



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

ORIGEN Y PROCESOS HIDROGEOQUÍMICOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS  
EN LA CUENCA DEL RÍO CUNCUMÉN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

MARÍA-JESÚS GABRIELA FUENTES ESCALONA

PROFESOR GUÍA

DOLORINDA DANIELE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

CARLOS QUINTANA SOTOMAYOR

ALBERT SOLER GIL

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto CHI-7013

SANTIAGO DE CHILE  
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE: Geóloga  
POR: María-Jesús Fuentes Escalona  
FECHA: 15 de Septiembre de 2017  
PROFESOR GUÍA: Dolorinda Daniele

## ORIGEN Y PROCESOS HIDROGEOQUÍMICOS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO CUNCUMÉN

En Chile el alto desarrollo de la minería y los efectos secundarios que tiene la operación de una mina sobre el medio ambiente son considerables, por lo que su correcto monitoreo es de vital importancia (Maksaev, 2001). El monitoreo del agua considera una serie de parámetros físico-químicos, (INN, 1987) a partir de los cuales es posible identificar anomalías de concentración, sin embargo, utilizar isótopos ambientales permite además realizar identificaciones del origen de las aguas. (IAEA, 2007)

La cuenca del río Cuncumén, provincia del Choapa, Chile, alberga una parte de la operación de Minera Los Pelambres: el rajo de la mina y el tranque de relaves los Quillayes. En los monitoreos ambientales de las aguas en la cuenca, desde 2002 hasta la actualidad, se han observado aumentos en las concentraciones de sulfatos en los pozos aguas abajo del tranque de relaves.

A partir de la campaña de muestreo realizada en noviembre de 2016, donde se muestrearon aguas superficiales y subterráneas y se consideraron 16 parámetros; T, pH, conductividad, elementos mayores, silicio e isótopos del agua y de sulfato, se pudo verificar el aumento de concentraciones de sulfatos (1500-2000 ppm) en la zona tranque de relaves y en los pozos ubicados aguas debajo de la zona tranque. Según la caracterización hidrogeoquímica realizada a través de: diagramas piper, stiff y binarios, cálculo de las razones iónicas y de los índices de saturación, se pudo identificar la mezcla de aguas: agua relave-agua subterránea en la zona bajo el tranque, indicador de la influencia del depósito de relaves sobre los recursos hídricos subterráneos.

Posteriormente, con el uso de los isótopos  $^{18}\text{O}$ -  $^2\text{H}$  de la molécula del agua, se determinó el origen de las aguas presentes en la mezcla, identificándose dos miembros extremos: uno más liviano, las aguas superficiales aguas arriba del tranque de relave, y uno más pesado, el agua evaporada de la piscina de aguas claras. Los pozos aguas abajo del tranque se ubican entre ambos extremos, indicando que su origen es principalmente una mezcla entre los ingresos aguas arriba del tranque y la misma agua del tranque de relaves. Finalmente, con los isótopos  $^{18}\text{O}$ -  $^{34}\text{S}$  de la molécula de sulfato disuelto en el agua, se pudo determinar que el origen de los sulfatos en las aguas subterráneas y superficiales aguas abajo del tranque de relaves corresponde a una mezcla entre: los sulfatos de la oxidación de sulfuros y de los sulfatos de la disolución de yeso. Sin embargo, no se pudo determinar el porcentaje de cada uno de estos extremos en la mezcla, ya que representa una foto del momento de muestreo y no la variabilidad estacional y temporal a la que está afecta.

A mis papás.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.

Un esfuerzo total es una victoria completa”.

Mahatma Gandhi

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a quienes hicieron posible esta memoria; al equipo del proyecto CHI-7013 por darme la oportunidad de participar en la primera etapa del proyecto y validarme como un integrante más. A la Dirección General de Aguas, especialmente al departamento de conservación y protección del recurso hídrico por recibirme con los brazos abiertos y guiarme en el proceso. A Minera Los Pelambres, por todas las facilidades entregadas en la campaña de muestreo, especialmente a la Superintendencia de Recursos Hídricos. Al CEGA Fondap 15090013 por facilitarme las instalaciones del microscopio SEM (FEI Quanta 250).

Agradecer a los miembros de mi comisión; Dr. Albert Soler, académico del departamento de cristalografía, mineralogía y depósitos minerales, Universidad de Barcelona, Mag. Carlos Quintana, analista de evaluación ambiental, Dirección General de Aguas y Dra. Linda Daniele, académica del departamento de Geología, Universidad de Chile. Les agradezco por haberme guiado durante este largo camino con la mejor disposición y compromiso, a pesar de la distancia, los viajes y sus ajetreados trabajos.

Agradecer a mi familia por siempre apoyarme en cada paso de la vida y por ser mi pilar fundamental, a mis papás por enseñarme que lo más importante es hacer lo que te gusta, sin importar cuán difícil sea el camino que debas recorrer. A mi partner 100% durante todos estos años de carrera, Ignacio. Gracias por la paciencia, el apoyo incondicional, por cada uno de los pequeños detalles que tienes conmigo todos los días para darme ánimo y ayudarme a salir adelante y por sobre todo por creer en mí. Agradecer a mis amigos de toda la vida, los del colegio, por siempre estar presentes, por el apoyo incondicional y por hacer el aguante. Gracias Coni, Fran, Nata, Sol y Vale, por hacer de mis años de plan común siempre un buen momento y por seguir siendo amigas aun con las distintas carreras que escogimos, especialmente a la Nata por acompañarme hasta el final de esta etapa y siempre apoyarme. Agradecer a toda la gente bacán que conocí en geo durante estos 5 años; a mis compañeros del CEG por la oportunidad y la paciencia, a mis amigos y compañeros de generación por los mejores terrenos de la vida, especialmente a la pequeña y a la Ara por ser la mejores partner durante los años más duros de estudio. A los toki Rapa Nui, personas increíbles y muy valiosas, gracias por la mejor práctica y por las amigas que encontré ahí: Gis. A mis compañeros de la sala de memoristas, gracias por la ayuda con todos los programas que no sabía ni cómo instalar, por los cafés y las horas eternas en la sala, a la Vale por ser la mejor compañera de salita y amiga durante este tiempo de memoria y a la Anto por convertirse en un apoyo crítico importante, además de amiga. Al grupo de hidrogeólogos les agradezco el apoyo, los comentarios al hueso y las críticas a mi memoria y obviamente por las reuniones más dispersas y comidas que he tenido y espero que sigamos teniendo. Finalmente agradecer a todos y a cada uno de las personas que fueron parte de este proceso de alguno u otra forma.

## Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	4
1.3	Hipótesis de trabajo.....	6
1.4	Objetivos.....	6
1.4.1	Objetivo general .....	6
1.4.2	Objetivos específicos .....	6
2.	Metodología .....	7
2.1	Recopilación bibliográfica.....	8
2.2	Selección puntos muestreo .....	8
2.3	Campaña de muestreo .....	9
2.3.1	Ubicación y accesos.....	9
2.3.2	Muestreo.....	10
2.4	Caracterización e identificación de procesos hidrogeoquímicos .....	14
2.5	Caracterización isotópica .....	15
3.	Antecedentes y consideraciones generales de la zona de estudio .....	16
3.1	Características principales y operación de Minera Los Pelambres .....	16
3.2	Marco Geológico .....	21
3.2.1	Geología Regional .....	21
3.3	Marco Hidrológico.....	26
3.3.1	Valle del Choapa .....	26
3.3.2	Cuenca del río Cuncumén.....	27
3.4	Marco Hidrogeológico .....	29
3.4.1	Unidades Hidrogeológicas.....	29
3.4.2	Geometría del Acuífero .....	31
3.5	Geomorfología .....	32
3.6	Clima .....	33
3.7	Antecedentes de trabajos previos en la zona.....	34
4.	Marco Teórico.....	40
4.1	Caracterización hidrogeoquímica .....	40

4.1.1	Balance iónico .....	43
4.1.2	Diagrama Piper .....	43
4.1.3	Diagrama Stiff .....	44
4.1.4	Mapas distribución de datos.....	44
4.1.5	Diagramas binarios .....	45
4.1.6	Diagrama Schoeller-Berkaloff. ....	45
4.1.7	Razones iónicas .....	46
4.2	Isótopos estables .....	47
4.2.1	Composición isotópica de la molécula del agua .....	48
4.2.2	Composición isotópica de los compuestos de azufre, sulfuros y sulfatos, disueltos.....	50
5.	Resultados y discusiones .....	54
5.1	Datos campo y comparación con datos laboratorio.....	54
5.2	Caracterización de los relaves mineros.....	60
5.3	Hidroquímica .....	62
5.3.1	Balance iónico .....	62
5.3.2	Clasificación de las aguas .....	62
5.3.3	Diagramas binarios .....	65
5.3.4	Distribución sulfato disuelto en el agua en la zona de estudio .....	69
5.3.5	Relaciones iónicas .....	74
5.4	Isótopos.....	75
5.4.1	Composición isotópica del agua ( $^2\text{H}\%$ y $^{18}\text{O}\%$ ).....	75
5.4.2	Composición isotópica del sulfato disuelto ( $^{34}\text{S}\%$ y $^{18}\text{O}\%$ ). ...	84
6.	Conclusiones .....	90
7.	Bibliografía .....	94
ANEXO A:	.....	102
ANEXO B:	.....	106
ANEXO C :	.....	111
ANEXO D:	.....	142

## Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación zona de estudio; Cuenca río Cuncumén, Comuna de Salamanca, Región de Coquimbo, Chile. Fuente: Modificado a partir de INE (2016), DGA (2017), Gestión Ambiental Consultores(2003).....	5
Figura 2: Esquema metodología empleada para la elaboración del trabajo de memoria. ....	7
Figura 3: a) Guía para la elaboración de la propuesta de muestreo de la zona de estudio. b) Sectorización zona de estudio y los posibles efectos sobre cada uno de ellos. c) Propuesta de muestreo para la zona de estudio, donde la cantidad de muestras para el análisis isotópico se señalan con asterisco porque dependen de los resultados químicos. Fuente: Elaboración propia.....	9
Figura 4: Ubicación y vías de acceso a la zona de estudio. Fuente: Imagen satelital obtenida de SAS. Planet y modificada a través del uso de herramientas SIG y a partir de MOP (2017), INE (2016), Rulamahue (2015).....	10
Figura 5: Puntos de muestreo campaña noviembre 2016 Cuenca río Cuncumén. ....	12
Figura 6: Profundidad de los pozos muestreados en orden según la dirección principal de flujo. Fuente: Modificado de AMEC (2014). ....	13
Figura 7: Ubicación de las instalaciones de Minera Los Pelambres. Fuente: (Minera los Pelambres, 2017).....	17
Figura 8: Esquema de los procesos de MLP. Fuente: Modificado de Gestión Ambiental Consultores (2003).....	18
Figura 9: Mapa sector tranque de relaves con sus componentes y distribución. Fuente: Modificado de SWS (2012) .....	20
Figura 10: Mapa geológico regional de la zona de estudio escala 1:250.000. Fuente: Modificado de Rivano (1991).....	21
Figura 11: Sectorización valle del Choapa indicando sus respectivas subcuencas. Fuente: Modificado de (DGA, 2007) .....	26
Figura 12: Recorrido ríos y estero cuenca río Cuncumén. Fuente: Modificado de (AMEC, 2014) .....	29

Figura 13: Mapa Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. Fuente: Modificado de (Rulamahue, 2015).	33
Figura 14: Precipitación mensual estaciones Cuncumén y Chacay periodo 2013-2016. Fuente: (DGA, 2016)	34
Figura 15: Diagrama piper y clasificación de agua según cuadrante. Fuente: (Bragado, 2016)	44
Figura 16: Diagrama Stiff. Fuente: (Ecured, s.f.)	44
Figura 17: Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Fuente: (Redhaounia, 2015)	46
Figura 18: Relación isotópica precipitación a nivel mundial y sus procesos asociados. Fuente: (Valenzuela, Ramírez-Hernández, & Palomares, 2013)	49
Figura 19: Variaciones $\delta^{34}\text{S}$ del azufre y los compuestos de azufre en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos. Fuente: (Vitória, Otero, Soler, & Canalias, 2004)	51
Figura 20: Variaciones en la $\delta^{34}\text{S}$ Y $\delta^{18}\text{O}$ del sulfato disuelto en el mar a lo largo de los tiempos geológicos. Fuente: (Claypool, Holser, Kaplan, Sakai, & Zak, 1980)	52
Figura 21: Variaciones en la $\delta^{34}\text{S}$ y la $\delta^{18}\text{O}$ del sulfato en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos. Fuente: (Vitória, Otero, Soler, & Canalias, 2004)	53
Figura 22: Distribución del pH medido en terreno en la zona de estudio.	55
Figura 23: Correlación entre datos de pH de terreno y datos de pH de laboratorio.	56
Figura 24: Distribución de la conductividad medida en terreno en la zona de estudio.	57
Figura 25: Correlación entre datos de Conductividad eléctrica medida en terreno y datos de conductividad eléctrica medida en laboratorio.	58
Figura 26: Distribución de la temperatura medida en terreno en la zona de estudio.	59
Figura 27: Correlación datos de alcalinidad medida en laboratorio y datos de alcalinidad medida en terreno.	60

Figura 28: Quantificación semicuantitativa de las fases minerales presentes en la muestra de relave suministrada, cálculos realizados mediante el software PANalytical X'Pert HighScore v.2.0. Fuente: (IAEA, 2016).....	61
Figura 29: Diagrama piper para las muestras de agua de la zona de estudio, donde se incluyen todas las muestras incluso las que fueron eliminadas por balances iónicos deficientes.. .....	63
Figura 30: Distribución espacial de los diagramas de Stiff. ....	64
Figura 31: Diagramas binarios. a) Diagrama de correlación de sulfatos y cloruro. b) Diagrama de correlación de sodio y cloruro. c) Diagrama de correlación de calcio y cloruro. d) Diagrama de correlación de magnesio y cloruro .....	67
Figura 32: Gráfico de correlación calcio y sulfato, con recta 1:1. ....	68
Figura 33: Distribución sulfato disuelto [mg/L] en las muestras de agua a lo largo de la cuenca del río Cuncumén. ....	70
Figura 34: Distribución razón iónica $SO_4/Cl$ .....	75
Figura 35: Relación desviación isotópicas $^{18}O$ y $^2H$ de las muestras. ....	77
Figura 36: Esquema circulación aguas superficiales, indicando las confluencias de los ríos (A, B y C).....	79
Figura 37: Cálculo de la fracción molar teórica que debiese presentar la muestra 17 a partir de las muestras 15 y 16. ....	80
Figura 38: Relación desviaciones isotópicas $^{34}S\text{‰}$ y $^{18}O\text{‰}$ muestras de agua y sedimento cuenca Cuncumén. Fuente: Modificado de (Minoru Kusakabe, 1984) y (Vitória, 2004).....	87

## Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción de los puntos de agua muestreados. Fuente: Modificado de AMEC (2014).	13
Tabla 2: Precisión porcentual (CV%) por analito de cada procedimiento empleado en el análisis de laboratorio. Fuente: (Escudero, 2017)	14
Tabla 3: Patrones utilizados para el análisis de oxígeno 18 y deuterio del agua. Fuente: (IAEA, 2016)	15
Tabla 4: Patrones utilizados para el análisis de oxígeno 18 de la molécula de sulfato. Fuente: (IAEA, 2016)	16
Tabla 5: Patrones utilizados para el análisis de azufre 34 de la molécula de sulfato. Fuente: (IAEA, 2016)	16
Tabla 6: Pozos ubicados en la Cuenca del río Cuncumén propiedad de MLP; PB: pozo de bombeo, PM: pozo de monitoreo. Fuente: (AMEC, 2014)	19
Tabla 7: Demanda agua subterránea según tipo de uso en la cuenca Choapa Alto. Fuente: (DGA, 2007)	27
Tabla 8: Oferta de aguas subterráneas en la cuenca Choapa Alto. Fuente: (DGA, 2007)	27
Tabla 9: Valores de permeabilidad y coeficiente almacenamiento para todas las unidades hidrogeológicas. Fuente: Modificado de (AMEC, 2014; SWS, 2012)	31
Tabla 10: Datos climáticos promedio zona estudio, indicando Precipitación anual (Pp anual) y Temperatura media (Tmedia) para cada tipo de clima. Fuente: (U.Chile, 2017)	34
Tabla 11: Factores o procesos que afectan el quimismo de un agua. Fuente: Modificado de Pulida (2007)	40
Tabla 12: Resultados de la caracterización mineralógica de la muestra de relave suministrada. Fuente: (IAEA, 2016)	61
Tabla 13: Índices de saturación de las muestras de aguas de procesos y aguas subterráneas ubicadas por debajo del muro del tranque. Obtenido a partir de simulaciones realizadas en el software PHREEQC.	69
Tabla 14: Datos de estaciones de aforo en m <sup>3</sup> /s en los meses de noviembre. Fuente: (SGS, 2014)	79
Tabla 15: Valores de ORP medidos en terreno por hidromensores consultora SRK.	88

# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

El agua constituye un recurso renovable fundamental para el desarrollo de la humanidad, donde solo el 1% del agua disponible del planeta corresponde a agua dulce aprovechable y la distribución a nivel global de esta no es uniforme (MMA, 2012), por lo que existe consenso en la necesidad de incorporar de manera integrada la gestión del recurso hídrico para asegurar su conservación, calidad y uso racional (Consejo Minero, 2002), garantizando el suministro de agua tanto para la población como para el desarrollo económico del país. La distribución porcentual de los usos consuntivos del agua según sector productivo en Chile es: agrícola 73%, industria 12%, minería 9% y sanitario 6% (MOP, 2012). Se ahondará con más detalle en el vínculo con el sector minero.

En Chile existe un desarrollo de la minería altísimo, concentrándose principalmente en el norte del país, siendo considerada la nación líder en producción de cobre alcanzando una cifra del 31% (Consejo Minero, s.f.). Esta actividad genera una alta empleabilidad y crecimiento económico, donde 900.000 empleos dependen del sector minero, directa e indirectamente, y las exportaciones mineras en 2015 representaron el 54% de los envíos totales del país (SONAMI, s.f.). Mirando hacia el futuro y considerando la cartera de proyectos mineros en ejecución por un monto de 15 mil millones de dólares, además de los proyectos que se encuentran en evaluación por otros 35 mil millones, el sector se ubica en una importante fase de expansión, que por cierto requiere la superación de diversos desafíos, donde dos de los aspectos fundamentales son la disponibilidad de agua y la certeza jurídica de las autorizaciones (Consejo Minero, s.f.)

A pesar de que la actividad minera produce prosperidad en las zonas donde se llevan a cabo los proyectos, resulta fundamental considerar el impacto ambiental que tiene cada una de las etapas de desarrollo de una mina, desde la fase de exploración de un yacimiento hasta la etapa de cierre de la faena (Maksaev, 2001). Es en este contexto y tras la publicación de la Ley N° 20.417 en el 2010, que se crea la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) que coordina un sistema único de fiscalización sometido a la supervigilancia del presidente de la República a través del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), organismo creado también en esta fecha en conjunto con el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). De esta manera se concreta la separación de funciones en materia regulatoria (MMA), de evaluación (SEA) y de sanción (SMA). Finalmente, la nueva institucionalidad se completa con la creación de

los Tribunales Ambientales, que se encuentran bajo la supervigilancia de la Corte Suprema, y conforme a la ley 20.600 publicada en 2012 a ellos se les atribuyen diversas competencias como resolver las reclamaciones que se interpongan en contra de resoluciones de la SMA, entre otras. A raíz de la proclamación de estas nuevas leyes y las barreras que estas pueden imponer para el funcionamiento de una mina es que se han instaurado protocolos de seguimiento ambiental, estos corresponden al conjunto de acciones que tienen por finalidad determinar los efectos reales de un proyecto o actividad en ejecución, a fin de verificar si las variables ambientales relevantes que fueron objeto de la evaluación de impacto ambiental evolucionan de acuerdo a lo proyectado (SMA, s.f.). Los encargados de realizar los seguimientos ambientales corresponden a los miembros de la Red Nacional de Fiscalización Ambiental, RENFA, la cual se crea en el año 2014 con la finalidad de fortalecer el modelo de fiscalización ambiental instaurado por la ley 20.417 mediante un uso eficiente, eficaz y coordinado de las capacidades de fiscalización de los organismos con competencia ambiental a nivel nacional (RENFA, s.f.). Organismos como el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), la Dirección General de Aguas (DGA) y la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) pertenecen a la Red.

