enriquecimiento o fortificación, fecha de elaboración, envasado y vencimiento o plazo de duración, ingredientes, lote, nutriente, nutriente esencial, porción de consumo habitual, Rotulación, etiquetado nutricional y Rótulo (Art 106, MINSAL, 1996). Todos los rótulos tienen que llevar la siguiente información: nombre del alimento, contenido neto, nombre o razón social y domicilio del envasador, país de origen, número y fecha de la

resolución y el nombre del servicio de salud que autoriza al establecimiento que envasa el producto, fecha de elaboración, de vencimiento o plazo de duración, ingredientes, aditivos, información nutricional (definida en el artículo 115, MINSAL, 1996), instrucciones para el almacenamiento y su uso, número y fecha de la resolución del servicio de salud para productos importados, y mención de modificaciones por medio de eventos biotecnológicos (Art 106, MINSAL, 1996).

El rotulado debe estar de forma legible, fácil de leer en idioma castellano (art 109, MINSAL, 1996) y ser visible sin tener que separarlo del envase. En el artículo 115 (MINSAL, 1996) se define que todos aquellos alimentos envasados listos para la entrega al consumidor final tienen que incorporar obligatoriamente: valor energético, cantidad de cualquier otro nutriente o factor alimentario (fibra dietética, colesterol, hidratos de carbono, azúcares, grasa totales, proteínas, etc.), y las características que tiene que contener la declaración de nutrientes (familias tipográficas, altura mínima de las letras y números, colores y combinaciones entre el fondo y las letras, y la forma en cómo se ordena la información). En el artículo 118 (MINSAL, 1996) define que cuando se encuentren vitaminas y minerales en concentraciones significativas (5 % o más de la ingesta recomendada), definida según el Codex Alimentarius se debe indicar la dosis diaria de referencia (DDR) para mayores de 4 años y, para algunas vitaminas y minerales se deben ocupar los valores definidos por la *Food and Drug Administration* (FDA), usando *References Daily Intakes* (RDI). Existen distintos valores para lactantes, niños menores de 4 años y embarazadas.

El artículo 119 (MINSAL, 1996) define como alternativa añadir información nutricional complementaria para mejorar la comprensión del usuario. El artículo 120 (MINSAL, 1996) define los tipos de descriptores válidos para entregar la información nutricional. En el caso que la porción contenga menos que 5 mg, se pueden ocupar los descriptores “Libre”, “No Contiene”, “Exento”, “Sin”, “Cero”, “0”, “0 %” o “No tiene”; para valores máximos de sodio de 35 mg por porción se pueden utilizar los descriptores “muy bajo” o “muy bajo aporte”. Para minerales, cuando la porción contiene entre un 10 y un 19,9 % de la DDR, se define “buena fuente” o “contiene”; cuando contiene un 20 % o más de la DDR se ocupa el descriptor “alto” y cuando un elemento ha sido modificado agregando un 10 % o más de la DDR por porción se utilizan los descriptores “enriquecido” o “fortificado”.

El artículo 474 (MINSAL, 1996) define requisitos adicionales para la rotulación del envase de agua mineral: cuando el producto contenga más de 600 mg/l de sulfato que no sea CaSO_4 , se debe incluir en forma destacada la leyenda “puede ser laxante”; cuando el producto contenga más de 1000 mg/l de sólidos totales disueltos o 600 mg/l de HCO_3^- , se debe incluir en forma destacada la leyenda “puede ser diurético”; y prohíbe declaración alguna de propiedades o efectos medicinales.

1.4. Marco geológico y territorial

Para delimitar la geología de las áreas que pueden influenciar las aguas minerales se tiene que tomar en cuenta la información existente de cada sector. No existe información detallada de las áreas favorables a la infiltración, ni de los recorridos subterráneos hasta los puntos

Tabla 1.2: resumen de los posibles tipos de roca que las muestras pueden haber entrado en contacto.

Muestras	Rocas sedimentarias			Rocas metamórficas		Rocas ígneas		
	Continentales	Transicionales	Marinas	Meta-pelitas	Meta-basitas	Félsicas	Inter-medias	Básicas
(1)Andes Mountain	no	no	no	si	si	si	si	si
(3)Cachantun	si	no	si	no	no	si	si	no
(4)Jahuel	si	si	no	no	no	si	si	si
(5)Jumbo	si	si	no	no	no	si	si	si
(6)Porvenir	si	no	si	no	no	si	si	si
(7)Puyehue	no	no	no	no	no	si	si	si
(9)Tottus	si	si	si	no	no	si	si	si
(10)Vital	si	si	si	no	no	si	si	si

de surgencia de las aguas minerales. Normalmente el agua se desplaza de cotas mayores a menores y se puede infiltrar en función de las características hidrogeológicas de suelos y rocas. De forma general, se asume que las aguas pueden infiltrarse desde la cordillera chilena hasta el punto de extracción, siguiendo las características de la subcuenca de drenaje del punto de extracción de las aguas minerales. Por ello, se toma en cuenta toda la geología aguas arriba del punto de extracción y rocas a su alrededor. Adicionalmente, los procesos de interacciones de agua-roca son complejos de cuantificar y reconocer, siendo afectados por múltiples variables de las aguas y rocas como la composición química de ambas, porosidad, conductividad hidráulica, pH y Eh, temperatura, entre otras, muchas de ellas cambiantes en el tiempo. Todo lo mencionado muestra que cualquier análisis en detalle de las aguas analizadas es extremadamente complejo y, en este caso, al no disponer de los detalles, se opta por hacer una descripción general de la geología existente aguas arriba del punto de extracción para definir las rocas con las cuales puede entrar en contacto el agua antes de su extracción.

Según la información geológica disponible en el mapa geológico de Chile 1:1000000 (SER-NAGEOMIN, 2003), se elaboró la tabla 1.2 donde se resumen las rocas por las que pueden circular las aguas de las muestras.

Algunos estudios indican que algunas de las aguas de analizadas pueden ser influenciadas por sistemas geotermales. Las aguas de Jahuel y Jumbo provienen de un sistema geotermal asociado a la falla Pucuro de orientación norte sur (Martini, 2008). Las aguas de Puyehue están influenciadas por el sistema Puyehue-Aguas calientes (Celis *et al.*, 2012), donde existe un pozo usado para extraer aguas minerales de acuíferos de rocas volcánicas alteradas a profundidad de 143 m (Celis *et al.*, 2012). Las aguas de Tottus se ubican en el área termal de Panimávida, a 5 km al sur de las mismas termas, donde el agua brota a temperaturas de 23,3°C, con un caudal menor a 1 l/s, un pH alcalino (9,2) y contenido total de sólidos disueltos de 170 ppm (Benavente, 2010). No hay estudios relacionados al sistema geotermal de las termas de Chanqueahue (ahora con el nombre de Camino a la Vital #1001) de las aguas de Vital.

Con el fin de contextualizar los resultados obtenidos y considerando que, de las diez muestras analizadas, dos son purificadas se revisó la evolución de las actividades económicas en las comunas donde estas son extraídas (tabla 2.1). La distribución de los puntos de extracción se observa en la figura 1.2. Las actividades económicas se extrajeron del servicio de impuestos interno (SII, 2012a; SII, 2012b; SII, 2012c; SII, 2012d; SII, 2012e; SII, 2012f; SII, 2012g; SII, 2015a; SII, 2015b; SII, 2015c; SII, 2015d; SII, 2015e; SII, 2015f; SII, 2015g). Las divisiones de trabajo (de elaboración propia) se fraccionan según el tipo de contaminación que puede generar:

- trabajo agrícola, que comprende la agricultura, la ganadería, la caza, la silvicultura y la pesca;
- minero e industrial, que está compuesto de las explotaciones de minas y canteras, las industrias manufactureras no metálicas e industrias manufactureras metálicas;
- construcción;
- servicios, que pueden ser el comercio al por mayor y menor, repuestos, vehículos, automotores/enseres domésticos, hoteles y restaurantes, transporte, almacenamiento y comunicaciones, Intermediación financiera, Actividad inmobiliarias, empresariales y de alquiler; y Servicios públicos definidos como el conjunto que comprende la administración pública y defensa, planes de seguimiento social afiliación obligatoria, enseñanza, servicios sociales y de salud, otras actividades de servicios comunitarios, sociales y personales, consejos de administración de edificios, organizaciones extraterritoriales.

En general, se observa una migración del trabajo agrario industrial a los servicios y servicios públicos. Para el 2013, Cunco tiene el 65,2 % de la población trabajando en estos servicios, de manera similar, Coinco tiene el 68,5 %, San Felipe alcanza 55,2 %, Casablanca un 50,5 %, Puyehue un 48,3 %, Colbún un 42,6 % y Rengo un 47,8 %. En mayor detalle, la evolución de cada comuna se encuentra en las tablas 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 en Anexo B.

En la comuna de Cunco se ha observado que entre el 2007 y el 2013 una migración del trabajo agrícola, minero e industrial a servicios y servicios públicos, permaneciendo un porcentaje importante de la actividad agraria (25 %).

Entre el 2007 y el 2011, en la comuna de Coinco se observa una migración fuerte de las actividades agrícolas a los servicios públicos. Para el 2013 existió una fuerte actividad agrícola (24 %). La actividad industrial (4 %) es baja en el sector, similar a la construcción, aunque esta última es más variable en el año.

En San Felipe entre el 2007 y el 2013, se observa una fuerte migración desde las ocupaciones agrícolas hacia los servicios y en menor medida hacia los servicios públicos. En 2013 existe una actividad minera e industrial importante (16 %), además de agrícola (24 %).

En Casablanca, los datos indican una fuerte migración, entre el 2007 al 2013, desde la agricultura, la construcción y minería e industria hacia Servicios. Las actividades principales de la comuna son, en el 2013, la minería e industria (23 %), seguida de la actividad agrícola (19 %).

En Puyehue entre el 2007 y el 2013 se dado una migración ligera de la agricultura hacia servicios. En 2013, el 41 % de la población se dedica a la agricultura, con poca actividad en



Figura 1.2: distribución de los puntos de extracción de las marcas estudiadas a lo largo de Chile. Los nombres fueron codificados para una mejor visualización: 1 Andes Mountain, 2 Benedictino, 3 Cachantun, 4 Jahuel, 5 Jumbo, 6 Porvenir, 7 Puyehue, 8 Nestlé, 9 Tottus, y 10 Vital.

la construcción (5 %) y en la minería y en la industria (4 %).

Entre el 2007 y el 2013 en Colbún muestra una migración desde la actividad minera e industrial hacia la agricultura. El 2007 las actividades de la comuna eran primariamente minera e industrial (35,9 %) y agrícola (27 %). Para el 2011 la actividad minera e industrial es casi inexistente (2 %) y la agrícola ha crecido a un 39 % de las actividades económicas de la región. En el 2013 regresa la ocupación en minería e industria (15 %), con una reducción en la actividad agrícola (31 %).

En Rengo, entre el 2007 y el 2013, existe una migración ligera desde las actividades agrícolas y minería e industria a servicios. Para el 2013, las principales actividades, aparte de los servicios, se mantienen siendo agrícola (37 %), minería e industria (9 %) y construcción (5 %).

Capítulo 2

Metodología

El primer paso para la realización de este trabajo ha sido el estudio del mercado de las aguas envasadas para conocer todas las marcas y los formatos de distribución disponibles en el mercado chileno. A continuación, se ha decidido comprar una unidad de 10 marcas relevantes disponibles para la venta: Andes Mountain, Benedictino, Cachantun, Jahuel, Jumbo, Nestlé, Porvenir, Puyehue, Tottus, Vital.

Las muestras se han comprado en supermercados, asegurándose de que ninguna superara la fecha de vencimiento antes de su análisis. No se han añadido químicos para la preservación de las muestras para no alterar el agua que bebe el consumidor final.

Las 10 botellas compradas no contienen gas adicionado y fueron adquiridas en los siguientes formatos: 1,6l para Cachantun, Jahuel, Jumbo, Tottus y Vital; 1,5l para Benedictino, Nestlé y Puyehue; 1l para Andes Mountain. Todos envases adquiridos son botellas PET (tereftalato de polietileno) con tapas de PE (Polietileno). Los plastificadores, compuestos ocupados (normalmente ftalatos) para mejorar la plasticidad a plásticos rígidos, y los catalizadores (normalmente óxidos de Sb o Ti) para la fabricación de los plásticos ocupados en estas botellas son desconocidos.

Posteriormente a la compra, se han analizado para cada muestra aniones (F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Br^- , CO_3^{2-} y HCO_3^-), cationes (Na, K, Ca y Mg), elementos minoritarios y trazas (Li, Be, B, Al, Cr, Mg, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Cs, Ba, Hg, Pb y U). Debido al tipo de muestra, el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica se han medido en laboratorio y no in situ como ocurre regularmente.

Los resultados de los iones mayoritarios se han usados para clasificar las aguas siguiendo los criterios tradicionales (Piper, Stiff, pH, dureza o conductividad eléctrica).

Se ha evaluado la concentración de elementos trazas potencialmente riesgosas para la salud humana, comparando los resultados con los valores límite definidos en las normas nacionales: el Decreto 106 (MINSAL, 1997) que estipula las normas de extracción y producción del agua embotellada, y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) que regula la calidad del agua potable.

La comparación se ha realizado también con los valores límite y/o guía sugeridos por la

Organización Mundial de la Salud, el Comité Científico de la Alimentación Humana de la Unión Europea (*Scientific Comite on Food* o SCF), la Agencia de Protección Ambiental (*US Enviromental Protection Agency* o EPA) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (*US Food and Drugs Administration* o FDA), ambas de Estados Unidos.

Se ha intentado establecer el origen de los potenciales elementos contaminantes a través de un estudio bibliográfico de las características geológicas e hidrogeológicas de las zonas de extracción de las aguas.

2.1. Selección de las muestras

Se encontraron veinte marcas de agua embotellada, doce de ellas aguas minerales, de las cuales cuatro marcas apuntan al mercado de lujo (Brian, 2015) y exclusividad: Andes Mountain, extraída del río alimentador del lago Colico, en la región de la Araucanía; Aonni, proveniente de aguas que afloran a las orillas del Estrecho de Magallanes; ICESWAN, del Río Queulat, región Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo; Puyehue, en el Parque Nacional Puyehue, región De Los Lagos. El resto de las aguas minerales se concentra en extraer aguas de la región de Valparaíso(V) hasta la región del Maule(VII). El resto son aguas purificadas en las que no se indica su punto de extracción. En la Tabla 2.1 se detalla lo anterior.

La participación de las aguas embotelladas en el mercado es largamente desconocida. Los datos encontrados apuntan a que la marca dominante del mercado es Cachantun, seguida de Vital y Next, y el resto de las aguas. El diario La Tercera (Zúñiga, 2012) informa que en acuerdo con Euromonitor International (2012), las marcas antes mencionadas representan el 49 %, 16,8 %, y 9,8 % respectivamente, del total de aguas embotelladas vendidas, con Benedictino y Nestlé Pure Life que siguen con porcentajes no especificadas. En el 2013, Leiva indicaba que CCU era la principal productora de agua mineral, con 57,1 % del mercado, comprendiendo las marcas Cachantun y Porvenir, seguida de Coca-Cola, con un 35,7 %, productora del agua Vital. La fuente más actualizada (Euromonitor International, 2016) indica que las aguas de CCU – Nestlé Chile SA son las que actualmente lideran el mercado del agua con un 42 %.

Tabla 2.1: marcas chilenas según tipo de agua, con mención a su punto de extracción. *Varía dependiendo de donde sea comprado: AN: Antofagasta, CO: Coquimbo. Más detalles en Anexo A.

Mineral	Purificada	Extracción
	8 Vertientes	
Andes Mountain		Lago Colico, Cunco, IX región
Aonni		A orillas del Estrecho de Magallanes
	Benedictino	(REN) Renca, RM*
Cachantun		Coinco, VI Región
	Eden	
ICESWAM		Rio Queulat, XI región
Jahuel		Termas de Jahuel, San Felipe, IV región
Jumbo		Termas de Jahuel, San Felipe, IV región
	Late	
Lider		Termas de Quinamávida, Colbún, VII región
Liv		Termas el Olvido, Quinamávida, Colbún, VII región
	Mi Agüitta	
	Nestlé	Renca, RM
	Next	
Porvenir		Casablanca, V región
Puyehue		Parque Nacional Puyehue, X región
Tottus		Termas el Olvido, Quinamávida, Colbún, VII región
Vital		Termas de Chanqueahue, Rengo, VI región

2.2. Métodos analíticos

Los análisis químicos se han realizado en el Laboratorio de Geoquímica de Fluidos del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA) en el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

El análisis de aniones (F^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) se ha realizado usando un cromatógrafo iónico de marca Thermo Scientific Dionex ICS-2100, para los cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) se ha usado un equipo de Espectrometría de Emisión Óptica con fuente de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), de marca Perkin Elmer Precisely Optima 7300 V. Finalmente, la determinación de algunos elementos trazas (Li, Be, B, Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Cs, Ba, Hg, Pb, U) ha obtenido mediante un equipo de Espectrometría de masa cuadrupolo con fuente de plasma de acoplamiento inductivo y celdas de colisión (ICP-MS) marca Thermo Scientific ICP-MS iCAP Q.

Para la determinación de CO_3^{2-} y HCO_3^- se ha aplicado el método de Giggenbach en un Titulador automático Hanna HI-902C con electrodo de vidrio combinado. La determinación de la temperatura, pH y conductividad eléctrica se ha realizado por medio de un multiparámetro Hach HQ40d.

Para disponer de información acerca de la especiación de los elementos As, Cu, Se y U en las muestras analizadas se ha usado el programa PHREEQC (USGS, 2016a) usando los resultados de los análisis anteriores y la base de datos WATERQ4F.DAT.

2.3. Calidad de los datos

Para la validación de los datos se usaron soluciones estándar para conocer el error analítico de cada elemento medido. Para la calidad de la muestra, se ocupó el error del balance iónico o desbalance de cargas (ecuación 2.1) donde CI representa el desbalance de cargas y e la significancia de error, con los cationes expresados en meq/l (Appelo and Postma, 2005).

$$CI = 2e = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} * 100 \quad (2.1)$$

Existe una gran discusión alrededor del error asociado a los datos para descartar o no un análisis. Normalmente el error tolerado es hasta un 10 % máximo, aunque algunos autores proponen un máximo de 2 % (Matthes, 1982; Custodio y Llamas, 1976). Normalmente el error se incrementa mientras menor sean las concentraciones de los elementos. Hem (1985) expone que los errores mayores a 5 % son inevitable si el total de cationes y aniones es menor a 5 meq/l. Para estudios estadísticos, Nordstrom *et al.* (2008) considera validos los valores de CI con desviación estándar menor a 20 %. Es importante destacar que el error puede aumentar significativamente cuando se ignoran en el balance iónico los elementos traza, en casos en los cuales el agua analizada sea rica en estos elementos.

2.4. Calculo del residuo seco

Normalmente, para expresar la conductividad como residuo seco (o total de sólidos disueltos o TDS en caso de aguas con cantidades de sólidos en suspensión despreciables), se usa la ecuación 2.2 (Snoeyink y Jenkins, 1980) donde σ es la conductividad eléctrica y k es una constante empírica que usualmente se encuentra entre 0,55 y 0,9 mg/l en condiciones normales (Clescerl *et al.*, 1999) y hasta 1.4 en lagos salinos meromícticos (Hall y Northcote, 1986). En este estudio se ocupa el valor estándar de 0,65 mg/l (Snoeyink y Jenkins, 1980).

$$TDS \text{ (ppm)} = k\sigma \quad (2.2)$$

Para temperatura distintas a 25 °C se ocupa la fórmula de corrección de Clescerl *et al.* (1999) (ecuación 2.3), donde k_{25} es la conductividad a 25 °C, k es la conductividad de la muestra

medida a una temperatura arbitraria y ΔT es la diferencia de temperaturas entre el estándar de 25°C y la temperatura de la muestra durante el experimento.

$$k_{25} = \frac{k}{1 + 0,0191\Delta T} \quad (2.3)$$

Para la clasificación según residuo seco (tabla 2.2) se usa la definida por Armijo y San Martín (1994).

Tabla 2.2: Clasificación según residuo seco a 110°C (Armijo y San Martín, 1994).

Clasificación	TDS (ppm)
Oligominerales	menor a 100
Mineralización muy débil	entre 100 y 250
Mineralización débil	entre 250 y 500
Mineralización media	entre 500 y 1000
Mineralización fuerte	superior a 1500

2.5. Calculo de la dureza

El cálculo de la dureza permanente del agua se hace usando la ecuación 2.4, donde las $[Ca^{++}]$ y $[Mg^{++}]$ están expresadas en mg/l o ppmCaCO₃.

$$Dureza (ppmCaCO_3) = 2,5[Ca^{++}] + 4,1[Mg^{++}] \quad (2.4)$$

Usando los resultados de la ecuación anterior se evalúa la dureza de las aguas según como se observa en la tabla 2.3, donde se muestran las clasificaciones de USGS (USGS, 2016b) y la WQA (WQA, 2016). Debido a que la WQA está orientada al consumo residencial de agua y la clasificación de la USGS está orientada a un mayor rango de estudios, se prefiere el uso de la primera.

Tabla 2.3: clasificación de dureza según la USGS (USGS, 2016b) y la WQA (WQA, 2016).

Dureza (ppmCaCO ₃)	Clasificación	
	USGS	WQA
<17.1	Blanda	Blanda
17.1-60	Blanda	Ligeramente dura
61-120	Moderadamente dura	Moderadamente dura
121-180	Dura	Dura
>180	Muy dura	Muy dura

Capítulo 3

Elementos potencialmente tóxicos para la salud humana

En esta sección se presenta una descripción de los elementos inorgánicos potencialmente tóxicos que pueden encontrarse en el agua y las concentraciones de consumo seguras para la salud humana según la OMS (IPCS), EPA (FDA y IBWA), SCF, IARC y MINSAL a través del Decreto 106 y la NCH409/1. En la tabla 1.1 se resumen las concentraciones permitidas en las aguas por estas organizaciones.

Dureza

La dureza del agua ocurre debido a la disponibilidad y disolución del contenido de Ca y Mg en las rocas con las que entra en contacto. Naturalmente, el agua puede contener más de 50 a 100 mg/l de Ca y concentraciones despreciables a elevadas de Mg (50 mg), incluso superando 100 mg/l (NRC, 1977; OMS, 2011b). Por ello, la dureza puede variar fuertemente, desde cercanas a 0 hasta más de 1000 ppm CaCO₃ equivalente.

El Decreto 106 (MINSAL, 1997) establece un máximo de dureza en sus aguas de 1500 mg/l. No hay suficiente información científica acerca de los efectos, a largo plazo, de consumir agua con muy bajo contenido mineral (OMS, 2012), pero esta clase de aguas (menor a 100 mg/l) no se considera ideal para el consumo, ya que su contenido en sales minerales es escaso (OMS, 2005). Además, las aguas muy blandas pueden ser agresivas y alterar los envases, pudiendo contaminarse con el material del contenedor en el que se encuentra (OMS, 2005). Aguas con concentraciones entre 25-50 mg/l son descritas como sin sabor (OMS, 2005) y en concentraciones menores adquieren propiedades organolépticas negativas. En el caso de las aguas con una elevada dureza tampoco hay suficiente información científica acerca de sus efectos a largo plazo (OMS, 2009; OMS, 2011b; Sengupta, 2013). La OMS (2011b) advierte que las aguas duras contribuyen importantemente en el consumo de Ca y Mg. Esto ayuda a complementar el consumo de estos “minerales” esenciales junto a la comida (OMS, 2009; OMS, 2011a).