Los mayores riesgos que el sector minero presenta para la biodiversidad en Chile corresponden a la extracción excesiva de aguas subterráneas, la contaminación del suelo y el agua y la emisión de residuos peligrosos. Existe una inequidad geográfica en la distribución de los recursos hídricos que afecta en gran medida a la zona norte del país (SONAMI, 2012) y a su vez desde el año 2010, entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía, se ha definido un evento conocido como la megasequía, en el que se ha experimentado un déficit del 30% en las precipitaciones lo que ha generado una menor disponibilidad del agua en estas zonas (CR2, 2015), donde el consumo excesivo de aguas subterráneas y superficiales puede tener como consecuencia un impacto sobre la flora y fauna local que, al igual que el agua, representan expresiones únicas y sensibles. El polvo producido por la actividad minera también puede acelerar el derretimiento de los glaciares andinos, fuente inestimable de agua dulce. En particular los tranques de relaves constituyen un riesgo considerable para la salud humana y los ecosistemas producto de la potencial contaminación del suelo y las aguas, ya que estos grandes volúmenes de relaves contienen sustancias químicas y metales pesados que pueden producir aumentos de la salinidad y/o cobre en los cursos de agua superficial, como es el caso del río Maipo, principal fuente de agua potable de la Región Metropolitana (OCDE & CEPAL, 2016), además de los efectos que pueden ocasionar sobre las napas subterráneas como es el caso del tranque de relaves Las Tórtolas, Colina, Región Metropolitana, donde se observan elevadas concentraciones de molibdeno y sulfatos en los pozos ubicados en las cercanías del tranque (Calabrán, 2009). Sin embargo, se dispone de datos escasos acerca de la contaminación del suelo y el agua producida por la minería (OCDE & CEPAL,

2016). El monitoreo ambiental del agua en Chile considera una serie de parámetros que deben medirse en terreno y en laboratorio, a partir de los cuales es posible identificar anomalías de concentración como las mencionadas previamente, sin embargo, no es posible identificar el origen de los elementos encontrados y es por esto que la utilización de isótopos ambientales surge como una posible solución a este problema.

Con la finalidad de entender el mundo en el que vivimos y proveer a los encargados de toma de decisiones la información necesaria para abordar las problemáticas medioambientales y adaptarse a futuros escenarios, es que el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA) financia iniciativas que utilicen herramientas nucleares e isotópicas. Los expertos utilizan los isótopos estables y las técnicas nucleares para estudiar los recursos de agua dulce, los sistemas biológicos, entre otros. Estas herramientas ayudan a evaluar los impactos ecológicos en el medio ambiente, en particular para caracterizar la contaminación ocasionada por el hombre y diferenciarla de la natural (IAEA, s.f.).

En el marco del proyecto CHI-7013: Fortaleciendo el monitoreo de las actividades mineras o industriales y sus efectos en los recursos hídricos utilizando técnicas isotópicas, iniciativa ideada por parte de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN) y financiada por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), se seleccionó el caso de estudio; un tranque de relaves que actualmente se encuentra en la fase de cierre (SERNAGEOMIN, 2016). El proyecto pretende caracterizar los recursos hídricos disponibles a través de técnicas hidrogeoquímicas, las cuales sentarán las bases para posteriormente aplicar técnicas isotópicas, donde se utilizarán las razones  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$  y  $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$  de los isótopos estables como una herramienta para determinar el origen del sulfato disuelto en las aguas. La idea fundamental consiste en desarrollar una técnica de monitoreo más efectiva que pueda ser usada por la autoridad ambiental, ya que actualmente el protocolo de monitoreo solo incluye análisis químicos de los elementos mayores en agua subterránea, donde las concentraciones son comparadas con los estándares establecidos en Chile (CHI-7013, s.f.). El proyecto cuenta con la ayuda y participación técnica del departamento de conservación y protección del recurso hídrico de la Dirección General de Aguas (DGA) y el departamento de tranques de relaves del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

La necesidad de abordar el problema asociado a los relaves mineros en el país (Fundación Chile, 2015) motivó a seleccionar un sitio de prueba, el cual pueda entregar información valiosa de tal manera que el plan de trabajo sea aplicado a sitios activos y pasivos, y posteriormente generar un modelo conceptual que incorpore metodologías isotópicas además de las herramientas

convencionales actualmente utilizadas en Chile. Esta memoria se enmarca en el contexto del proyecto que desarrollarán íntegramente las tres instituciones previamente nombradas, con el objetivo de desarrollar la primera parte de este y proponer recomendaciones para su continuación

## 1.2 Planteamiento del problema

La cuenca hidrográfica del río Cuncumén pertenece a la provincia del Choapa, Región de Coquimbo Chile, ubicándose en la parte sur-este, en el límite con Argentina, con una superficie de 243 km<sup>2</sup> como se observa en la figura 1. La única actividad productiva que se desarrolla en la parte alta y media de la cuenca corresponde a la operación de Minera Los Pelambres (MLP), donde en la cabecera del valle se ubica el rajo de MLP, además de los botaderos, y en la parte medial se localiza el tranque de relaves los Quillayes (TQ) y es precisamente en la zona donde se ubica el tranque y aguas abajo de él, sector conocido como Chacay, donde se han observado aumentos significativos en las concentraciones de iones disueltos en el agua desde 2002 hasta la actualidad. (AMEC, 2014; SEID, 2015; SGS, 2014; SWS, 2012)

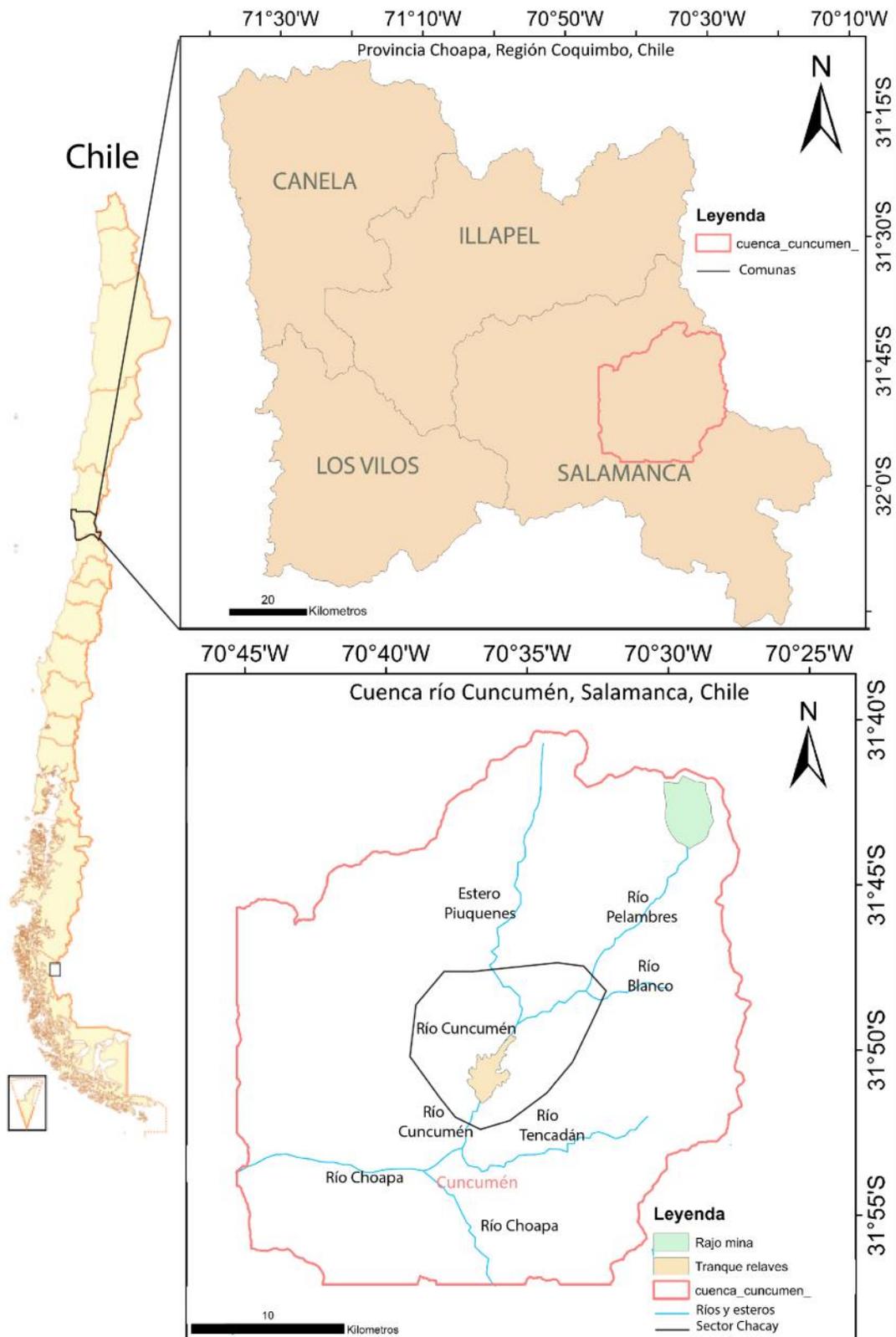


Figura 1: Ubicación zona de estudio; Cuenca río Cuncumén, Comuna de Salamanca, Región de Coquimbo, Chile. Fuente: Modificado a partir de INE (2016), DGA (2017), Gestión AmbientalConsultores(2003).

### 1.3 Hipótesis de trabajo

En la zona de estudio se han identificado aumentos en las concentraciones de diferentes elementos disueltos en el agua, específicamente sulfatos, en la dirección principal de flujo (AMEC, 2014; SEID, 2015; SGS, 2014; SWS, 2012). Debido a que el aumento de concentraciones se produce en la zona tranque y aguas abajo de él, sector conocido como Chacay, los recursos hídricos aguas abajo reflejan en mayor o menor medida su presencia. Sin embargo, en esta cuenca también se ubica el rajo de la operación minera y sus botaderos aguas arriba del tranque de relaves que también podrían tener efectos sobre la concentración de sulfatos en los recursos hídricos. Es por esto que se plantea que las altas concentraciones de iones sulfato disueltos presentes en las aguas subterráneas y superficiales de la cuenca del río Cuncumén tendrían una posible relación con la operación de MLP.

### 1.4 Objetivos

#### 1.4.1 Objetivo general

Estudiar el origen y destino de los iones sulfatos disueltos presentes en las aguas subterráneas y superficiales en la cuenca del río Cuncumén a través de técnicas hidrogeoquímicas e isotópicas.

#### 1.4.2 Objetivos específicos

Determinar, caracterizar y analizar los principales procesos hidrogeoquímicos en la cuenca del río Cuncumén a partir de la utilización de técnicas hidroquímicas convencionales.

Identificar y caracterizar procesos hidrogeoquímicos a través de la utilización de técnicas isotópicas y posteriormente determinar el vínculo existente entre los isótopos ambientales y las concentraciones de iones mayoritarios respecto a la distribución de estos en el espacio.

Vincular los procesos hidrogeoquímicos identificados con la operación de minera Los Pelambres, específicamente con el tranque de relaves Los Quillayes, para poder distinguir entre los procesos de origen natural en la cuenca y los procesos de origen minero.

## 2. Metodología

La realización de esta memoria conllevó una serie de procesos para lograr los objetivos planteados, dentro de los que destacan en primera instancia la recopilación bibliográfica, luego la selección de los puntos de muestreo que posteriormente derivó en la realización de la campaña de muestreo. En una segunda etapa, al contar con parámetros de terreno, los análisis químicos e isotópicos de las muestras de agua, se efectuó una caracterización de los procesos hidrogeoquímicos y una caracterización isotópica a partir de las cuales se determinó el origen de las aguas y de sus componentes. Estas etapas se pueden observar en la figura 2 y se detallan a continuación:

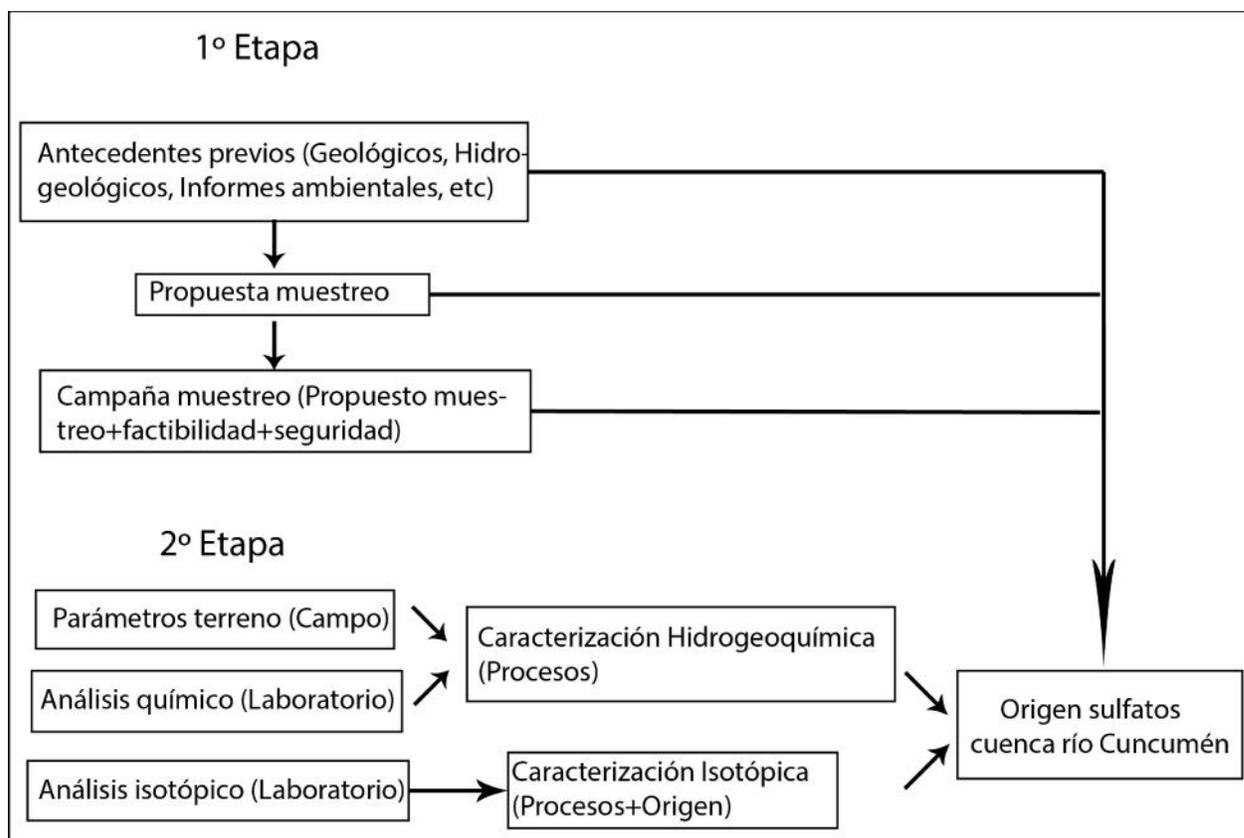


Figura 2: Esquema metodología empleada para la elaboración del trabajo de memoria.

## 2.1 Recopilación bibliográfica

Compilación de antecedentes de la zona de estudio tanto geológicos e hidrológicos, como también de los procesos vinculados con la operación de la mina y los antecedentes del conflicto existente con la comunidad de Cuncumén, además de la información disponible en los informes de calidad de aguas reportados por Minera Los Pelambres a la Dirección General de Aguas. Esto con la finalidad de construir un marco geológico e hidrogeológico, contextualizar el objetivo del estudio y entender el funcionamiento de la operación minera, específicamente en el sector Chacay, para conocer los factores medio ambientales involucrados, en particular contextualizar el uso de los recursos hídricos y las posibles afecciones sobre estos.

## 2.2 Selección puntos muestreo

Se realizó una revisión exhaustiva de los estudios ya efectuados por Minera Los Pelambres y reportados a la Dirección General de Aguas con el objeto de seleccionar los puntos donde se muestreó en la campaña de terreno. Este proceso se realiza en varias etapas como se puede observar en la figura 3.a, donde en primera instancia se distingue en función del tipo de análisis (químico o isotópico), luego se discrimina por zona (1,2,3,4, figura 3.b), posteriormente se aplicaron criterios hidrogeológicos (habilitación, profundidad, estratigrafía, datos hidroquímicos históricos, criterio experto, entre otros) para escoger y discriminar entre puntos cercanos y finalmente, se llegó a la propuesta de muestreo que se observa en la figura 3.c, que consideró el análisis de muestras de aguas subterráneas y superficiales. Esta propuesta se elaboró teniendo en cuenta un límite máximo de 50 análisis químicos y en función de las muestras que indicaran mayores valores de sulfatos se escogería un subconjunto de puntos representativo para efectuar los análisis isotópicos.

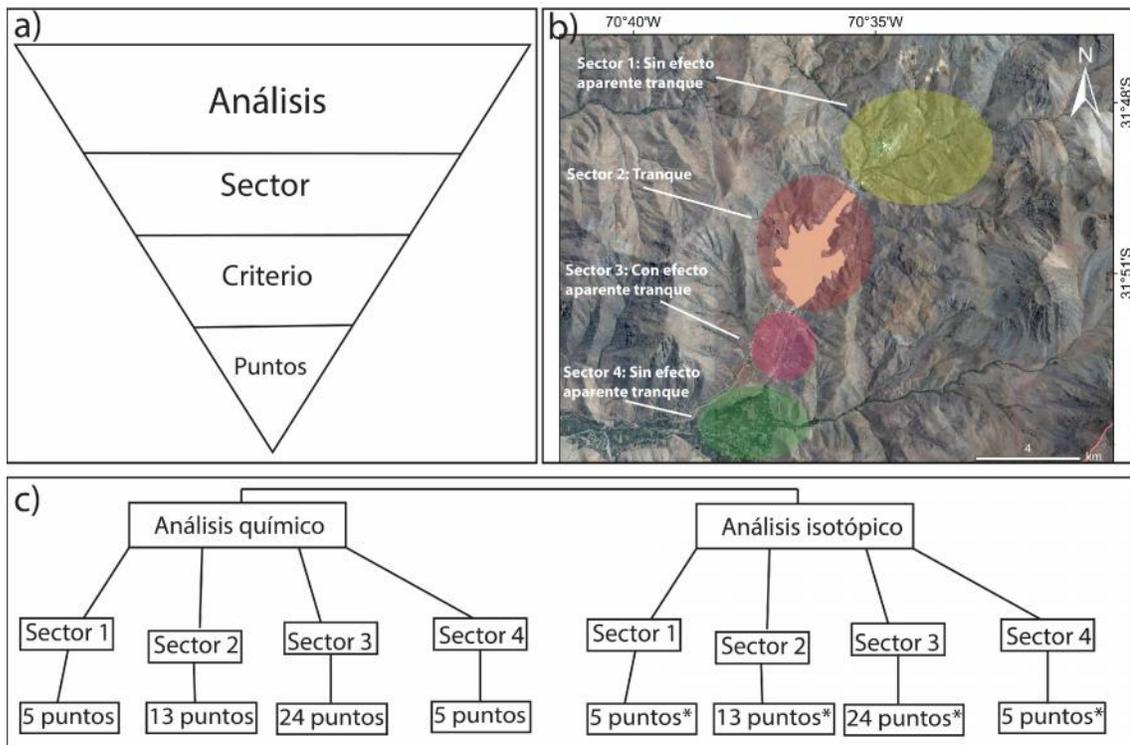


Figura 3: a) Guía para la elaboración de la propuesta de muestreo de la zona de estudio. b) Sectorización zona de estudio y los posibles efectos sobre cada uno de ellos. c) Propuesta de muestreo para la zona de estudio, donde la cantidad de muestras para el análisis isotópico se señalan con asterisco porque dependen de los resultados químicos. Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Campaña de muestreo

### 2.3.1 Ubicación y accesos

La cuenca del río Cuncumén pertenece a la provincia del Choapa, Región de Coquimbo Chile. Para acceder a la zona de estudio, desde el norte o el sur de Chile, se debe hacer a través de la ruta 5, luego tomar la ruta D-85, que conecta Los Vilos con Illapel y seguir por la ruta D-37-E, correspondiente al bypass Illapel. Posteriormente continuar por las rutas D-867 y D-81 que conectan con la comuna de Salamanca, desde aquí tomar la ruta continua D-835 y finalmente la ruta D-871, desde estas rutas podremos acceder al pueblo de Cuncumén y a las instalaciones de la mina respectivamente. En la figura 4 se observan los accesos y la ubicación de la cuenca delimitada en rosado.



Figura 4: Ubicación y vías de acceso a la zona de estudio. Fuente: Imagen satelital obtenida de SAS. Planet y modificada a través del uso de herramientas SIG y a partir de MOP (2017), INE (2016), Rulamahue (2015).

### 2.3.2 Muestreo

Para la realización de la campaña de muestreo; medición de parámetros, colección, preservación, almacenamiento y transporte de las muestras se siguió el procedimiento establecido por la Dirección General de Aguas (Anexo D), y se utilizaron los siguientes implementos:

- Guantes de látex.
- Herramienta multiparámetro, calibrada cada 4-6 muestras, para medir conductividad, pH, potencial de óxido-reducción y temperatura. La medición de estos parámetros se efectuó en un envase de plástico de ½ lt higienizado con agua destilada tras cada medición.
- Pozómetro. Se utilizó en cada caso que se pudo medir el nivel.
- Botellas de polietileno con doble tapa de ½ lt de capacidad para el muestreo de cationes y aniones y de 1 lt de capacidad para el muestreo de isótopos de sulfato  $^{34}\text{S}$  y  $^{18}\text{O}$ . Cada botella fue ambientada antes de tomar la muestra.
- Botellas de vidrio ámbar de 125 ml de capacidad para el muestreo de isótopos de la molécula del agua  $^2\text{H}$  y  $^{18}\text{O}$ . Cada botella fue ambientada antes de tomar la muestra.
- Bomba watterra para coleccionar muestras en piezómetros sin bomba o con habilitación muy angosta. Previamente se efectuó la purga de cada pozo.
- Bailer plástico y metálico.
- Brazo telescópico para coleccionar muestras de agua de ríos y esteros.

- Filtros de celulosa de 0.7 y 0.45 micras. Se utilizaron en el filtrado de muestras, previo a su almacenamiento final.
- Bomba de vacío. Utilizada para el filtrado de la muestra.
- Matriz kitasato. Utilizada para el filtrado de la muestra.
- Embudo Buchner. Utilizada para el filtrado de la muestra.
- Preservantes: ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Cada preservante se aplicó, según corresponde, posterior al filtrado de las muestras utilizando un dosificador fijo en 1 mL.
- Cajas termoaislantes (cooler) para colocar los envases. Almacenamiento y transporte.
- Ice-pack congelados.
- Hielo.
- Agua destilada para la limpieza de los implementos.
- Etiquetas autoadhesivas.
- Lápiz con tinta indeleble.
- Cinta adhesiva transparente.
- GPS
- Fichas de terreno
- Cámara fotográfica
- Elementos de Protección Personal (EPP).

En primera instancia se efectuó la medición de parámetros de terreno; pH, temperatura, ORP y conductividad eléctrica, acorde a la ficha de terreno elaborada para este estudio y se complementó con los datos de ubicación, fotografía y referencia (ANEXO C). Luego se realizó la purga del pozo en cada caso correspondiente, posteriormente se llevó a cabo la toma de muestras y finalmente el almacenamiento parcial de las muestras durante cada día de terreno. Una vez colectadas las muestras del día se procedió a su filtrado, preservación y almacenamiento definitivo. Para el almacenamiento y transporte se utilizaron cajas termoaislantes con ice-pack congelados en su interior, sin embargo la temperatura de las muestras durante los días de terreno no fue controlada, por lo que no se puede asegurar que corresponda a 4°C. Los parámetros físicos de terreno registrados en las fichas corresponden a los medidos por los equipos del laboratorio SGS y la consultora SRK, ya que los valores registrados por la herramienta multiparámetro propia diferían mucho de los valores obtenidos por los otros dos equipos.

El promedio de toma de muestras fue de 10 por día, obteniendo como resultado 30 muestras de agua; 18 muestras de agua subterránea y 12 muestras de agua superficial, siguiendo la propuesta de muestreo en la medida en que las condiciones de seguridad y habilitación de cada pozo así lo permitieron.

Además, se tomó una muestra del sedimento de relave en la planta de concentración. Para el muestreo del sedimento se utilizó un balde contenedor de 25 kg, donde producto del traslado de la muestra el sólido contenido en ella sedimentó al fondo del envase, mientras que en la parte superficial se alojó principalmente el agua de la pasta. A partir de esta muestra se extrajeron dos muestras no cuarteadas; una muestra solo de líquido y una muestra integrada de sedimentos de relave (pasta de agua y sedimento).

El resultado del muestreo se puede observar en la figura 5 y la descripción de cada uno de los puntos de agua muestreados se puede observar en la tabla 1 (La muestra 19, sedimento de relaves, no se agregó en la tabla porque corresponde a una muestra de sedimento). Además, la profundidad de los pozos se puede observar en la figura 6.

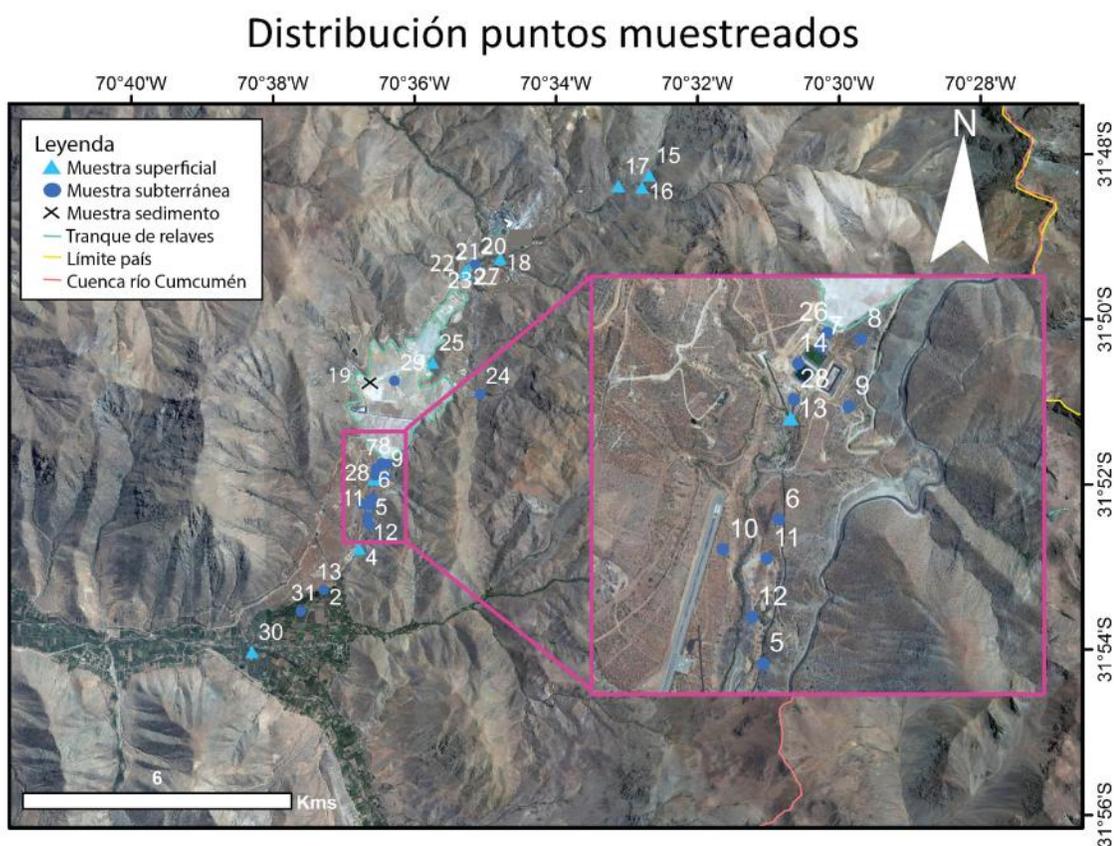


Figura 5: Puntos de muestreo campaña noviembre 2016 Cuenca río Cuncumén.

Tabla 1: Descripción de los puntos de agua muestreados. Fuente: Modificado de AMEC (2014).

Aguas subterráneas		Aguas superficiales	
ID	Descripción	ID	Descripción
1	Piezómetro bajo tranque Quillayes	4	Estación fluviométrica DGA en río Cuncumén
2	Piezómetro bajo tranque Quillayes	13	Río Cuncumén a la salida del túnel de desvío
3	Piezómetro bajo tranque Quillayes	15	Río Pelambres antes de confluencia río Blanco
5	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	16	Río blanco antes de confluencia río Pelambres
6	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	17	Río Pelambres después de confluencia río Blanco
7	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	18	Quebrada Chacay antes de confluencia río Pelambres
8	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	20	Río Pelambres antes de confluencia río Piuquenes
9	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	21	Estero Piuquenes antes de confluencia con río Pelambres
10	Piezómetro bajo tranque Quillayes	22	Embalse de cola
11	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	23	Río Cuncumén antes de ingreso a túnel
12	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes	25	Laguna Aguas Claras
14	Infiltraciones en túnel de desvío	30	Río Choapa cercano a APR Cuncumén
24	Piezómetro antes de tranque El Chinche		
26	Mezcla drenes muro tranque		
27	Piezómetro antes de embalse de cola		
28	Pozo de bombeo bajo tranque Quillayes		
29	Piezómetro interior tranque		
31	Pozo de bombeo Agrícola Filomena		

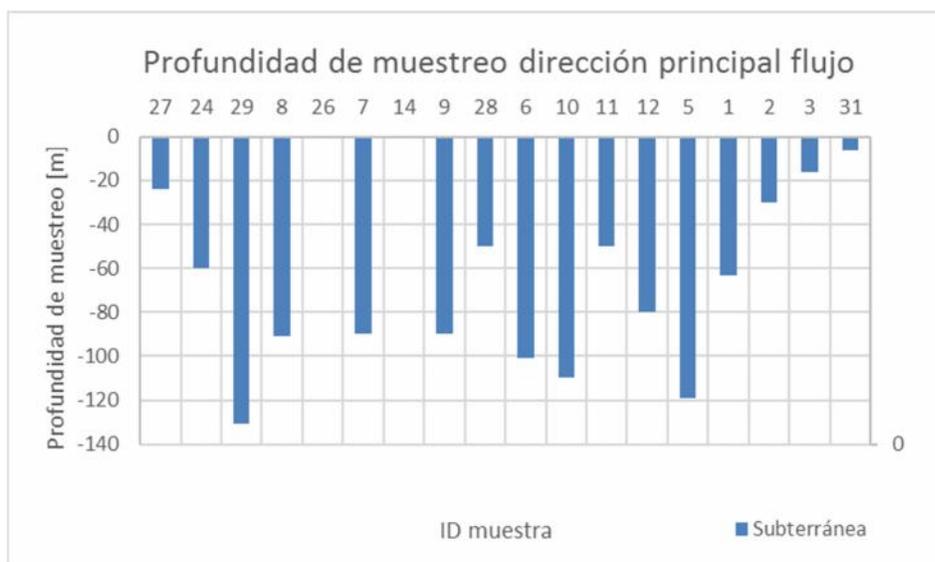


Figura 6: Profundidad de los pozos muestreados en orden según la dirección principal de flujo. Fuente: Modificado de AMEC (2014).

## 2.4 Caracterización e identificación de procesos hidrogeoquímicos

En esta etapa se analizaron las características físico-químicas de las aguas (pH, conductividad eléctrica,  $T^\circ$ ) y se observó la distribución de los iones mayoritarios ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) presentes en la zona de estudio con la ayuda de diagramas (Piper, Stiff y binarios). Además, se caracterizó la evolución de la concentración de sulfato a lo largo de la línea principal de flujo y se calculó la razón iónica  $r \text{SO}_4 / r \text{Cl}$  en cada punto de muestreo. Estos datos se trataron con herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG), de forma tal de poder evaluar la distribución de los parámetros en la zona de estudio y su evolución espacial y de manera simultánea se vinculó la información geológica e hidrogeológica de la zona de estudio para poder así identificar los procesos hidrogeoquímicos que ocurren en la cuenca.

Los análisis de laboratorio para elementos mayores, conductividad y pH fueron realizados en el laboratorio químico de la CCHEN, donde las técnicas utilizadas son las indicadas a continuación y el respectivo error porcentual para cada una de ellas se indica en la tabla 2.

- Conductivímetro, utilizada para el cálculo de la conductividad.
  - Electrométrica, utilizada para el cálculo del pH.
  - ICP-OES: Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Inductivamente Acoplado, utilizada para el análisis de cationes.
  - HPLC: Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia, utilizada para el análisis de aniones; y
  - Potenciométrica, utilizada para el análisis de bicarbonatos.
- Todos los métodos son de "Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales" Ediciones Díaz de Santos, S.A.

Tabla 2: Precisión porcentual (CV%) por analito de cada procedimiento empleado en el análisis de laboratorio. Fuente: (Escudero, 2017)

ANALITO	CV%	ANALITO	CV%
pH	$\pm 0.2$	Cloruro (Cl)	2.0
Sodio (Na)	2.5	Nitrito ( $\text{NO}_2$ )	5.0
Potasio (K)	1.4	Nitrato ( $\text{NO}_3$ )	5.0
Calcio (Ca)	1.4	Fosfato ( $\text{PO}_4$ )	5.0
Magnesio (Mg)	1.5	Sulfato ( $\text{SO}_4$ )	2.0
Silicio (Si)	1.9		

El análisis de la muestra de sedimento se realizó a través de la técnica de difracción de rayos X en laboratorios de la Universidad de Barcelona. Debido a la no observación de sulfuros tras el análisis DRX, se ha realizado una concentración del relave mediante batea y análisis elemental del concentrado para determinar el contenido de azufre en este. Al no obtenerse señal de la presencia de fases sulfuradas en la caracterización mineralógica inicial, se ha realizado una preconcentración de las fases densas del residuo una vez realizada la extracción de las fases sulfatadas solubles. Este concentrado ha sido analizado mediante un Analizador Elemental (Carlo Erba 1108) acoplado a un detector de conductividad térmica de la Universidad de Barcelona para determinar la concentración de azufre presente. Al haberse recibido la muestra de relave con fase líquida en un bidón de 25 kilogramos del que se obtuvo la porción remitida al laboratorio, se considera que la muestra enviada al laboratorio no fue seleccionada de manera representativa mediante cuarteo, ya que los sulfuros al ser densos suelen depositarse en el fondo del envase.

## 2.5 Caracterización isotópica

Finalmente se efectuó una caracterización isotópica que, sumado a todos los análisis anteriormente realizados, permitió indicar de forma más concreta el origen de las aguas de la cuenca del río Cuncumén y de los sulfatos disueltos en ellas, además de corroborar algunos de los procesos hidrogeoquímicos previamente identificados e incorporar otros. Para este fin se realizaron diagramas binarios de los isótopos de la molécula del agua  $^{18}\text{O}$  -  $^2\text{H}$  y de la molécula de sulfato  $^{18}\text{O}$  -  $^{34}\text{S}$ .

Los análisis isotópicos de deuterio y oxígeno del agua se realizaron con la técnica analítica WS-CRDS. Se han utilizado los patrones indicados en la tabla 3 y la reproducibilidad de estos corresponde a un  $\pm 0.2\%$  para el  $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  y de un  $\pm 1\%$  para el  $^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ .

Tabla 3: Patrones utilizados para el análisis de oxígeno 18 y deuterio del agua. Fuente: (IAEA, 2016)

Nombre	Oxígeno 18 ( $^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ )‰ V-SMOW	Deuterio ( $^2\text{H}_{\text{H}_2\text{O}}$ )‰ V-SMOW
OH-16	-15.43	-115
OH-14	-5.6	-38.3
OH-13	-0.96	-2.84

Los análisis isotópicos del oxígeno 18 de la molécula de sulfato se realizaron con un pirolizador acoplado, en flujo continuo, a un espectrómetro

de masas de relaciones isotópicas TC/EA-IRMS. Se han utilizados los patrones indicados en la tabla 4, donde la recta de calibrado se ha realizado con los siguientes patrones: YCEM, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NBS-127 y SO-6 y su reproducibilidad es de  $\pm 0.5\%$  para  $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ .

Tabla 4: Patrones utilizados para el análisis de oxígeno 18 de la molécula de sulfato. Fuente: (IAEA, 2016)

Nombre	Oxígeno 18 ( $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ) ‰ V-SMOW
YCEM	+17.6
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	+13.2
NBS-127	+9.3
SO-6	-11.4
USGS-34	-27.9

Los análisis isotópicos del azufre 34 de la molécula de sulfato se realizaron con un analizador elemental acoplado en flujo a un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas EA-IRMS. Se han utilizado los patrones indicados en la tabla 5 y la reproducibilidad de estos es de  $\pm 0.4\%$  para  $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ .

Tabla 5: Patrones utilizados para el análisis de azufre 34 de la molécula de sulfato. Fuente: (IAEA, 2016)

Nombre	Azufre 34 ( $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ ) ‰ V-SMOW
NBS-127	+20.3
YCEM	+12.8
SO-5	+0.5
SO-6	-34.1

### 3. Antecedentes y consideraciones generales de la zona de estudio

#### 3.1 Características principales y operación de Minera Los Pelambres

Los Pelambres es una empresa minera de Antofagasta Minerals, grupo minero chileno dedicado a la explotación y producción de concentrado de cobre y molibdeno. La compañía opera desde fines de 1999 en la provincia de Choapa con una capacidad de procesamiento de 210 mil toneladas promedio diarias de mineral, ocupando el sexto lugar en producción a nivel nacional. Las

instalaciones de la compañía recorren 120 kilómetros de cordillera a mar pasando por las comunas de Salamanca, Illapel y Los Vilos, en un entorno donde coexisten más de 40 comunidades y 84 mil habitantes, quienes desarrollan tradicionales actividades económicas como: agricultura, ganadería de subsistencia, pesca y minería artesanal (Minera los Pelambres, 2017). Las instalaciones de Minera Los Pelambres se pueden observar en la figura 7.



Figura 7: Ubicación de las instalaciones de Minera Los Pelambres. Fuente: (Minera los Pelambres, 2017)

Las instalaciones de Minera Los Pelambres (MLP), constan de 4 áreas principales: área mina y depósito de estériles, área el Chacay, área el Mauro y área punta Chungo, además del concentraducto que va desde Chacay hasta Punta Chungo. En el área mina y depósito de estériles se encuentra el rajo del depósito los pelambres, ubicado en el lado chileno del límite fronterizo con el país vecino, además de los 3 botaderos donde es depositado el material estéril extraído desde la mina, los que se ubican en el sector circundante al rajo. En el área el Chacay se hallan la planta de procesamiento de material y el tranque de relaves Quillayes. Tanto el área mina y depósito de estériles como el área el Chacay se ubican en la comuna de Salamanca. El área el Mauro se encuentra contigua a la localidad de caimanes, en la comuna de los Vilos y es donde se encuentra el tranque de relaves que actualmente está en operación. En esta zona también se construyó un túnel de desvío que recoge los aportes del estero Pupío y además un relave-ducto que conecta la planta de procesamiento en sector el Chacay con el tranque Mauro y conduce el material que es posteriormente depositado en el tranque. Finalmente se encuentra el área de

Punto Chungo, donde se encuentran la panta de filtrado de concentrado, este es enviado como una pulpa por el concentra-ducto de 120 kms que conecta el área el Chacay con el área Punta Chungo, un edificio de almacenamiento de concentrado, una planta de tratamiento de efluentes y el puerto por el cual se carga el concentrado de Cu en barcos para su posterior distribución (Gestión Ambiental Consultores, 2003). El detalle de los procesos productivos desarrollados en cada área se observan en la figura 8.

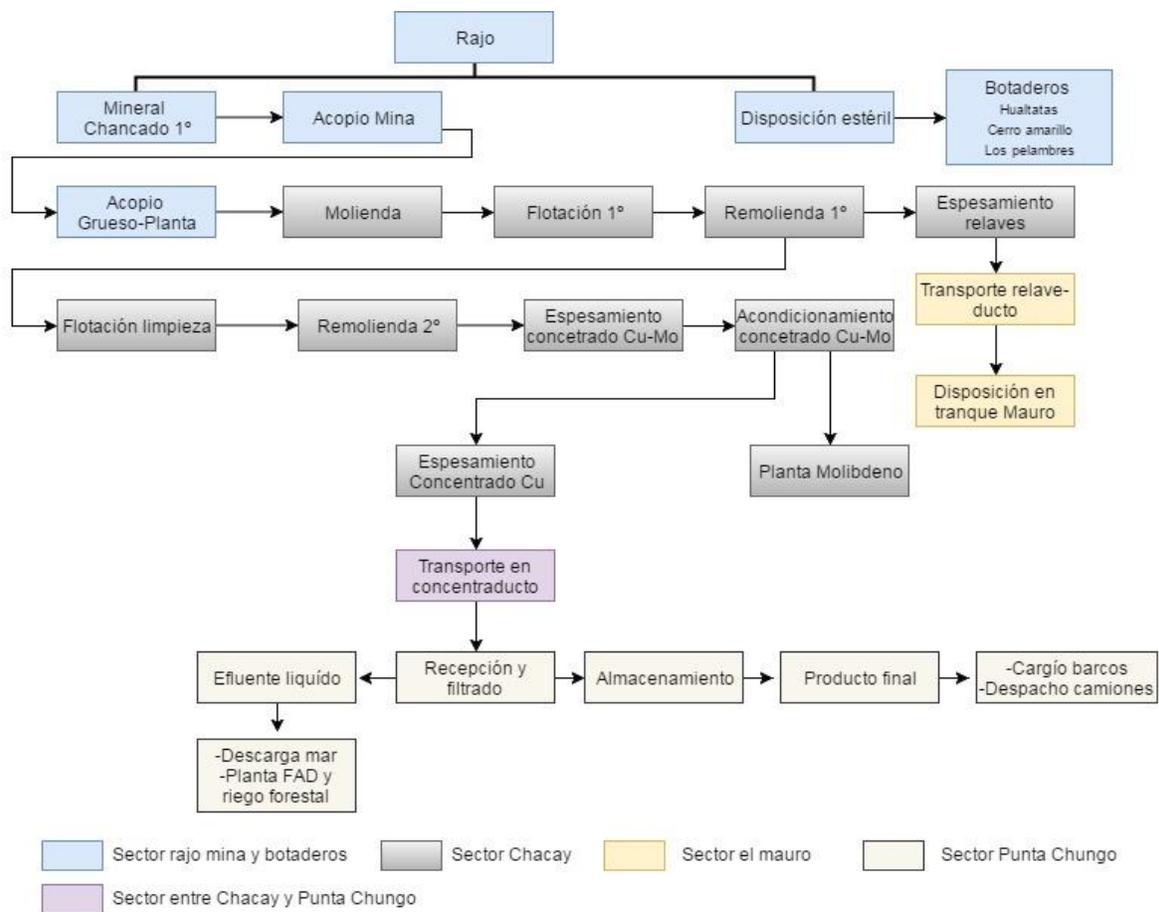


Figura 8: Esquema de los procesos de MLP. Fuente: Modificado de Gestión Ambiental Consultores (2003).