El consumo de aguas pobres en estos minerales puede llevar a desarrollar diversas enfer-

medades al consumir concentraciones inadecuadas de Ca (osteoporosis, nefrolitiasis (cálculos renales), cáncer colorectal, hipertensión, ataques cardiacos, enfermedad de la arteria coronaria, resistencia a la insulina y obesidad) y Mg (hipertensión, arritmias cardiacas de origen ventricular y atrial, arterioesclerosis) (Nerbrand *et al.*, 2003 ;OMS, 2009; OMS, 2011b). Se cree que la exposición a las aguas duras puede ser un factor de riesgo de dermatitis atópica (OMS, 2009; Sengupta, 2013). No existe una clara relación causa-efecto entre la dureza del agua y estas enfermedades (OMS, 2009; OMS, 2011b; Sengupta, 2013). El elevado consumo de Ca es problemático para individuos con el síndrome de leche alcalina (la presencia simultánea de hipercalcemia, alcalosis metabólica e insuficiencia renal). De la misma manera, el consumo elevado de Mg es principalmente problemático para individuos con insuficiencia renal, provocando hipermagnesemia y efecto laxante, y acostumbamiento a largo plazo. Para individuos con funciones renales saludables, la ocurrencia de estos síntomas puede ocurrir al consumir aguas con concentraciones mayores a 250 mg/l de Mg y sulfatos (OMS, 2009; OMS, 2011b). El consumo de aguas duras, de dureza fundamentalmente cálcica, puede proteger contra enfermedades cardiovasculares, cosa que no sucede si se consumen aguas duras de dureza magnésica o cálcico-magnésica (Nerbrand *et al.*, 2003).

Antimonio (Sb)

Su concentración natural suele ser menor que 0.01 $\mu\text{g/l}$, mientras que la concentración en agua potable suele ser menor a 5 $\mu\text{g/l}$. La OMS (2011a) propone un valor guía de 0.02 mg/l (20 $\mu\text{g/l}$), la Unión Europea de 0.005 mg/l (SCF, 2003) y la EPA (2009) un valor de 0.006 mg/l, mientras que en Chile no existe un valor máximo.

El Sb es utilizado como reemplazo del Pb en soldaduras, a pesar de que no se conoce una contribución importante por esta fuente en el consumo diario de este elemento (OMS, 2011a). Las botellas de PET fabricadas usando catalizadores de óxidos de Sb, contenedores de Al y contenedores de acero inoxidable pueden liberar Sb a las aguas y ser un riesgo para la salud humana (Krachler y Shotyk, 2008).

La genotoxicidad del Sb y su potencial para desarrollar cáncer varía según el compuesto y el estado de valencia, siendo el Sb (V) la especie menos tóxica. El trióxido de Sb, presente en algunas botellas de PET, es posiblemente cancerígeno para humanos (IARC, 1989). A largo plazo, una concentración importante de Sb puede incrementar el colesterol y disminuir la azúcar en la sangre (EPA, 2009).

Arsénico (As)

En la mayoría de las aguas se encuentran entre 1 a 2 $\mu\text{g/l}$ de As, pero pueden llegar hasta 12 mg/l en algunas fuentes naturales en zonas donde existan depósitos minerales de sulfuros y depósitos sedimentarios derivados de rocas volcánicas (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) propone un valor guía provisional de 0.01 mg/l (10 $\mu\text{g/l}$), similar a los valores definidos por la Unión Europea (SCF, 2003), y por Estados Unidos por la EPA (2009). En Chile el valor límite es 50 $\mu\text{g/l}$ en el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y 10 $\mu\text{g/l}$ en

la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005).

Generalmente la población se expone al As a través de la alimentación y el consumo de agua, productos derivados de esta y exposición ocupacional. En agua comúnmente se encuentra presente como arsenato (+5), pero en ambientes reducidos se encuentra como arsenito (+3).

La toxicidad depende del grado de metabolización que requieren los compuestos de As para ser eliminados. Los compuestos orgánicos de As requieren menor metabolización y son expulsados del cuerpo más rápido, mientras que los compuestos inorgánicos requieren más tiempo para ser metabolizados y tienden a acumularse en el cuerpo hasta concentraciones tóxicas (OMS, 2011a). El consumo elevado crónico de As, o arsenicismo crónico, genera lesiones en la piel como hiperpigmentación e hipopigmentación, neuropatía periférica, enfermedades vasculares periféricas, cáncer de piel, cáncer de vejiga y/o cáncer de pulmón. Estos síntomas se comienzan a desarrollar luego de 5 años (mínimo) de exposición a aguas contaminadas con As. Otras formas de intoxicaciones crónicas con As son menos frecuentes (EPA, 2009; OMS, 2011a).

En Chile, la presencia de As en el agua ha sido un problema histórico y frecuente, sobretudo en el norte de Chile (Ferrecio y Sancha, 2006; Steinmaus *et al.*, 2013; Ferrecio y Steinmaus, 2016). En Antofagasta ha habido reportes de arsenicosis desde hace más de un siglo, siendo la ciudad con mayor exposición al As de Chile con concentraciones en el agua potable de 860 $\mu\text{g}/\text{l}$ antes de 1970 (Ferrecio y Sancha, 2006; Ferrecio y Steinmaus, 2016). Después de esa fecha se comenzaron a hacer plantas de tratamiento para reducir la concentración de As, llegando a 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ el 2003 (Ferrecio y Sancha, 2006; Ferrecio y Steinmaus, 2016). De manera similar Tocopilla y Calama, en el pasado (periodo 1971-1977) alcanzaron concentraciones de As en el agua potable de 636 y 287 $\mu\text{g}/\text{l}$ respectivamente y, actualmente, se encuentran en el límite permitido por la ley (10 $\mu\text{g}/\text{l}$) (Ferrecio y Sancha, 2006; Steinmaus *et al.*, 2013). Como resultado, históricamente la población del norte de Chile ha sufrido más enfermedades relacionadas al As, aumentando la tasa de mortalidad infantil y acortando la esperanza de vida en las regiones más afectadas (Ferrecio y Sancha, 2006). A pesar que la instalación de plantas de tratamiento ha reducido la incidencia de muchas enfermedades tempranas relacionadas a la arsenicosis (Ferrecio y Sancha, 2006), todavía se tienen efectos a largo plazo en aquellos que estuvieron expuestos en el pasado al As, presentando un riesgo alto de desarrollo de cáncer (Steinmaus *et al.*, 2013).

Bario (Ba)

Es un elemento contenido en rocas ígneas y sedimentarias. Se encuentra como elemento traza, o por contaminación debido a procesos industriales donde se ocupan compuestos de Ba. Naturalmente suele encontrarse en aguas naturales en concentraciones menores a 0.1 mg/l, pero se han encontrado concentraciones mayores a 1 mg/l en aguas potables derivada de aguas subterráneas.

Basado en el estudio NOAEL en humanos (IPCS, 2001), donde concentraciones de 7.3 mg/l de Ba no producen diferencias significativas en las enfermedades asociadas, la OMS

(2003) estableció un valor guía de 0.7 mg/l, admitiendo que el margen de seguridad del valor guía propuesto pueda ser grande. En el Decreto 106 (MINSAL, 1997) de Chile y en la Unión Europea (SCF, 2003) se define un valor límite de 1 mg/l, mientras que la EPA determina uno de 2mg/l.

El Ba causa nefropatías en animales y la mayor preocupación es que puede provocar hipertensión en humanos (EPA, 2009; OMS, 2011a). No existe evidencia de que sea cancerígeno o mutagénico (OMS, 2011a).

Berilio (Be)

Naturalmente la concentración de Be puede ser elevada en condiciones ácidas ($\text{pH} < 5$), condiciones alcalinas ($\text{pH} > 8$), o en aguas turbias (OMS, 2011a).

No se define un valor guía por parte de la OMS (2011a), debido a que rara vez se encuentra en concentraciones suficientes para ser riesgoso para la salud, mientras que la EPA (2009) define un valor de 0,004 mg/l. Estudios de la OMS (2011a) demuestran que en perros un consumo de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ puede causar lesiones en el intestino delgado, por lo cual Estados Unidos consideran concentraciones mayores de esta como riesgosas para el ser humano (EPA, 2009).

Boro (B)

La concentración natural de B depende mucho de las rocas y suelos que contienen boratos y borosilicatos, con las cuales interactúa el agua y las descargas de desagües. En la mayor parte del mundo, la concentración de B en agua potable es menor a 0.5 mg/l (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) define un valor de 2.4 mg/l mientras que en Chile, el Decreto 106 (MINSAL, 1997) define un valor de 30 mg/l, con B en forma de BO_3^{3-} . La EPA (2009) no define un valor guía, similar a la Unión Europea (SCF, 2003).

La contaminación por aguas de alcantarillado suelen ser un factor enriquecedor de B. A lo largo del tiempo se ha sustituido de manera gradual este elemento en jabones y detergentes, por lo que el riesgo que constituyen debido al B son cada vez menores.

En animales de laboratorio, al ser expuestos a ácido bórico o bórax, se ha demostrado afectar el tracto reproductivo masculino, generando lesiones en testículos en ratas, ratones y perros a largo y corto plazo. Existe evidencia de que estos compuestos no son genotóxico y no aumentan la incidencia de tumores (OMS, 2011a).

Bromato (BrO_3^-)

La OMS (2011a) propone un valor guía provisional 0.01 mg/l, similar al valor determinado por la EPA (2009). Debido a que no existe evidencia contundente para determinar un potencial cancerígeno en humanos, este valor es derivado de estudios epidemiológicos realizados en

ratas expuestas a KBrO_3 y su desarrollo de cánceres de varios tipos (mesoteliomas, tumores de túbulo renales, y tumores foliculares tiroideas) (OMS, 2011a). La concentración de BrO_3^- es dependiente de diversos factores, entre otros, la concentración de ion Br^- , la dosificación de ozono, el pH, la alcalinidad y el carbono orgánico disuelto lo cual puede derivar en concentraciones desde 2 hasta 294 $\mu\text{g}/\text{l}$. También el BrO_3^- puede ser formado por la generación electrolítica de Cl e hipoclorito en salmueras contaminadas con bromuros.

Se usan en la industria textil y rara vez se encuentra contaminando el agua por fuentes industriales.

Cadmio (Cd)

El Cd es un metal pesado que se acumula crónicamente en el cuerpo. Este compuesto tiene una vida media biológica en humanos entre 10 a 35 años. La principal fuente de Cd es la comida, la cual entrega entre 10 a 35 μg diarios. El fumar cigarrillos incrementa de manera significativa la exposición a Cd, dejando un margen muy pequeño de consumo máximo antes de ser riesgoso (OMS, 2011a). El Cd se acumula en los riñones, produciendo, de manera principal, disfunción tubular, (Crouse *et al.*, 1983; EPA, 2009; OMS, 2011a) y óseas (Crouse *et al.*, 1983). Existe evidencia de ser cancerígeno bajo inhalación, pero no por consumo oral. La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) clasifica al Cd y a sus compuestos en grupo 2A (probablemente cancerígeno para humanos)(IARC, 2012a).

En el agua, el Cd se encuentra por actividad antrópica, por aguas servidas, industriales, fertilizantes y polución local del aire. La absorción de Cd depende de la solubilidad del compuesto (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) define un valor guía 3 $\mu\text{g}/\text{l}$, similar a la asumida por la Unión Europea (SCF, 2003), mientras que la EPA (2009) determina un valor de 0.005, y en Chile el valor máximo es de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Minsal, 1997; INN *et al.*, 2005). Su ocurrencia es usualmente menor a 1 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Cesio (Cs)

Normalmente el nivel de Cs en el agua es muy bajo, en un rango entre 0.01 y 1.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ (ATSDR, 2004a). En su isótopo estable es seguro para el ser humano, y no se ha encontrado efectos en la salud humana por su consumo o ingesta a través del agua (ATSDR, 2004a). Faltan todavía estudios para descartar totalmente que su consumo desde el agua sea seguro, sobretodo en infantes (ATSDR, 2004a). En ratas se ha observado arritmias cardiacas luego de la inyección de cloruro de Cs estable(ATSDR, 2004a). Se ha comprobado que la sobre exposición aguda a Cs radiactivo tiene efectos gastrointestinales característicos del síndrome de radiación aguda, sin evidencia de ser cancerígeno o generar otras enfermedades (ATSDR, 2004a) y que la exposición frecuente a la radiación puede producir malformaciones fetales en embarazadas (ATSDR, 2004a).

Cloro (Cl)

La OMS (2011a) define un valor guía de 5 mg/l. A estas concentraciones no existen efectos adversos identificados, y los consumidores pueden sentir el sabor a Cl en el agua. En la directiva EPA de los Estados Unidos (EPA, 2009) se determina una concentración máxima admitida de 4 mg/l, mientras que en las de Chile y Unión Europea no se define ningún valor límite. El cloro se encuentra presente en aguas potables en concentraciones entre 0.2 a 1 mg/l y es ampliamente usado en la industria y de manera doméstica como desinfectante y blanqueador.

Cromo (Cr)

Normalmente en agua potable, el cromo es menor que 2 $\mu\text{g}/\text{l}$, aunque pueden alcanzarse valores de 120 $\mu\text{g}/\text{l}$ (OMS, 2011a). La OMS (2011a) define un valor guía provisional de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ de Cr total debido a la dificultad de análisis entre Cr bivalente (nutriente esencial) y Cr hexavalente, el cual es reglamentado por la norma de la Unión Europea (SCF, 2003). En Chile se define un valor límite provisional de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ de Cr hexavalente en el Decreto 106 (MINSAL, 1997), mientras que en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) se define un valor provisional de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ de Cr, debido a la incertidumbre inherente a la base de datos toxicológicos. La EPA (2009) determina un valor límite de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Estudios en animales han demostrado que el Cr(III) o bivalente es seguro para la salud, mientras que el Cr (IV) o hexavalente puede producir cáncer de pulmón al ser consumido o inhalado. Debido a que el Cr (IV) puede ser reducido en el estómago por los ácidos gástricos a Cr (III) hace no lineal la relación entre dosis y respuesta (OMS, 2011a). A largo plazo puede producir dermatitis alérgica (EPA, 2009).

Cobre (Cu)

El Cu es un nutriente esencial y un contaminante potencial de las aguas potables, por la corrosión al interior de las cañerías y por su uso para controlar el crecimiento de algas en embalses de abastecimiento de aguas y estanques (en su forma de sulfato de cobre pentahidratado)(OMS, 2011a). Las concentraciones de cobre en agua aumentan según el tiempo de exposición: en aguas con baja circulación suelen ser mayores a 1 mg/l (OMS, 2011a). Durante la distribución, suele aumentar la concentración, sobretodo en aguas ácidas o aguas ricas en carbonatos con un pH alcalino (OMS, 2011a). La concentración en aguas potables suele estar entre 0.005 a 30 mg/l(OMS, 2011a).

La OMS (2011a) y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) definen un valor guía de 2 mg/l, la EPA (2009) un valor máximo de 1.3 mg/l, mientras que el Decreto 106 de Chile (MINSAL, 1997) y la Unión Europea (SCF, 2003) definen un límite de 1 mg/l. La concentración en aguas potables suele estar entre 0.005 a 30 mg/l.

Usualmente el consumo de agua y comida son la principal fuente de Cu en países desarrolla-

dos, entregando concentraciones considerables de Cu, especialmente para bebés alimentados con fórmulas mezcladas con agua de cañería (OMS, 2011a).

La alta concentración de Cu puede dar un sabor amargo al agua y su consumo excesivo tiene efectos gastrointestinales. No existen estudios sobre efectos a largo plazo en poblaciones sensibles como portadores del gen de la enfermedad de Wilson y otros desórdenes metabólicos relacionados al homeostasis de Cu (EPA, 2009; OMS, 2011a). A largo plazo, un consumo alto de Cu puede producir daños a los riñones y al hígado (EPA, 2009).

Cobalto (Co)

El cobalto normalmente se encuentra en concentraciones menores de 1-2 $\mu\text{g}/\text{l}$, y puede aumentar a miles cuando provienen de aguas cercanas a explotaciones mineras o la industria metalúrgica (ATSDR, 2004b). Está presente en la vitamina B12 donde el máximo consumo recomendado (2.4 $\mu\text{g}/\text{día}$) entrega 0.1 μg de Co (ATSDR, 2004b). No hay adecuados estudios en humanos sobre la exposición oral crónica y se hipotiza que pueda generar policitemia (aumento del conteo de eritrocitos), cardiopatías, dermatitis, sensibilización (ATSDR, 2004b). El consumo de cerveza con Co, utilizado como estabilizador de espuma, puede generar daños severos en el sistema cardiovascular, efectos gastrointestinales y necrosis hepática (ATSDR, 2004b). No hay evidencia concluyente de que sea cancerígeno en gente laboralmente expuesta (ATSDR, 2004b), por lo tanto la IARC clasifica al Co y sus compuestos en el grupo 2B, como posiblemente cancerígeno para humanos (IARC, 2006). El riesgo mínimo de consumo oral (MRL o Minimal risk level) es de 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ al día (ATSDR, 2004a).

Estroncio (Sr)

El Sr, en bajas concentraciones puede tener un efecto positivo en el desarrollo óseo de niños y la mantención de la salud ósea de adultos (ATSDR, 2004c). En el suelo, en concentraciones de 350 ppm puede producir problemas de desarrollo infantil, sobretodo en combinación con dietas deficientes en Ca y proteínas, produciendo debilitamiento en los huesos y alterando su crecimiento (ATSDR, 2004c; Özgür *et al.*, 1996). En general no existen efectos adversos del consumo en concentraciones naturales de Sr (ATSDR, 2004c), y la EPA (2009) recomienda que las concentraciones de Sr no superen los 4 mg/l. Similar al Cs, los isótopos radiactivos de Sr (en particular Sr^{90}) son genotóxicos y, por lo tanto, representan un riesgo para la salud pública.

Flúor (F)

El F está presente en gran parte de la corteza terrestre, en distintos minerales (fluorita, criolita, fluorapatito), y también en aguas. En aguas subterráneas, las concentraciones de flúor varían fuertemente según el tipo de roca por la que fluye, lo cual normalmente no excede 10 mg/l (OMS, 2011a). El valor máximo reportado es 2800 mg/l (OMS, 2011a). Toda la comida contiene trazas de F adquirido de los suelos, aguas o vegetales, donde estos últimos contienen

F absorbido del suelo o del agua. Particularmente, el té puede llegar a contener 100 mg de F por kilogramo en promedio (OMS, 2011a). Es un elemento esencial para la salud dental y es agregado al agua potable de algunos países para prevenir la formación de caries en la población. Sobre 1,5 mg/l puede producir fluorosis dental durante la formación de los dientes (EPA, 2009; OMS, 2011a).

La OMS (2011a) y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) proponen un valor guía 1.5 mg/l, la EPA (2009) de 4 mg/l (donde la FDA define un valor de 3 (IBWA, 2015)), la directiva de la Unión Europea 40/CE (SCF, 2003) de 5 mg/l, el Decreto 106 (MINSAL, 1997) un límite de 2 mg/l.

Litio (Li)

Según la literatura, el agua subterránea puede alcanzar valores de 500 $\mu\text{g/l}$, el agua marina típicamente de 170 $\mu\text{g/l}$, y el agua superficial contiene entre 1 y 10 $\mu\text{g/l}$, donde los ríos presenta en promedio 3 $\mu\text{g/l}$ (Mason, 1974). En el norte de Chile el contenido de Li en el agua superficial puede alcanzar los 5200 $\mu\text{g/l}$ (Schrauzer, 2002; Lenntech, 2007), incluso, en algunos lugares se puede encontrar en concentraciones de hasta 100000 $\mu\text{g/l}$ (Schrauzer, 2002). En poblaciones de Chile se ha observado una ingesta que puede alcanzar los 10 mg/día (10000 $\mu\text{g/día}$) sin efectos negativos y se ha definido una ingesta provisional recomendada de 14,3 μg por kilo de peso (Schrauzer, 2002).

No existe reglamentación del Li en ninguna de las normas analizadas.

Manganeso (Mn)

El manganeso ocurre en agua potable en concentraciones que no son riesgosas para la salud, por lo que la OMS (2011a) y la EPA (2009) no definen un valor guía, de manera similar. En la Unión Europea se define un límite de Mn de 0,5 mg/l (SCF, 2003), mientras que en Chile es establecido el valor límite de 2 mg/l en el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y de 0,1 mg/l en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005).

El manganeso es usado en la manufactura de hierros y aleaciones de acero como oxidante a modo de limpiador, blanqueador, desinfectante y como ingrediente en varios productos. También es usado en la industria petrolera, y en algunos lugares para tratamientos de potabilización de aguas. Ocurre naturalmente en muchas aguas superficiales y fuentes subterráneas, particularmente en ambientes anaeróbicos o reductores (OMS, 2011a).

Estudios epidemiológicos han hipotizado la posibilidad que grandes concentraciones de Mn pueden producir efectos neurológicos adversos para el ser humano. Estos estudios se han realizado usando ratones como análogos, lo cual limita estos resultados para los seres humanos (OMS, 2011a).

Mercurio (Hg)

Se encuentra en aguas superficiales y subterráneas en concentraciones menores a $0.5 \mu\text{g/l}$ (OMS, 2011a), aunque los depósitos minerales pueden producir concentraciones superiores de Hg en aguas subterráneas. La OMS (2011a) define un valor guía de $6 \mu\text{g/l}$, la Unión Europea y Chile definen un límite de $1 \mu\text{g/l}$ (MINSAL, 1997; SCF, 2003, INN *et al.*, 2005) y la EPA (2009) duplica este valor.

El Hg es usado para la producción electrolítica de Cl, en aplicaciones eléctricas, en amalgamas dentales y para la elaboración de compuestos de Hg.

Los efectos tóxicos de los compuestos de Hg se ven, de manera fundamental, en los riñones de tanto humanos como animales (OMS, 2011a). En ratas se observa pérdida de masa renal, necrosis tubular, proteinuria e hipoalbuminemia (OMS, 2011a). En humanos, el envenenamiento agudo por ingesta oral suele producir gastritis hemorrágicas y colitis con un daño permanente a los riñones (EPA, 2009; OMS, 2011a).

Molibdeno (Mo)

El Mo se ha encontrado como un elemento esencial para funciones bioquímicas específicas en animales (NRC, 2005). El arroz puede ser una fuente importante de este elemento esencial, alcanzando $550 \mu\text{g/kg}$ (Pinto *et al.*, 2016).

No existe reglamentación del Mo en ninguna de las normas analizadas.

Níquel (Ni)

Normalmente el Ni se encuentra en concentraciones menores que 0.02 mg/l (OMS, 2011a) y el estadio en cañerías puede aumentar la concentración hasta 1 mg/l (OMS, 2011a). La principal fuente de níquel es la comida, a menos que sean personas fumadoras o que trabajen en la industria para la producción de acero inoxidable y aleaciones (OMS, 2011a). Por lo general, el agua es un contribuidor menor al consumo diario, lo cual puede cambiar debido al contenido de este elemento en grifos de Ni o Cr. Estos grifos pueden liberar concentraciones significativas de este elemento al agua (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) define un valor guía de $70 \mu\text{g/l}$, la FDA estadounidense un límite de 0.1 mg/l (IBWA, 2015), la directiva de la Unión Europea (SCF, 2003) de 0.02 mg/l , mientras que la normativa chilena (MINSAL, 1997; INN *et al.*, 2005) y la EPA (2009) no definen límites de concentración. El Ni es un elemento esencial que en altas concentraciones puede generar daños en el corazón y en el hígado (OMS, 2011a), además de irritación de la piel (EPA, 2009). La IARC (2012b) concluye que el Ni metálico es potencialmente cancerígeno (Grupo 2B), mientras que si es inhalado es altamente cancerígeno (Grupo 1).

Nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-)

En la naturaleza, el NO_3^- se encuentra en suelos como nutriente importante para plantas, mientras que el NO_2^- solo ocurre en concentraciones significativas en ambientes reducidos. El NO_2^- también puede formarse por bacterias (Nitrosomonas) en cañerías galvanizadas de Fe (OMS, 2011a). También, como es usado como fertilizante, puede que el uso de estos en suelos agrícolas pueda llegar a un acuífero y contaminarlo. La exposición a nitratos y nitritos más importante para el ser humano ocurre a través de las verduras y carnes curadas. En caso de que el agua disponible del sector contenga una alta concentración de nitratos o nitritos, la exposición puede superar el consumo máximo recomendado (OMS, 2011a). Los infantes son la población más susceptible a ser afectada por el consumo de estos compuestos, que normalmente ocurre por medio del agua que ingieren (OMS, 2011a). En la mayoría de los países, las concentraciones de NO_3^- en aguas potables derivadas de aguas superficiales no exceden 10 mg/l (como ion NO_3^-), mientras que en pozos pueden encontrarse concentraciones superiores de 50 mg/l (OMS, 2011a). Las concentraciones de NO_2^- suelen ser menores, menos que pocos miligramos por litro (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) propone valor guía 50 mg/l como ion NO_3^- (o 11 mg/l como el nitrógeno en el NO_3^-), similar a la definida por la Unión Europea (SCF, 2003), mientras que en Estados Unidos se mide y regula el nitrógeno, con un límite de 10 mg/l (EPA, 2009), y en Chile se define un valor de 45 mg/l en el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y 50 mg/l en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) como ion NO_3^- . La OMS (2011a) define un valor guía de 3 mg/l como ion NO_2^- (o 0.9 mg/l como el nitrógeno en el NO_2^-), la EPA (2009) un valor límite de 1 mg/l como nitrógeno, la Unión Europea un límite de 0,1 mg/l (SCF, 2003), el Decreto 106 de 0.005 mg/l, y la NCH409/1 como 50 mg/l (INN *et al.*, 2005).

De manera combinada, la suma de las relaciones de concentración/valor guía de cada uno no debe superar 1 (EPA, 2009; OMS, 2011a). Si la suma supera la unidad puede producir metahemoglobinemia (EPA, 2009; OMS, 2011a), lo cual puede producir cianosis, generando el síndrome del bebé azul. El riesgo está principalmente en el consumo infantil, pero también es posible en adultos con alto consumo de NO_3^- y NO_2^- (OMS, 2011a).

Plata (Ag)

Ocurre Naturalmente en forma de óxidos insolubles e inmóviles, sulfuros y sales. En condiciones naturales puede encontrarse en concentraciones mayores a 5 $\mu\text{g/l}$, pero en aguas que han sido desinfectadas con plata pueden encontrarse en concentraciones mayores que 50 $\mu\text{g/l}$. La ingesta diaria estimada es alrededor de 7 μg por persona. El Decreto 106 (MINSAL, 1997), el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009), y la OMS (2011a) no proponen ni imponen concentraciones máximas permitidas en sus normas y sugerencias. Esto se debe a que las bajas concentraciones en las que se encuentra plata en las aguas no es suficiente para aumentar significativamente el riesgo de argiria. Con un consumo de 100 $\mu\text{g/l}$ litro, con una tasa de absorción esperada entre 0 y 10 %, a lo largo de 70 años de exposición lleva a consumir la mitad de la concentración mínima necesaria para producir argiria (OMS, 2011a). Este caso representa concentraciones excepcionalmente altas de consumo de plata

por la ingesta de agua crónica, y representa el peor de los casos esperables. Se requiere mayor investigación para reconocer otros posibles riesgos que pueda producir el consumo de plata por medio del agua.

Plomo (Pb)

El Pb es un metal pesado que se acumula crónicamente en el cuerpo. Se ha usado tradicionalmente en la producción de baterías, soldaduras y aleaciones. Sus compuestos orgánicos se han usado como agente lubricante en petróleo. Actualmente, su uso está en declive por los problemas de contaminación que acarrea. Esto ha hecho que las concentraciones en suelos, comidas, aire y agua se hayan reducido en el último tiempo. Las aguas potables se contaminan con Pb, normalmente, por la corrosión de cañerías (OMS, 2011a).

La OMS (2011a) propone un valor guía provisional de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$, a la espera de que se desarrolle una investigación más exhaustiva. En el agua potable se encuentra en concentraciones menores a 5 $\mu\text{g}/\text{l}$, aunque en tuberías con Pb se han encontrado concentraciones mayores a 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ (OMS, 2011a). La concentración de Pb depende del tiempo de interacción entre el Pb y el agua. La Unión Europea adopta el mismo valor guía de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ (SC, 2003). La EPA (2009) define un valor de 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ (5 $\mu\text{g}/\text{l}$ para agua embotellada según la FDA (IBWA, 2015)) y en Chile se permiten concentraciones de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ (MINSAL, 1997; INN *et al.*, 2005).

La acumulación del Pb en el cuerpo humano puede dañar el sistema nervioso (e impedir su desarrollo), el sistema cardiovascular (hipertensión y otras enfermedades cardiovasculares), renales (disfunción), y reproductivo (disminución de fertilidad y resultados negativos más frecuentes en embarazos) (EPA, 2009; OMS, 2011a). Es particularmente riesgoso en niños pequeños (EPA, 2009; OMS, 2011a), debido a que puede retardar el desarrollo físico y mental, exhibiendo signos de déficit atencional y habilidades de aprendizaje (EPA, 2009).

Rubidio (Rb)

El Rb ha sido considerado un elemento beneficioso ocasionalmente en casos de dietas deficientes de este elemento porque puede prevenir o revertir funciones biológicas sub-óptimas bajo una ingesta fisiológica (menos de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$) (Nielsen, 1998). Estudios científicos sobre la reacción de animales a una alta exposición de rubidio han mostrado dermatitis seguida de úlceras dérmicas (en ratas), irritación en ojos y piel y daños en hígado y riñones (en conejos) (Kolpakov and Kolpakova, 1975; Johnson *et al.*, 1975). El Rb en orina se ha usado como marcador para reconocer el riesgo de desarrollo de cáncer de mamas, donde las concentraciones de este actúan de manera inversa al riesgo (Su *et al.*, 2011).

Selenio (Se)

EL Se es un elemento esencial para humanos y se consume a través de la comida (cereales, carnes y pescado). Dependiendo del área geográfica, esto puede variar considerablemente. En

zonas donde se encuentran elevadas concentraciones de Se, la ingesta de este por el consumo de agua puede ser mínima en comparación a la cantidad entregada por la comida local (OMS, 2011a). El agua potable contiene concentraciones menores a 10 $\mu\text{g/l}$, excepto en áreas ricas en selenio.

La OMS (2011a) propone un valor guía provisional de 40 $\mu\text{g/l}$, la Unión Europea y Chile definen un valor menor como concentración máxima admitida de 10 $\mu\text{g/l}$ (MINSAL, 1997; SCF, 2003; INN *et al.*, 2005), y la EPA (2009) fija una concentración límite de 20 $\mu\text{g/l}$.

El déficit de Se produce problemas de salud y nutrición. Muy bajos niveles de consumo de Se pueden producir enfermedad de Keshan (miocarditis multifocal) y enfermedad de Kaschin-Beck (condrodistrofia). El consumo elevado de Se puede producir desequilibrios intestinales, decoloración de la piel, degradación de dientes, pérdida de pelo o uñas, anomalías en las uñas, cambios en los nervios periféricos (EPA, 2009; OMS, 2011a) y problemas de circulación (EPA, 2009).

Uranio (U)

El U está presente frecuentemente en la naturaleza, ya sea en rocas o depósitos minerales. Se usa como combustible en plantas de energía nuclear. En general la exposición al U suele ser baja, pero en aguas contaminadas este puede ser la mayor fuente de U en la dieta.

En aguas potables suele ser menor a 1 $\mu\text{g/l}$, pero se han visto concentraciones tan altas como 700 $\mu\text{g/l}$ en instalaciones privadas (OMS, 2011a). La OMS (2011a) fija un valor guía provisional de 30 $\mu\text{g/l}$, el cual coincide con la concentración límite definida por la EPA (2009).

No existe evidencia precisa relacionada a la toxicidad del U, se hipotiza que pueda producir daños en los riñones (nefritis), ni se tiene evidencia que sea cancerígeno (OMS, 2011a). Se absorbe entre 0.1-0.6 % de lo que ingiere una persona a través de su tracto intestinal, donde los compuestos disueltos en agua entran al sistema circulatorio más fácilmente que aquellos pobremente solubles en agua (ATSDR, 2013). Se deposita en los huesos, hígado y riñones, donde se retiene en mayor cantidad (66 %) y tiempo (70-200 días en comparación con el resto del cuerpo se elimina entre 1 a 2 semanas) (ATSDR, 2013).

Zinc (Zn)

Ocurre en agua potable en concentraciones que no son riesgosas para la salud, por lo que la OMS (2011a) no define un valor guía, postura que también mantienen la EPA (2009) y la Unión Europea (SCF, 2003). En Chile se define un límite de 5 mg/l en el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y 3 mg/l en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). concentraciones mayores a 3 mg/l cambian el sabor del agua, produciendo rechazo en los consumidores.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Validación de resultados

El cálculo del balance iónico realizado arroja valores superiores al 2% para ocho de las muestras analizadas indicando que no cumplen los requisitos más estrictos para validar los datos (Matthes, 1982; Custodio y Llamas, 1976). Solo las muestras Jumbo y Puyehue cumplen con este requisito (tabla 4.1). Considerando un error del 10% solo Andes Mountain y Benedictino no cumplen los requisitos aceptados regularmente.

Se observa que las muestras con baja concentración iónica, que tienen bajas conductividades presentan los errores mayores. De hecho, la concentración de cationes y aniones disueltos es inferior a 5 meq/l (tabla 4.1), lo cual normalmente se asocia a mayores errores en el balance iónico (Hem, 1985).

Tabla 4.1: resultados del cálculo del desbalance de cargas (Cl) y la significancia de error (e) en el cálculo de balance iónico asociados a la conductividad corregido a 25°C y el total de cationes y aniones de las muestras analizadas.

Muestra	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Equivalencia Total (meq/l)	Cl (%)	e (%)
Andes Mountain	37,7	0,6	38	19
Cachantun	807,6	14,5	16	8
Jahuel	696,3	13,4	12	6
Jumbo	700,0	13,5	4	2
Porvenir	411,3	8,0	6	3
Puyehue	200,7	3,2	4	2
Tottus	361,2	6,7	12	6
Vital	220,3	4,1	7	3,5
Benedictino	24,4	0,4	31	15,5
Nestlé	242,9	3,7	11	5,5

Los errores observados en la muestra estándar no superaron un 6% (tabla 8.10, Anexo C)

en los aniones y un 6% (tabla 8.11, Anexo C) en los cationes salvo el K. Por lo tanto, los resultados presentan la precisión suficiente para considerar válidos los datos obtenidos.

En la tabla 8.12 (Anexo C) se presentan los errores de las soluciones estándar en el análisis de elementos trazas. El Fe, Ni, Zn, Se y plata presentan errores importantes de las soluciones estándar y es posible que los resultados presenten errores similares. Los errores presentes en las soluciones estándar permiten analizar todos los resultados obtenidos.

4.2. Clasificación de las aguas

4.2.1. Conductividad, dureza y pH

En aguas minerales con turbiedad muy baja, se puede considerar que el total de sólidos suspendidos es insignificante para la medición del residuo seco de las muestras, y los sólidos disueltos representan aproximadamente la totalidad del residuo seco de cada muestra y, por lo tanto, los valores de TDS pueden ser usados para clasificar las muestras según Armijo y San Martín (1994). Las aguas minerales presentan una conductividad eléctrica promedio de 340,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (4.2). La máxima conductividad eléctrica, 807,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es medida en la muestra Cachantun cuyos sólidos disueltos son de 424,5 ppm. A partir de la conductividad eléctrica se ha calculado el residuo seco (tabla 4.3), lo que permite clasificar las muestras de aguas analizadas de la siguiente manera: Tottus, Andes Mountain, Vital, Nestlé, Benedictino y Puyehue, con menos de 200 ppm de residuo seco, como aguas oligominerales, mientras que Jumbo, Jahuel, Cachantun y Porvenir con un total de sólidos disueltos entre 200 ppm y 1000 ppm de residuo seco, como medio minerales. La temperatura promedio medida en laboratorio es 21,1 °C.

Tabla 4.2: resultados de conductividad y pH

CO ₃ ²⁻ /Bicarbonatos, conductividad, pH.				
Muestra	Temp	pH	Temp	Conductividad
Unidad de medida	(°C)		(°C)	($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Andes Mountain	20,0	7.438	21,0	34,7
Cachantun	19,7	7.713	21,0	743,0
Jahuel	19,0	8.298	21,1	642,0
Jumbo	20,2	7.270	21,0	644,0
Porvenir	20,5	7.472	21,2	380,0
Puyehue	19,7	7.365	21,0	184,6
Tottus	22,0	9.306	21,1	333,0
Vital	20,1	8.052	21,0	202,7
Benedictino	20,0	8.147	21,5	22,7
Nestlé	19,7	5.718	20,9	223,0

Los cálculos de dureza (tabla 4.4), realizados para las diez muestras analizadas indican que Andes Mountain, Benedictino, Puyehue y Tottus son clasificadas como aguas blandas,

Tabla 4.3: clasificación de las muestras según residuo seco (Armijo y San Martín, 1994).

Muestra	TDS (ppm)	Clasificación
Andes Mountain	22,7	Oligominerales
Cachantun	487,7	Mineralización débil
Jahuel	421,2	Mineralización débil
Jumbo	422,7	Mineralización débil
Porvenir	249,2	Mineralización muy débil
Puyehue	121,2	Mineralización muy débil
Tottus	218,5	Mineralización muy débil
Vital	133,0	Mineralización muy débil
Benedictino	14,9	Oligominerales
Nestlé	146,4	Mineralización muy débil

Tabla 4.4: muestras ordenadas según su dureza usando la clasificación de la WQA (WQA, 2016).

Muestra	Dureza (ppmCaCO ₃)	Clasificación
Andes Mountain	11,0	Blanda
Cachantun	335,7	Muy dura
Jahuel	285,5	Muy dura
Jumbo	277,7	Muy dura
Porvenir	151,8	Dura
Puyehue	11,3	Blanda
Tottus	3,5	Blanda
Vital	62,8	Moderadamente dura
Benedictino	0,6	Blanda
Nestlé	88,2	Moderadamente dura

Vital y Nestlé son moderadamente duras, Porvenir es la única agua clasificada como dura mientras que las botellas de Jumbo, Jahuel y Cachantun son aguas muy duras.

El pH promedio de las aguas medidas es 7,7 (ligeramente básico) con una desviación estándar de 0.9. En la tabla 4.5 se muestra el pH en las muestras analizadas, donde se puede observar que casi todas tienen un carácter neutro a alcalino. La muestra de agua de Tottus es la más básica entre las analizadas, con pH de 9,3 y la muestra de Nestlé es la más ácida con pH 5,7.

4.2.2. Elementos mayoritarios y tipos de agua

En el diagrama Stiff (figura 4.1) se observa que las muestras analizadas presentan un tipo hidrogeoquímico marcadamente distinto. Esto se debe a las diferencias en las concentraciones totales de cationes y aniones presentes en las diez muestras analizadas. Andes Mountain y

Benedictino destacan por su escaso contenido iónico en comparación con el resto, y, para poder visualizar mejor su tipo hidrogeoquímico se hace un aumento al diagrama general (figura 4.1b).

De las aguas analizadas, cuatro son de tipo bicarbonatado, tres de tipo sulfatado y tres de tipo clorurado (tabla 4.5). Andes Mountain y Porvenir son bicarbonatadas-mixtas, Vital es bicarbonatada cálcica-sódica y Tottus es bicarbonatada sódica. Entre las aguas de tipo sulfatado Jahuel y Jumbo son sulfatada-cálcicas y Cachantun es sulfatada-bicarbonatada sódica. Benedictino es un agua de tipo clorurado-sódico y Nestlé clorurada-cálcica. Finalmente, Puyehue es clorurada-bicarbonatada sódica.

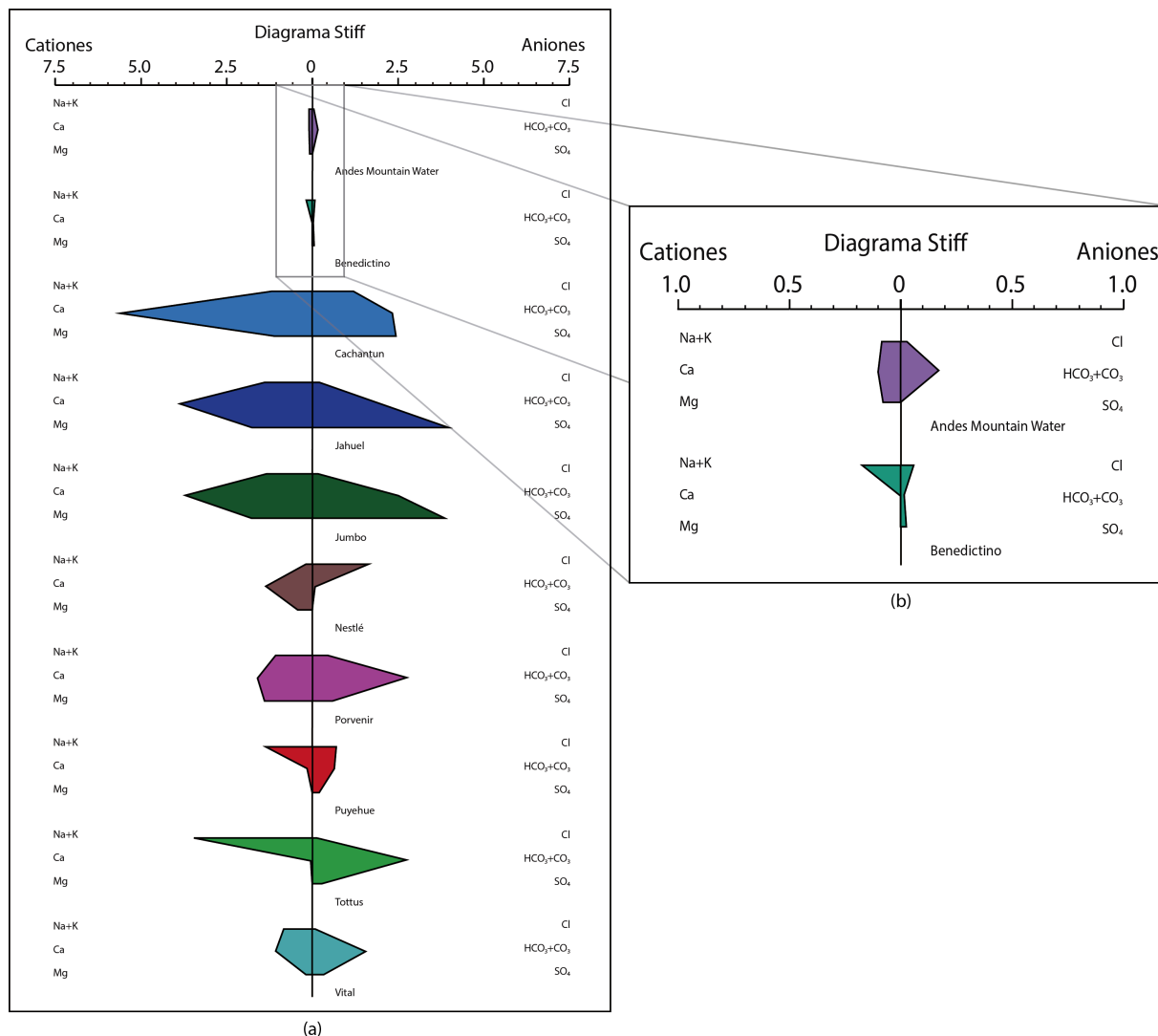


Figura 4.1: resultados en diagramas Stiff. (a) diagramas Stiff de todas las muestras. (b) un acercamiento a las aguas con bajas concentraciones de cationes y aniones a una escala de menor.

Esta misma información se resume en el diagrama Piper (figura 8.1, Anexo C) donde se pueden observar cuatro tipos de aguas bien definidos: Andes Mountain, Porvenir y Vital, caen en el campo bicarbonatado mixto y cálcico-sódico; Cachantun, Jahuel y Jumbo en el sulfatado cálcico donde Cachantun es transicional a bicarbonatado; Puyehue entra en el

campo de las cloruradas y/o sulfatadas sódicas y Tottus en el campo del tipo bicarbonatado sódico. Benedictino y Nestlé son aguas purificadas por lo que los procesos que sufren no representan condiciones geoquímicas naturales.

Se observa que las muestras (tabla 4.6) tienen, en general, mayores concentraciones de aniones de bicarbonatos, sulfatos, mientras que los cloruros presentan concentraciones notablemente menores, a pesar de constituir el tipo de la misma cantidad de muestras que las aguas sulfatadas. Por parte de los cationes, el Ca es el que se encuentra más frecuentemente y en mayor concentración, seguido del Na y el Mg, con concentraciones menores de K en general. En la figura 8.2(Anexo C), se observa un gráfico de tipo de caja y bigotes (*box-and-whisker plot*), se muestran los aniones y cationes usados para caracterizar las muestras.

Tabla 4.5: resumen de los tipos de aguas y clasificaciones de las muestras analizadas.

Muestra	Tipos de agua	Dureza	TDS	pH
Andes Mountain	Bicarbonatada Mixta	Blanda	Oligomineral	7,4
Cachantun	Sulfatada Bicarbonatada Cálctica	Muy dura	Mineralización débil	7,7
Jahuel	Sulfatada Cálctica	Muy dura	Mineralización débil	8,3
Jumbo	Sulfatada Cálctica	Muy dura	Mineralización débil	7,3
Porvenir	Bicarbonatada Mixta	Dura	Mineralización muy débil	7,5
Puyehue	Clorurada Bicarbonatada Sódica	blanda	Mineralización muy débil	7,4
Tottus	Bicarbonatada Sódica	Blanda	Mineralización muy débil	9,3
Vital	Bicarbonatada Cálctica-sódica	Moderadamente dura	Mineralización muy débil	8,1
Benedictino	Clorurada Sódica	Blanda	Oligomineral	8,1
Nestlé	Clorurada Cálctica	Moderadamente dura	Mineralización muy débil	5,7

Tabla 4.6: resultados aniones y cationes. *Solución estándar o de referencias, el valor en paréntesis corresponde al valor real. LOD: el límite de detección del instrumento.n.d.: No Detectado.

Muestra	Ca	K	Mg	Na	Cl	F	HCO ₃	CO ₃	NO ₃	SO ₄
Concentración	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Andes Mountain	2,590	0,320	1,110	2,460	1,760	0,040	10,01	n.d.	0,250	0,440
Cachantun	114,300	3,640	12,190	23,230	42,280	0,040	140,71	n.d.	44,260	118,340
Jahuel	78,800	1,960	21,580	31,410	5,390	0,160	123,17	n.d.	8,570	191,300
Jumbo	75,400	1,920	21,760	29,440	5,180	0,140	149,82	n.d.	8,100	185,840
Porvenir	32,760	1,070	17,050	24,070	14,150	0,220	168,49	n.d.	5,930	28,740
Puyehue	3,470	1,170	0,630	32,050	25,230	0,210	38,32	n.d.	0,390	10,570
Tottus	1,370	0,800	0,020	79,350	3,640	0,410	150,19	8,62	0,340	11,990
Vital	21,110	0,170	2,450	19,460	1,150	0,150	93,28	n.d.	2,500	16,790
Benedictino	0,240	0,100	<0,001	4,270	2,640	<0,03	1,02	n.d.	2,050	1,020
Nestlé	27,040	0,170	5,020	4,610	58,290	0,080	4,27	n.d.	2,210	0,680
LOD	0,014	0,044	0,0012	0,094	0,03	0,03	-	-	0,03	0,03
Solución de Referencia Multi Anion*	-	-	-	-	10,4 (10,0)	9,8 (10,0)	-	-	10,6 (10,0)	10,2 (10,0)
Solución de Referencia (STDI) *	5,3 (5,0)	1,2 (1,0)	4,9 (5,0)	5,2 (5,0)	-	-	-	-	-	-
Mínimo	0,24	0,1	0	2,46	1,15	0,04	1,02	-	0,25	0,44
Máximo	114,3	3,64	21,76	79,35	58,29	0,41	168,49	-	44,26	191,3
Promedio	35,71	1,13	8,18	25,04	15,97	0,16	87,93	-	7,46	56,57
Desviación Estandar	40,11	1,12	9,08	22,24	19,87	0,11	67,77	-	13,3	77,82

4.3. Elementos minoritarios y trazas

Los elementos traza, si bien presentes en concentraciones generalmente pequeñas, representan un amplio abanico de potenciales contaminantes ya que muchos de ellos, en determinadas concentraciones pueden considerarse dañinos para la salud humana. En este estudio se han analizado veinticuatro elementos minoritarios y trazas cuyos resultados se presentan en las tablas 4.8 y 4.9. Entre ellos, los iones plata, Cd, Pb, Be, Cr y Zn han resultado bajo el nivel de detección en todas las muestras. Fe y Hg se han detectados cada uno en una sola muestra, Tottus y Andes Mountain, respectivamente. El Al en dos, el Cu en tres y, el Mn y Se en cuatro de las diez analizadas. El U, el Cs, el Co y Ni han sido medidos en cinco, seis y ocho muestras, respectivamente. Ba, Li, Mo y As han sido medidos en prácticamente todas las muestras.