Específicamente en el sector Chacay se ubican una serie de pozos (tabla 6); de bombeo (PB), de monitoreo (PM), ambiental (PA) y zanja corta fugas (PZ), que se han construido desde el inicio de la operación del tranque hasta la actualidad. El listado de pozos existentes es el que se puede observar en la tabla 10. Aquellas unidades identificadas como ABQ's corresponden a los pozos ubicados entre la base del muro del tranque de relaves y el acceso a la propiedad minera (portones), los identificados como SG-2007 y SG-2008 se ubican en la base del muro del tranque y los identificados como P-XX

corresponden a los pozos ubicados al interior del tranque de relaves, algunos con profundidades tales que alcanzan el nivel de aguas subterráneas.

Tabla 6: Pozos ubicados en la Cuenca del río Cuncumén propiedad de MLP; PB: pozo de bombeo, PM: pozo de monitoreo. Fuente: (AMEC, 2014)

ID POZO	UTM_E WGS84	UTM_N WGS84	TIPO	ID POZO	UTM_E WGS84	UTM_N WGS84	TIPO
ABQ-6	347.457,0	6.473.635	PB	ABQ-7E	347.360,7	6.472.969,8	PB
ABQ-7	347.344,8	6.472.969,6	PB	ABQ-7F	347.333,4	6.472.762,2	PB
ABQ-8	347.219,2	6.472.510,1	PB	ABQ-8A	347.327,8	6.472.531,2	PB
SG 2007-03	347.576,6	6.473.897,6	PM	ABQ-9A	347.581,9	6.473.854,9	PB
SG 2007-04	347.589,1	6.473.911,9	PM	ABQ-9C	347.563,3	6.474.038,0	PB
SG 2007-05	347.603	6.473.880,7	PM	ABQ-6-7	347.279	6.473.199,6	PB
SG 2007-06	347.567	6.473.906,4	PM	ABQ-6-7A	347.397,6	6.473.130,1	PB
ABQ-6A	347.447,2	6.473.613,4	PM	ABQ-6E	347.586,1	6.473.396,2	PM
ABQ-7C	347.165,1	6.473.001,1	PM	ABQ-9B	347.690,7	6.473.807,6	PM
ABQ-7A	347.297,7	6.472.970,2	PB	ABQ-9D	347.822,4	6.473.816,8	PM
ABQ-7B	347.255,1	6.472.926,6	PB	P-01	349.239,9	6.477.782,9	PM
ABQ-7D	347.276,4	6.472.722	PB	P-06	348.616,4	6.475.650,7	PM
ABQ-9	347.737,2	6.473.889,1	PB	P-07	348.461,2	6.476.409,5	PM
SG 2008-01	347.543	6.473.924	PM	P-08	348.356,5	6.476.022,8	PM
SG 2008-02	347.613,4	6.473.872,8	PM	P-09	348.285,2	6.475.763,3	PM
SG 2008-03	347.629,6	6.473.860,3	PM	P-11	348.002,2	6.476.440,5	PM
SG 2008-04	347.592,3	6.473.888,9	PM	P-12	347.996,8	6.476.136,7	PM
SG 2008-05	347.692,9	6.473.818,5	PM	P-13	347.888,8	6.475.752,0	PM
ABQ-6C	347.688,3	6.473.607,5	PB	P-20	349.873,7	6.478.754,3	PM
ABQ-6D	347.749,9	6.473.568,8	PB	P-23	349.992,0	6.475.839,3	PM
ABQ-6B	347.595,7	6.473.525,7	PM				

Además de los pozos en esta zona se ubica el tranque de relaves los Quillayes, el tranque de cola, el túnel de desvío del río Cuncumén y el tranque de relaves el Chinche (figura 9). El tranque de relaves los Quillayes (TQ) está albergado en la parte media del valle del río Cuncumén con una orientación SO aguas abajo. Recibió relaves hasta diciembre 2008 y durante su vida operacional habría recibido 396 Mt de relaves con un contenido de humedad promedio del 58%. Se extiende por 3.3 km aguas arriba hasta el muro de cola, el cual separa el TQ del tranque de cola, donde el volumen de almacenamiento disponible del embalse permite a MLP almacenar agua cuando se eleva la tasa de descarga del río en el caso de tormentas o deshielo aguas arriba en su cuenca. Desde el Tranque de Cola el agua es captada por la bocatoma y enviada al interior del túnel de desvío, construido a lo largo del perímetro noroeste del TQ, descargando aguas abajo del tranque en una zona conocida como salto de sky. Al interior del túnel de desvío se producen infiltraciones desde el tranque hacia el túnel debido a la diferencia de cota existente entre ambos (El túnel se ubica en una cota inferior). Las infiltraciones son recogidas y depositadas en una piscina, ubicada bajo la zona del tranque, conocida como C3. Actualmente la cubeta se encuentra fuera de operaciones y está dividida en dos sectores; uno seco aledaño al muro y otro como acumulador de aguas de unos 2.130 m de largo y entre 300 y 500 m de ancho. Este último se utiliza como laguna de clarificación donde MLP extrae agua para devolver al proceso.

El tranque el Chinche corresponde a un depósito ubicado al costado SE del TO y se encuentra en un proceso de fitoestabilización (SWS, 2012)

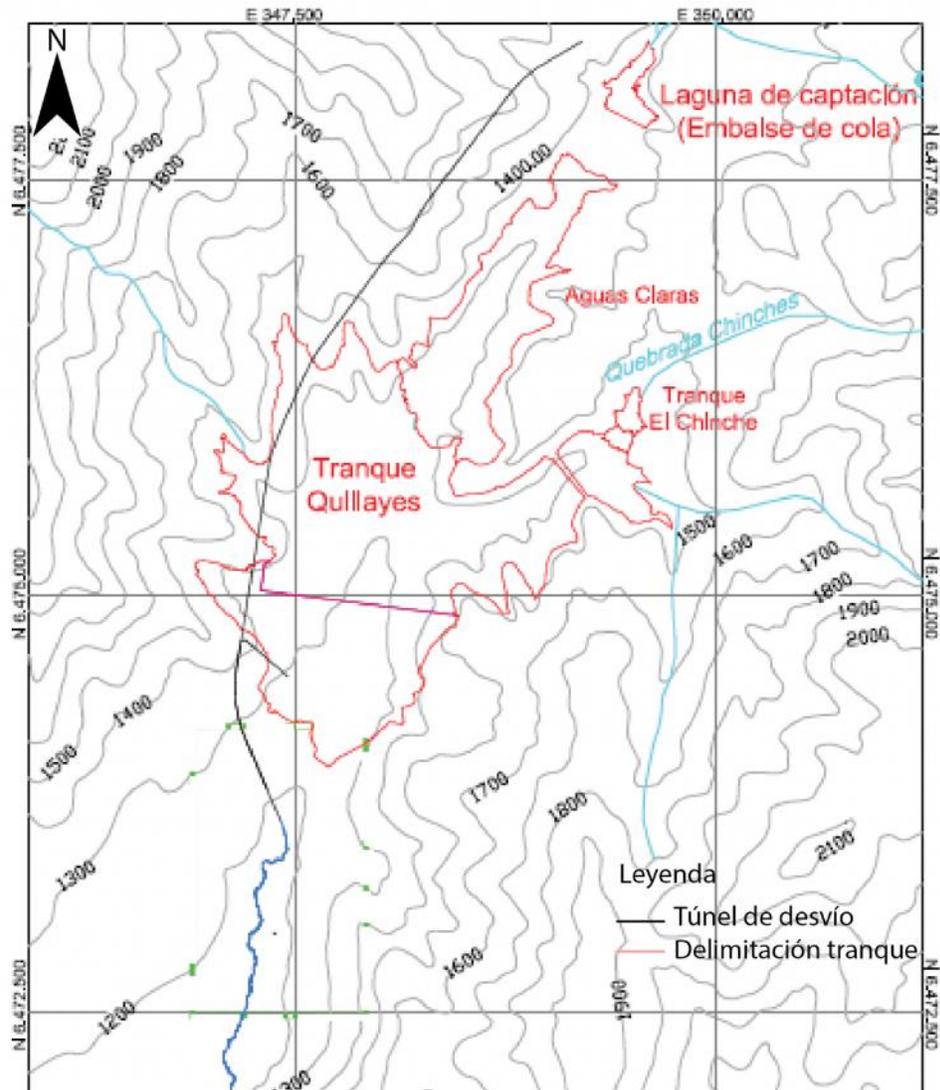


Figura 9: Mapa sector tranque de relaves con sus componentes y distribución. Fuente: Modificado de SWS (2012)

## 3.2 Marco Geológico

### 3.2.1 Geología Regional

En la figura 10 se observa el mapa geológico de la zona de estudio, con todas las unidades y estructuras respectivas que serán detalladas a continuación:

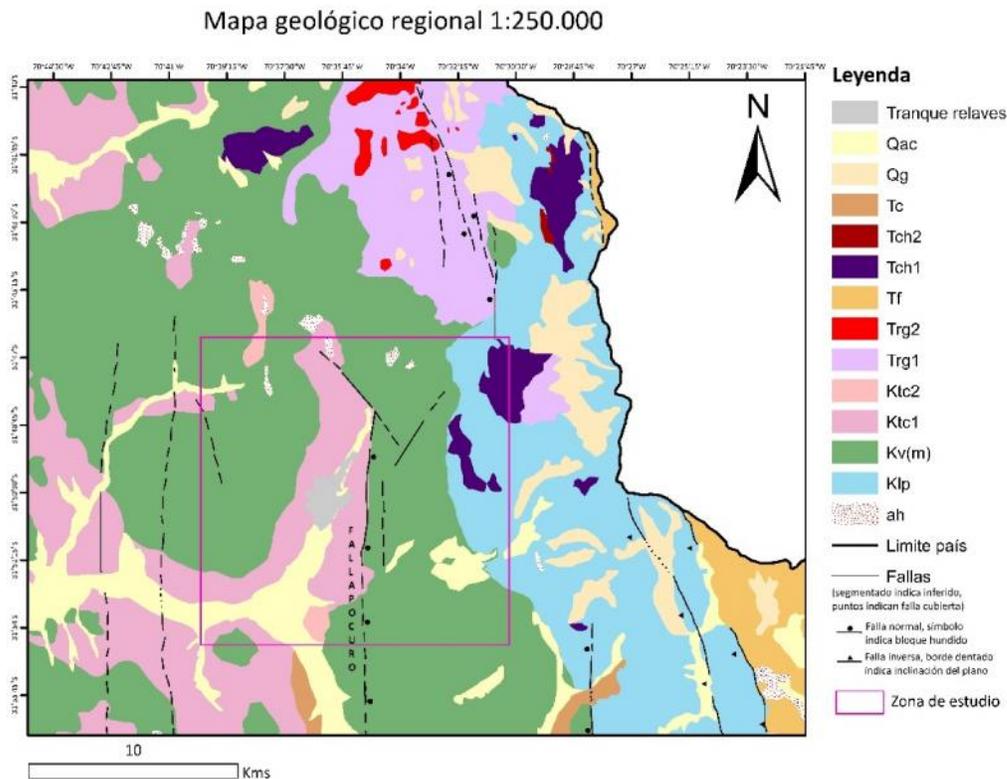


Figura 10: Mapa geológico regional de la zona de estudio escala 1:250.000. Fuente: Modificado de Rivano (1991).

#### 3.2.1.1 Rocas estratificadas

Formación Los Pelambres (Klp) (Cretácico Inferior)

Corresponde a una secuencia de rocas volcánicas y sedimentarias compuestas por lavas, brechas y conglomerados andesíticos, tobas arenosas y areniscas, con intercalaciones de calcarenitas y calcilutitas, a veces fosilíferas, que afloran en la Cordillera Principal. Es cubierta discordantemente por la Formación Salamanca al norte de la Hoja, mientras que al noreste y al este está intruida por granitoides Oligocenos. Los afloramientos se distribuyen formando una franja norte-sur con un ancho promedio de 5-7 km. Se le asocia

una edad principalmente Cretácica inferior. Estimaciones indican espesores de más de 2300 m (Rivano, 1991)

#### Formación Salamanca (Kv(m)) (Cretácica Superior)

Se conforma de una secuencia de lavas andesíticas, tobas y brechas de igual composición, con intercalaciones riolíticas, que aflora en la parte centro-oriental de la Hoja Illapel. Sobreyace de forma discordante a la Formación Pelambres, al este en la Cordillera Principal. Es una franja de orientación norte-sur, en ella se reconocen dos miembros: Miembro Santa Virginia (inferior); composición conglomerádica con areniscas rojas e intercalaciones escasas de fangolitas y calizas lacustres, y Miembro Río Manque (superior). Es el último el que aflora en la zona de estudio y tiene una composición principalmente andesítica a dacítica, con abundantes niveles de brechas volcánicas e intercalaciones subordinadas de conglomerados y areniscas e incluso calizas lacustres, con espesores superiores a los 2000 m en el sector de la Cordillera Principal. La edad se ha podido acotar a Cretácica superior (Rivano, 1991).

#### Formación Farellones (Tf)

Se observa en el sector más oriental de la zona de estudio, en el límite fronterizo con Argentina, y corresponde a una secuencia de volcanitas clásticas y terrígenas en la cual se distinguen dos miembros; el inferior, Tuquito formado principalmente por tobas líticas riolíticas a riodacíticas, donde el espesor promedio es entre 130 y 170 m, y uno superior, Buitre, con un espesor mínimo de 1000 m y que está constituido en gran parte por lavas andesíticas y andesítico-basálticas, donde la parte superior de la Formación la constituye siempre la superficie de erosión actual. Se apoya en discordancia angular sobre diversas formaciones más antiguas dependiendo del sector y su disposición estructural característica es subhorizontal. En función de las dataciones K-Ar realizadas se obtiene una edad esencialmente Miocena (Rivano, 1991).

#### Depósitos no consolidados (Cuaternario)

Estos depósitos corresponden a sedimentos aluviales y coluviales (Qac), además de sedimentos glaciales y glaciofluviales (Qg) asignados al periodo Cuaternario (Rivano, 1991).

#### Depósitos aluviales y coluviales (Qac)

Los sedimentos aluviales y coluviales se relacionan principalmente con los actuales cursos de agua y están conformados por gravas y ripios, mal estratificados, además de arenas y limos que presentan buena estratificación (Rivano, 1991). El depósito aluvial más abundante en el área corresponde a

sedimentos aterrazados compuestos por gravas finas limosas con arcilla y/o arenas con limos arcillosos con presencia de escasos bloques angulares. Las amplias terrazas drenan hacia el cauce del río Pelambres, sin embargo debido a la mala selección de los sedimentos y a una conductividad hidráulica reducida se estima un flujo de agua subterránea menor asociado a este depósito (SWS, 2012).

#### Depósitos glaciales y glaciofluviales (Qg)

Los sedimentos glaciales se exponen exclusivamente en el sector este de la Hoja a una altura que supera los 2.500 m.s.n.m. En la Cordillera Principal existen numerosos valles que presentan formas típicas de erosión glacial hacia sus nacientes y que exponen en su cabecera acumulaciones morrénicas en el fondo de los circos glaciales. Los valles más importantes se ubican en el extremo suroriental de la Hoja y en el caso de la zona de estudio corresponde al valle del río Cerro Blanco, el que está compuesto de abundante material clástico anguloso, incluido en una matriz arenosa, donde es común encontrar sobrepuestos a éstos, lóbulos glacio-nivales recientes (Rivano, 1991).

#### Unidad de Relaves (Tranque relaves)

Actualmente se presenta una nueva formación Cuaternaria y antropogénica que corresponde a los materiales de relaves depositados en los Tranques Quillayes y El Chiche. Son materiales desde arenas finas hasta arcillas como resultado del tratamiento del Cu extraído en la faena minera. El espesor dependerá de la distancia de la superficie del tranque al basamento, alcanzando espesores superiores a 200 m (SEID, 2015).

### 3.2.1.2 Rocas intrusivas

#### Superunidad Cogotí (Cretácico Superior – Paleógeno)

Este conjunto forma una franja elongada en sentido norte-sur de granitoides que intruyen a la Formación Salamanca donde es posible distinguir dos unidades: la Unidad Fredes y la Unidad Nogalada. Los afloramientos en superficie adoptan formas muy irregulares y los principales cuerpos que se han observado corresponden, de sur a norte, al Plutón Las Tazas, el Plutón Chellepín-Cuncumén, el Plutón Chalinga y el Plutón Fredes, además de la presencia de numerosos cuerpos más pequeños como apófisis, stocks, etc (Rivano, 1991).

#### Unidad Fredes (Ktc1)

Constituye la unidad más importante y se ubica en la parte oriental de la franja de intrusivos cretácico-paleógenos. Incluye granodioritas, tonalitas, monzodioritas de hornblenda y biotita y dioritas de anfíbola y piroxeno, siendo

predominantes los términos monzodioríticos a dioríticos. Numerosas dataciones K-Ar indican que la edad de la unidad se ubicaría entre el Cretácico Superior terminal y el Paleógeno inferior a medio (Rivano, 1991).

#### Unidad Nogalada (Ktc2)

Está formada por pequeños cuerpos sienograníticos y monzograníticos, con muy poca biotita y anfíbola de grano medio y pobres en ferromagnesianos, los que ocupan una situación central dentro de la Unidad Fredes, de la cual han sido separados debido a su aspecto característico. No hay datos radiométricos disponibles para esta unidad, pero la estrecha relación areal con la Unidad Fredes permite suponer un intervalo similar de edad (Rivano, 1991).

#### Superunidad Río Grande (Oligoceno-Mioceno, Rivano et al. 1985)

Se observa como un conjunto de rocas intrusivas, ácidas a básicas, y que, en gran parte, constituyen el cordón fronterizo que se extiende hasta Argentina, especialmente en la mitad norte de la Hoja (RIVANO, 1975; RIVANO, 1980). Se han podido diferenciar dos unidades; Unidad Río Las Cuevas y Unidad El Polvo (Rivano, 1991).

#### Unidad Río Las Cuevas (Trg1)

Es la unidad más importante areal y volumétricamente, constituyendo por sí sola alrededor del 95% de la Superunidad Río Grande y aflora, principalmente, en el plutón Río Grande (90-95% del total del plutón). Corresponde a monzogranitos, de color blanco a rosado claro, grano medio a grueso y con presencia de efectos cataclásticos, y granodioritas de biotita y hornblenda, que pueden mostrar variaciones a facies más de borde de carácter monzonítico a monzodiorítico. En esta unidad se han hecho dos dataciones K-Ar en biotita que la ubican en el Mioceno más inferior, casi en el límite con el Oligoceno (Rivano, 1991).

#### Unidad El Polvo (Trg2) (Rivano et al., 1985)

Está formada por un gran número de pequeños cuerpos de composición variable entre dioritas de anfíbola-piroxeno a gabros de piroxeno con extensiones de menos de 1 km. Se dispone de una sola datación K-Ar, en roca total, otorgándole una edad Oligocena (Rivano, 1991).

#### Superunidad Río Chicharra (Mioceno, Rivano et al. 1985)

Corresponde a rocas intrusivas y probablemente también subvolcánicas, de composición ácida a intermedia con presencia de cuerpos en superficie desde 'stocks' a filones, intruyendo a unidades cretácicas y terciarias de la zona. Se han distinguido tres unidades: Unidad Río Cerro Blanco, Unidad Portezuelo del

Azufre, compuesta por pequeños pórfidos cuarzo-feldespáticos que aparecen en el Plutón Pelambres, donde están intensamente afectados por la alteración allí presente, y Unidad Tambillos, compuesta por una serie de filones y cuerpos lacolíticos, de composición dacítico a monzonítico cuarcífero, aflorando pequeños cuerpos en el Plutón Pelambres (Rivano, 1991).

#### Unidad Río Cerro Blanco (Tch1)

Consistida por monzodioritas, monzogranitos, monzonitas y dioritas de biotita-hornblenda-piroxeno. Aflora en la mitad norte del Plutón Estero Fuentecillas, en el Plutón Pelambres, en la mitad occidental del Plutón Río Cerro Blanco y en el Plutón del Río Totoral. Las dataciones de K-Ar en biotita indican una edad Miocena media (Rivano, 1991).

### 3.2.1.3 Estructuras

En la Hoja Illapel se reconocen tres dominios estructurales principales separados por límites geológicos-geomorfológicos: dominio costero, dominio central y dominio cordillerano, donde se concentra principalmente la zona de estudio. El dominio cordillerano se desarrolla al este de la megafalla Pucuro y se extiende más allá de la frontera con Argentina y corresponde a un ambiente tectónico compresivo, caracterizado por fuerte replegamiento y cabalgamiento de las unidades meso-cenozoicas hacia el este, lo que al menos ha duplicado el espesor de apilamiento sedimentario. Los cabalgamientos han originado fallas inversas de alto ángulo y vergencia oeste, desarrollándose solo una estrecha franja plegada y fallada en territorio chileno (Rivano, 1991).