Los resultados de los elementos minoritarios y trazas se han representaron en la figura 4.2 donde se observa la variabilidad logarítmica de las concentraciones en las muestras. El promedio y desviación de las muestras en los elementos minoritarios y trazas se encuentran en la tabla 4.7.

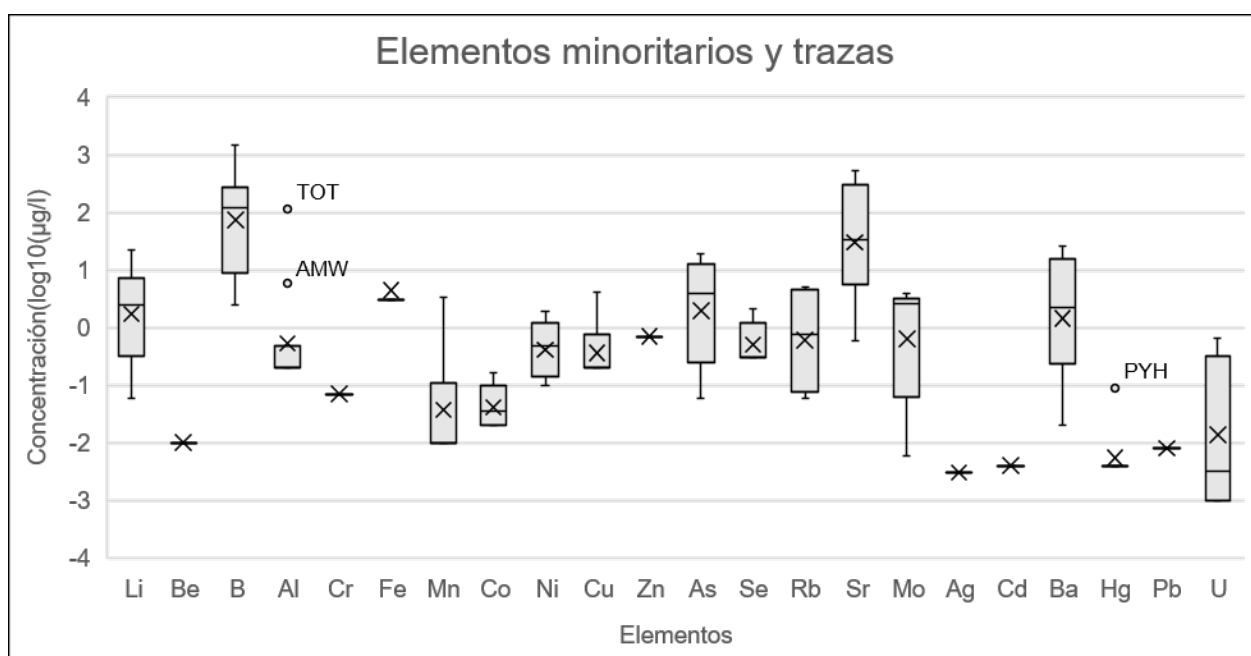


Figura 4.2: gráfico de caja y bigotes de los elementos minoritarios y trazas presentes en las muestras analizadas. AMW: Andes Mountain, PYH: Puyehue, TOT: Tottus.

Tabla 4.7: resultados estadísticos de los elementos minoritarios y trazas.

Elemento	Mínimo ($\mu\text{g/l}$)	Máximo ($\mu\text{g/l}$)	Promedio ($\mu\text{g/l}$)	Desviación estándar ($\mu\text{g/l}$)
As	0,06	18,97	6,15	6,64
B	2,46	1449,69	258,28	431,47
Ba	0,02	25,40	6,55	8,96
Co	0,02	0,16	0,06	0,05
Cs	0,00	0,20	0,06	0,08
Cu	0,20	4,14	0,72	1,23
Li	0,06	21,91	5,18	6,73
Mn	0,01	3,31	0,38	1,03
Mo	0,01	3,99	1,98	1,60
Ni	0,10	1,91	0,65	0,61
Rb	0,06	5,09	1,76	2,06
Se	0,30	2,15	0,73	0,76
Sr	0,59	525,91	137,16	181,27
U	0,00	0,65	0,18	0,26

Tabla 4.8: resultados de elementos minoritarios y trazas. * Soluciones estándares o de referencia leídas como muestra, Valor entre paréntesis corresponde al valor esperado. LOD = límite de detección. LOQ = límite de cuantificación.

Elementos traza							
Muestras	Rb	Sr	Mo	Cs	Ba	Hg	U
Concentración	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Andes Mountain	0,77	21,350	0,030	0,025	2,550	<0,004	<0,001
Cachantun	5,090	525,910	0,720	<0,001	25,400	<0,004	0,648
Jahuel	4,430	305,740	3,680	0,197	15,430	<0,004	0,245
Jumbo	4,420	305,090	3,990	0,189	15,680	<0,004	0,215
Porvenir	0,060	129,980	2,300	<0,001	3,540	<0,004	0,642
Puyehue	1,750	16,680	3,120	0,125	1,840	0,090	0,010
Tottus	0,730	0,750	2,910	0,020	0,630	<0,004	<0,001
Vital	0,190	54,420	2,980	0,018	0,110	<0,004	<0,001
Benedictino	0,070	0,590	0,080	<0,001	<0,02	<0,004	<0,001
Nestlé	0,080	11,080	<0,006	<0,001	0,290	<0,004	<0,001
SRM 1640a*	1,194 (1,198)	122,85 (126,03)	44,05 (45,60)	-	147,99 (151,80)	-	24,62 (25,35)
QWSTM<25*	-	-	35,8 (37,0)	-	-	-	-
LOD	0,001	0,001	0,002	0,0004	0,01	0,002	0,0002
LOQ	0,004	0,004	0,006	0,001	0,02	0,004	0,001

Tabla 4.9: resultados de elementos minoritarios y trazas. * Soluciones estándares o de referencia leídas como muestra, Valor entre paréntesis corresponde al valor esperado. LOD = límite de detección. LOQ = límite de cuantificación.

Muestras	Elementos traza										
	Li	B	Al	Fe	Mn	Co	Ni	Cu	As	Se	
Concentración	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	
Andes Mountain	0,110	2,460	5,900	<3	0,270	<0,02	0,160	4,140	<0,06	<0,3	
Cachantun	21,910	264,840	<0,2	<3	<0,01	0,160	1,910	0,960	2,460	<0,3	
Jahuel	6,580	118,350	<0,2	<3	0,060	0,100	1,260	<0,2	12,540	2,150	
Jumbo	6,600	124,210	<0,2	<3	<0,01	0,100	1,200	<0,2	12,760	2,060	
Porvenir	1,550	5,420	<0,2	<3	<0,01	0,040	0,640	0,720	0,300	1,030	
Puyehue	3,700	1449,690	<0,2	<3	0,080	<0,02	0,190	<0,2	18,970	<0,3	
Tottus	9,510	294,18	114,200	128,100	3,310	0,020	<0,1	<0,2	7,090	<0,3	
Vital	1,330	10,190	<0,2	<3	<0,01	0,030	0,420	<0,2	6,180	0,300	
Benedictino	0,450	209,770	<0,2	<3	<0,01	<0,02	<0,1	<0,2	1,040	<0,3	
Nestlé	<0,06	103,720	<0,2	<3	<0,01	0,040	0,550	<0,2	0,130	<0,3	
SRM 1640a*	0,4241 (0,4066)	290,3 (303,1)	51,2 (53,0)	42,4 (36,8)	37,88 (40,39)	19,49 (20,24)	23,04 (25,32)	79,99 (85,75)	7,708 (8,075)	17,81 (23,13)	
QWSTM<25*	-	1301 (1280)	196 (188)	-	425 (424)	-	277 (288)	1198 (1220)	35,5 (35,2)	19,7 (20,0)	
LOD	0,02	0,07	0,06	0,9	0,004	0,005	0,03	0,05	0,02	0,08	
LOQ	0,06	0,25	0,2	3	0,01	0,02	0,1	0,2	0,06	0,3	

Capítulo 5

Discusión

Las muestras de agua analizadas presentan un amplio abanico de tipos hidrogeoquímicos con valores de conductividades eléctricas bajos, siendo, en general, aguas poco mineralizadas. Los resultados indican que predomina el tipo bicarbonatado (4 muestras) en combinación con Ca, Mg y Na, seguido por el tipo sulfatado (2), clorurado (2). Finalmente dos muestras presentan un tipo mixto, bicarbonato sulfatado o clorurado.

Las concentraciones de la mayoría los elementos mayoritarios medidos en las muestras (tabla 4.6) parecen resultar de procesos naturales, salvo las concentraciones de NO_3^- en las muestras de Cachantun, Jahuel, Jumbo y Porvenir, donde son más altas de lo esperado según sus contextos geológicos.

De manera similar, las concentraciones de los elementos minoritarios y trazas, medidas en las muestras (tabla 4.7) parecen derivar de procesos naturales. Sin embargo, existe una fuerte dispersión de los datos, representada por valores de desviación estándar mayores que el promedio.

Las diferencias hidrogeoquímicas (tabla 4.5) detectadas son el reflejo de las distintas procedencias de las aguas embotelladas, con la excepción de muestras de las marcas Jahuel y Jumbo que son extraídas en el mismo sector y, estas sólo se diferencian por el pH. En general, las aguas analizadas fluyen por diferentes litologías, interactuando con éstas según las características hidrogeológicas y de las actividades económicas de cada área. La actividad agrícola, por ejemplo, aumenta el riesgo de contaminación por el uso de fertilizantes y otros compuestos orgánicos que conlleva esta actividad. La actividad agrícola, la practica principal de las comunas de donde se extraen las aguas estudiadas, también puede afectar negativamente la calidad del agua (Wauchope, 1977; Dudka y Adriano, 1997; Zalidisa *et al.*, 2002; Pimentel *et al.*, 2004; Kumar *et al.*, 2005). Especialmente importante es la vinculación entre la agricultura y la contaminación por nitratos (NO_3^- y NO_2^-). Las actividades mineras e industriales se encuentran presente en menor o mayor medida en todas las áreas donde se envasan las aguas analizadas. En Particular, Casablanca, San Felipe y Rengo presentan mayores actividades mineras que las otras áreas estudiadas (SII, 2012a; SII, 2012b; SII, 2012c; SII, 2012d; SII, 2012e; SII, 2012f; SII, 2012g; SII, 2015a; SII, 2015b; SII, 2015c; SII, 2015d; SII, 2015e; SII, 2015f; SII, 2015g). Numerosos son los estudios sobre estas actividades y sus

efectos en la calidad de las aguas en diferentes partes del mundo (Helios, 1996; Thornton, 1996; Razo *et al.*, 2004; Younger y Wolkersdorfer, 2004; Ochieng *et al.*, 2010; Palmer *et al.*, 2010) y, también en Chile existen estudios de este tipo (Oyarzún *et al.*, 2006; Parra *et al.*, 2011; Carkovic *et al.*, 2016). En general, se considera que la minería produce un movimiento de suelos y rocas que facilita la lixiviación de metales y metaloides, potencialmente tóxicos, del material extraído de la mina (Helios, 1996; Razo *et al.*, 2004; Younger y Wolkersdorfer, 2004; Ochieng *et al.*, 2010; Parra *et al.*, 2011), además de la contaminación que pueda provocar la metalurgia. Para hacer una mejor estimación del impacto medioambiental es necesario considerar como las distintas actividades evolucionan en el tiempo. Por ejemplo, En Colbún se observó una migración desde la actividad minera e industrial a otras actividades entre el 2009 y el 2011. En el siguiente periodo, entre el 2011 y el 2013, Ocurrió el fenómeno inverso, recuperándose en gran medida las actividades mineras e industrial que habían en el 2009 y 2011. Esto muestra que las actividades económicas de una comuna pueden variar fuertemente en cortos periodos de tiempo. Lo que dificulta la estimación de la carga de contaminantes que pueden ser liberada en el futuro y como esta podría llegar a las aguas. Esta variabilidad en las actividades económicas de cada sector hace difícil predecir los riesgos generales de la actividad humana sobre las aguas y suelos a corto y largo plazo.

Las muestras de Andes Mountain, Puyehue, Tottus y Benedictino presentaron valores de dureza muy bajos (0,6 - 11,3 ppmCaCO₃) que puede afectar su aceptación entre los consumidores debido a que las aguas blandas como las antes mencionadas poseen propiedades organolépticas normalmente consideradas negativas. Es posible que la naturaleza poco saturada de las soluciones como estas puede llevar a comportamientos osmóticos agresivos, lo que puede afectar a células con la que entra en contacto durante su ingesta (Kozisek, 2005). Otro efecto que puede tener un agua blanda es la disolución parcial del contenedor donde se encuentra, liberando contaminantes potencialmente tóxicos de ellos, dependiendo del material. Aunque hay que destacar que no existe evidencia científica suficiente de que esto afecte directamente la salud de los consumidores.

Por otro lado, las muestras de Cachantun, Jahuel y Jumbo han sido clasificadas como muy duras (277,7 - 335,7 ppmCaCO₃). En Kozisek (2005) se afirma que algunos estudios muestran relación entre el consumo de aguas duras con el desarrollo de cálculos renales, otros que indican que su consumo aporta el efecto contrario y un tercer grupo de estudios advierte de un efecto secundario en el desarrollo de cálculos renales. Estos resultados requieren más evidencia para concluir que aguas de alguna dureza puedan ser un riesgo para la salud pública, pero se tiene que reconocer que aguas muy blandas o muy duras no son las ideales ya que pueden afectar cualidades organolépticas de estas, afectando la percepción del consumidor, y, por lo tanto, la calidad percibida cuando se consume y su éxito en el mercado.

Las aguas de Tottus y Nestlé quedan fuera del rango admitido por la norma NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) en cuanto a pH debido a ser muy alcalina y ácida, respectivamente. Los pH extremos hacen que las aguas sean más propensas a contaminarse debido a una interacción inusual del agua con su envase o su entorno, pero no existe evidencia científica concluyente para decir que el consumo de aguas en estos pH provoque efectos negativos en la salud del ser humano (OMS, 2011a). De manera similar a la dureza, los valores extremos de pH pueden afectar negativamente cualidades organolépticas de estas, reduciendo la calidad percibida por el consumidor. Se requiere más evidencia para concluir que aguas con solo estas características

sean un riesgo para aquel que las consume regularmente.

La presencia de NO_3^- en las muestras puede ser producto de dos tipos de procesos: de manera natural como disolución de depósitos naturales de NO_3^- , en yacimientos poco frecuentes con "salitre de Chile." en menor medida lixiviación de NO_3^- en zonas con bacterias nitró-fijadoras; o producto de contaminación antrópica debido al uso de NO_3^- como fertilizantes, filtraciones de alcantarillados u otros procesos antrópicos. Por la locación geográfica de la extracción de las aguas de las muestras, es muy poco probable que sea producto de un fenómeno natural ya que no se conocen yacimientos de NO_3^- en estas regiones. Debido a lo anterior, se puede presumir que el NO_3^- en las aguas embotelladas es producto de la actividad antrópica, que es la razón más frecuente de contaminación de NO_3^- en aguas. Debido a que esta contaminación ocurre asociada a fertilizantes y a otros compuestos orgánicos, es posible que estas aguas estén contaminadas con contaminantes emergentes relacionados a fertilizantes como plaguicidas (insecticidas, acaricidas, molusquicidas, rodenticidas, fungicidas, herbicidas, antibióticos y bactericidas, entre otros) y otros.

No se sabe cómo ha evolucionado la contaminación de NO_3^- en las muestras para hacer un análisis sobre la evolución del contenido de NO_3^- en el tiempo. Las muestras de Andes Mountain, Tottus y Puyehue, tienen concentraciones insignificantes de NO_3^- (<1 mg/l). Las muestras de Benedictino, Nestlé, y Vital presentan concentraciones menores de NO_3^- (entre 1 y 3 mg/l), donde las primeras 2 son aguas potables de Santiago que fueron purificadas y la última se encuentra en las (ex)termas de Chanqueahue.

Las muestras de Jumbo, Jahuel y Porvenir presenta una concentración moderada de NO_3^- (entre 5 y 9 mg/l). Observando las actividades económicas del sector, las muestras de Jumbo, Jahuel y Porvenir pueden estar expuestas a una contaminación mínima producto de actividad agrícola u otra fuente de NO_3^- . Si esta contaminación continua en el tiempo, podría volverse un problema sanitario en el futuro. Solo la muestra de Cachantun (44,26 mg/l) alcanza concentraciones riesgosas para infantes, superando la norma de la EPA (2009) (10 mg/l de nitrógeno equivalente o 44,24 mg/l de NO_3^-), y muy cercano a superar el resto de las normas revisadas. Las concentraciones de NO_3^- medidas en la muestra de Cachantun son riesgosas para infantes, y por lo tanto, para la salud pública a corto plazo y, posiblemente, a largo plazo. Es necesario realizar estudios hidrogeoquímicos de las aguas de donde se extrae esta agua (Coinco) para reconocer la naturaleza de las fuentes de NO_3^- y elaborar planes de remediación, si no existen en ejecución, antes de que se vuelva un problema sanitario mayor.

Para estimar que podría ocurrir a largo plazo, se observó que existe una migración generalizada en todas las comunas desde actividades agrícolas e industriales hacia la entrega de servicios, tanto públicos como privados que parece ser duradera en el tiempo. Esta reducción en la actividad agrícola puede significar la reducción del uso de fertilizantes y, por consiguiente, la reducción del vertido de estos en las aguas. Por lo anterior es esperable que disminuya a largo plazo si se mantiene la tendencia.

La presencia de As en las aguas a nivel mundial siempre ha sido un problema sanitario importante, ya que es un contaminante frecuente de procedencia tanto natural como artificial. En este estudio se encontró As en concentraciones elevadas en la mitad de las muestras analizadas y tres (30 %) de las muestras constituyen un riesgo para la salud pública según los límites definidos en las normas propuestas por el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005),

la EPA (2009), y la OMS (2011a) ya que superaron estos límites, a pesar de que se encontraron bastante por debajo de las concentraciones permitidas por el Decreto 106 (MINSAL, 1997), que es la norma que las regula. Considerando las fechas de las modificaciones de las leyes chilenas, la reducción de As permitido (de 50 a 10 $\mu\text{g}/\text{l}$) en el agua potable se ejecutó en la modificación de la norma correspondiente el año 2005, mientras que el Decreto 106 no ha sido modificado desde el 2001, momento en el cual el límite del As estaba fijado en 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. Esto ha llevado a que se permita que el agua mineral contenga concentraciones de As que, legalmente, no puede ser usado como agua potable, según definida en el Decreto 977/96, título XXVI, Art. 469 como aquella "apta para usos alimentarios" (MINSAL, 1996). Las muestras de Jumbo, Jahuel y Puyehue exceden las normas internacionales y de agua potable chilena por contener 12,7, 12,54 y 19,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ de As. Las aguas de Tottus y Vital se encuentran cercanas al límite de las concentraciones permitidas por las normas observadas, presentando concentraciones mayores al 50 % de lo permitido en la normas del SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009), y la OMS (2011a).

Como se observa en los resultados de PHREEQC, el As en todas las muestras se encuentra en un estado de oxidación +5 (arsenato). Esta forma de As es tóxica, pero menos que el gas Arsina y los compuestos tanto orgánicos como inorgánicos del As trivalente (arsenito) y más tóxica que compuestos orgánicos con As pentavalente y As elemental. Debido a que no se hizo un análisis dedicado a conocer la especiación de este elemento, no es posible conocer si está en compuestos orgánicos o inorgánicos. Dependiendo de la procedencia del As puede ser, principalmente, inorgánico, como producto de disolución de fases minerales o diversas actividades humanas que ayuden a la disolución de aquellas fases minerales. También puede ser orgánico procedente de residuos orgánicos de animales contaminados con As y de actividad antrópica como el uso de compuestos orgánicos de As como insecticidas, fungicidas y otros compuestos de usos industriales.

El Cs presente en las aguas parece provenir de procesos naturales. Jumbo, Jahuel y Porvenir presentan las mayores concentraciones a 0,2, 0,2 y 0,1 $\mu\text{g}/\text{l}$ de Cs respectivamente. Tampoco existe un riesgo conocido por la concentración de Cs estable en el agua. La presencia de Cs crea la interrogante de si existe contaminación radiactiva de Cs, la cual sí tiene un potencial impacto en la salud de la población por el potencial mutagénico de la radiación que emana (ATSDR, 2004a). Son necesarios más estudios para saber con precisión qué efectos tiene la exposición crónica a bajas concentraciones de Cs radiactivo puede tener en la salud humana tanto en adultos como en niños. De igual manera, se necesitan más estudios sobre estas aguas para conocer la fracción de Cs radiactivo, y la exposición total a radiación que provocar en los individuos a largo plazo que consumen las aguas de las marcas que presentaron concentraciones significante de Cs.

En cuanto al Sr, son necesarios hacer más estudios en las aguas para reconocer que isótopos están presentes en las muestras de las marcas. Los resultados mostraron concentraciones muy bajas hasta moderadas, con respecto a las concentraciones naturales. Las muestras de Tottus y Benedictino presentaron concentraciones menores a 1 μg , Porvenir alcanza los 130 $\mu\text{g}/\text{l}$, mientras que Jahuel y Jumbo presentaron concentraciones que superaron los 300 $\mu\text{g}/\text{l}$, y la muestra de Cachantun tiene una concentración de 525,91 $\mu\text{g}/\text{l}$. Ninguna supera las concentraciones de seguridad definida por la EPA para isótopos estables. Es necesario hacer un estudio de los isótopos presentes en el agua para reconocer que no exista contaminación

radiactiva por ^{90}Sr , ya que el consumo elevado de este último puede provocar cáncer óseo. Si las aguas ricas en Sr son pobres en el isótopo radiactivo, estas podrían ayudar a tratar osteoporosis postmenopáusica, ya que es un potencial farmacéutico para esta enfermedad (NRC, 2005), pero en el caso de ser consumido en conjunto con suplementos puede alcanzar niveles de consumo que pueden superar los límites recomendado para el ser humano. Como ya se vio, este elemento puede ser beneficioso o fuertemente nocivo dependiendo de su isótopo. Por ello, es imperativo hacer un estudio de la isotopía del Sr en las aguas para reconocer los riesgos y beneficios que pueda aportar.

El Co en las muestras analizadas parece provenir de procesos naturales, con un máximo de $0,16 \mu\text{g/l}$. No existe una norma que presente que los isótopos estables de Co que en el agua puedan ser un riesgo para la salud pública. Para los isótopos radiactivos de Co existen normas relativas a su potencial cancerígeno en el agua potable (EPA, 2009). De manera similar al Cs y Sr, son necesarios estudios adicionales que permitan conocer la isotopía del Co en las muestras analizadas y reconocer si este puede ser un riesgo para la salud pública.

La presencia de Rb en las aguas analizadas no presenta concentraciones mayores que las esperadas en condiciones naturales (menor o igual a $5 \mu\text{g/l}$). Las mayores concentraciones de Rb se encuentra en las muestras de Cachantun ($5 \mu\text{g/l}$), Jahuel y Jumbo ($4,4 \mu\text{g/l}$), y Puyehue ($1,8 \mu\text{g/l}$). Estas concentraciones se encuentran dentro del rango de ingesta fisiológica y puede tener un impacto positivo en la salud de individuos con algún nivel de malnutrición relacionada. Es una incógnita si la naturaleza isotópica y la radioactividad en el agua producto del Rb pueda ser un riesgo para la población, y, por lo tanto, debiese ser estudiado.

Las aguas con mayor contenido de U (Cachantun y Porvenir, con $0,6 \mu\text{g/l}$) contienen concentraciones 50 veces más bajas que el límite definido por la EPA (2009) y OMS (2011a) ($30 \mu\text{g/l}$). Es importante destacar que estos límites son fijados provisionalmente de acuerdo al potencial de toxicidad del U como metal pesado en lo riñones, que requiere concentraciones mucho menores que los necesarios para sufrir un envenenamiento radiactivo.

En resumen, la presencia de isótopos estables de Cs, Sr, Co, Rb y U en las aguas analizadas no son un riesgo a la salud pública debido a sus bajas concentraciones. Incluso el Sr y el Rb pueden ser considerados como elementos nutritivos para el ser humano bajo ciertas condiciones de malnutrición. No se conoce la radiactividad de los isótopos de estos elementos en las muestras de agua analizadas, y debería ser estudiado para poder descartar totalmente el riesgo potencial que representan a la salud pública.

No se encontraron grandes concentraciones de Al, Fe, Mn en ninguna muestra. La presencia de Al y Fe en la muestra de Tottus no es un riesgo sanitario en sí y debería ser considerado solo por su potencial efecto de las propiedades organolépticas del agua. La presencia de estos elementos en la muestra advierte que no se hizo un tratamiento para retirar los óxidos de Fe y Al del agua, lo cual no es requerido para el envasado, pero tiene dos efectos que pueden ser relevantes. Puede afectar las propiedades organolépticas y puede adsorber metales pesados y oxianiones. lo que puede provocar que las muestras con concentraciones relevantes de estos elementos tengan mayores concentraciones de metales pesados y oxianiones que los observados en los resultados al ser adsorbidos en los sedimento de óxidos y hidróxidos de Al, Fe y Mn en el fondo del envase antes de ser analizado. Los elementos y compuestos adsorbidos siguen siendo biodisponibles en caso de ingesta de estos sedimentos, lo cual puede poner en riesgo

a aquel que la consuma. Las concentraciones de Al, Fe y Mn en las muestras analizadas no representan un riesgo para la salud pública por si mismas, pero pueden existir errores importantes en las mediciones obtenidas producto de su presencia.

Las muestras de agua presentaron concentraciones de Ni que parecen provenir de procesos naturales ($<10 \mu\text{g/l}$). La muestra con mayor concentración (Cachantun, $1,9 \mu\text{g/l}$) es 10 veces menor que la concentración permitida por la norma más exigente con un valor de $20 \mu\text{g/l}$ (SCF, 2003). En el caso del Cu, la muestra con mayor concentración es Andes Mountain ($4,14 \mu\text{g/l}$) que es 250 veces menor que las normas más exigentes que permiten valores de $1000 \mu\text{g/l}$ (MINSAL, 1997; SCF, 2003). Las concentraciones de Ni y Cu en las muestras no representan un riesgo para la salud pública por sus bajas concentraciones. Las concentraciones de Ni de Cachantun deberían ser estudiadas para conocer su fuente y la evolución de este elemento en las aguas.

Las concentraciones de Li en las aguas de las muestras de las marcas no presentan un riesgo para la salud pública. Normalmente la mayor parte de la ingesta de Li es producto del consumo de granos y vegetales (500 a $3400 \mu\text{g/kg}$), productos diarios ($500 \mu\text{g/kg}$) y carne ($12 \mu\text{g/kg}$) (Weiner, 1991). Es importante notar que la muestra de Cachantun fue la única que supera la concentración esperada en la carne, alcanzando $22 \mu\text{g/l}$. Aun así, representa el consumo aproximado de lo que se ingiere en 44 gramos de semillas pobres en Li, lo cual es equivalente a menos de la mitad de un pan de trigo. Por el cálculo anterior, se reconoce que la concentración de Li en las muestras no es suficiente para aumentar significativamente el riesgo de una ingesta excesiva de este elemento. El Li en las aguas analizadas puede ser considerado como un elemento nutritivo por sus potenciales beneficios en caso de dietas pobre en esta. Por lo tanto, el consumo de estas aguas es seguro para consumidores de suplementos de Li, ya que no es mucho menor que las concentraciones que existen en los suplementos.

El B se encuentra en aguas superficiales en concentraciones de $100 \mu\text{g/l}$, alcanza hasta $300 \mu\text{g/l}$ en áreas con depósitos minerales ricos en B. Normalmente se encuentran hasta $400 \mu\text{g/l}$ en la mayoría de las aguas potables, aunque pueden alcanzar los $3000 \mu\text{g/l}$ (ATSDR, 2010). El uso de detergentes, pesticidas, cremas y limpiadores (productos de uso diario), fertilizantes y sustancias de aseo para el hogar pueden contaminar el agua con B. La EPA impone que no puede superarse una concentración de $4000 \mu\text{g/l}$ por un día, o $900 \mu\text{g/l}$ por 10 días sin riesgo de que ocurra ningún efecto adverso en niños. La EPA también dice que el consumo de $1000 \mu\text{g/l}$ por toda la vida no debería tener efectos negativos (ATSDR, 2010). De las muestras analizadas solo una muestra supera los $300 \mu\text{g/l}$: Puyehue, la cual tiene una concentración de $1449,7 \mu\text{g/l}$. Esta supera los límites recomendados conocidos para el consumo infantil, y existe incertidumbre si el consumo a largo plazo pueda tener efectos adversos, ya que supera con creces los $1000 \mu\text{g/l}$ que la EPA (2009) ha experimentado y que considera segura. Se recomienda hacer estudios en busca de porqué estas aguas son tan ricas en B ya que su origen puede ser de múltiples fuentes: evaporitas con boratos, depósitos con borosilicatos (tales como pórfidos cupríferos con turmalinas), diversas actividades humanas o influencias de aguas geotermales. Las muestras de Jahuel, Jumbo, Puyehue y Tottus probablemente contienen B por su naturaleza termal. Es posible que otras aguas ricas en B provengan de aguas termales no hayan sido reconocidas como termales por ser distales a la fuente.

Jahuel y Jumbo son las muestras con más concentración de Se ($2,1$ y $2,2 \mu\text{g/l}$ respecti-

vamente), seguidas de porvenir ($1,0 \mu\text{g}/\text{l}$). Estos resultados representan concentraciones 5 a 10 veces menores que los definidos por las normas más exigentes que definen un límite de $10 \mu\text{g}/\text{l}$, respectivamente (MINSAL, 1997; SCF, 2003; INN *et al.*, 2005). El riesgo de selenosis ha sido estimado bajo consumos iguales o mayores a $1270 \mu\text{g}/\text{l}$, proviniendo normalmente en gran parte por los alimentos. La ingesta de Se proveniente de las aguas analizadas es seguro, y nutritivo para aquellos con baja ingesta de este elemento. Aun considerando los errores de medición obtenidos, la concentración de Se en las aguas no es suficientemente alta para poder ser riesgosa para la salud pública por sí misma. En casos en que individuos tengan una gran exposición al Se (de manera alimenticia o por suplementos), las aguas de Jahuel y Jumbo pueden aumentar, de manera marginal, el riesgo de generar selenosis producto de un consumo mayor que el recomendado diario.

El laboratorio de complementos nutricionales (LCN, 2012) define una consumo recomendado diario de Mo de $50 \mu\text{g}$ para niños y $75\text{-}250 \mu\text{g}$ para adultos. El nivel de ingesta máximo diario prologado, que incluye alimentos bebidas y suplementos, no debe superar $2000 \mu\text{g}$, mientras que los suplementos no deben superar los $350 \mu\text{g}$ diarios. La ingesta de Mo producto del agua de las muestras es 10 veces menor que la concentración recomendada para niños, y de esta manera, puede ser considerado seguro y nutritivo para gente con baja ingesta de Mo.

La presencia de Ba en las muestras es menor que el promedio de las aguas superficiales dado por la ATSDR (2007) de $30 \mu\text{g}/\text{l}$. La concentración de Ba no es suficiente para considerarlo un riesgo para la salud, ya que las muestras con mayor contenido de Ba, Jahuel y Jumbo con $15 \mu\text{g}/\text{l}$, contienen una concentración 47 veces menor que la norma más exigente que define un límite de $700 \mu\text{g}/\text{l}$ (OMS, 2011a). El consumo de Ba de las muestras analizadas no representa un riesgo para la salud pública.

5.1. Calidad de las aguas analizadas

5.1.1. Andes Mountain

La muestra de Andes Mountain es un agua mineral Bicarbonatada mixta, blanda, oligomineral, con un pH neutro a básico. Es un agua muy pobremente mineralizada con concentraciones mínimas de Cu, Al, B, Sr y Ba que están muy por debajo de todos los límites establecidos por las distintas normativas, por lo que estos elementos bajo ningún estándar pueden ser un riesgo para la salud pública producto de su concentración. Su dureza es demasiado baja para ser considerada ideal. El riesgo para la salud pública que conlleva el consumo rutinario de aguas similares a esta muestra es nulo, aunque esta conclusión puede cambiar dependiendo de nueva información científica que demuestre efectos negativos en la salud por consumo de aguas con baja dureza. El valor nutricional de los minerales disueltos en el agua es muy bajo a nulo ya que esta agua es esencialmente pura.

5.1.2. Cachantun

La muestra de Cachantun es un agua mineral Sulfatada bicarbonatada cálcica, muy dura, con una mineralización débil y pH básico. Tiene concentraciones riesgosamente altos de NO_3^- , concentraciones no despreciables de Li, B, Rb, Sr y Ba, y concentraciones menores de U.

Esta muestra puede estar afecta a una fuerte contaminación antrópica reconocible en la concentración de NO_3^- presentes en esta. La economía de la comuna de Coinco está centrada fundamentalmente en actividades agrícolas, con prevalencia de las prácticas tradicionales de producción, dedicado a suplir el consumo local. Los métodos tradicionales de producción pueden ser un factor de riesgo ambiental, ya que ocupa métodos obsoletos, ineficientes o que ignoran los efectos de los insumos ocupados, como fertilizantes, insecticidas, etc. Considerando la evidencia disponible es razonable presumir que los NO_3^- son de origen antrópico, no se puede descartar la presencia de contaminantes emergentes relacionados a las fuentes de NO_3^- (alcantarillas e industria agrícola). El uso de fertilizantes es probablemente el motivo de la contaminación de NO_3^- de la muestra de Cachantun.

El uso de otros insumos agrarios puede estar contaminando las aguas y suelos con contaminantes emergentes. Se sugiere un estudio detallado de los contaminantes orgánicos presentes en esta agua para reconocer el riesgo real. El efecto que puede tener el consumo de estas concentraciones de NO_3^- es el desarrollo de metahemoglobulemia (también conocida como el síndrome del bebe azul) si es ingerido por infantes en formulas alimenticias, y en casos de individuos con elevado consumo de NO_3^- por otras fuentes, podría facilitar el mismo padecimiento en adultos, pero esto último es muy poco frecuente.

En el estudio “Análisis de la composición físico-química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua” en la cuenca del río Cachapoal (CENMA, 2010) se reconoce en los suelos del sector existe una baja contaminación de B, además de Cr, Ni, Pb, As, en los suelos producto probablemente de la actividad minera aledaña (CENMA, 2010). De manera que diversos elementos traza liberados al ambiente por medio de la actividad minera pueden terminar en las aguas subterráneas y, por lo tanto en las aguas de donde se extrajo esta muestra. Existe la posibilidad de que el Sr afecte el desarrollo de los huesos en infantes si es radioactivo. El Sr no radioactivo en edad adulta puede ayudar a diversos padecimientos óseos y en las concentraciones que se encuentra puede ser considerado como una fuente nutritiva complementaria de Sr. Similarmente el Li y el Rb pueden ser considerados como fuentes nutritivas como antidepresivos y otros tratamientos, aunque, por sus muy bajas concentraciones, es posible que solo tenga algún efecto en individuos particularmente susceptibles. Sin embargo, la presencia de estos elementos puede ser un riesgo a aquellos que están consumiendo suplementos de Sr o Li (y en un caso hipotético, Rb), ya que puede aumentar el consumo a niveles que pueden superar el consumo recomendado diario. Su alta dureza podría ser negativa para la salud. El agua Cachantun es un riesgo sanitario importante para los infantes y moderado para adultos por la presencia de NO_3^- y posibles contaminantes emergentes relacionados a la actividad antrópica que puede haber introducido NO_3^- . Tiene un valor nutricional relevante ya que entrega concentraciones considerables de Sr, Li y Rb.

5.1.3. Jahuel y Jumbo

Las muestras de Jahuel y Jumbo son las mismas aguas minerales al ser extraídas en el mismo lugar (termas de Jahuel), de tipo sulfatada cálcica (consistente con Bustamante *et al.*, 2012), dura, con una mineralización débil y pH neutro a básico. Tienen concentraciones potencialmente tóxicas de As, concentraciones relevantes de NO_3^- , y concentraciones menores de Li, B, Se, Rb y U, concentraciones no despreciables de Sr y Ba.

Las concentraciones de As presentes en estas muestras pueden ocasionar una serie de padecimientos de la piel y cánceres. Sus altas durezas pueden ser negativas para la salud. La presencia de NO_3^- en estas aguas no es riesgosa en los niveles actuales por sí misma, pero puede indicar contaminación antrópica, y una fuerte probabilidad de que haya contaminantes emergentes asociados. Es importante que se hagan estudios de cómo ha evolucionado la contaminación por NO_3^- para hacer un plan de mitigación acorde. El Li, Se y Rb tienen un valor nutricional esencial en el que puede ayudar a la salud de los individuos con dietas deficientes en estos elementos. Debido a la presencia de concentraciones potencialmente tóxicas de As, según las normas de el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009), y la OMS (2011a), es un riesgo para la salud pública, lo que puede provocar un aumento en la incidencia de diversos cánceres y padecimientos. Su valor nutricional es bajo, y en ningún caso compensa el riesgo asociado a la ingesta de estas concentraciones de As.

La procedencia del As puede provenir del sistema geotermal asociado a las termas de Jahuel por disolución de minerales como piritas ricas en Arsénico o arsenopiritas en el camino de ascenso (*upflow*) o cercano al punto de donde se extraen estas aguas. Normalmente, esto ocurre en aguas cloruradas del sistema geotermal, pero se observa que estas aguas son sulfatadas, lo cual puede indicar una forma distinta de adquisición de As: aguas superficiales que disuelven sulfuros con As (piritas y arsenopiritas) o aguas sobrecalentadas producto de gases volcánicos ricos en As son aguas sulfatadas. La presencia de NO_3^- en estas aguas crea la interrogante si algún grado de la contaminación de As esté relacionada directamente a compuestos orgánicos con As creados por el hombre para la industria o la agronomía, que han sido una actividad económica dominante históricamente en el sector. La minería puede movilizar minerales ricos en As a lugares donde estos pueden disolverse en las aguas y contaminarlas de manera similar a la que ocurre naturalmente por aguas que atraviesan rocas con mineralización parecida.

5.1.4. Porvenir

La muestra de Porvenir es un agua mineral Bicarbonatada mixta, dura, con una mineralización muy débil y un pH neutro a básico. Tiene concentraciones menores de Li, F, B, Ba y U, y concentraciones no despreciables de Sr, Mo y NO_3^- .

Las concentraciones de NO_3^- presentes no son un riesgo para la salud humana, pero su evolución tiene que ser estudiada para reconocer el riesgo a largo plazo de esta contaminación y de los contaminantes emergentes asociados, además de crear las bases para desarrollar un plan para mantener la calidad del agua. La presencia de Li, F, Sr y Mo en bajas concentraciones puede ayudar a entregar nutrientes esenciales en dietas deficientes de estas. En dietas con

altas ingestas de estos elementos o con suplementos relacionados pueden aumentar a niveles mayores que los recomendados para el ser humano, particularmente el Sr y el Mo.

5.1.5. Puyehue

La muestra de Puyehue es un agua mineral clorurada bicarbonatada sódica, blanda, con una mineralización muy débil y un pH neutro a básico. Tiene concentraciones potencialmente tóxicas de As, concentraciones altas de B, y concentraciones menores de Li, Rb, Sr, F, Mo y Ba.

Las aguas de las termas de Puyehue son mayormente clorurada/sulfatadas sódicas (Celis *et al.*, 2012). Estas aguas indican una mayor influencia de un sistema geotermal, donde se observan aguas volcánicas (cloruradas) con gases volcánicos oxidados. Esto indica una diferencia composicional significativa con el agua analizada de composición clorurada bicarbonatada. Según la clasificación propuesta por Giggenbach (1988) se puede interpretar que el agua analizada proviene de una zona transicional a *outflow*, donde el agua clorurada (agua volcánica, idealizada a las zonas de *upflow*) se mezcla con aguas meteóricas ricas en carbonatos que produce una mezcla clorurada-bicarbonatada. Esto es esencial de reconocer en la zona ya que estudios han encontrado concentraciones altas de As en las aguas termales cloruradas-sulfatadas de Puyehue (600 $\mu\text{g/l}$, Certificado XEA 0029, Hausser, 1999). De la misma manera, las altas concentraciones de B son probablemente producto de la naturaleza geotermal de estas aguas.

El As puede provenir del sistema geotermal Puyehue-Aguas calientes. El tipo de agua advierte que son aguas cloruradas con mezcla de aguas meteóricas. El agua clorurada, proveniente del *upflow* geotermal, es factible que contenga grandes concentraciones de As derivado del sistema geotermal. Adicionalmente, el acuífero se encuentra en rocas volcánicas (Celis *et al.*, 2012), donde se suelen observar mayores concentraciones de As en comparación a otros tipos de acuíferos. Por lo anterior, el agua extraída puede contener concentraciones relevantes de As tanto como producto de las propiedades del acuífero o como producto de la mezcla con las aguas cloruradas del sistema geotermal Puyehue-Aguas calientes ricas en As, como es visto en el Certificado XEA 0029 (Hausser, 1999). El tipo de actividad económica del sector no debería ser un factor importante en la contaminación de As debido a la baja cantidad de población de la comuna y la baja actividad que pueda llevar a contaminar con As los suelos y aguas. Es posible que malas prácticas de las empresas del sector tenga algún impacto en la calidad de las aguas del sector.

Esta muestra obtuvo los resultados mayores en As y B. La concentración de As presente es un potencial riesgo para la salud pública (según SCF, 2003; NCH409/1 (INN *et al.*, 2005); EPA, 2009; OMS, 2011a). Su baja dureza puede ser negativa para la salud ya que puede aumentar la disolución de los metales de contenedor (Kozisek, 2005). Las altas concentraciones de B se encuentran en un rango relativamente seguro, pero no existe certeza que el consumo constante de estas concentraciones a largo plazo sea seguro, sobretodo en niños. Las concentraciones de As en estas aguas son altas y pueden presentar un riesgo para la salud pública. Las concentraciones menores de Li, Rb, Sr, F y Mo pueden tener un valor nutritivo si la ingesta diaria del individuo es baja. En el escenario contrario, podría superar el máximo

consumo recomendado diaria para aquellos que consuman suplementos de estos elementos. El riesgo de que el consumo de estas aguas pueda afectar negativamente la salud pública es alto para adultos y muy alto para niños debido a la presencia de As y B en estas aguas.

5.1.6. Tottus

La muestra de Tottus es un agua mineral Bicarbonatada sódica, blanda, con una mineralización muy débil y un pH básico. Es la muestra más básica analizada. Tiene concentraciones importantes de As, concentraciones no despreciables de Li, B, Al, Fe, Mn y Mo. Su lugar de procedencia es similar o cercano a las aguas Liv y Lider. Debido a ello, es posible que estas aguas tengan la misma composición.

La presencia de As en esta agua es cercana a la permitidas por las normas del SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009), y la OMS (2011a). Esto es un factor de riesgo para poblaciones en ambientes con altos concentraciones de As ya sea por estar presente en el polvo o la cadena trófica, que puede llevar a superar el consumo máximo recomendado de As, representando un riesgo para la salud pública. Su baja dureza puede ser negativa para la salud (Kozisek, 2005). Su alcalinidad supera lo tolerado por la norma chilena de agua potable (INN *et al.*, 2005). Es un agua con valor nutricional debido al Li, Fe, Mn y Mo para gente con dietas pobres en estos elementos. Esta agua no es un riesgo para la salud pública en general, pero puede ser recomendable evitar su consumo en áreas o en individuos con alta exposición a As.

5.1.7. Vital

La muestra de Vital es un agua mineral Bicarbonatada Cálctica-sódica, moderadamente dura, con una mineralización muy débil y un pH básico. Tiene concentraciones importantes de As y concentraciones mínimas de Li, B, Sr y Mo y NO_3^- .

Al igual que Tottus, la concentración de As hace que sea riesgosa para poblaciones o individuos con alta exposición al As. La presencia de NO_3^- es un indicador de una posible contaminación antrópica y debe ser investigada, similar a las aguas de Cachantun, de termas de Jahuel (Jahuel y Jumbo) y Porvenir. Tiene cierto valor nutricional debido al Li, Sr y Mo.

5.1.8. Benedictino

La muestra de Benedictino es un agua purificada Clorurada sódica, blanda, oligomineral y con un pH básico. Es el agua más blanda de las aguas analizadas. Solo contiene concentraciones bajas de B, As y NO_3^- , muy por debajo de concentraciones que puedan ser considerados riesgosos para la salud.

Al ser clorurada sódica no suele considerarse de la misma calidad que las aguas bicarbonatadas, pero es en tan bajas concentraciones que su composición mineral no es el factor más

importante. Similar a la muestra de Andes Mountain, es un agua con muy bajo contenido mineral y muy baja dureza. Esto puede ser debido a la filtración artificial que se hace al ser purificada, a diferencia de Andes Mountain que su composición es cercana a la que se espera de manera natural. La concentración de As es 10 veces menor que la de cualquier norma, aunque el hecho de ser un agua blanda puede aumentar el consumo de metales pesados producto de cambios en la capacidad de absorberlos (Kozisek, 2005). Pero, aun considerando lo anterior, las concentraciones de los metales pesados en esta muestra no son suficientes para que esto pueda ser riesgoso para la salud. Es una incógnita que elementos puede extraer del envase. Similar a la muestra de Andes Mountain, no representa un riesgo sanitario para la población, a menos que surja nueva información que advierta de lo contrario. El valor nutricional de esta muestra es bajo a nulo.

5.1.9. Nestlé

La muestra de Nestlé es un agua purificada Clorurada cálcica, moderadamente dura, con una mineralización muy débil y un pH ácido. Es la única muestra analizada con un pH ácido. Tiene concentraciones menores de B, Sr y NO_3^- .

Debido a que Nestlé es un agua purificada, la presencia de elementos puede ser debido a que no fueron filtrados o porque fueron adicionados accidentalmente durante el tratamiento del agua. La acidez de esta muestra es un factor de incertidumbre en cuanto a su seguridad, aunque no exista evidencia de que estos niveles de acidez por sí mismo sean riesgosos para el ser humano, facilita la disolución de metales y materiales donde se contenga, debido a esto, no es recomendable hacer preparaciones con este tipo de agua en envases metálicos y no se sabe si no produzca la liberación de material en los envases metálicos. Adicionalmente, la acidez supera lo tolerado por la norma chilena de agua potable (INN *et al.*, 2005). Presumiblemente, Benedictino y Nestlé son la misma agua antes de ser procesadas, por lo que cabe preguntarse si Benedictino retira parte de los NO_3^- del agua o Nestlé la contamina en su tratamiento. Si es el primer caso, la fuente del agua está ligeramente contaminada con NO_3^- y las aguas que son proveídas en Renca están contaminadas con concentraciones menores de NO_3^- y se recomienda hacer una investigación acorde para determinar la proveniencia y controlar la incorporación de este elemento a largo plazo. En el caso de que exista una contaminación en el procesamiento de las aguas de Nestlé, esto debe ser corregido. Esta muestra no constituye un riesgo para la salud pública, pero la acidez y el tipo de agua no la hacen ideal. Nutricionalmente, es una fuente menor de Sr.