En la extensión de la Hoja se observan numerosas fallas normales, verticales a subverticales, donde es posible identificar tres sistemas de fallas: Sistema de fallas NS-NNW, Sistema de fallas NNE-NE y Sistema de fallas NWW-NW. El Sistema de fallas NS-NNW resulta ser el más importante, debido a que se agrupan las fallas regionalmente más destacadas. En el dominio Cordillerano, centrado en la zona de estudio, se encuentran la megafalla Pucuro (MFP) y el Graben de Estero Cenicero, que constituye la prolongación hacia el norte de la megafalla. (Rivano y Sepúlveda 1991). La MFP corresponde a una zona de fallas que forma parte de una mega-estructura de ancho variable de entre 700 a 800 m, que se extiende entre los 33°S y 31°S aproximadamente, entre las ciudades de Santiago (la Falla San Ramón en Santiago representa la extensión al sur del MFP) y La Serena. En la zona de estudio, la MFP se ubica al oriente del valle Cuncumén. Aguas arriba del muro del Tranque Quillayes, la falla intersecta el valle del río Pelambres (SWS, 2012).

### 3.3 Marco Hidrológico

#### 3.3.1 Valle del Choapa

El río Choapa nace en plena cordillera de Los Andes a unos 140 km del mar y se forma por la confluencia de los tributarios Totoral, Leiva y del Valle. Aguas abajo, aún dentro del dominio andino, el río Choapa recibe como afluentes al Cuncumén y al Chalinga, y sin recibir otro afluente de importancia abandona el ámbito andino. Es solamente en su curso medio cuando recibe un afluente importante, el río Illapel, que le entrega sus aguas por el norte. Desemboca al mar junto a la Caleta de Huentelauquén, a unos 35 kms al norte del puerto de Los Vilos. La cuenca hidrográfica del río Choapa tiene una extensión de 8.100 km<sup>2</sup> y se divide en seis sectores como se observa en la figura 11, donde el foco de interés es el sector Choapa Alto (DGA, 2007), ya que es allí donde se encuentra la cuenca del río Cuncumén.

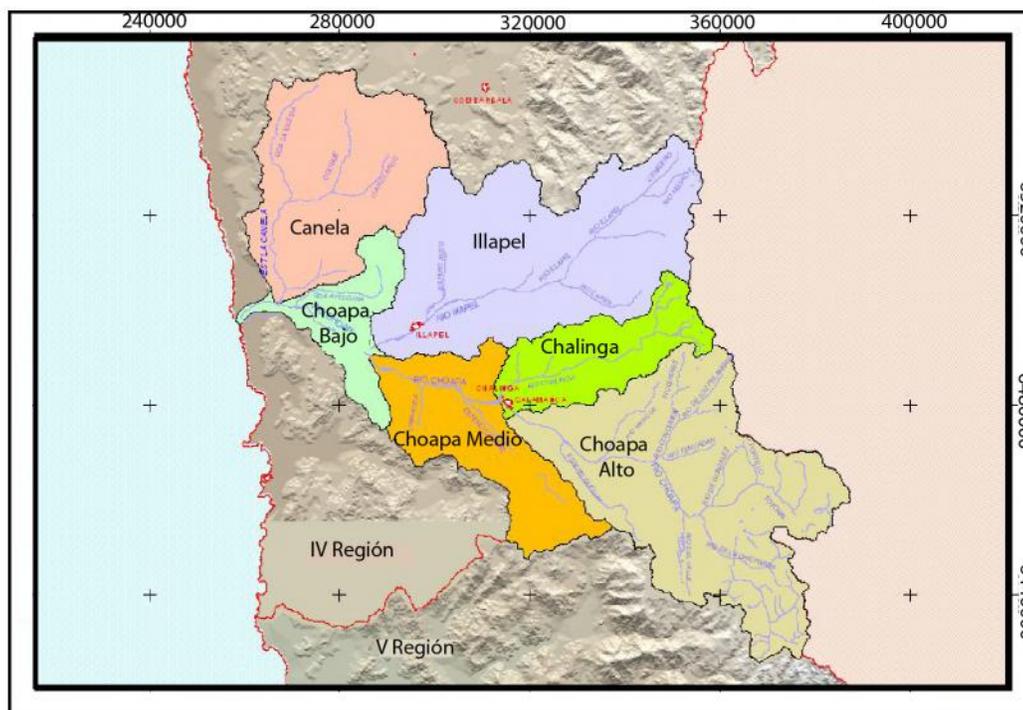


Figura 11: Sectorización valle del Choapa indicando sus respectivas subcuencas. Fuente: Modificado de (DGA, 2007)

La demanda de aguas subterráneas en la cuenca del Choapa Alto es la que se observa en la tabla 7, donde se observa claramente que los usos principales corresponden a minería y riego, alcanzando un total aproximado de 2600 l/s en el sector completo.

Tabla 7: Demanda agua subterránea según tipo de uso en la cuenca Choapa Alto. Fuente: (DGA, 2007)

Uso	Demanda [l/s]
Riego	1195,6
Industria	0
Agua potable	95,7
Minería	1285
Total	2576,3

Por otra parte, la oferta de aguas subterráneas en la cuenca del Choapa Alto, medido en la estación fluviométrica de Salamanca se observa en la tabla 8. El cálculo se realiza en función de la disponibilidad para cada sector acuífero, utilizando el criterio de interferencia, considerando que no se puede afectar a los caudales superficiales más del 10% del  $Q_{85}$ .

Tabla 8: Oferta de aguas subterráneas en la cuenca Choapa Alto. Fuente: (DGA, 2007)

Sector	Estación fluviométrica	Oferta [l/s]
Choapa Alto	Choapa en Salamanca	230

Debido a los datos presentados en las tablas 7 y 8 es que el acuífero conocido como Choapa Alto constituye una zona de restricción desde 2009.

Acorde a la información obtenida en los boletines hidrológicos y pronósticos en línea de la DGA, el informe de febrero de 2017 indica que el caudal promedio del río Choapa en Cuncumén para el mes de noviembre de 2016, mes en el que se realizó el muestreo, fue de 26.5 m<sup>3</sup>/s (DGA, 2017).

### 3.3.2 Cuenca del río Cuncumén

La cuenca hidrológica del área estudiada comprende 243 Km<sup>2</sup> y va desde el sector mina hasta el pueblo de Cuncumén. Los caudales máximos del río Cuncumén y las quebradas que drenan al traque ocurren coincidiendo con el invierno altiplánico en los meses de diciembre-enero, aunque también sufre aumentos de nivel ante las precipitaciones invernales, muchas en forma de nieve, durante los meses de julio-agosto (SEID, 2015).

La construcción del tranque de relaves Quillayes modificó toda la hidrología local. Previa a la construcción de la presa, el río Cuncumén recogía el agua proveniente de la escorrentía superficial y la infiltración subterránea en el valle. La construcción del tranque y principalmente el túnel de desvío,

que recorre el depósito por su lado izquierdo, cambiaron toda esta dinámica. Actualmente el túnel de desvío capta el agua superficial (la principal en el sector) desde las zonas altas tras la confluencia del estero Piuquenes y el río Pelambres (a partir de este sector se llama río Cuncumén). El túnel de desvío presenta abundantes infiltraciones, toma aguas del tranque con aguas naturales, actuando como un gran dren lateral al tranque. Actualmente al relave solo llega el agua natural proveniente de la escorrentía e infiltración de las laderas laterales del depósito (SEID, 2015).

### 3.3.2.1 Recorrido del Río Cuncumén

La cuenca del río Cuncumén recibe aportes desde el estero Hualtatas; en la parte más proximal al sector mina, luego desde el río Cerro Blanco; en la zona medial entre la cabecera y el tranque Quillayes, posteriormente en las proximidades al tranque Quillayes recibe aportes menores del estero Chacay y finalmente, después de aproximadamente 19 km de recorrido desde la cabecera, el río Pelambres recibe los aportes del Estero Piuquenes, y es a partir de este punto que se conoce como río Cuncumén. En los siguientes 125 m, el río Cuncumén entra a una laguna de colección de aguas arriba del Tranque de Relaves Quillayes y desde ahí fluye por la bocatoma del túnel de desvío que lo lleva por la parte noroeste del depósito de relaves hasta descargar al lecho natural del río Cuncumén a través de una rampa de descarga, donde dicho túnel de desvío tiene un largo de 5.210 m. El cauce del río Cuncumén recibe varios arroyos pequeños de quebradas mientras fluye hacia su confluencia con el río Choapa (figura 12). La longitud total del cauce del río Cuncumén-Pelambres es de 30 km aproximadamente (AMEC, 2014).

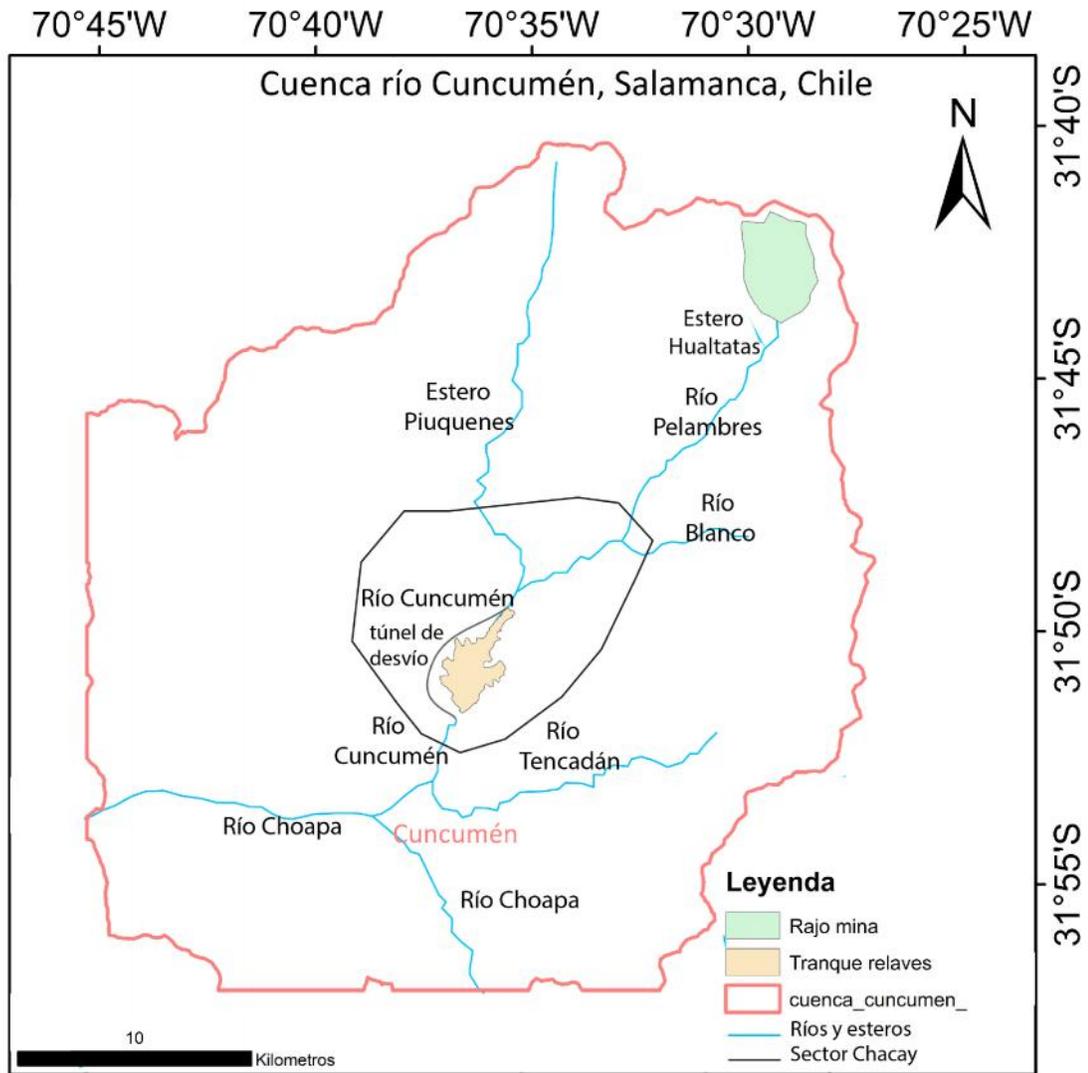


Figura 12: Recorrido ríos y estero cuenca río Cuncumén. Fuente: Modificado de (AMEC, 2014)

### 3.4 Marco Hidrogeológico

#### 3.4.1 Unidades Hidrogeológicas

A continuación, se presentan las unidades hidrogeológicas en roca, y sedimento en el valle del río Cuncumén modificadas de (AMEC, 2014; SWS, 2012)

##### 3.4.1.1 Cuenca Alta del Río Cuncumén

Del marco geológico se desprende que el tranque de relaves se emplazó en un sector con afloramiento de rocas intrusivas monzodioríticas, cubiertas parcialmente por conos de deyección aterrazados, escombros de faldas y

rellenos aluviales en los valles. Por otra parte, también afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación Salamanca afectadas por la estructura regional; la Falla Pocuro. De acuerdo con lo anterior, se identificaron 3 unidades hidrogeológicas: 1) La zona de la Falla Pocuro que pasa por el área del Tranque El Chinche y el muro este del Tranque Quillayes en sentido Este-Oeste como una unidad hidrogeológica con permeabilidades del orden de  $8 \times 10^{-5}$  cm/s, 2) rocas intrusivas moderadamente fracturadas correspondientes a tonalitas, monzonitas y diorita con permeabilidades del orden de  $4,32 \times 10^{-4}$  m/d; y 3) depósitos aluviales de cauces de ríos y quebradas (AMEC, 2014).

#### 3.4.1.2 Valle del Río Cuncumén

Se reconocen 5 unidades hidrogeológicas bajo el depósito de relaves a partir de las perforaciones realizadas durante la etapa de factibilidad del tranque los Quillayes. La primera de ellas corresponde a los depósitos no consolidados que varían de depósitos aluvio-fluviales a depósitos aluvionales aterrizados. Se considera que esa unidad tiene un papel menor en el transporte de los contaminantes (AMEC, 2014; SWS, 2012).

La segunda unidad corresponde a roca intensamente meteorizada y fracturada. Esta unidad se localiza en superficie en zonas fracturadas abiertas, y cerca de la zona de daño de las fallas y diques. Alcanza potencias superiores a los 50 m. El frente de meteorización en un granitoide avanza en profundidad de manera irregular siguiendo los sectores más fracturados, las fallas y la reunión de otros factores de poca resistencia a la meteorización. (AMEC, 2014; SWS, 2012)

La tercera unidad está constituida por rocas con meteorización y fracturamiento moderado y se localiza bajo la unidad anterior. (AMEC, 2014; SWS, 2012)

La cuarta unidad corresponde a roca con baja meteorización y fracturamiento o roca sana. (AMEC, 2014; SWS, 2012)

La unidad 5 identificada, con base al mapeo geológico realizado a los testigos de las perforaciones de los pozos ABQ´s, corresponde a los diques andesíticos, los cuales atraviesan el basamento con un espesor variable y un potencial hidrogeológico alto a muy alto, debido al grado de fracturamiento en relación con la roca encajante. (AMEC, 2014; SWS, 2012)

En la tabla 9 se presenta un resumen de las unidades hidrogeológicas en roca y sedimento identificadas en la zona de estudio con sus respectivos

valores de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento. Los valores presentados pueden tener importantes variaciones regionales, dependiendo de las características particulares que cada unidad de suelo, litológica o estructural posea en un determinado lugar, especialmente en o cerca de la superficie (AMEC, 2014; SWS, 2012)

Tabla 9: Valores de permeabilidad y coeficiente almacenamiento para todas las unidades hidrogeológicas. Fuente: Modificado de (AMEC, 2014; SWS, 2012)

Sector	ID	Unidad Hidrogeológica	Permeabilidad	S
Cuenca alta del río Cuncumén	1	Zona de falla pocuro	$8,64 \cdot 10^{-3}$	0,24
	2	Rocas intrusivas alta a moderadamente fracturadas adyacentes a la zona de Falla Pocuro	$8,64 \cdot 10^{-3}$	0,04
	3	Dep. de abanicos aluviales antiguos	$8,64 \cdot 10^{-4}$	0,04
Valle del río Cuncumén	1	Dep. aluviales y fluviales	86,4-0,086	0,25
	2	Rocas intrusivas intensamente fracturadas y falladas	0,864- $8,64 \cdot 10^{-3}$	0,04
	3	Rocas intrusivas moderadamente fracutradas	$8,64 \cdot 10^{-5}$	1
	4	Rocas intrusivas y volcánicas pobremente fracturadas a frescas	$8,64 \cdot 10^{-5}$	0,04
	5	Diques andesíticos	0,086	0,04

### 3.4.2 Geometría del Acuífero

En el área del río Cuncumén se aprecian dos acuíferos, uno de ellos ubicado en el sedimento no consolidado y otro que se localiza en la roca fracturada. El primero, cuya extensión no se aprecia debido a la falta de perforaciones al lado oeste del río Cuncumén y a la falta de mapeos superficiales de detalle donde se describan posibles surgencias a lo largo del talud, no se sabe si los sedimentos están saturados ni su geometría. Del lado este del río se reconocieron áreas saturadas como las cercanías del pozo ABQ-6A, una zona al sur del pozo ABQ-7B, y antiguamente en la zona de la Piscina N°3. Probablemente, la mayor parte del acuífero superficial es captado por el dren bajo el muro principal o se infiltra hacia el acuífero fracturado.

El segundo acuífero es el que se localiza en la roca fracturada y su geometría no se puede definir con claridad. En la ladera este del valle la roca se presenta poco fracturada, según lo observado en la geofísica y en las perforaciones. En el caso de la ladera Oeste no se puede definir cuál sería el

límite, debido a la ausencia de trabajos de exploración de geofísica o perforaciones. En cuanto a la profundidad del acuífero se estima que de acuerdo a algunas perforaciones el basamento puede estar entre los 120 metros y 84 metros, en el área terminal del valle (AMEC, 2014; SWS, 2012).

### 3.5 Geomorfología

En la zona de estudio es posible identificar 2 unidades morfoestructurales que, de oeste a este, corresponden a: cordones transversales y cordillera andina que se observan en la figura 13 (Rulamahue, 2015).

La cordillera andina en esta región se desplaza hacia el poniente acercándose mucho a la costa, donde a la latitud de Illapel se presenta la parte más angosta del territorio nacional con 95 kilómetros de ancho entre el litoral y la frontera con Argentina. Presenta alturas que comienzan a decrecer desde el Norte de la provincia, predominando las cimas entre 3.000 y 4.000 metros (BCN, s.f.).

Los valles transversales constituyen formas derivadas de una disposición del relieve organizado transversalmente en forma de cordones montañosos y que interrumpen el desarrollo de la depresión intermedia en el territorio sin un patrón homogéneo. Los cordones transversales se desprenden de la Cordillera de los Andes hasta entrar en contacto con las planicies litorales, donde las alturas promedio de estos cordones varían entre 600 y 1.200 metros. Uno de los tres valles transversales principales de la región es el valle del Choapa, siendo este el más estrecho. En su curso medio se encajona para posteriormente formar un amplio sector de terrazas fluviales en su desembocadura (BCN, s.f.).

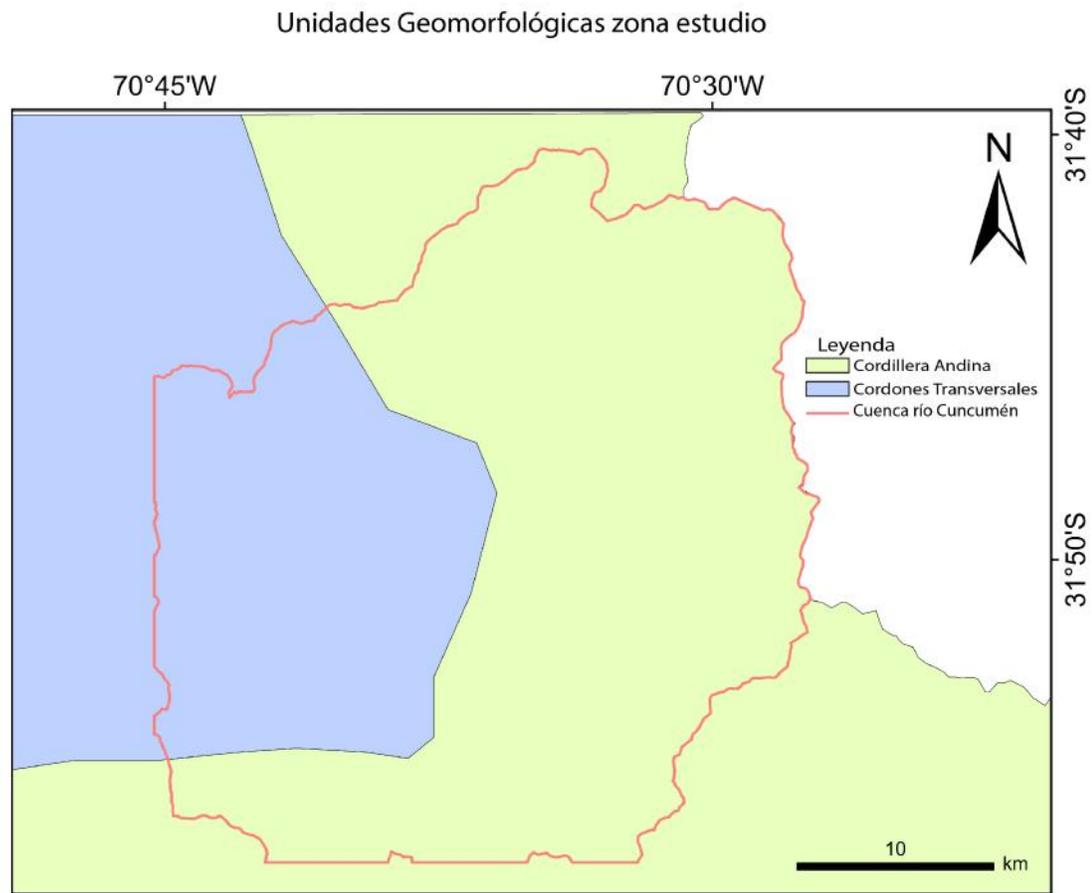


Figura 13: Mapa Unidades geomorfológicas de la zona de estudio. Fuente: Modificado de (Rulamahue, 2015).