5.1.10. Calidad global

Los resultados de esta investigación muestran que la mayoría de las aguas no presentan un riesgo importante para la salud humana. Ninguna muestra supera los límites permitidos por la norma que los rige (MINSAL, 1997), pero algunas muestras presentan concentraciones elevadas de As y NO_3^- , que superan algunas normas analizadas. La calidad de agua para el consumo humano se relaciona inversamente con el riesgo sanitario potencial y directamente con las propiedades nutricionales que pueda presentar cada agua. Debido a que la mayoría de

las aguas analizadas presenta baja concentración de elementos que se consideran nutritivos, las propiedades nutricionales no es un factor importante para la determinación de la calidad de estas aguas. El agua de Porvenir es el agua de mayor calidad, seguida de Andes Mountain, Benedictino, Nestlé, Vital, Tottus, Cachantun, Jumbo, Jahuel y Puyehue. La tabla 5.2 resume los riesgos y beneficios potenciales de las aguas analizadas con respecto a su composición.

No existe una clara relación entre precio y la calidad de las aguas compradas. Las muestras de menor costo por litro fueron Tottus, Vital y Nestlé. Estas aguas no presentaron ninguna concentración que pueda ser riesgosa para la salud humana en general. En relación al costo por litro, siguen las muestras de Jumbo, Cachantun, Benedictino y Jahuel, las cuales presentaron concentraciones altas en algunos elementos potencialmente tóxicos, superiores a las permitidas en algunas normas, salvo Benedictino que no presenta concentraciones altas en ningún elemento. Finalmente, las aguas de Porvenir, Puyehue y Andes Mountain son las aguas con costos mayores por litro. En estas muestras, Andes Mountain y Porvenir no contienen ningún elemento potencialmente tóxico en concentraciones riesgosas, a diferencia de Puyehue que presenta la mayor concentración de As, además de concentraciones importantes de B, de todas las muestras compradas.

5.2. Datos y normativas

Los resultados obtenidos han sido comparados con las diferentes normas nacionales e internacionales consultadas. Con respecto al Decreto 106 (MINSAL, 1997) (figura 5.1) todas las muestras analizadas cumplen con los valores límite legales. Sin embargo, comparando los resultados con los valores fijados y aconsejados en la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) y los organismos internacionales SCF (2003), EPA (2009), OMS (2011a) (figura 5.1), se obtuvo que tres muestras superaron los límites permitidos de As (Puyehue, Jahuel y Jumbo). Cachantun supera la regulación del NO_3^- (sin tomar en cuenta NO_2^- , ya que no fueron analizados) de la EPA (2009) (figura 5.1). Las muestras de Nestlé y Tottus superan los límites establecidos de pH por la norma chilena de aguas potables (INN *et al.*, 2005). En la tabla 5.1 se resume estos resultados.

5.2.1. Las normas nacionales

Se observa que en Chile es posible que las aguas embotelladas no sean aguas potables y se venden para ser consumidas como si lo fueran. Estas pueden contener hasta 5 veces la concentración de As, 20 veces la concentración de Mn y casi 2 veces la concentración de Zn permitidas para el agua potable. La concentración de Mg permitido es limitada únicamente por la dureza o residuo seco permitido por el Decreto 106 (MINSAL, 1997). El Mn, Mg y Zn no son potencialmente tóxicos en ninguna concentración conocida en el agua para un individuo normal, pero pueden afectar las propiedades organolépticas de las aguas dándoles un mal sabor y provocar rechazo.

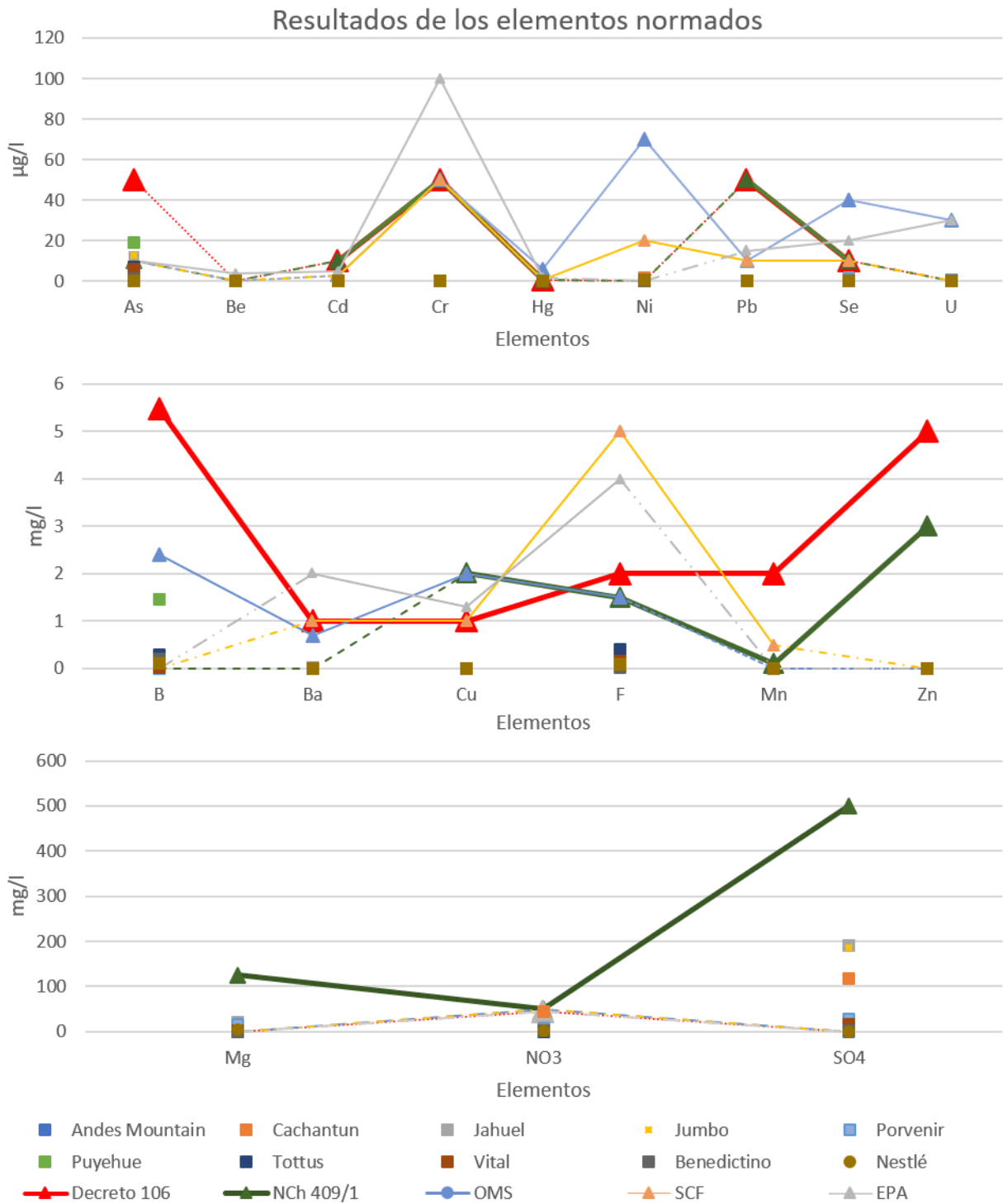


Figura 5.1: muestras de agua y su relación con las normas según el Decreto 106 (MINSAL, 1997), el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009) y la OMS (2011a).

La permisividad del As en las aguas minerales es un problema sanitario. La ley permite concentraciones tan elevadas como 5 veces la concentración permitida en el agua potable. Las concentraciones permitidas de As en el agua mineral pueden afectar severamente la salud pública, sobretodo de un público que está expuesto a alta concentraciones de As.

En el Decreto 106 (MINSAL, 1997) se define un límite de B y Ba, a diferencia de la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). Las concentraciones permitidas de Cd, Hg Pb, Se, y materia orgánica son similares en ambos tipos de agua. Para el caso del Cr se permite más Cr potencialmente tóxico en el agua envasada que en el agua potable debido a que en las primeras se analiza según Cr hexavalente, mientras que en la segunda se analiza según Cr total. De la misma manera, también se tienen mayores límites para la concentración de F y no se pone límites para las concentraciones de Cl y Mg. Para el Cu, NO_3^- , NO_2^- , y sulfatos se permiten concentraciones menores en las aguas envasadas. Esto puede ser un indicador de buena calidad. Cabe destacar de que estas últimas diferencias entre aguas envasadas y aguas potables no son significativamente distintas, salvo para los casos de NO_2^- y sulfatos y en ningún caso compensan las concentraciones permitidas de As en aguas envasadas.

Entre ambas normas nacionales que rigen el agua potable y el agua mineral se observan diferencias arbitrarias en cuanto a algunos valores de elementos potencialmente tóxicos que pueden ser producto de la desactualización del Decreto 106 (MINSAL, 1997) con respecto a la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). Ambas normas definen algunos valores más estrictos en comparación al paradigma internacional. A pesar de ello, las diferencias entre en las normas nacionales e internacionales en elementos potencialmente tóxicos permiten la venta de agua embotellada consistentemente riesgosa en esos elementos potencialmente tóxicos. Como la diferencia significativa que permite concentraciones superiores de las que se consideran seguras de As se encuentra entre el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) se puede argumentar que la falta de actualización del Decreto 106 (MINSAL, 1997) es la que facilita la situación donde dos aguas de usos similares tengan exigencias distintas, sea permitida legalmente.

Tabla 5.1: comparación de las muestras (en porcentaje) con las normas del Decreto 106 (MINSAL, 1997), el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009) y la OMS (2011a).

Componentes	Muestras (n=10)	OMS ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Muestras	Decreto 106 ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Muestras (n=10)	SCF ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Muestras (n=10)	EPA ($\mu\text{g}/\text{l}$)	Muestras (n=10)	NCh 409/1 ($\mu\text{g}/\text{l}$)
As	30%	10	0%	50	30%	10	30%	10	30%	10
Ba	0%	700	0%	1000	0%	1000	0%	2000	0%	
Be	0%		0%		0%		0%	4	0%	
B	0%	2400	0%		0%		0%		0%	
Cd	0%	3	0%	10	0%	3	0%	5	0%	10
Cl	0%	5000	0%		0%	0	0%	4000	0%	2000
Cr	0%	50	0%	50	0%	50	0%	100	0%	50
Cu	0%	2000	0%	1000	0%	1000	0%	1300	0%	2000
F	0%	1500	0%	2000	0%	5000	0%	4000	0%	1500
Mn	0%		0%	2000	0%	500	0%		0%	100
Mg	0%		0%		0%		0%		0%	125000
Hg	0%	6	0%	1	0%	1	0%	2	0%	1
Ni	0%	70	0%		0%	20	0%		0%	
NO ₃ ⁻	0%	50000	0%	45000	0%	50000	10%	44240	0%	50000
Pb	0%	10	0%	50	0%	10	0%	15	0%	50
Se	0%	40	0%	10	0%	10	0%	20	0%	10
SO ₄ ²⁻	0%		0%		0%		0%		0%	500000
U	0%	30	0%		0%		0%	30	0%	
Zn	0%		0%	5000	0%		0%		0%	3000

Tabla 5.2: riesgos sanitarios y valores nutricionales de las muestras analizadas. (*) Potencial sujeto a nuevas investigaciones científicas sobre Dureza, pH o consumo frecuente de altas concentraciones de B durante largos periodos de tiempo. (**) Potencial asociado a condiciones geográficas o exposición. (***) Potencial de aumentar su concentración en el largo plazo hasta ser riesgoso.

Marca	Riesgo sanitario		Factores de riesgo	Valor nutricional
	Adultos	Niños		
Andes Mountain	Muy bajo/nulo	Muy bajo/nulo	Dureza*	Nulo
Cachantun	Moderado	Alto a muy Alto	NO_3^- , Dureza*	Li y Rb(bajo), Sr(moderado)
Jahuel	Muy Alto	Muy Alto	As, Dureza*	Li, Se y Rb (Bajo)
Jumbo	Muy Alto	Muy Alto	As, Dureza*	Li, Se y Rb (Bajo)
Puyehue	Muy Alto	Muy Alto	As, B*, Dureza*	Li, Rb, Sr, F y Mo (Bajo)
Porvenir	Nulo	Nulo	NO_3^- **	Li y F(bajo), Sr y Mo (moderado)
Tottus	Bajo	Bajo	Alcalinidad*, As**, NO_3^- ***, Dureza*	Li, Fe, Mn, Mo(bajo)
Vital	Bajo	Bajo	As**, NO_3^- ***	Li, Sr y Mo (bajo)
Benedictino	Muy bajo/nulo	Muy bajo/nulo	Dureza*	Nulo
Nestlé	Muy bajo/nulo	Muy bajo/nulo	Acidez*	Sr (bajo)

5.2.2. Las normas chilenas y las internacionales

Comparando las normas chilenas con las normas internacionales se observa que en las primeras no existe regulación para la concentración de Sb, asbestos, Be, BrO_3^- , Ni, U, y Tl. Se tienen límites mayores a los sugeridos por organismos internacionales en As (SCF, 2003; EPA, 2009; OMS, 2011a), Ba (OMS, 2011a), B (OMS, 2011a), Cd (SCF, 2003; EPA, 2009; OMS, 2011a), igual o mayor Cr hexavalente (SCF, 2003; OMS, 2011a), F (OMS, 2011a), Mn (SCF, 2003), y Pb (SCF, 2003; EPA, 2009; OMS, 2011a). Se tienen límites menores a los sugeridos en CN y NO_2^- . Existen regulaciones similares con organismos internacionales, principalmente con el SCF (2003) de la Unión europea, en Ba, Cr (aunque existe la diferencia que en Chile se considera únicamente el Cr hexavalente), Cu, Hg, y Se.

Los elementos más críticos a revisar en la regulación chilena son el As, el Pb y el Cd en el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). Estos son los elementos que son más riesgosos para la salud pública entre todos aquellos que Chile tiene regulaciones más liberales con respecto a organismos internacionales.

Se observa que el límite permitido de As en el agua mineral es 5 veces mayor que cualquier norma internacional. En el caso del Pb ocurre algo similar, donde se permite hasta 5 veces la concentración permitida por el SCF (2003) y la OMS (2011a), y 3 veces mayor que la permitida en EPA (2009). Se permite entre dos (EPA, 2009) y tres (SCF, 2003 y la OMS, 2011a) veces más Cd en las aguas minerales y potables. Se recomienda redefinir el límite permitido de As presente en el agua mineral al mismo permitido por el SCF (2003), la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), la EPA (2009), y la OMS (2011a).

En Chile, la fabricación de varios materiales se ocupan asbestos, principalmente en techumbre y fibrocemento. La meteorización o la degradación natural de estos materiales puede llevar a contaminar las aguas y el aire. De esta manera, el uso de asbesto puede afectar la salud humana debido a su ingesta e inhalación. Según la EPA (2009), la presencia de asbesto puede generar enfermedades en el intestino al permitir la proliferación de pólipos en el tracto intestinal. La Organización Mundial de la Salud dice que no existe la evidencia para decir que la ingesta de asbestos puede generar problemas de salud. Es importante continuar con la investigación de como los asbestos pueden ser riesgosos para la salud pública por otros medios además del aéreo y luego fijar un límite permitido de asbestos en el agua acorde a aquellos resultados. Independientemente, se tiene que estudiar la presencia de asbestos en el agua y aire como contaminante potencialmente tóxico para el medio ambiente.

En el caso del Cr, el Decreto 106 (MINSAL, 1997) es menos restrictivo debido a que hace la diferenciación en que el contenido de Cr máximo es similar a los permitidos por la Unión Europea (SCF, 2003), NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), y la OMS (2011a), pero se hace la salvedad de que es únicamente medido el Cr hexavalente. Esta condición hace que sea posible mayor concentración de Cr total en el agua. Las otras organizaciones evitan la medición directa de la especiación de Cr debido a la dificultad analítica que conlleva. De esta manera, estas organizaciones se aseguran que, en el peor de los casos, sea similar a lo permitido por el Decreto 106 (MINSAL, 1997). La NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) es idéntica a la normativa internacional sugerida por la OMS (2011a). Se recomienda seguir el mismo cambio para el agua mineral por la dificultad de analítica del estudio de la especiación del

Cr.

La ausencia de una normativa que limite la concentración de Ni en el agua puede llegar a tener efectos negativos en la salud pública tales como los mencionados en los antecedentes relativos a los elementos potencialmente tóxicos. Se recomienda fijar una norma equivalente a la del SCF (2003) de 20 $\mu\text{g}/\text{l}$.

El último elemento clave en que Chile tiene una política permisiva es el Pb. Los límites permitidos son 5 veces mayores a las permitidas por la Unión Europea (SCF, 2003) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011a) y 3 veces mayor que la permitida en EPA (2009). Se recomienda que se disminuya este límite permitido de Pb a uno similar al de la Unión europea (SCF, 2003) y la OMS (2011a) de 10 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Tampoco se restringe la concentración de U y Tl que pueden contener las aguas, pero no existe evidencia fuerte de que sea necesario de incorporarlos a las normativas actuales. Se recomienda poner un límite de U de 30 $\mu\text{g}/\text{l}$, valor provisional, para evitar la acumulación en los riñones y otras enfermedades renales. Tampoco se tiene mucha certeza de que el Tl en concentraciones definidas por Estados Unidos sea suficiente para generar problemas en la salud pública por medio de ingesta oral. Es importante hacer estudios para reconocer los niveles de consumo que puedan producir efectos negativos en la salud y como estos elementos se distribuyen en las aguas y suelos chilenos.

El resto de los elementos destacados por las distintas normativas internacionales a nivel de química inorgánica no presentan diferencias significativas en los límites definidos con respecto a las normas chilena, tanto del Decreto 106 (MINSAL, 1997) como la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). De esta manera, que no se sugiere un cambio a priori y esperar a que menos surja mayor evidencia para lo contrario en estos elementos.

5.2.3. El rotulado

Entre las aguas analizadas, Tottus, Jumbo, Jahuel y Puyehue tienen concentraciones de Na por porción suficientes para poder ser rotulado como “muy bajo” o “muy bajo aporte”. El resto de las aguas analizadas contiene menos de 5 mg de Na por porción, permitiéndoles ser rotuladas con los descriptores “Libre”, “No Contiene”, “Exento”, “Sin”, “Cero”, “0”, “0%”, “No tiene” en referencia al Na. Para aquellos que intentan reducir su consumo de Na se recomienda evitar las aguas de Tottus, Jumbo, Jahuel y Puyehue.

Como el rotulado es usado para entregar información al consumidor de manera oportuna y permitir la diferenciación entre las marcas se recomienda definir los tipos de información que se desea publicar como: información organoléptica, información nutritiva, e información de relevancia médica. De esta manera se pueden reconocer todas las dimensiones relevantes del agua para el cliente y solucionar el problema de la baja a nula información relevante que entrega el etiquetado (Mesías, 2009). El rotulado actual carece de muchos elementos que permitan efectivamente informar de estas propiedades. Por ello, a continuación, se muestran los lineamientos que se pueden hacer al rotulado de las aguas embotelladas para entregar mayor información al consumidor.

La información organoléptica es aquella relacionada a las propiedades presentes en el agua que permiten deducir su sabor. En el agua embotellada son el tipo de agua, la dureza, el pH e iones o compuestos que puedan afectar las propiedades organolépticas (NH_3 , Cl, Cu, Zn, Na, Ca, Mg, Mn, etc.).

La información nutritiva refiere a aquellos compuestos que entreguen energía o cumplan con un rol biológico importante para el consumidor final. En el agua embotellada debiesen ser tomando en cuenta el Li, Rb, Sr, Mg, Mo entre otros. Estos deberían ser rotulados en una forma similar al resto de las vitaminas y minerales, donde se ponen en el rotulo cuando superan un valor de 5 % de la ingesta diaria recomendada definida por alguna organización internacional o nacional, imitando las normas del rotulado definidas en el artículo 118 (MINSAL, 1996).

Finalmente, información de relevancia médica, en caso de existan compuestos en el producto que puedan ser tóxicos para parte de la población que consuma el producto, ya sea por condiciones de salud o ambientes de alta exposición. En el caso del agua embotellada debiese imponerse rotulados especiales para cuando se supere el 50 % de la concentración permitida por el Decreto 106 (MINSAL, 1997) o la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) para ciertos elementos o compuestos, siendo rotulados de manera similar a los elementos en el artículo 474 (MINSAL, 1996).

Capítulo 6

Conclusión

En este trabajo de título se ha analizado la composición fisicoquímica de diez marcas diferentes de agua envasada disponible para la venta en el mercado chileno. Es importante destacar que las distintas marcas no siempre tienen distinta procedencia, es decir que la misma agua puede ser comercializada con diferentes nombres. Por ejemplo, las marcas de Jahuel y Jumbo son ambas extraídas en las Termas de Jahuel (IV región). Lider, Liv, y Tottus son extraídas en Termas de Quinamávida (VII región) donde Liv y Tottus son extraídas exactamente de las Termas del Olvido.

El presente estudio pretende ser un punto de partida para poner el foco en la importancia de la calidad de las aguas envasadas chilenas, y en esta óptica tienen que ser leídos los resultados obtenidos ya que no se dispone de diferentes muestras por marca.

Los resultados han sido interpretados mediante una lógica semicuantitativa ya que no ha sido posible realizar un análisis estadístico por poblaciones (marcas o lugares de extracción). Los errores analíticos fueron estimados usando los valores de las soluciones estándar y fueron validados de la misma forma. Estos han resultado no ser significativos por lo cual la interpretación, desde un punto de vista geoquímico ambiental o geomédico, se puede considerar significativa. Por lo tanto, los resultados ayudan a conocer la composición de las aguas al comprar una botella de las marcas analizadas y, a establecer una discusión más amplia sobre un producto de uso común y los posibles efectos que puede tener su consumo a largo plazo.

Los resultados de las distintas aguas muestran diferentes composiciones químicas, con valores de dureza y conductividad distintos que van de 0,6 a 335,7 ppmCaCO₃ y de 14,9 a 487,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Las aguas envasadas analizadas son principalmente aguas con mineralización muy débil (5 muestras), blandas (4 muestras) y bicarbonatadas (4 muestras). El pH medido en laboratorio es fundamentalmente neutro a alcalino (promedio de 7,7) con la excepción de la muestra de agua de la marca Nestlé que resultó tener un pH más bien ácido (5,7).

La presencia de NO₃⁻ en varias muestras es probablemente por contaminación antrópica debido a que en los sectores estudiados no existen yacimientos de NO₃⁻ de Chile. El NO₃⁻ en estas aguas indica vulnerabilidad de los acuíferos correspondientes.

La tendencia de evolución de las actividades económicas en los sectores dónde afloran las aguas de las marcas analizadas indica una migración de la agricultura y la industria hacia la entrega de servicios. Este cambio quizás disminuya la presión antrópica sobre el recurso.

Los valores de NO_3^- en las muestras de Cachantun, Jahuel, Jumbo, Porvenir y Benedictino se alejan de las concentraciones usuales para las aguas subterráneas y se pueden relacionar con una interacción con el medio más superficial. Es decir que estos valores parecen ser más bien asociados a procesos de contaminación antrópica, principalmente agricultura, debido a que en los sectores estudiados no existen depósitos de minerales de nitratos. El NO_3^- en estas aguas indica cierta vulnerabilidad de los sistemas por el cual pasan las aguas explotadas por las empresas envasadoras.

La muestra de agua Cachantun presenta 44,24 mg/l de NO_3^- , que la EPA (2009), considera no aptas para el consumo especialmente en el caso de infantes. Debido al error inherente en la medición de NO_3^- en esta muestra, es posible que también supere las concentraciones permitidas por las leyes chilenas y las otras internacionales, o estar muy cerca de superar alguna norma. Sería adecuado profundizar la investigación en relación al origen de los NO_3^- en las aguas para consumo humano disponibles en Chile, por el riesgo que implica este contaminante.

La muestra de agua Porvenir es una de las muestras que cumple con las normativas vigentes en la cual no se encontró ningún elemento potencialmente dañino para la salud humana. Esta muestra, junto con las de Jahuel, Jumbo y Benedictino tiene concentraciones de NO_3^- bajas, aunque los valores tienden a alejarse de los mínimos naturales para las aguas subterráneas.

Las muestras de Andes Mountain y Benedictino, al igual que la de Porvenir, presentan concentraciones que están en los límites legales, aunque la dureza y la conductividad de éstas podrían ser consideradas un factor de riesgo por sus bajos valores. La muestra de agua de la marca Nestlé presenta un valor de pH (5,7) que no cumple con el límite fijado en la norma de agua potable chilena NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). No obstante, hay que indicar que no se conoce el efecto de la acidez en la salud humana.