### 3.6 Clima

Se presentan tres tipos de climas en la zona de estudio: tundra de lluvia invernal (Tlli), en la franja cordillerana limítrofe; mediterráneo de lluvia invernal de altura (Mllia), en la franja contigua hacia el oeste; y semiárido de lluvia invernal (Slli) en el sector del valle de Cuncumén aguas abajo del tranque Quillayes. Los datos que caracterizan cada zona se observan en la tabla 10.

Los valores de precipitación medidos en las estaciones de la zona de estudio se pueden observar en la figura 14.

Tabla 10: Datos climáticos promedio zona estudio, indicando Precipitación anual (Pp anual) y Temperatura media (Tmedia) para cada tipo de clima. Fuente: (U.Chile, 2017)

	TIII	MIIa	SIII
Pp anual [mm]	700	900	130
Tmedia [° C]	3	9	12.5

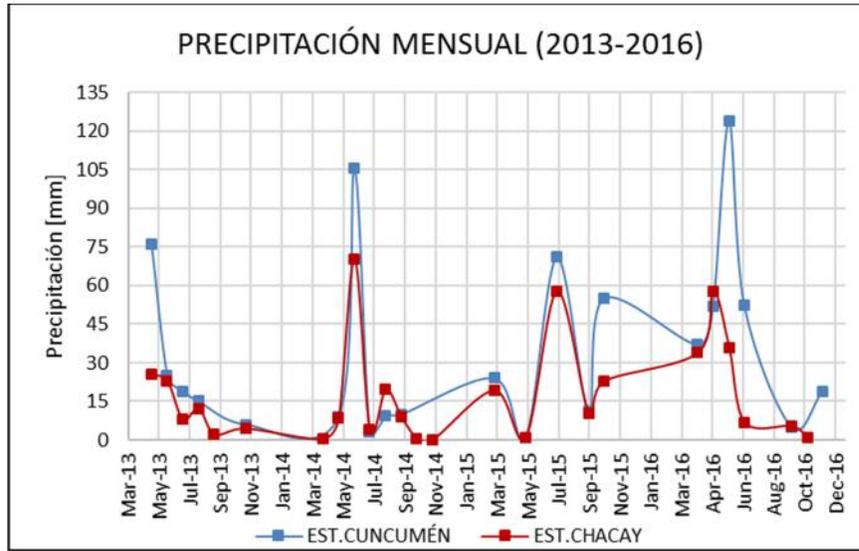


Figura 14: Precipitación mensual estaciones Cuncumén y Chacay periodo 2013-2016. Fuente: (DGA, 2016)

### 3.7 Antecedentes de trabajos previos en la zona

Geology of the Los Pelambres Porphyry Copper Deposit, Chile (Sillitoe, 1973).

El depósito pórfido cuprífero Los Pelambres se relaciona a un stock tonalítico del Mioceno superior emplazado en estratos sedimentarios y volcánicos andesíticos del Jurásico Superior-Cretácico Medio que constituyen un monoclin de trend norte-sur. El patrón de zonación de alteración hidrotermal y mineralización está centrado en el stock y está representado por un núcleo de alteración potásica rodeado por una zona de alteración feldespática destructiva semi-anular, que gradúa hacia el exterior como una alteración propilítica. La zona potásica se caracteriza por la presencia de biotita, feldespato potásico, cuarzo, anhidrita y sulfuros hidrotermales, estos sulfuros, principalmente calcopirita, bornita, pirita, molibdenita, comprenden la potencial mineralización económica. La zona de alteración potásica destructiva es principalmente del tipo argílica y sericítica en las partes marginales del stock y corresponde a una silicificación en los estratos volcano-sedimentarios. La pirita es el sulfuro más común en las rocas que han sufrido

esta alteración. Se distinguieron 2 variedades de brechas hidrotermales asociadas principalmente a la zona de alteración feldespática destructiva. Alteración supérgena muy poco desarrollada en el depósito debido a la relativamente reciente edad de emplazamiento y el efecto intenso de erosión glacial. Una zona superficial de lixiviado, donde los minerales oxidados de cobre son poco comunes. La génesis de este depósito parece explicarse por un modelo ortomagmático.

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 (Parra, y otros, 2011).

En este estudio se realizaron análisis químicos durante el periodo de 1980-2004 en nueve estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca del Choapa y se consideraron los siguientes parámetros: As, Cu, Fe, pH, EC,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ . Los resultados indican contenidos moderados de As, Cu y Fe, a excepción del río Cuncumén y el arroyo Auco que se explican por la influencia de actividades mineras (Los Pelambres y otros). Al comparar estos resultados con los obtenidos en estudios anteriores en el vecindario, específicamente asociados a la cuenca del río Elqui, que hospeda el distrito Au-Cu-As El Indio, es posible reconocer un grado de contaminación considerablemente menor para la cuenca del río Choapa. Si además consideramos el drenaje ácido de mina asociado al contenido de Cu en la fracción fina de los sedimentos de las cuencas de ambos ríos, las diferencias son aún mayores. A pesar de que el orden de magnitud del depósito Los Pelambres es hasta dos veces mayor que el depósito El Indio, tanto el agua como los sedimentos transportados en el curso del río Choapa presentan contenidos de Cu muy inferiores al curso del río Elqui. Se postula que el factor principal que podría estar condicionando este comportamiento es el grado de alteración hidrotermal de las rocas hospedantes y la capacidad que tendría esta de neutralizar el drenaje ácido de mina (ARD).

Geoquímica del drenaje en las tres cuencas áridas de la región agrícola-minera de Coquimbo (Chile): Balance de una década de estudios (2000-2010) (Jorge Oyarzún, 2011).

En la región de Coquimbo la minería y la agricultura constituyen las actividades económicas principales. Los estudios realizados consideran geoquímica de las aguas y de los sedimentos fluviales, donde los resultados indicaron que en la cuenca del río Choapa, donde se explota el depósito minera Los Pelambres que corresponde a un pórfido Cu-Mo gigante a nivel mundial, no se encontraron anomalías de Cu ni de Mo. Este hecho se atribuye a que las rocas del distrito presentan una alteración hidrotermal de carácter débil y que

por este motivo han sido capaces de neutralizar el potencial drenaje ácido de mina.

Investigando temas minero-ambientales en el norte de Chile: más allá de los megaproyectos, la investigación formateada y la retórica ambientalista (Roberto Oyarzún, 2010).

El estudio de la cuenca del Choapa arrojó resultados curiosos; pese a la presencia del gigantesco pórfido cuprífero Los Pelambres en la alta cordillera de la subcuenca del Choapa Alto que hacía pensar que se encontrarían elevados niveles de contaminación en sedimentos fluviales, no se observó el comportamiento esperado. Se postulan tres factores geológicos a considerar para un modelo de dispersión de metales y metaloides a partir de mineralizaciones emplazadas en altura: 1) intensidad de fracturamiento a escala local y regional (a mayor fracturamiento, mayor es el proceso de erosión y por tanto de remoción), 2) litología de la roca encajante (litologías que tienen efecto tampón (calizas) o que tiene posibilidad de aumentar el pH en función del contenido de feldespatos (ígneas)) y 3) la alteración hidrotermal (feldespatos son la única barrera que existe entre una lixiviación masiva o controlada, a mayor cantidad de feldespatos mayor será la capacidad de la roca de neutralizar las soluciones).

Actualización de la evolución de la pluma del tranque Quillayes (SWS, 2012).

Durante los años 2010 y 2011, SWS realizó seis campañas (I, II, III, IV, V, VI) de muestreo que cubrieron las necesidades de datos hidroquímicos e isotópicos que permitieron ubicar la pluma de contaminante al menos estacionalmente y en función de las variaciones de nivel freático que se constataron.

En base a los límites definidos en función de las unidades geológicas, grado de fracturamiento de la roca y conocimiento de la extensión de las unidades en profundidad, las consideraciones hidroquímicas y la definición de la barrera hidráulica al pie del tranque, se definieron conceptualmente 5 zonas o compartimentos hidrogeológicos en la zona de estudio (1, 2, 3, 4 y 5).

Respecto a la composición química del agua, casi todas las aguas, subterráneas y superficiales, consideradas en este estudio están dominadas por el catión de calcio. El anión dominante es el sulfato.

El análisis de la composición isotópica del agua ( $^{18}\text{O}\%$  y  $^2\text{H}\%$ ) permitió establecer los miembros extremos de las composiciones; la línea base de la cuenca y el agua de proceso, a partir de los cuales se calculan las proporciones de mezcla, en términos relativos, entre estas dos aguas. Para la asignación de las dos composiciones extremas se establece que solo existe

una fuente de contaminación de las aguas que fluyen por el valle del río Cuncumén y que esta corresponde al Tranque Quillayes, ya que todos los resultados de los análisis isotópicos de las muestras se sitúan sobre la línea de evaporación del tranque.

El Origen de la pluma de contaminantes tiene como fuente los efluentes de agua de los relaves del Tranque Quillayes al sistema de agua subterránea. Antes de realizar la campaña de perforación 2010-2011, se había identificado lo que ocurría principalmente por el estribo izquierdo del muro del tranque. Con la perforación de los pozos ABQ-9A y ABQ-9C (campaña 2010-2011) se identificó también una fuente de filtración por el estribo derecho y por abajo del tranque.

Considerando el aislamiento hidráulico existente entre las Zonas Hidrogeológicas N°1 y N°2 al pie del tranque, es probable que existan en esta zona dos plumas de contaminante independientes, que circulan con una dirección norte-sur a lo largo de esta barrera hidráulica, y que se juntan aguas abajo en el sector ubicado entre los pozos ABQ-6 y los pozos ABQ-7.

Ingeniería aguas ácidas tranque Quillayes-El Chinche: Modelo hidrogeológico Conceptual (AMEC, 2014).

Para el estudio de Ingeniería de Aguas Ácidas Tranque Quillayes y El Chinche se realizó un levantamiento de información dentro y fuera de los depósitos con el fin de complementar la información existente que conduzca a identificar las medidas o soluciones para la mitigación o el manejo de la generación de drenaje ácido en la zona de estudio. A partir de este estudio se elaboró un modelo conceptual, el cual permitió establecer las principales características del sistema de estudio que serán consideradas posteriormente en la construcción e implementación de un modelo numérico. La elaboración del modelo conceptual se realizó una caracterización geológica, geofísica, hidroquímica e hidrogeológica a nivel regional y local definida como área de estudio, donde se presentan los parámetros hidrogeológicos que representan la geometría del acuífero, las entradas y salidas del sistema, el sentido de flujo (piezometría), y un balance hídrico preliminar.

El levantamiento geológico del túnel de desvío, demostró que el frente de meteorización no se extiende en profundidad, paralelamente a la superficie del terreno. Las filtraciones del túnel de desvío se han producido, probablemente, por el lavado de fallas originalmente rellenas con arcilla y asociadas a zonas amaicilladas. Estas filtraciones se han incrementado debido a la carga hidráulica representada por los relaves situados directamente sobre el techo del túnel, filtraciones que están relacionadas a los materiales de los depósitos

de la zona de estudio y especialmente al fracturamiento que atraviesan las rocas intrusivas.

De acuerdo con la información recopilada, la descripción geológica indica que el acuífero asociado a la cuenca del río Cuncumén en la zona de estudio es de tipo endorreico y la geofísica permitió identificar los siguientes tipos de zonas: relaves no saturados, relaves saturados y el contacto suelo-relave, llegando incluso a poder inferir gradientes hidráulicos en los mismos.

Los antecedentes recopilados de calidad de agua en los pozos de monitoreo de agua subterránea muestran y concluyen que existe actualmente una contaminación que se representa por una pluma de sulfato que se debe a aportes del depósito de relaves, y para los cuales a través del tiempo, MLP ha implementado una serie de medidas conducentes a impedir que esta pluma avance hacia el sur. A pesar que el túnel de desvío presenta un nivel inferior al tranque Quillayes y que se ha visto afectado por filtraciones provenientes de este, los análisis realizados a los monitoreos desde el año 2009 hasta el año 2012 muestran valores de sulfato muy similares entre el río Pelambres, a la entrada, y a la salida del túnel de desvío llegando a concentraciones cerca de 200 mg/L.

Este estudio indicó que existe conservatividad en los componentes de la confluencia del estero Piuquenes con el río Los Pelambres, y se demostró que los puntos de monitoreo de agua superficial aguas abajo del Tranque Quillayes y El Chinche no son afectados por el agua subterránea, ya que las concentraciones de iones son bajas y se mantiene el tipo de agua sulfatada cálcica.

La caracterización de agua poral de la perforación de pozos dentro del Tranque Quillayes mostró que las aguas, en su mayoría tienen tipo sulfato cálcicas, de concentraciones similares a las encontradas tanto en la laguna como en la primera fila de los pozos ABQ's aguas abajo del muro.

Para el área de estudio se definieron 11 unidades hidrogeológicas, conformados por depósitos no consolidados; depósitos no consolidados antrópicos finos; depósitos no consolidados antrópicos gruesos; rocas intrusivas alteradas con diferente grado de fracturamiento; rocas fracturadas y roca sana. Se observan tres acuíferos, ubicados en las unidades hidrogeológicas de las unidades de los depósitos no consolidados, depósitos consolidados antrópicos gruesos y en la roca fracturada. El agua almacenada en el depósito de relaves recibe recarga de aguas industriales por medio de su laguna de aguas claras, recarga lateral de acuíferos en roca y precipitaciones. El acuífero en sedimento no consolidado es recargado en parte por la recarga

directa e indirecta, producto de las precipitaciones y por la infiltración del tranque de relaves. El acuífero fracturado, se localiza principalmente en los sectores donde están los diques, y es recargado por aguas del depósito de relaves e infiltraciones desde el acuífero sedimentario. Las principales descargas del sistema subterráneo se producen por los bombeos de los pozos ABQ y por la piscina aguas abajo del depósito de relaves, así como el flujo subterráneo de la cuenca del río Cuncumén que va a la cuenca del río Choapa. El túnel de desvío, funciona como dren del sistema acuífero encontrado en el depósito de relaves.

#### Informe hidrogeológico consolidado pozos productores tranque Quillayes y Chinche (SEID, 2015)

En este trabajo se integra la información geofísica, los resultados de las perforaciones realizadas por (AMEC, 2014), los resultados obtenidos por Pozos Profundos durante la perforación de los pozos productores de la cubeta de ambos tranques, el monitoreo de calidad del agua y la operación y resultados de las barreras hidráulicas de los pozos ABQ y del túnel de desvío. A partir de esta información se pretende explicar claramente las razones de la conceptualización, construcción y operación de los pozos productores perforados en la cubeta del Tranque Quillayes y Chinche, integrando los objetivos de producción de los pozos con el plan de contención de la pluma de contaminación aguas abajo del muro de arenas del Tranque Quillayes.

Al integrar y analizar los datos existentes en el sector de la cubeta del Tranque Quillayes, se pudieron identificar los elementos principales de un modelo conceptual hidrogeológico. Se identificaron 5 unidades hidrogeológicas, con geometrías y propiedades hidráulicas distintas, donde la unidad de mayor potencial hidrogeológico corresponde a los depósitos sedimentarios aluviales del lecho del río Cuncumén y sus abanicos aluviales asociados, además es posible reconocer la gran importancia de las unidades intrusivas fracturadas y meteorizadas bajo el relave que, a pesar de tener menores permeabilidades, tiene una ocurrencia areal importante. Las unidades de relave presentan una gran variabilidad de permeabilidades, pero en general se comportan como un acuífero de moderado potencial y no como un acuitardo. A partir de la piezometría es posible indicar un efecto combinado de variaciones relativas a la disminución de la recarga (efecto estacional) y un importante efecto relacionado al bombeo de los pozos de producción actualmente en operación de prueba. Se verifica que el bombeo no solo afecta a las unidades bajo el relave, sino que afecta paulatinamente a los niveles más someros del relave. La química de los pozos revela un importante y significativo aporte de aguas de proceso. La isotopía da cuenta de que los pozos de producción capturan casi un 80% de aguas de proceso (tipo aguas claras) y solo un 20% de aguas naturales.

La futura operación de bombeo de los pozos tendría 3 efectos principales: 1) capturar las aguas que en la actualidad drenan hacia el túnel de bypass, 2) captar las aguas que fluyen por debajo del muro y 3) la captura de las aguas que fluyen por los costados del muro (estribos izquierdo y derecho).

## 4. Marco Teórico

Para la realización de esta memoria se utilizaron diferentes técnicas, tanto químicas como isotópicas, para llegar a las conclusiones esperadas en función de los objetivos planteados. Aquí una breve explicación de cada una de ellas.

### 4.1 Caracterización hidrogeoquímica

La hidrogeoquímica estudia la química de las aguas subterráneas, los mecanismos de adquisición de sales, las variaciones espaciales y temporales y los procesos modificadores (tabla 11). La composición hidrogeoquímica de los acuíferos se va a ver afectada por la composición de las aguas de alimentación y su variación en el tiempo y el espacio, por sus modificaciones en el transcurso de la infiltración, por la naturaleza del material acuífero, por el tiempo de contacto agua-roca y por otros procesos. Se pueden considerar tres sistemas principales a partir de los cuales el agua adquiere y ve modificado su quimismo: atmosférico (lluvia), edáfico (suelos y zona no saturada) y litológico (zona no saturada y zona saturada). Además, se puede considerar una cuarta marca que sería la antrópica (Pulido, 2007).

Tabla 11: Factores o procesos que afectan el quimismo de un agua. Fuente: Modificado de Pulida (2007)

Condiciones naturales	Influencia antrópica
Lluvia	Humos industriales
Concentración por ETP	Abonos agrícolas
Disolución sales suelo	Reciclaje regadíos
Infiltración	Ríos contaminados
Circulación en acuífero	Intrusión marina
Litofacies	Actividad minera
Alimentación lateral	
Áreas evaporación directa	
Relación río-acuífero	

Dentro de los principales procesos modificadores de la química del agua se pueden mencionar los fenómenos físicos; evolución del agua o mezcla con

otras aguas o fenómenos químicos; proceso de óxido-reducción, el intercambio iónico y los procesos de disolución y precipitación (Pulido, 2007).

### Evolución del agua de lluvia

El agua de lluvia presenta un contenido iónico en su caída, variable en el tiempo y función de su distancia a la costa. Cuando el agua de lluvia alcanza el suelo disuelve  $\text{CO}_2$  y ácidos húmicos y fúlvicos, por lo que va a ser un agua agresiva. Esta agua sufre una concentración debido a la evaporación pudiéndose presentar diversos casos; evapotranspiración inferior o superior a la precipitación, donde frecuentemente se da una mezcla de ambas situaciones dependiendo de la estación y humedad del año en cuestión. Por estos conceptos es que se pueden producir variaciones espaciales y temporales en el quimismo del agua, tanto más acusada cuanto menor sea la superficie y mayor sea la velocidad de circulación. Las áreas de un acuífero sometidas a evaporación directa pueden presentar un incremento del contenido salino como consecuencia de la concentración consiguiente, pero en régimen natural el factor que más condiciona la variación espacial de las características fisicoquímicas es la litofacies de los terrenos que constituyen el acuífero o sus bordes. Otro aspecto que considerar es el movimiento del agua subterránea, donde se definen tres sistemas de flujo: local, intermedio y regional (Pulido, 2007).

En el proceso de adquisición de sales las aguas comienzan a diluir sustancias y sales en la propia atmósfera, luego en el suelo (ZNS) y posteriormente en el subsuelo, sufriendo una serie de modificaciones. En condiciones naturales, las aguas subterráneas tendrán características químicas muy poco variables en el tiempo, presentando la siguiente gradación:  $\text{HCO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{Cl}^-$ , en el caso de los aniones, y  $\text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Na}^+$ , en el caso de los cationes. Respecto a los aniones; el ión cloruro puede proceder en primera instancia de agua de lluvia, donde normalmente alcanza valores de 30 ppm y su concentración disminuye considerablemente con la distancia al mar, aunque también puede proceder de contaminación por residuos sólidos y líquidos urbanos, que pueden llegar a duplicar e incluso más el contenido en  $\text{Cl}^-$ . El ión sulfato está contenido en pequeñas cantidades en el agua de lluvia, pero puede proceder en grandes cantidades de la oxidación de sulfuros presentes en las rocas ígneas, de la disolución de yeso y anhidrita y de las actividades industriales. En cuanto a los cationes; el ión calcio puede provenir del agua de lluvia, aunque en grandes cantidades podría ser producto de ataque químico, disolución de anhidrita y yeso o ataque de feldespatos y otros silicatos cálcicos, donde suele alcanzar la saturación, precipitar o ser intercambiado. En el caso del ión magnesio puede tener diversos orígenes, entre estos, silicatos magnésicos y ferromagnésicos y contaminación (Pulido, 2007).