Las muestras de Vital y Tottus presentan concentraciones de As inferiores al valor fijado por la norma chilena de aguas potables y las normas internacionales, pero no se aleja mucho del valor límite, no obstante, hay que considerar la exposición a este elemento. El agua de Tottus presenta una alta alcalinidad (9,3) que excede la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), pero, al igual que para la muestra Nestlé, no existen evidencia científica contundente de efectos adversos vinculados al consumo de estos tipos de aguas.

Las muestras de agua Jumbo, Jahuel y Puyehue presentan las más altas concentraciones de As determinadas en este estudio, superando un 25 y un 90 % el valor límite fijado en la norma NCH409/1 (INN *et al.*, 2005), implicando una clara exposición a este elemento durante la ingesta. Finalmente, la muestra de Puyehue también presenta concentraciones de B elevadas, indicando así que estos elementos puedan ser vinculados a los cercanos sistemas hidrotermales de las fuentes de embotellamiento.

Todas las aguas analizadas cumplen con la normativa vigente en Chile para las aguas minerales (Decreto 106, MINSAL, 1997). No obstante, comparando las 10 marcas analizadas

con normas y valores guías internacionales (SCF, 2003; EPA, 2009; OMS, 2011a) y la Norma Calidad del Agua Potable chilena (NCH409/1, INN *et al.*, 2005), seis muestras sobrepasan algún valor de las normativas analizadas: La muestra de Cachantun superó el valor permitido de nitratos de una norma (EPA, 2009); Las muestras de Jahuel, Jumbo y Puyehue sobrepasaron los valores permitidos de arsénico en la mayoría de las normas (SCF, 2003; INN *et al.*, 2005; EPA, 2009; OMS, 2011a); y las muestras de Tottus y Nestlé superaron los valores permitidos de pH de una norma (INN *et al.*, 2005). Las muestras de Andes Mountain, Porvenir, Vital y Benedictino presentan valores en rangos aceptados por todas las normas estudiadas.

Es necesario resaltar que el pequeño número de muestras analizadas en este estudio representan un envase cualquiera a disposición del consumidor y, los resultados no pueden considerarse como representativos de la población total de botellas de cada marca.

El Decreto 106 (MINSAL, 1997) se encuentra desactualizado ante la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005) y las normas internacionales. Debido a como se estructura la ley chilena con respecto de las aguas, la actualización de una norma no implica modificar la otra. El Decreto 106 (MINSAL, 1997) es particularmente permisivo ante el As, el Pb y el Cd. Se encontraron 3 muestras de agua que no pueden ser vendidas como agua potable (Jumbo, Jahuel y Puyehue) por las altas concentraciones de As, y el riesgo que conlleva tomarlas debido al As según la NCH409/1 y las normas internacionales. Los valores permitidos de As deberían ser cambiados a ser similares a los permitidos por el agua potable ($10 \mu\text{g}/\text{l}$), que es similar a las sugeridas por las normas internacionales.

Las regulaciones de Cd, a nivel nacional, permiten triplicar la concentración respecto a los valores recomendados en las normas internacionales. Las regulaciones del Pb en las normas de las aguas chilenas son más permisivas en comparación a los límites sugeridos por los organismos internacionales SCF (2003) y OMS (2011a), que sugieren $10 \mu\text{g}/\text{l}$ como concentración máxima. Además, en las normas chilenas no queda definido el límite para Sb ni Ni, que queda limitado a $20 \mu\text{g}/\text{l}$ y $5 \mu\text{g}/\text{l}$ por el SCF (2003), respectivamente. Los valores permitidos de estos elementos deberían seguir los estándares internacionales para la protección de la salud pública.

Las restricciones de algunos elementos (Cl, Mn, Mg, Zn) definidos en la normativa chilena no cumplen ninguna función para el consumidor, debido a que las concentraciones permitidas son tan altas que las aguas pueden adquirir propiedades organolépticas negativas en concentraciones inferiores a los valores máximos permitidos por ley. Para la definición de guías sanitarias concretas de estos elementos se requiere de mayor evidencia científica.

El rotulado chileno no cumple con indicar correctamente las propiedades de las aguas embotelladas que podrían ser importantes para el consumidor. El rotulado actual carece de información que puede ayudar a identificar: las propiedades organolépticas (tipo de agua, dureza, pH, cationes y aniones); nutricionales y de relevancia médica (presencia de elementos químicos particulares). En las muestras analizadas no se ha observado una clara relación calidad precio.

Estos primeros resultados han permitido abrir un espacio de discusión sobre la calidad de las aguas que beben muchos chilenos. Los datos obtenidos sugieren la necesidad de ampliar el estudio a todas las aguas disponibles para la venta y fomentar estudios de los sistemas

hidrogeológicos por los cuales discurren estas aguas.

También existe la necesidad de realizar estudios en relación a los efectos sobre la salud de algunos elementos críticos como Cs, Sr, Co, Rb, U, Tl, asbestos y Mo.

Finalmente se sugiere abordar las incongruencias existentes a nivel normativo entre el Decreto 106 (MINSAL, 1997) y la NCH409/1 (INN *et al.*, 2005). La ley de etiquetado debería entregar la información relevante de este producto al consumidor.

Capítulo 7

Bibliografía

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004a. Toxicological profile for Cesium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 19-54.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004b. Toxicological profile for Cobalt. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 27-117.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2004c. Toxicological profile for Strontium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 27-110.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2007. Toxicological profile for Barium and Barium Compounds. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 21-58.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2010. Toxicological profile for Boron. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 23-87.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 2013. Toxicological profile for Uranium. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. pp. 39-175.

ALDRESS, A. AL-MANEA, S. 2010. Fluoride content of bottled drinking waters available in Riyadh, Saudi Arabia. *The Saudi Dental Journal* 22: 189-193.

AMIRIDOU, D., VOUTSA, D. 2011. Alkylphenols and phthalates in bottled waters. *Journal of Hazardous Materials* 185: 281-286.

APPELO, C., POSTMA, D. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition. Great Britain, CRC Press. pp. 3-15.

ARMIJO M, SAN MARTÍN J. 1994 Curas balnearias y Climáticas. Madrid: Editorial Complutense.

BACH, C., DAUCHY, X., SEVERIN, I., MUNOZ, J., ETIENNE, S., CHAGNON, M. 2014. Effect of sunlight exposure on the release of intentionally and/or non-intentionally added substances from polyethylene terephthalate (PET) bottles into water: Chemical analysis and in vitro toxicity. *Food Chemistry* 162: 63-71.

BENAVENTE, O. 2010. Actividad hidrotermal asociada a los complejos volcánicos Planchón-Peteroa y Descabezado Grande-Quizapu-Cerro Azul, 36°S Y 37°S, ZONA VOLCÁNICA SUR, CHILE. Memoria de Geólogo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. 66 p.

BIRKE, M., RAUCH, U., BODO, H., LORENZ, H., GLATTE, W. 2010. Major and trace elements in German bottled water, their regional distribution and accordance with national and international standards. *Journal of Geochemical Exploration* 107(201): 245-271.

BRIAN, M. 2015. Aguas para gourmets: de lluvia, glaciares y napas subterráneas. [en línea] La Segunda, diario digital. 13 de abril, 2015. <<http://impresa.lasegunda.com/2015/04/13/A/9J2LUPGL/a11>>[consulta: 27 noviembre 2016]

BRAUN, J., KALKBRENNER, A., CALAFAT, A., YOLTON, K., YE, X., DIETRICH, K., LANPHEAR, B. 2011. Impact of Early-Life Bisphenol A Exposure on Behavior and Executive Function in Children. *Pediatrics* 128(5): 873-882.

BRENČIČ, M., FERJAN, T., GOSAR, M. 2010. Geochemical survey of Slovenian bottled waters. *Journal of Geochemical Exploration* 107: 400-409.

BUSTAMANTE, M., WALL, R., LEMUS, M., VIVALLOS, J. 2012. Recalificación termal de las aguas de vertiente de Los Andes – San Felipe, Región de Vaparaíso. En: CONGRESO GEOIÓGICO Chileno 13. Antofagasta, Chile. Unidad de Recursos Energéticos, Departamento de geología Aplicada, Servicio Nacional de Geología y minería. pp. 571-573.

CARKOVIC, A., CALCAGNI, M., VEGA, A., COQUERY, M., MOYA, P., BONILLA, C., PASTÉN, P. 2016. Active and legacy mining in an arid urban environment: challenges and perspectives for Copiapó, Northern Chile. *Environmental Geochemistry and Health* 38(4): 1001-1014.

CELIS, R. 2012. Caracterización geoquímica del sistema geotermal. Memoria de Geólogo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. pp. 41-63.

CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE(CENMA). 2010. Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en aguas, Cuenca del río Cachapoal. Santiago, Gobierno de Chile, Ministerio de Obras públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de conservación y protección de recursos Hídricos, Centro Nacional del medio ambiente. pp. 48-93.

CICHELLA, D., ALBANESE, S., DE VIVO, B., DINELLI, E., GIACCIO, L., LIMA, A., VALERA, P. 2010. Trace elements and ions in Italian bottled mineral waters: Identification

of anomalous values and human health related effects. *Journal of Geochemical Exploration* 107: 336-349.

CLESCERL, L., GREENBERG, A., EATON, A. 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th edition. United States of America, American Public Health Association. pp.

CROUNSE, R., PORIES, W., BRAY, J., MAUGER, R. 1983. *Geochemistry and man: health and disease*, part 1 and 2. In: Thornton, I. (Ed.), *Applied Environmental Geochemistry*. London, Academic Press. pp. 267–333.

CUSTODIO E. Y LLAMAS M. 1976. *Hidrología Subterránea*. Primera edición. Madrid, Editorial Omega. Tomo I 1194 p., Tomo II 1224 p.

DENG, P., XU, Z., KUANG, Y. 2014. Electrochemical determination of bisphenol A in plastic bottled drinking water and canned beverages using a molecularly imprinted chitosan–graphene composite film modified electrode. *Food Chemistry* 157: 490-497.

DINELLI, E., LIMA, A., DE VIVO, B., ALBANESE, S., CICCHELLA, D., VALERA, P. 2010. Hydrogeochemical analysis on Italian bottled mineral waters: Effects of geology. *Journal of Geochemical Exploration* 107: 317-335.

DUDKA, S., ADRIANO, D. 1997. Environmental Impacts of Metal Ore Mining and Processing: A Review. *J. Environ. Qual.* 26:590-602.

EMOL. 2012. Consumo de agua embotellada en Chile se duplica en los últimos siete anuales. 2012. [en línea] Emol, a través de Aguamarket. 20 de enero 2012. <http://www.aguamarket.com/noticias/noticias.asp?id_noticia=3036&Noticia=consumo+de+agua+embotellada+en+chile+se+duplica+en+los+ultimos+siete+anuales>[consulta: 27 noviembre 2016]

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF STATES UNITED OF AMERICA (US EPA). 2009. National Primary Drinking Water Regulations. US Environmental Protection Agency. [en línea] <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations> [consulta: 18 mayo 2017]

ESPINOSA, M. 2011. Consumo de bebidas en Chile se frena y agua embotellada gana terreno. [en línea] Pulso. Empresa y mercado. 11 de abril, 2016. <<http://www.pulso.cl/noticia/empresa---mercado/empresa/2016/04/11-83845-9-consumo-de-bebidas-en-chile-se-frena-y-agua-embotellada-gana-terreno.shtml>>[consulta: 27 noviembre 2016]

EUROMONITOR INTERNATIONAL. 2012. Bottled Water in Chile. Volume 2012. [en línea] <http://www.euromonitor.com/bottled-water-in-chile/report> [consulta: 27 noviembre 2016]

EUROMONITOR INTERNATIONAL. 2016. Bottled Water in Chile. Volume 2016. [en línea] <http://www.euromonitor.com/bottled-water-in-chile/report> [consulta: 27 noviembre 2016]

FERRECCIO, C., SANCHA, A. 2006. Arsenic Exposure and Its Impact on Health in Chile.

Journal of Health, Population and Nutrition 24(2): 164-175.

FERRECCIO, C., STEINMAUS, C. 2016. Levels of arsenic in drinking water and short and long-term health effects in northern Chile, 1958–2010. London, Taylor & Francis Group. pp. 370-372.

FLORES, G., KLEIMAN, A., SALINGER, G. 2014. Plan de negocio: producción de agua purificada EASY WATER. Seminario de Ingeniero Comercial, Mención Administración. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Economía y negocios. 13 pp.

FRENGSTAD, B., LAX, K., TARVAINEN, T., JÆGER, Ø., WIGUM, B. 2010. The chemistry of bottled mineral and spring waters from Norway, Sweden, Finland and Iceland. Journal of Geochemical Exploration 107: 350–361.

FRENGSTAD, B., MIDTGÅRD, A.K., BANKS, D., KROG, J.R., SIEWERS, U. 2000. The chemistry of Norwegian groundwaters III. The Distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques. The Science of the Total Environment 246(1): 21–40.

GARLAND, J., LEWIS, T., WAGNER, W. 1975. Acute toxicity of cesium and rubidium compounds. Toxicology and Applied Pharmacology 32(2): 239-245.

GIGGENBACH, W. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca. Geochimica et Cosmochimica Acta 52(12): 2749-2765.

GÜLER, C, ALPASLAN, M. 2009. Mineral content of 70 bottled water brands sold on the Turkish market: Assessment of their compliance with current regulations. Journal of Food Composition and Analysis 22: 728-737.

GÜLER, C. 2007. Evaluation of maximum contaminant levels in Turkish bottled drinking waters utilizing parameters reported on manufacturer's labeling and government-issued production licenses. Journal of Food Composition and Analysis 20: 262-272.

HALDEN, R. 2010. Plastics and Health Risks. Annu. Rev. Public Health 31:179–194.

HALL, K., Y NORTHCOTE, T. 1986. Conductivity-temperature standardization and dissolved solids estimation in a meromictic saline lake. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 2450-2454.

HAUSER, A. 1999. Baños de Apoquindo: Caracterización, Hidroquímica, modelo hidrotermal y alternativas de aprovechamiento. Revista de geografía Norte Grande 26: 23-26.

HELIOS E. 1996. Impact of mining and metallurgical industries on the environment in Poland. Applied Geochemistry 11(1-2):3-9.

HEM, J. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geological Survey Water – Supply Paper 2254: 263.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN), SALAZAR, C., ETCHEBERRI-GARAY, M., CÁCERES, A., ECHEVERRÍA, E., PIZARRO, J., BRUNA, A., LISBOA, E.,

LOZANO, V., PARRA, X., SANTA ANA, S., GIVOVICH, A., SIMPSON, G., MARDONES, R., MUÑOZ, A., GANDORAL, S., VILLALÓN, R., SEPÚLVEDA, C., AGUILAR, G., MONREAL, J., RUIZ, M., LAGOS, G., CEPEDA, N., CRISTI, R., LILLO, C., MAURER, C., ALARCÓN, E., DEL VILLAR, M. CHILE. 2005. NCH409/1: Norma Chilena de Calidad de Agua Potable, 26 de junio 2006. pp. 4-6.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 1989. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 47, Antimony Trioxide and Antimony Trisulfide. Lyon, WHO press. pp. 297-305.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 2006. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 86, Cobalt in Hard Metals and Cobalt Sulfate, Gallium Arsenide, Indium Phosphide and Vanadium Pentoxide. Lyon, WHO press. pp. 35-133.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 2012a. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, Cadmium and cadmium compounds. Lyon, WHO press. pp. 121-141.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). 2012b. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 100C, Nickel and Nickel Compounds. Lyon, WHO press. pp. 169-211.

INTERNATIONAL BOTTLED WATER ASSOCIATION (IBWA). 2015. Bottle Water Code of Practice. Virginia, International Bottled Water Association, 18 p.

INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (IPCS). 2001. Barium and barium compounds, CICADS 33. [en línea] <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad33.htm> [consulta: 27 noviembre 2016]

KARAMANIS, D., STAMOULIS, K., IOANNIDES, K. 2006. Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece. *Desalination* 213: 90-97.

KOLPAKOV, F., AND KOLPAKOVA, A. 1975. The effect of some metals of the platinum group on the skin of experimental animals. *Vestn. Dermatol. Venerol.* 11: 61-64.

KOZISEK, F. 2005. Health Risks from Drinking Demineralised Water. Nutrients in Drinking Water. Czech Republic, National Institute of Public Health. pp. 148-159.

KRACHLER, M., SHOTYK, W. 2009. Trace and ultratrace metals in bottled waters: Survey of sources worldwide and comparison with refillable metal bottles. *Science of the total environment* 407: 1089-1096.

KUMAR, K., GUPTA, S., CHANDER, Y., SINGH, A. 2005. Antibiotic Use in Agriculture and Its Impact on the Terrestrial Environment. *Advances in Agronomy* 87: 1-54.

LABORATORIO DE COMPLEMENTOS NUTRICIONALES (LCN). 2012. Nutrientes. [en línea] <http://www.laboratoriolcn.com/molibdeno/cdr-rda-ia-ul-y-ms1> [consulta: 27 noviembre 2016]

- LEIVA, G. [2013]. Cachantun [diapositiva].<<https://prezi.com/otbcc43pzfdp/cachantun/>>
[consulta: 27 noviembre 2016]
- LENNTECH. 2007. Lithium and water: reaction mechanisms, environmental impact and health effects. [en línea] www.lennotech.com/elements-and-water/lithium-andwater.htmS. [consulta: 27 noviembre 2016]
- LI, X., GUANG-GUO, Y., JIAN-LIANG, Z., ZHI-FENG, C., HUA-JIE, L., HAO-CHANG, S. 2013. 4-Nonylphenol, bisphenol-A and triclosan levels in human urine of children and students in China, and the effects of drinking these bottled materials on the levels. *Environment International* 52: 81-86.
- MANIKKAM, M., TRACEY, R., GUERRERO-BOSAGNA, C., SKINNER, M. 2013. Plastics Derived Endocrine Disruptors (BPA, DEHP and DBP) Induce Epigenetic Transgenerational Inheritance of Obesity, Reproductive Disease and Sperm Epimutations. *PLOS ONE* 8(1): 1-19.
- MARTINI, S. 2008. Sistemas Estructurales y Recursos Geotermales en la Cordillera Principal de Chile Central (32°30' – 34°00' de Latitud Sur). Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- MASON, B. 1974. Principles of Geochemistry, third ed. New York, John Wiley& Sons Inc.
- MATTHES, G. 1982. The properties of Groundwater. New York, John Wiley& Sons Inc. 406 p.
- MEEKER, J. 2012. Exposure to Environmental Endocrine Disruptors and Child Development. *Arch Pediatr Adolesc Med.* 166(10):952-958.
- MESÍAS, P. 2009. Análisis químico de aguas minerales v/s aguas purificadas de mayor consumo en Chile. [en línea] https://issuu.com/conadecus/docs/extracto_informe_de_aguas [consulta: 27 noviembre 2016]
- MINISTERIO DE SALUD (MINSAL). CHILE. 1997. Decreto 106: Reglamento de Aguas Minerales, 20 de septiembre, 2001. pp. 1-9.
- MINISTERIO DE SALUD (MINSAL). CHILE. 1996. Decreto 977/96: Reglamento Sanitario de los Alimentos, 28 de noviembre, 2016, 144 p.
- MISUND, A., FRENGSTAD, B., SIEWERS, U., REIMANN, C. 1999. Variation of 66 elements in European bottled mineral waters. *The Science of the Total Environment* 243-244: 21-41.
- NATIONAL RESEACH COUNCIL (NRC). 1977. Drinking water and health. Washington, The National Academy of Sciences. Volumen 1.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2nd rev. ed. Washington, The National Academies Press. pp. 328-335.

NERBRAND, C., AGRÉUS, L., ARVIDSSON, L., NYBERG, P., SVÄRDSUDD. 2003. The influence of calcium and magnesium in drinking water and diet on cardiovascular risk factors in individuals living in hard and soft water areas with differences in cardiovascular mortality. *BMC Public Health* 3(1): 21-29.

NIELSEN, F. 1998. Ultratrace elements in nutrition: Current knowledge and speculation. *J. Trace Elem. Exp. Med.* 11: 251-274.

NORDSTROM, D., MCCLESKEY, R., BALL, J. 2008. Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-Sulfate waters. *US Geological Survey* 24, 2: 191-207.

O'CONNOR, N. 2015. Gráfico del Día: El consumo de agua embotellada en América Latina. [en línea] *America Economía*. 12 de agosto, 2015. <<http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/grafico-del-dia-el-consumo-de-agua-embotellada-en-america-latina>>[consulta: 27 noviembre 2016]

OCHIENG, G., SEANEGO, E., NKWONTA, O. 2010. Impacts of mining on water resources in South Africa: A review. *Scientific Research and Essays* 5(22): 3351-3357.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2005. *Nutrients in drinking water*. First Edition. Geneva, WHO press. pp. 148-158.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2006. *Guidelines for Drinking-Water Quality*. First and Second Addenda to Third Edition, Volume 1. Geneva, WHO press. 460 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2009. *Calcium and magnesium in drinking-water: public health significance*. Geneva, World Health Organization. pp. 16-94.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2011a. *Guidelines for Drinking-water Quality*. Fourth Edition, Volume 1. Malta, WHO press. 307-434 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2011b. *Hardness in Drinking-water*. Geneva, WHO press. pp. 1-6.

OYARZÚN, R., GUEVARA, S., OYARZÚN, J., LILLO, J., MATURANA, H., HIGUERAS, P. 2006. The As-Contaminated Elqui River Basin: A Long-Lasting Perspective (1975-1995) Covering the Initiation and Development of Au-Cu-As Mining in the High Andes of Northern Chile. *Environmental Geochemistry and Health* 28(5): 431-443.

OZGÜR, S., SÜMER, H., KOÇOĞLU, G. 1996. Rickets and soil strontium. Department of Public Health, Faculty of Medicine, Gaziantep University, Turkey. *Archives of disease in childhood* 75(6): 524-426.

PALMER, M., BERNHARDT, E., SCHLESINGER, W., ESHLEMAN, K., FOUFOULA-GEORGIOU, E., HENDRYX, M., LEMLY, A., LIKENS, G., LOUCKS, O., POWER, M., WHITEM, P., WILCOCK, P. 2010. Mountaintop Mining Consequences. *Science* 237(5962): 148-149.

- PALOMO, M., PEÑALVER, A., BORRULL, F., AGUILAR, C. 2007. Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes* 65: 1165-1172.
- PARRA, A., OYARZÚN, J., MATURANA, H., KRETSCHMER, N., MEZA, F., OYARZÚN, R. 2011. Natural factors and mining activity bearings on the water quality of the Choapa basin, North Central Chile: insights on the role of mafic volcanic rocks in the buffering of the acid drainage process. *Environmental Monitoring and Assessment* 181(1): 69-82.
- PEH, Z., ŠORŠA, A., HALAMIĆ, J. 2010. Composition and variation of major and trace elements in Croatian bottled waters. *Journal of Geochemical Exploration* 107: 227-237.
- PIMENTEL, D., BERGER, B., FILIBERTO, D., NEWTON, M., WOLFE, B., KARABINAKIS, E., CLARK, S., POON, E., ABBETT, E., NANDAGOPAL, S. 2004. Water Resources: Agricultural and Environmental Issues. *BioScience* 54(10):909-918.
- PINTO, E., ALMEIDA, A., FERREIRA, I. 2016. Essential and non-essential/toxic elements in rice available in the Portuguese and Spanish markets. *Journal of Food Composition and Analysis* 48: 81-87.
- PRADEL, D. 2015. Aguas minerales registran alza de precios hasta dos dígitos por mayor demanda. [en línea] *El Mercurio: Economía y negocios*. 3 de octubre, 2015. <<http://www.economianegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=188799>>[consulta: 27 noviembre 2016]
- RAZO, I., CARRIZALES, L., CASTRO, J., DÍAZ-BARRIGA F., MONROY, M. 2004. Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution* 152(1) :129–152
- REAL, M. MOLINA-MOLINA, J., JIMÉNEZ-DÍAZ, I, ARREBOLA, J., SÁENZ, J., FERNÁNDEZ, M., OLEA, N. 2015. Screening of hormone-like activities in bottled water available in Southern Spain using receptor-specific bioassays. *Environmental International* 74: 125-135.
- RETAIL FINANCIERO. 2014. 48 % Han Crecido las Ventas de Agua Embotellada en Cinco Años. 2014. [en línea] *Retail Financiero*. 15 de diciembre, 2014. <<http://www.retailfinanciero.org/noticiasrss/48-han-crecido-las-ventas-de-agua-embotellada-en-cinco-anos/>>[consulta: 27 noviembre 2016]
- ROWELL, C., KUIPER, N., PREUD'HOMME, H. 2016. Is container type the biggest predictor of trace elements and BPA leaching from drinking water bottles?. *Food Chemistry* 202: 88-93.
- RUBIN, B. 2011. Bisphenol A: An endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 127(1-2): 27-34.
- SCHRAUZER, G. 2002. Lithium: occurrence, dietary intakes, nutritional essentiality. *J. Am. Coll. Nutr.* 21(1): 14–21.
- SENGUPTA, P. 2013. Potential Health Impacts of Hard Water. *International Journal of Preventive Medicine* 4(8): 866-875.

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012a. Casablanca - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Casablanca> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012b. Coinco - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Coinco> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012c. Colbún - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Colbún> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012d. Cunco - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Cunco> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012e. Puyehue - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Puyehue> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012f. Rengo - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/Rengo> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2012g. San Felipe - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] http://reportescomunales.bcn.cl/2012/index.php/San_Felipe [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015a. Casablanca - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Casablanca> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015b. Coinco - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Coinco> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015c. Colbún - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Colbún> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015d. Cunco - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Cunco> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015e. Puyehue - Reportes Estadísticos Comunales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Puyehue> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015f. Rengo - Reportes Estadísticos Co-

municipales. [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Rengo> [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). 2015g. San Felipe - Reportes Estadísticos Comunes. [en línea] http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/San_Felipe [consulta: 27 noviembre 2016]

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN). 2003. MAPA GEOLÓGICO de CHILE: VERSIÓN DIGITAL. 4ta edición. Publicación Geológica Digital, Subdirección Nacional de Geología. Esc. 1:1000000. Color.

SERVICIO NACIONAL DEL CONSUMIDOR (SERNAC). 2002. Análisis de calidad de las marcas comercializadas en Santiago (Mayo, 2001). [en línea] Servicio nacional del consumidor. 8 de Junio, 2002. <<http://www.sernac.cl/33405/>> [consulta 10 febrero 2017]

SHOTYK, W., KRACHLER, M., CHEN, B. 2006. Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers. *Journal of Environmental Monitoring* 8(2): 288–292.

SNOEYICK, V. Y JENKINS, D. 1980. *Water chemistry*. New York, John Wiley & sons.

SOCIEDAD DE FOMENTO FABRIL (SOFOFA). 2012 Aguas embotelladas: empresas buscan nuevos nichos tras explosivo aumento del consumo. [en línea] SOFOFA. 2012. <<http://www.sofofa.cl/mantenedor/detalle.asp?p=60&s=6040&n=21360>> [consulta: 27 noviembre 2016]

SOTO, A., SONNENSCHNEIN, C. 2010. Environmental causes of cancer: endocrine disruptors as carcinogens. *Nature Reviews Endocrinology* 6(7): 363-370.

STEINMAUS, C., FERRECCIO, C., ACEVEDO, J., YUAN, Y., CORTES, S., MARSHALL, G., MOORE, J., BALMES, J., LIAW, J., GOLDEN, T., SMITH, A. 2013. Drinking Water Arsenic in Northern Chile: High Cancer Risks 40 Years after Exposure Cessation. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 22(4): 623–30.

SU, Y., CHEN, L., HE, J., YUAN, X., CEN, Y., SU, F., TANG, L., Z, A., CHEN, W., LIN, Y., WANG, S., REN, Z. 2011. Urinary rubidium in breast cancers. The School of Public Health, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, China. *Clinica Chimica Acta*, Volume 412(23-24): 2304-2309.

SULLIVAN, F. 2014. Consumo per cápita de agua embotellada crece más del 50 % en Chile en la última década. [en línea] *Emol. Economía*. 15 de febrero, 2014. <<http://www.emol.com/noticias/economia/2014/02/13/644771/chile-consumo-per-capita-de-agua-embotellada-crece-mas-del-50-en-la-ultima-decada.html>> [consulta: 27 noviembre 2016]

CELIS, R., REICH, M. BASCUÑAN, R. 2012. Caracterización geoquímica del sistema geotermal Termas de Puyehue-Aguas Calientes. 2012. En: CONGRESO GEOLOGICO Chileno 13. Antofagasta, Chile. Universidad Católica del Norte. pp. s.p.

THORNTON, I. 1996. Impacts of mining on the environment; some local, regional and global

issues. *Applied Geochemistry* 11(1-2): 355-361.

UNION EUROPEA. SCIENTIFIC COMMITTEE ON FOOD (SCF). 2003. Directiva 2003/40/CE de la Comisión. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 16 de mayo 2003. pp. 1-5.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2016a. PHREEQC. [en línea] http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/ [consulta: 27 noviembre 2016]

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). 2016b. Water Hardness and Alkalinity. [en línea] <http://water.usgs.gov/owq/hardness-alkalinity.html#hardness> [consulta: 27 noviembre 2016]

VANDENBERG, L., MAFFINI, M., SONNENSCHNEIN, C., RUBIN, B., SOTO, A. 2009. Bisphenol-A and the Great Divide: A Review of Controversies in the Field of Endocrine Disruption. *Endocr Rev* 30(1): 75-95.

WAGNER, M., OEHLMANN, J. 2010. Endocrine disruptors in bottled mineral water: Estrogenic activity in the E-Screen. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 127: 128-135.

WATER QUALITY ASSOCIATION (WQA). 2016. Scale Deposits. [en línea] <https://www.wqa.org/learn-about-water/perceptible-issues/scale-deposits> [consulta: 27 noviembre 2016]

WAUCHOPE, R. 1977. The Pesticide Content of Surface Water Draining from Agricultural Fields—A Review. *J. Environ. Qual* 7:459-472.

WEINER, M. 1991. Overview of lithium toxicology. Overview of lithium toxicology. In: Schrauzer, G.N., Klippel, K.F. (Eds.), *Lithium in Biology and Medicine*. VCH Verlag, Weinheim, pp. 83-99.

WU, S., XU, Q., CHEN, T., WANG, MING, W., YIN, X., ZHANG, N., SHEN, Y., WEN, Z., GU, Z. 2010. Determination of Bisphenol A in Plastic Bottled Drinking Water by High Performance Liquid Chromatography with Solid-membrane Extraction Based on Electrospun Nylon 6 Nanofibrous Membrane. *Chinese Journal of Analytical Chemistry* 38(4): 503-507.

YOUNGER, P., WOLKERSDORFER, C. 2004. Mining Impacts on the Fresh Water Environment: Technical and Managerial Guidelines for Catchment Scale Management. *Mine Water and the Environment* 23(1):2-80.

ZALIDISA, G., STAMATIADIS, S., TAKAVAKOGLU, V., ESKRIDGE, K., MISOPOLINOSA, N. 2002. Agriculture, Ecosystems & Environment 88(2): 137-146.

ZUÑIGA, P. 2012. Consumo de agua embotellada en Chile se duplicó en cinco años. [en línea] *Diario La tercera*, sección negocios. 4 de noviembre, 2012. <<http://diario.latercera.com/2012/11/04/01/contenido/negocios/27-122158-9-consumo-de-agua-embotellada-en-chile-se-duplico-en-cinco-anos.shtml>> [consulta: 27 noviembre 2016]

Capítulo 8

Anexo

8.1. Anexo A: estudio de mercado y lista de compras

Cachantun	500 cc			1000cc	1600cc			2250 cc		6000 cc
	Con gas	Sin gas	Light gas	Sin gas	Con gas	Sin gas	Light gas	Con gas	Sin gas	Sin gas
Jumbo	589	589	589	679	619	619	619	759	-	1359
Lider	550	550	550	679	570	570	570	750	750	1349
Tottus	569	-	-	-	595	595	-	679	-	1499
Montserrat	-	-	-	699	629	629	-	-	-	1549

Jahuel	330 cc		500 cc		1600 cc	
	Con gas	Sin gas	Con gas	Sin gas	Con gas	Sin gas
Jumbo	399	399	419	419	639	639
Tottus	-	-	-	-	629	629

Jumbo	500 cc		1600 cc	
	Con gas	Sin gas	Con gas	Sin gas
Jumbo	529	529	569	569

Tottus	1600 cc			6000 cc
	Con gas	Sin gas	Light gas	Sin gas
Tottus	390	390	390	1090

Nestlé	500 cc		1500 cc		6000 cc
	Con gas	Sin gas	Con gas	Sin gas	Sin gas
Jumbo	449	449	479	479	1249
Lider	450	450	480	480	1190
Tottus	449	449	-	-	1349
Montserrat			559	559	1349

Vital	500 cc	590 cc			600 cc		900 cc	990 cc	1600 cc		5000 cc
	Sin gas	Con gas	Sin gas	Light gas	Con gas	Sin gas	Sin gas	Sin gas	Con gas	Sin gas	Sin gas
Jumbo	529	-	-	-	589	589	-	749	599	599	1499
Lider	-	590	590	590	-	-	-	720	580	580	1490
Tottus	-	-	-	-	589	589	749	-	619	619	1599
Montserrat					489	489			449	449	

Porvenir	330 cc	750 cc	1500 cc	
	Con gas	Sin Gas	Con gas	Sin gas
Jumbo	479	1000	599	599
Lider	480	910	-	-
Tottus	-	-	719	719

Puyehue	330 cc	500 cc			750 cc			1500 cc		
	Sin gas	Con gas	Sin gas	Light gas	Con gas	Sin gas	Light gas	Con gas	Sin gas	Light gas
Jumbo	-	609	609	609	1139	1139	1139	798	798	798
Tottus	590	-	569	-	-	-	-	-	-	-

Andes Mountain	500 cc	
	Con gas	Sin gas
Jumbo	1290	1290
Tottus	1399	1399

Marca	Punto de compra	Botella/gas	Precio
Andes Mountain	Jumbo	1000 cc	
		Sin gas	990
Benedictino	Montserrat	1500 cc	
		Sin gas	559
Cachantun	Lider	1600cc	
		Sin gas	570
Jahuel	Tottus	1600 cc	
		Sin gas	629
Jumbo	Jumbo	1600 cc	
		Sin gas	569
Nestlé	Jumbo	1500 cc	
		Sin gas	479
Porvenir	Jumbo	1500 cc	
		Sin Gas	599
Puyehue	Jumbo	1500 cc	
		Sin gas	798
Tottus	Tottus	1600 cc	
		Sin gas	390
vital	Montserrat	1600 cc	
		Sin gas	449
Costo:			6032

8.2. Anexo B: datos relativos a los cambios de actividades en las comunas dónde se envasan las aguas analizadas

Tabla 8.1: variaciones de la actividad económica de la comuna de Cunco entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012d; SII, 2015d).

Cunco (Andes Mountain)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	43,2	37,2	31,3	24,8
Minería e industria	4,1	5,2	1,3	3,2
Construcción	3,5	4,4	3,1	6,3
Servicios	18,2	19,5	25,7	17,4
Servicios públicos	30,4	33,0	37,8	47,8

Tabla 8.2: variaciones de la actividad económica de la comuna de Coinco entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012b; SII, 2015b).

Coinco (Cachantun)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	38,5	31,1	27,8	23,5
Minería e industria	5,7	3,9	5,5	4,2
Construcción	11,9	9,1	9,3	3,6
Servicios	14,8	13,1	14,8	24,7
Servicios públicos	29,1	42,8	42,4	43,9

Tabla 8.3: variaciones de la actividad económica de la comuna de San Felipe entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012g; SII, 2015g).

San Felipe (Jahuel y Jumbo)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	41,4	39,1	29,0	23,7
Minería e industria	13,9	11,8	14,0	15,6
Construcción	4,9	5,0	5,2	4,7
Servicios	24,0	25,9	32,0	32,7
Servicios públicos	15,4	17,6	19,2	22,5

Tabla 8.4: variaciones de la actividad económica de la comuna de Casablanca entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012a; SII, 2015a).

Casablanca (Porvenir)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	30,7	23,3	20,9	18,8
Minería e industria	25,8	26,7	24,6	22,8
Construcción	11,6	7,5	4,8	7,4
Servicios	21,1	30,6	36,8	37,6
Servicios públicos	10,5	11,7	12,8	12,8

Tabla 8.5: variaciones de la actividad económica de la comuna de Puyehue entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012e; SII, 2015e).

Puyehue (Puyehue)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	50,6	49,7	45,8	41,2
Minería e industria	2,3	2,4	2,4	4,3
Construcción	6,1	4,1	5,4	5,7
Servicios	29,1	30,6	32,8	32,2
Servicios públicos	11,7	13,0	13,2	16,2

Tabla 8.6: variaciones de la actividad económica de la comuna de Colbún entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012c; SII, 2015c).

Colbún (Tottus)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	27,1	38,3	39,4	31,4
Minería e industria	35,9	14,9	2,2	14,9
Construcción	8,4	5,5	9,9	10,8
Servicios	11,9	18,6	25,9	21,3
Servicios públicos	16,6	22,0	22,2	21,2

Tabla 8.7: variaciones de la actividad económica de la comuna de Rengo entre el 2007 y el 2013 (SII, 2012f; SII, 2015f).

Rengo (Vital)	2007	2009	2011	2013
Agrícola	47,2	46,4	44,1	37,1
Minería e industria	11,3	9,0	8,4	9,3
Construcción	6,4	3,8	5,5	5,7
Servicios	23,4	30,1	30,0	30,1
Servicios públicos	11,7	10,7	12,0	17,7

Tabla 8.8: fuente de las muestras

Marca	Proveniencia	Región	Lugar de envasado	Empresa	Comentarios
Andes Mountain	Lago Colico	IX	Camino Los Laureles Lago Colico Km.20 N° S/N°, Cusco, Región de la Araucanía.	Aguas Santa Amalia S.A.	
Benedictino	Purificada	RM, II, IV, XII*	(REN)Calle Miraflores N°9153, Renca*	Embotelladora Andina S.A.	** (tienen códigos que diferencian el lugar de envasado y su proveniencia) AN: antofagasta (Pedro Aguirre Cerda N° 7986, Res S.S. N° 1213 del 28.03.2012. II Región) CO: Coquimbo (Barrio Industrial S/N° Alto Puñuelas. Res S.S. N° 712 del 21.10.98. IV Región) o PA: Punta Arenas (Zenteno 730. Res. S.S. N°67 del 29.01.2002. XII Región.
Cachantun	Coinco	VI	Calle Ureta N° 1140, Copequén, Comuna de Coinco, Rancagua	CCU-Nestlé Chile S. A	
Jahuel	Termas de Jahuel	IV	Fundo Jahuel S/N° Santa Maria, San Felipe	Embotelladora de Aguas Jahuel S.A.	Termal de "fuente curativa"
Jumbo	Termas de Jahuel	IV	Fundo Jahuel S/N° Santa Maria, San Felipe	Embotelladora de Aguas Jahuel S.A.	Termal de "fuente curativa"

Tabla 8.9: fuente de las muestras

Marca	Proveniencia	Región	Lugar de envasado	Empresa	Comentarios
Nestlé	Purificada	RM	Avda. Presidente Eduardo Frei Montalva N°1500, Renca, Región Metropolitana.	Embotelladoras Chilenas Unidas S.A.	
Porvenir	Casablanca	V	Fundo El Porvenir S/N°, Casablanca, V Región.	CCU-Nestlé Chile S. A	
Puyehue	Parque Nacional Puyehue	X	Ruta 215, Km 73. Puyehue, X región.	Embotelladora Agua Mineral Puyehue S.A.	Declarada "Fuente curativa"
Tottus	Termas el Olvido	VII	Sector Quinamávida S/N°, comuna Colbún, Linares VII Región, Chile.	Embotelladora Metropolitana S.A.	Termal de "fuente curativa" (es extraída en el mismo lugar que Liv)
Vital	Termas de Chanqueahue	VI	Camino a la Vital N°1001, Rengo, Casilla N°101, Chile	Coca-Cola Company.	Termal de "fuente curativa"

8.3. Anexo C: resultados

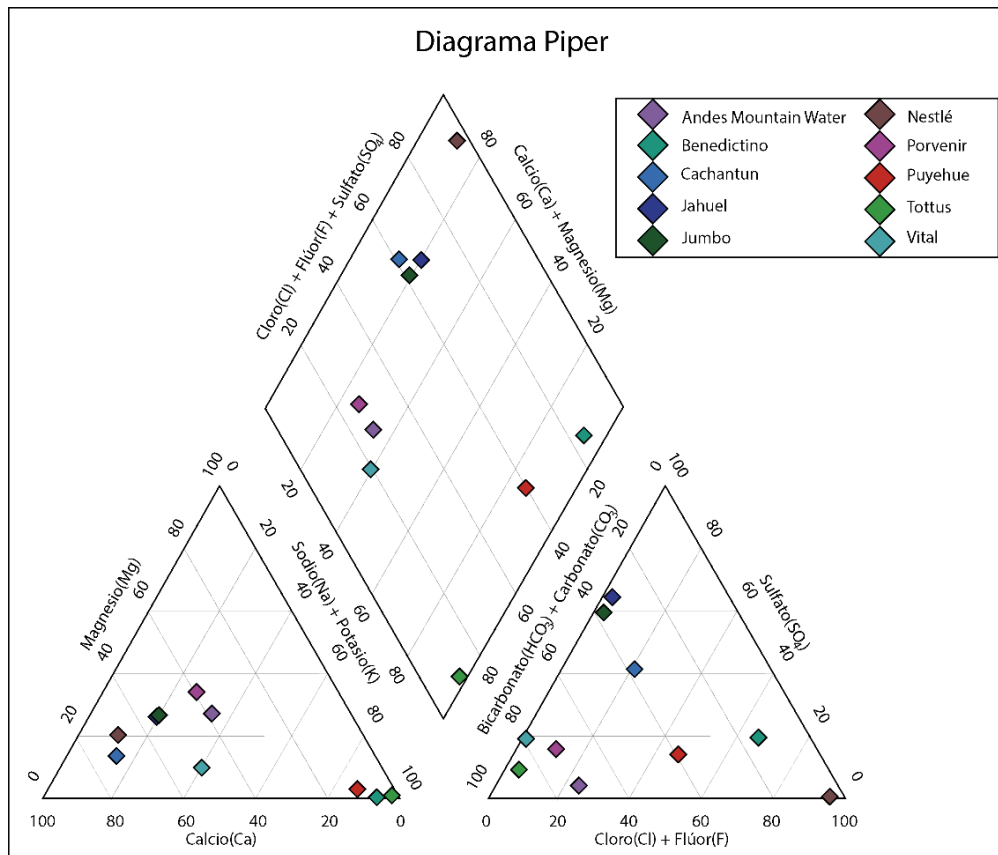


Figura 8.1: diagrama Piper de las muestras analizadas.

Tabla 8.10: resultados analíticos de los aniones en la solución estándar con los errores presentes en su medición.

Aniones	Solución de Referencia Multi Anion	Error
F^-	9,8(10,0)	2
Cl^-	10,4(10,0)	4
SO_4^{2-}	10,2(10,0)	2
NO_3^-	10,6(10,0)	6

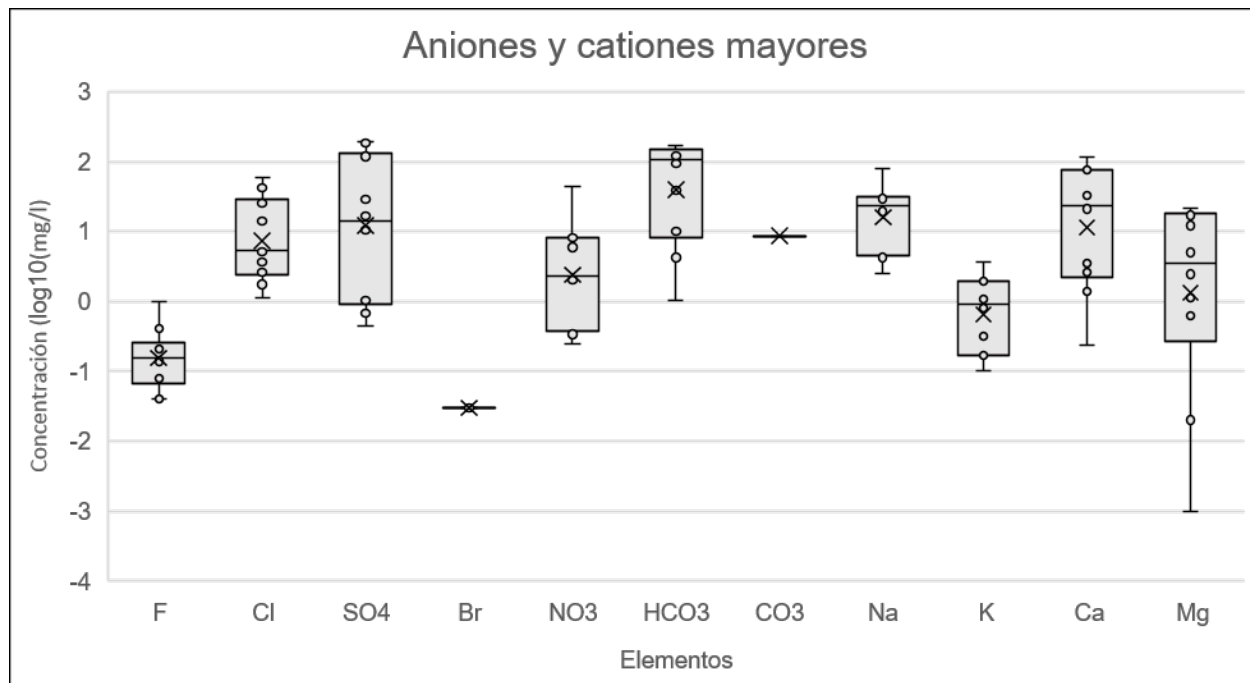


Figura 8.2: gráfico de caja y bigotes de los aniones y cationes mayores presentes en las muestras analizadas.

Tabla 8.11: resultados analíticos de los cationes en la solución estándar con los errores presentes en su medición.

Cationes	Solución de Referencia (STD1)	Error
Na	5,2(5,0)	4
K	1,2(1,0)	20
Ca	5,3(5,0)	6
Mg	4,9(5,0)	2
NO ₃ ⁻	10,6(10,0)	6

Tabla 8.12: resultados analíticos de elementos traza y minoritarios de las soluciones estándar SRM 1640a y QWSTM25 con los errores presentes en su medición.

Elementos	SRM 1640a*	Error	QWSTM25*	Error
Li	0,42 (0,41)	4,3		
Be	2,87 (3,03)	5,2	4,34 (4,27)	1,6
B	290,3 (303,1)	4,2	1301 (1280)	1,6
Al	51,2 (53,0)	3,4	196 (188)	4,3
Cr	37,80 (40,54)	6,8	57,3 (58,6)	2,2
Fe	42,4 (36,8)	15,2		
Mn	37,88 (40,39)	6,2	425 (424)	0,2
Co	19,49 (20,24)	3,7		
Ni	23,04 (25,32)	9,0	277 (288)	3,8
Cu	79,99 (85,75)	6,7	1198 (1220)	1,8
Zn	49,50 (55,64)	11,0	1218 (1200)	1,5
As	7,71 (8,08)	4,5		0,9
Se	17,81 (23,13)	23,0	19,7 (20,0)	1,5
Rb	1,19 (1,20)	0,3		
Sr	122,85 (126,03)	2,5		
Mo	44,05 (45,60)	3,4	35,8 (37,0)	3,2
Ag	7,32 (8,08)	9,4	277 (278)	0,4
Cd			11,6 (12,5)	7,2
Ba	147,99 (151,80)	2,5		
Pb	11,64 (12,10)	3,8	60,5 (62,1)	2,6
U	24,62 (25,35)	2,9		