## Dilución/Concentración y mezcla de aguas

Una situación frecuente en la dinámica de las aguas subterráneas es la de mezcla de aguas con diferente contenido iónico. El efecto de ión común puede conducir entonces a la precipitación de ciertas sales como el  $\text{CaCO}_3$ , si se mezcla un agua con concentración en  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  a saturación con otra que haya disuelto yeso ( $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ) (IGME).

## Procesos de disolución y precipitación

Las aguas en su circulación se cargan en sales, con un límite que viene impuesto por la solubilidad de la sal y su saturación. Aquellas sustancias muy solubles, pero de velocidad de reacción muy lenta van a variar su concentración en función del tiempo de interacción agua-roca. La concentración de un agua se puede ver incrementada por procesos de evaporación. La mezcla de aguas puede asimismo provocar nuevas disoluciones o precipitaciones (Pulido, 2007).

## Procesos antrópicos

Los residuos mineros centran la atención desde el punto de vista ambiental ya que, dependiendo de la constitución de los mismos, presentan una fuente potencial de generación de drenaje minero (DM). La generación de DM se debe, principalmente, a la interacción entre el material con capacidad de reacción que forma parte de una fuente potencialmente generadora de DM (botaderos, depósitos de relave, residuos derivados del proceso de lixiviación, rajos y minas subterráneas), con el agua natural, oxígeno atmosférico y/o microorganismos. Esta interacción puede desencadenar procesos de oxidación química y/o biológica del material, y/o la lixiviación de elementos asociados (metales, metaloides y/o aniones). El DM se puede clasificar en Drenaje Minero Ácido (DMA), Drenaje Minero Neutro (DMN), Drenaje Minero Alcalino (DMAL) y Drenaje Minero Salino (DMS). Todos estos tipos de drenaje pueden ser producidos por la oxidación de minerales sulfurados y reflejan el resultado de una serie de procesos químicos, físicos y biológicos, que determinarán finalmente la calidad química del drenaje, donde el tipo de DM dependerá del balance entre las reacciones de consumo y generación de acidez. El Drenaje Minero Salino (DMS) se refiere al drenaje que contiene elevados niveles de sulfato en rangos de pH cercanos al neutro sin una carga significativa de metales en solución, siendo sus principales constituyentes el sulfato, magnesio y calcio (SERNAGEOMIN & F.Chile, 2015).

De lo expuesto con anterioridad se deduce que la composición de las aguas subterráneas naturales representa una situación dinámica cambiante en el espacio y en el tiempo cuya interpretación ha de realizarse teniendo en cuenta la posible interacción de los procesos y fenómenos citados anteriormente sobre una base geológica e hidrogeológica lo más completa posible.

Las herramientas utilizadas para poder realizar la caracterización de la zona de estudio en función de su evolución química fueron las siguientes:

#### 4.1.1 Balance iónico

En el análisis químico de una muestra de agua se debe cumplir que la suma de miliequivalentes de aniones ha de ser igual a la de cationes. Normalmente se cumple que:  
 $r(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{NO}_3^-) = r(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ . En la práctica no se cumple dicha coincidencia, ya sea por errores en las determinaciones de cada uno, un error analítico, o que no se ha determinado algún ión mayoritario. El error de balance de un análisis químico, está dado por la expresión de (Appelo & Postma, 2005):

$$\text{Error balance iónico (\%)} = \frac{\sum \text{cationes} - \sum \text{aniones}}{\sum \text{cationes} + \sum \text{aniones}} * 100 \quad (1)$$

#### 4.1.2 Diagrama Piper

Método analítico utilizado para identificar el origen de las aguas y determinar los procesos involucrados en la química natural de las aguas. Consta de 2 triángulos equiláteros iguales, donde en uno se plotean los aniones y en el otro los cationes y cada lado del triángulo va de cero a 100. Estos triángulos se ubican contiguos y al realizar la proyección de ambos triángulos, se obtiene la representación de la composición total de la muestra en un cuadrilátero central, que a su vez se divide en 4 zonas como se observa en la figura 15 (Zapozec, 1972)

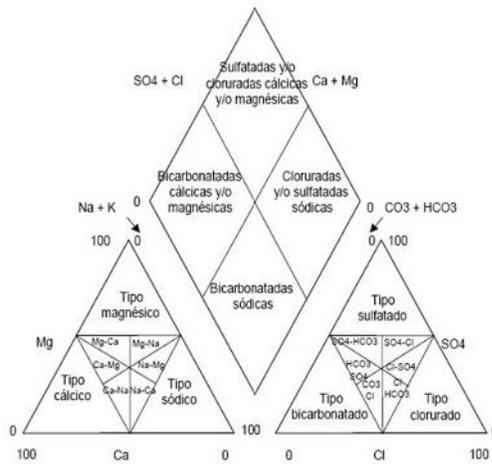


Figura 15: Diagrama piper y clasificación de agua según cuadrante. Fuente: (Bragado, 2016)

#### 4.1.3 Diagrama Stiff

Este corresponde a un método de correlación que permite comparar los análisis químicos y de esta forma encontrar diferencias o similitudes entre las muestras. Este diagrama está compuesto por tres ejes horizontales de igual escala, los que unen un anión con un catión, los cationes son ubicados al lado izquierdo y los aniones al lado derecho. En este estudio, se colocaron como indica la figura 16; en forma descendente el  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  con el  $\text{Cl}^-$  en el primer eje, el  $\text{Ca}^{2+}$  con el  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3$  en el segundo y el  $\text{Mg}^{2+}$  con el  $\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3$  en el tercero, las concentraciones de cada uno se encuentran en meq/l (Zaporozec, 1972)

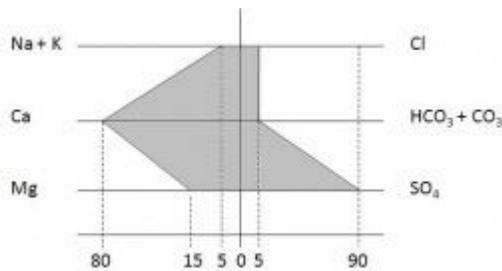


Figura 16: Diagrama Stiff. Fuente: (Ecured, s.f.)

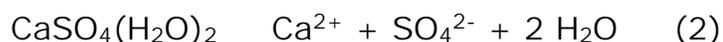
#### 4.1.4 Mapas distribución de datos

Esta herramienta permite ver la distribución de los distintos datos en función de la dirección principal de flujo, pudiendo así indicar una tendencia o evolución del sistema.

#### 4.1.5 Diagramas binarios

Esta herramienta permite crear agrupaciones de datos que tengan comportamientos similares y observar tendencias de comportamientos de los iones respecto a otros. En este caso en primera instancia se realizaron gráficos de ión v/s Cl. El cloruro es el ión que tiene el carácter más conservativo de los 8 principales solutos que dominan la química natural de las aguas debido a dos razones; el intercambio aniónico es menor y el cloruro permanece en solución hasta la saturación de halita, mineral altamente soluble (Eugster & Jones, 1979). Debido a esta característica es que su uso como trazador está entre los más comunes y en este caso permitió realizar una caracterización de las muestras y su posterior agrupación en función de un comportamiento similar.

También se utilizan diagramas molares Ca v/s SO<sub>4</sub>, Ca + Mg v/s SO<sub>4</sub>, Mg v/s SO<sub>4</sub> ya que sus patrones de comportamiento podrían indicar procesos mineralógicos que explicasen la química del agua como se puede observar en la ecuación 2.



El yeso que está en contacto con el agua se disuelve instantáneamente, y por lo tanto el agua que se encuentra inmediatamente en contacto con el yeso siempre está completamente saturada. La concentración de yeso en el resto del flujo suele ser bastante menor.

#### 4.1.6 Diagrama Schoeller-Berkaloff.

Se representan los iones: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en mg/L cada uno en una columna. En los extremos se sitúan escalas en meq/L. Estos diagramas permiten ver fácilmente las mezclas, que aparecen como líneas intermedias entre las aguas orígenes. También visualizan las disminuciones o aumentos en un determinado compuesto y los cambios de pendientes de los segmentos que indican cambios en algunas relaciones iónicas. Comparando la forma en que queda representada cada muestra de agua, pueden deducirse las posibles reacciones y también establecer grupos de aguas con características similares (FCIHS, 2009)

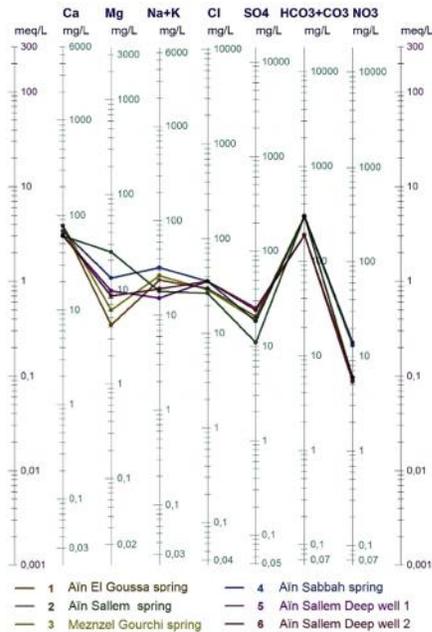


Figura 17: Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Fuente: (Redhaounia, 2015)

#### 4.1.7 Razones iónicas

El uso de las relaciones iónicas en estudios hidroquímicos tiene como objetivo ayudar a identificar los aspectos relacionados con las reacciones que han tenido lugar en las aguas subterráneas, como resultado de mezclas de diferentes aguas o la interacción agua-terreno. Entre otras muchas posibilidades cabe destacar: la determinación del origen continental o marino del agua subterránea, la identificación de posibles procesos de disolución-precipitación, de oxidación-reducción y de intercambio iónico; el trazado de líneas de flujo, como la dirección del aumento de la mineralización del agua en un acuífero; el origen del agua salina presente en los acuíferos costeros por intrusión marina activa o relicta en proceso de lavado; el sentido de la intrusión marina en acuíferos costeros y determinar los procesos de contaminación agrícola e industrial.

La metodología que se emplea consiste en calcular el valor de ciertas relaciones iónicas (en meq/L), en este caso se calculó la razón iónica  $r_{SO_4 / Cl}$  ya que dependiendo de los valores obtenidos es un indicador de procesos de contaminación antrópica o natural. Estas relaciones se comparan con el valor de las mismas en el agua de recarga, lluvia local o agua freática, en el agua de mar y en aguas de acuíferos colindantes con los cuales pueda existir una conexión hidráulica. Se estudian y comparan sobre el mapa las variaciones espaciales y temporales del valor de las relaciones en el acuífero. Todas estas observaciones deben contextualizarse de forma más amplia con todos los

datos disponibles, límites y extensión de los acuíferos, piezometría, parámetros hidráulicos, para validar o descartar las diversas hipótesis de trabajo. Cada relación en particular informa sobre aspectos o procesos concretos, por lo que es muy útil pensar de antemano cuales se necesitan. Además, se pueden proponer y calcular nuevas relaciones, aunque no sean las más habituales, que puedan resultar útiles (FCIHS, 2009).

## 4.2 Isótopos estables

Las aguas subterráneas contienen mayor o menor cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas, principalmente en solución, pero también de forma coloidal o incluso en suspensión. El contenido de sustancias disueltas y coloidales en las aguas ha sido materia de estudio intensivo, debido a que la predicción de la calidad del agua a partir de su composición química no es sencilla por efectos de adsorción, dispersión, desorción entre otros procesos que pueden cambiar su concentración durante el transporte. Estas pueden ser de origen natural o antrópico, donde estos dos orígenes entregan información de distintos aspectos del movimiento de las aguas subterráneas. Teniendo en cuenta la existencia de múltiples trazadores, resulta importante mencionar la característica fundamental de estos; deben ser no-reactivos (conservativos) y fáciles de medir, donde además es posible distinguir dos tipos generales de trazadores los históricos y los ambientales (IAEA, 2000)

A pesar de que todos los elementos presentes en los sistemas hidrogeológicos tienen múltiples isótopos, sólo algunos son de uso habitual en la práctica de estudios ambientales. Los isótopos ambientales son los elementos que ocurren de forma natural que se encuentran en abundancia en el medio ambiente; H, C, N, O y S, estos corresponden a los principales elementos de los sistemas hidrológicos, geológicos y biológicos. Los isótopos estables de estos elementos sirven como trazadores del ciclo del agua, carbón, nutrientes y solutos. Son elementos livianos, lo que implica que la diferencia relativa de masa entre sus isótopos es grande, impartiendo fraccionamientos importantes durante las reacciones químicas y físicas. Los isótopos radioactivos de algunos de estos elementos también son importantes en hidrogeología, es a partir de su decaimiento que tenemos una medida del tiempo y podemos estimar la edad o circulación de las aguas subterráneas, este sería el caso del trito, isótopo radioactivo del hidrogeno de masa 3 (IAEA, 2000).

Los isótopos ambientales estables se miden a partir de la razón entre los dos isótopos más abundantes de un elemento dado (R) a partir de la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{R_{\text{spl}}}{R_{\text{std}}} - 1 \quad (\times 1000 \text{‰}) \quad (3)$$

Este valor usualmente se determina por espectrometría de masa y se representa como la desviación isotópica que se expresa delta (  $\delta$  ), referido a un estándar (std) (IAEA, 2000).

Los isotopos ambientales radioactivos se calculan a partir del decaimiento del isótopo en función de la vida media de este. El cálculo se basa en una "input function" que debe ser conocida o determinada.

Los isótopos en los estudios medioambientales tienen principalmente cuatro aplicaciones (FCIHS, 2009):

- 1) datar la edad (normalmente del agua) mediante isótopos radioactivos,
- 2) conocer el origen del agua o de los contaminantes a partir de los isótopos estables de agua y/o solutos,
- 3) conocer las reacciones biogeoquímicas y las vías de degradación de contaminantes que tienen lugar en un emplazamiento a partir de estudios multi-isotópicos y finalmente
- 4) cuantificar la eficiencia de los procesos de descontaminación, tanto naturales como inducidos a partir del conocimiento del fraccionamiento isotópico.

#### 4.2.1 Composición isotópica de la molécula del agua

Los isotopos estables en el agua,  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$ , son afectados por procesos meteorológicos que impregnan una huella característica de su origen. Esta huella es fundamental para investigar la proveniencia del agua subterránea (I. Clark, P. Fritz, 1997)

Para sentar las bases analíticas de la signatura isotópica de las aguas, Harmon Craig en 1961 publico la correlación de las aguas provenientes de precipitación a escala global, conocida como línea meteórica global (GMWL), donde la relación entre  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  se define a partir de la ecuación 4:

$$^2\text{H} = 8 * ^{18}\text{O} + 10 \text{‰ SMOW} \quad (4)$$

La relación meteórica entre  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  surge a partir del fraccionamiento durante la condensación de la masa de vapor. Sin embargo, es la destilación de Rayleigh durante la precipitación la responsable del fraccionamiento de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  entre el vapor de la nube y el agua o nieve de la precipitación. La evolución de  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  en la composición de las aguas meteóricas comienza con la evaporación desde los océanos (I. Clark, P. Fritz, 1997). Los posibles procesos asociados a la evolución isotópica del agua se mencionan en la figura 18.

Los resultados para  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  se dan en referencia al estandar "Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW)"-(I. Clark, P. Fritz, 1997)-

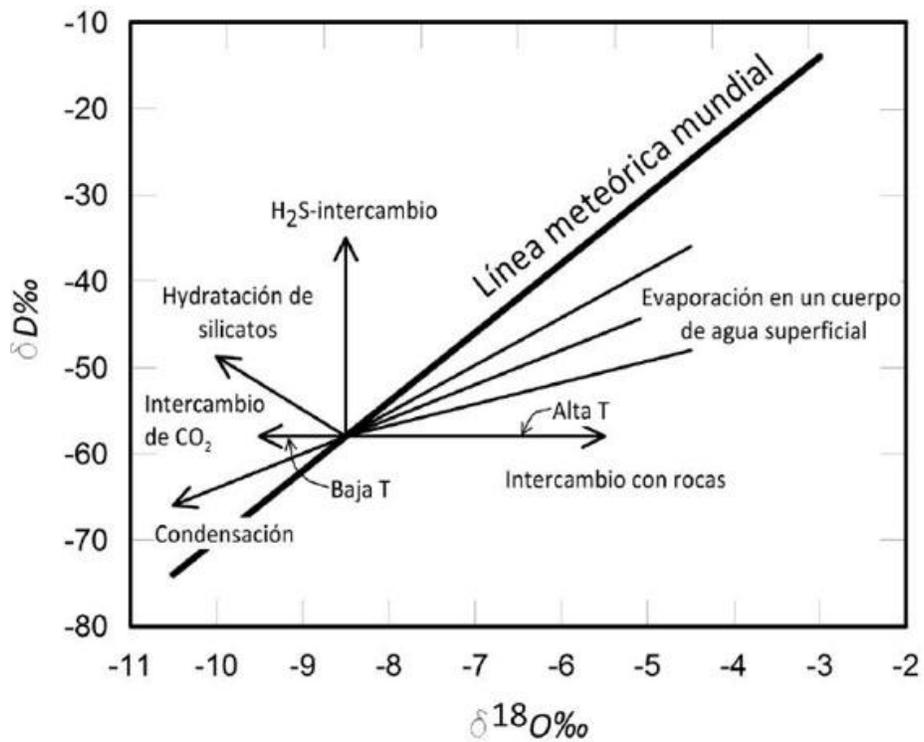


Figura 18: Relación isotópica precipitación a nivel mundial y sus procesos asociados. Fuente: (Valenzuela, Ramírez-Hernández, & Palomares, 2013)

En caso de que se evidencia una mezcla entre diferentes aguas es posible realizar un balance de masas para saber qué porcentaje de la mezcla corresponde a cada uno. Esto se hace a partir de las siguientes ecuaciones: (Soler, Otero, Rosell, Carrey, & Domenech, 2017)

$$[^{18}\text{O}_{17}] = [^{18}\text{O}_{15}] * [X_{15}] + [^{18}\text{O}_{16}] * [X_{16}] \quad (5)$$

$$[^2\text{H}_{17}] = [^2\text{H}_{15}] * [X_{15}] + [^2\text{H}_{16}] * [X_{16}] \quad (6)$$

donde  $[X_{15}] + [X_{16}] = 1$

#### 4.2.2 Composición isotópica de los compuestos de azufre, sulfuros y sulfatos, disueltos.

La composición isotópica del sulfato, compuesto presente como soluto habitualmente en aguas subterráneas y superficiales, y en forma sólida en los suelos como yeso u otros compuestos de azufre (sulfuros, fertilizantes, etc.), suele ser un excelente trazador del origen del sulfato y por ende en numerosas ocasiones de otros contaminantes presentes (FCIHS, 2009).

El azufre tiene cuatro isótopos estables que se encuentran en la naturaleza en las siguientes abundancias relativas:

$$^{32}\text{S} = 95,02\%$$

$$^{33}\text{S} = 0,75\%$$

$$^{34}\text{S} = 4,21\%$$

$$^{36}\text{S} = 0,02\%$$

Aunque la relación  $^{36}\text{S}/^{32}\text{S}$  es la que tendrá mayor fraccionamiento isotópico al tener mayor diferencia de masa, por convención se usa la relación  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  ya que el  $^{34}\text{S}$  es el isótopo más abundante entre los de menor abundancia relativa. El azufre se presenta en la naturaleza en cinco estados de oxidación: -2, 0, +2, +4 y +6, siendo las especies mayoritarias en medios acuosos naturales:  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{HSO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Este elemento se encuentra principalmente en forma de sulfatos y sulfuros minerales, sulfato y  $\text{HS}^-$  disueltos en el agua y  $\text{H}_2\text{S}$  gas. El azufre orgánico es un componente de compuestos orgánicos como sustancias húmicas, keroseno, e hidrocarburos. Las fuentes de azufre atmosférico son principalmente naturales y tecnogenéticas (FCIHS, 2009). Las variaciones  $^{34}\text{S}$  del azufre y los compuestos de azufre en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos se pueden observar en la figura 19.

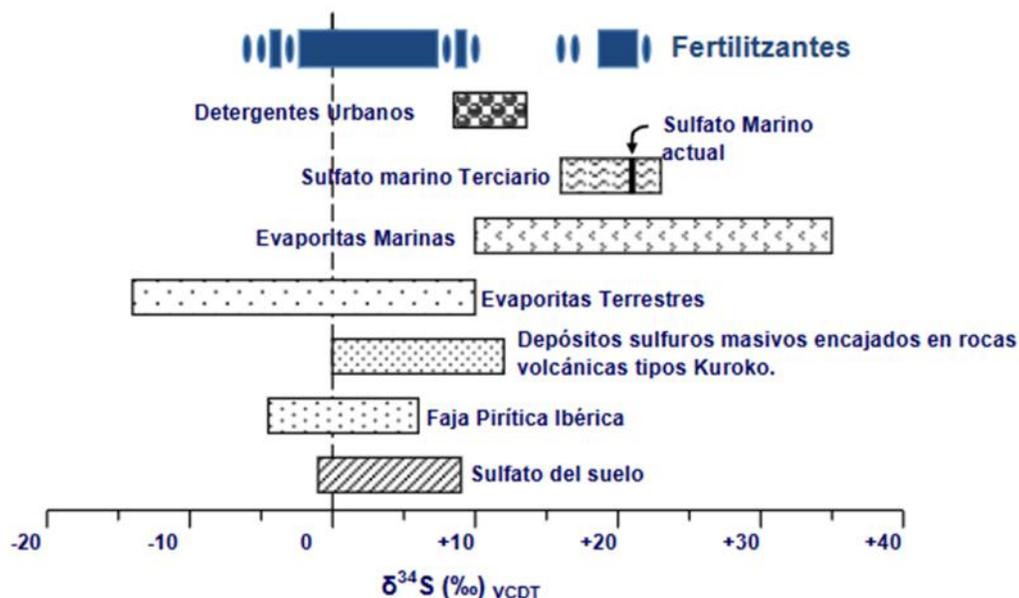


Figura 19: Variaciones  $\delta^{34}\text{S}$  del azufre y los compuestos de azufre en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos. Fuente: (Vitória, Otero, Soler, & Canals, 2004)

El azufre es un nutriente esencial para la vegetación, un compuesto mayoritario del agua marina y de los sedimentos marinos. Los sulfuros presentes en rocas con un origen directo o indirecto en el manto (basaltos, granitoides, etc) presentan valores de  $\delta^{34}\text{S}$  cercanos al 0‰, indicando fraccionamientos muy pequeños o inexistentes. La composición isotópica del sulfato marino ha sufrido cambios importantes a lo largo de los tiempos geológicos, con valores de  $\delta^{34}\text{S}$  más altos debidos a la pérdida de  $^{32}\text{S}$  por procesos de reducción bacteriana de sulfato y precipitación de pirita, y valores más bajos de  $\delta^{34}\text{S}$  debidos a periodos geológicos en los que predomina el aporte de sulfato enriquecido en  $^{32}\text{S}$  procedente de la oxidación de sulfuros, la cual no conlleva fraccionamiento isotópico. Estas variaciones de la composición isotópica del sulfato marino han quedado reflejadas en el transcurso de los tiempos geológicos en las evaporitas marinas. La composición isotópica del sulfato marino actual es de +21‰. Las evaporitas terrestres muestran valores generalmente más ligeros, a no ser que correspondan a sulfatos marinos reciclados. Por otro lado, algunos contaminantes como los fertilizantes, presentaran la composición isotópica en función de los reactivos utilizados, presentando diferentes composiciones isotópicas en función de si se han utilizado sulfuros o sulfatos (FCIHS, 2009). Las variaciones de  $\delta^{34}\text{S}$  Y  $\delta^{18}\text{O}$  del sulfato disuelto en el mar se pueden observar en la figura 20.

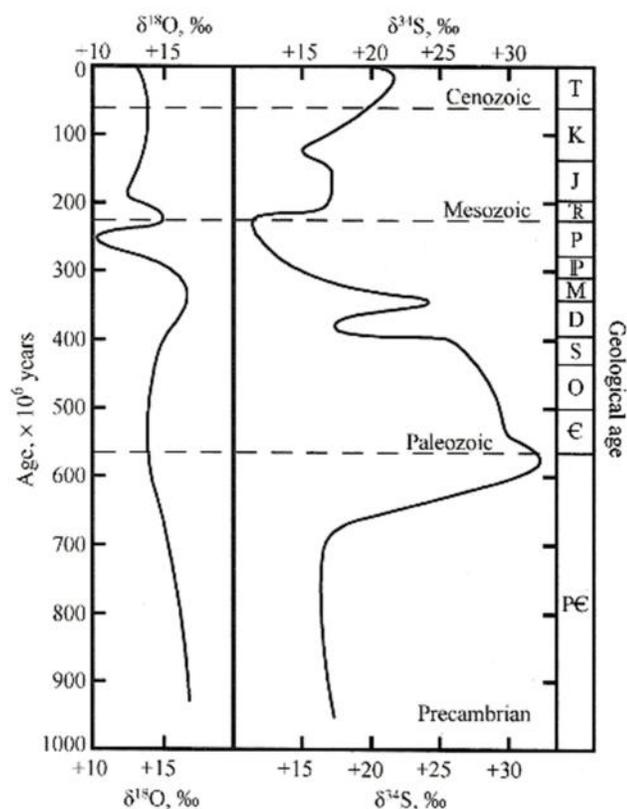


Figura 20: Variaciones en la  $^{34}\text{S}$  Y  $^{18}\text{O}$  del sulfato disuelto en el mar a lo largo de los tiempos geológicos. Fuente: (Claypool, Holser, Kaplan, Sakai, & Zak, 1980)

El hecho de que la molécula del sulfato tenga dos isótopos permite acotar mucho mejor su uso como trazador del sulfato. De esta manera se pueden discriminar fuentes que tienen la misma composición isotópica de azufre, pero distinta composición isotópica del oxígeno. Por ello tiene una gran utilidad en estudios ambientales (FCIHS, 2009). Las variaciones en la  $^{34}\text{S}$  y la  $^{18}\text{O}$  del sulfato en diferentes materiales y compuestos antrópicos se puede observar en la figura 21.

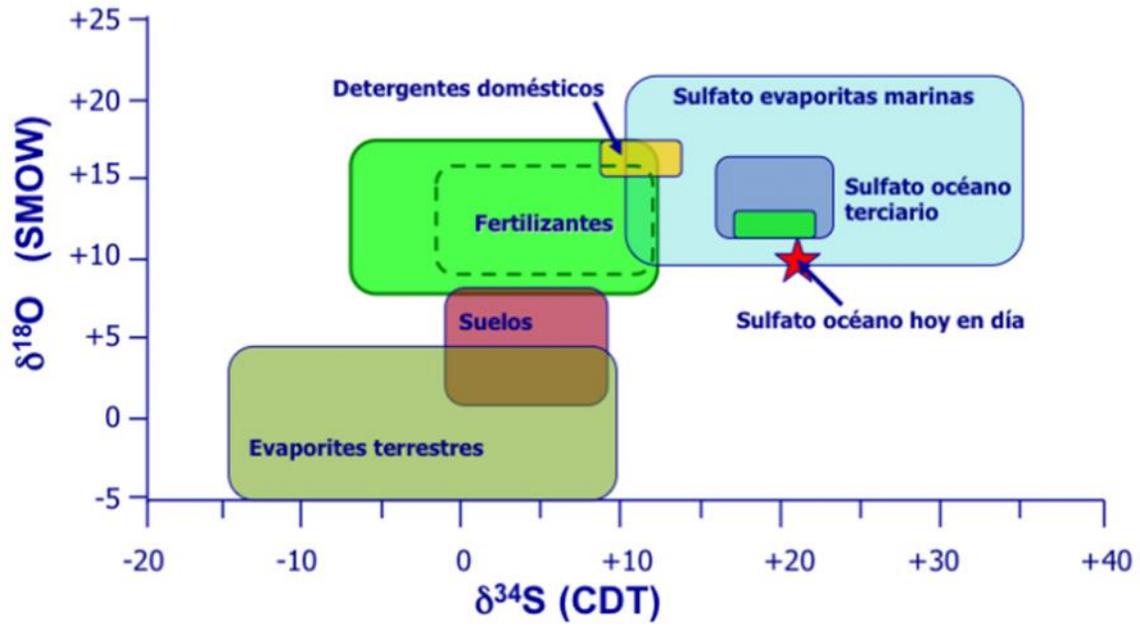


Figura 21: Variaciones en la  $\delta^{34}\text{S}$  y la  $\delta^{18}\text{O}$  del sulfato en diferentes materiales naturales y compuestos antrópicos. Fuente: (Vitória, Otero, Soler, & Canals, 2004)

## 5. Resultados y discusiones

### 5.1 Datos campo y comparación con datos laboratorio

Durante la ejecución de la toma de muestras se midieron parámetros in-situ: Conductividad, ph, Temperatura y Alcalinidad (ANEXO A), utilizando una sonda multiparámetro. La distribución espacial de dichos parámetros se observa en las figuras 22, 24 y 26. Además, se realizó el cálculo de estos parámetros en el laboratorio químico de la CCHEN, lo que permitió hacer una comparación de estos parámetros, adjuntos en el ANEXO C, con los resultados obtenidos en campo, expresados en las figuras 21, 23 y 25.

La distribución del pH en la zona de estudio (figura 22), desde aguas arriba de la zona del tranque, sufre un claro aumento, con un valor de 5.7 medido en la muestra 15 llegando hasta valores de 10.3 en la muestra 25, donde los mayores valores se concentran en la zona del tranque. Estos valores alcalinos de las aguas de relave estarían relacionados con el uso de portlandita en el proceso mineralúrgico en las celdas de flotación de la mina. Luego de la zona tranque, el valor de pH disminuye progresivamente hasta llegar a valores equivalente a 7.8 en la muestra 30. La muestra 4 representa un punto anómalo, ya que esta tiene un valor de 8.5, mientras que todas las muestras circundantes tienen valores menores a 8. En general el valor de pH se puede calificar como neutro-básico, salvo por la muestra 15 que es ligeramente ácida y la muestra 25 que es alcalina. A priori los valores más alcalinos podrían estar relacionados con pérdidas del tranque de relaves, o bien otros procesos como la presencia de cemento en los piezómetros (portlandita) u otros compuestos también podrían dar valores alcalinos a las aguas.

## Distribución pH terreno

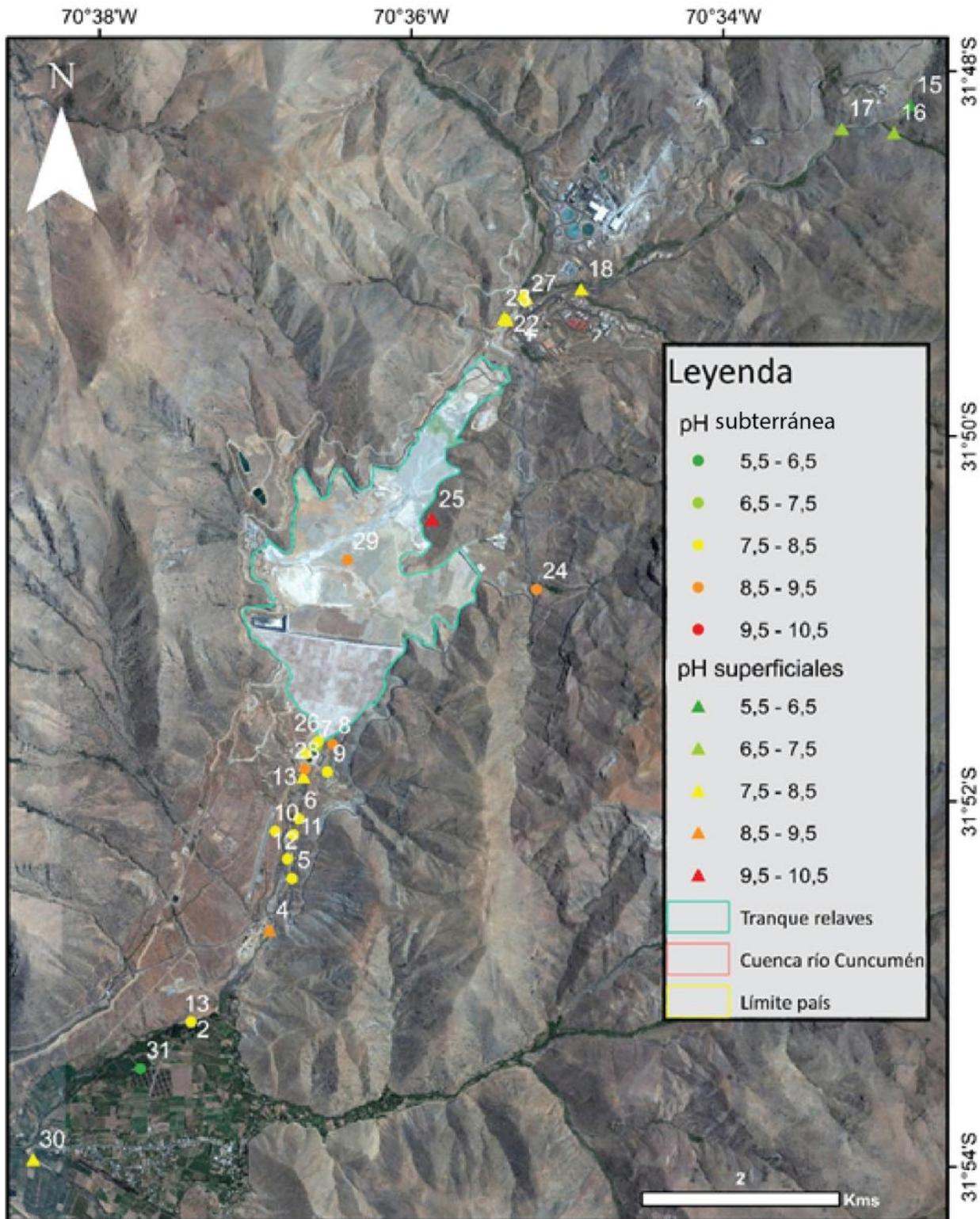


Figura 22: Distribución del pH medido en terreno en la zona de estudio.

La figura 23 compara los datos de pH obtenidos en laboratorio a una temperatura de 25°C y los datos obtenidos en terreno e indica que estos presentan una buena correlación, ya que su coeficiente de correlación es cercano a 0.8. Al eliminar las muestras que presentan mayor desviación, 29 y 16, el coeficiente alcanza un valor cercano a 0,9. También es posible observar que casi todos los valores de pH obtenidos en laboratorio son menores que los obtenidos en terreno, obteniéndose un promedio de los datos de 7.64 y 8 respectivamente. La diferencia obtenida entre los valores de laboratorio y de terreno se podría explicar por efecto de temperatura, ya que el pH neutro del agua se da a temperatura de 25°C, un aumento de temperatura se asocia a una disminución de pH y viceversa.

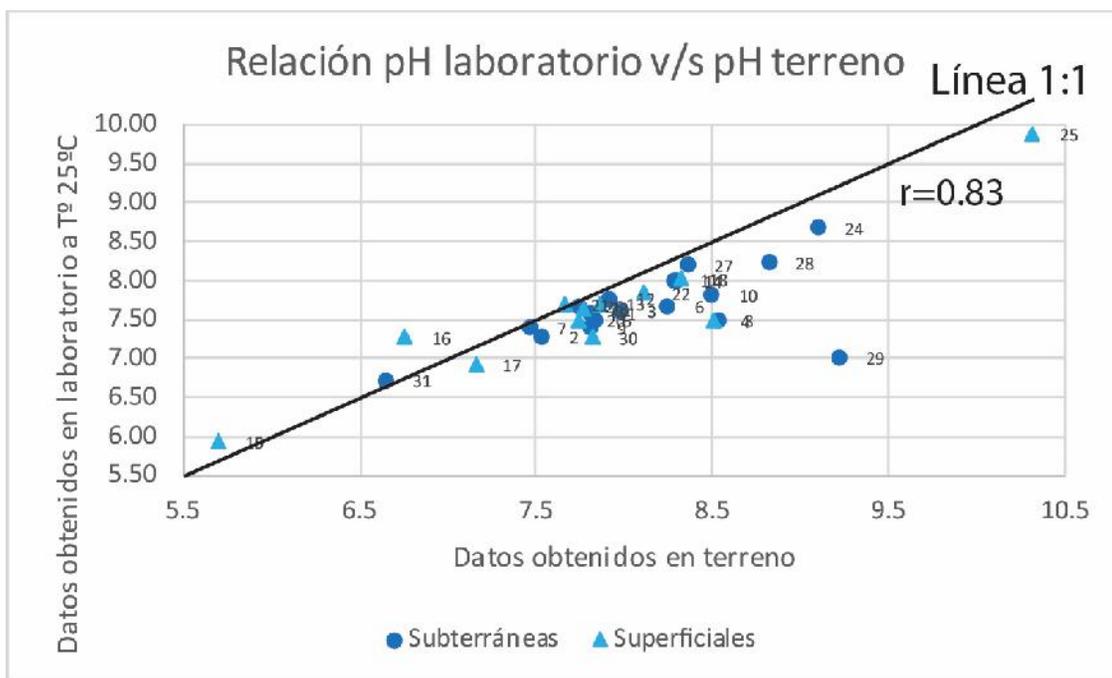


Figura 23: Correlación entre datos de pH de terreno y datos de pH de laboratorio.

La distribución de la conductividad eléctrica de las muestras estudiadas, figura 24, presenta un comportamiento similar al del pH, donde se observa un progresivo aumento desde aguas arriba de la zona tranque hacia la zona tranque y luego se produce un descenso hasta llegar al final del valle; los valores van desde 852  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra 15) hasta 126  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (muestra 30). El aumento de la conductividad que presentan las aguas subterráneas por debajo del muro del tranque podría explicarse si consideramos pérdidas del tranque de relaves.

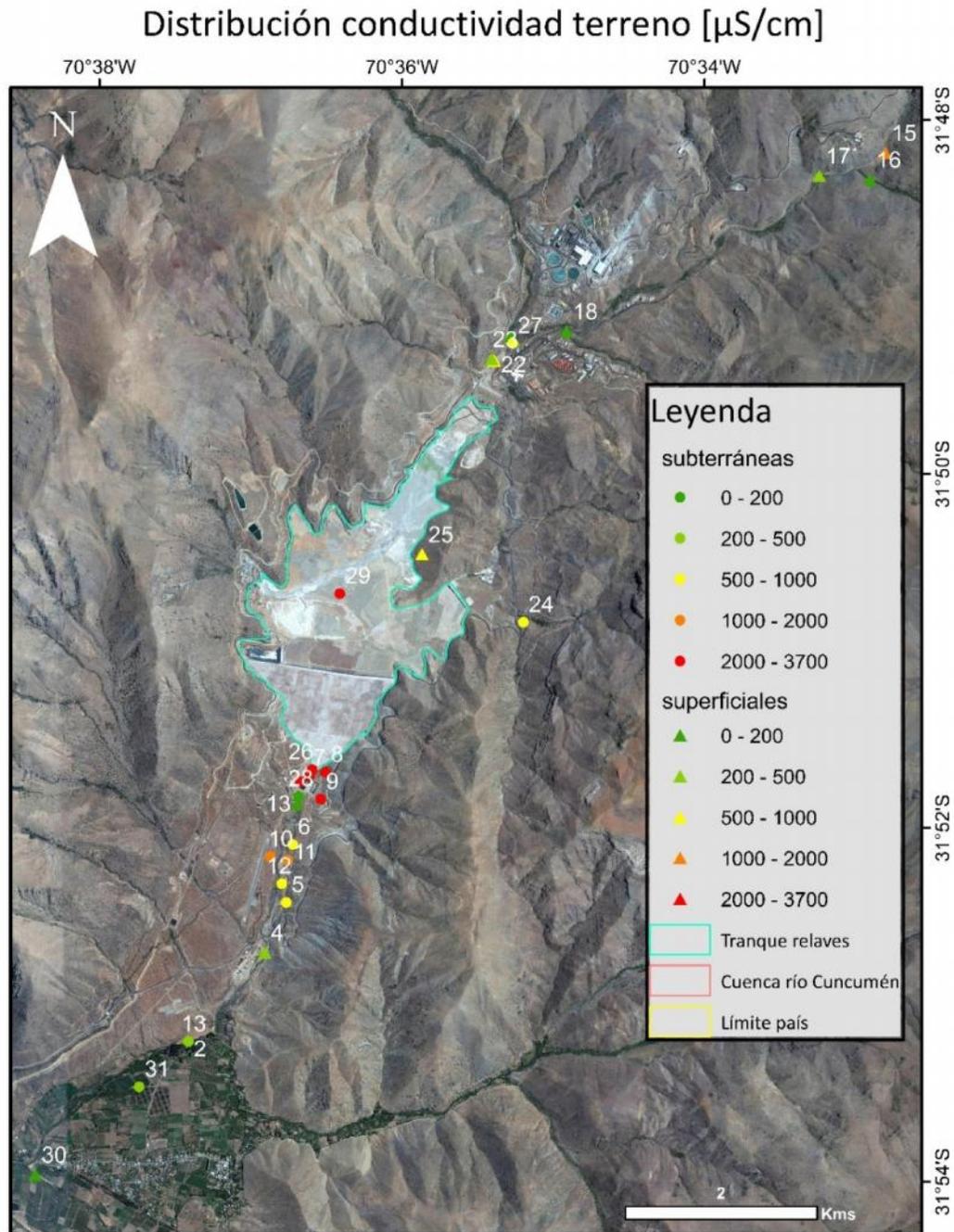


Figura 24: Distribución de la conductividad medida en terreno en la zona de estudio.

Al observar el gráfico que compara los datos de conductividad obtenidos en laboratorio a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  v/s los datos de conductividad obtenidos en terreno (figura 25), es posible notar que estos tienen una muy buena correlación a excepción de las muestras anómalas 25 y 29. Las diferencias de valores observadas en las muestras 25 y 29 se podrían asociar al alto contenido de particulado en suspensión de la muestra de aguas claras, y quizás a efectos de la temperatura al momento de la medición en terreno.

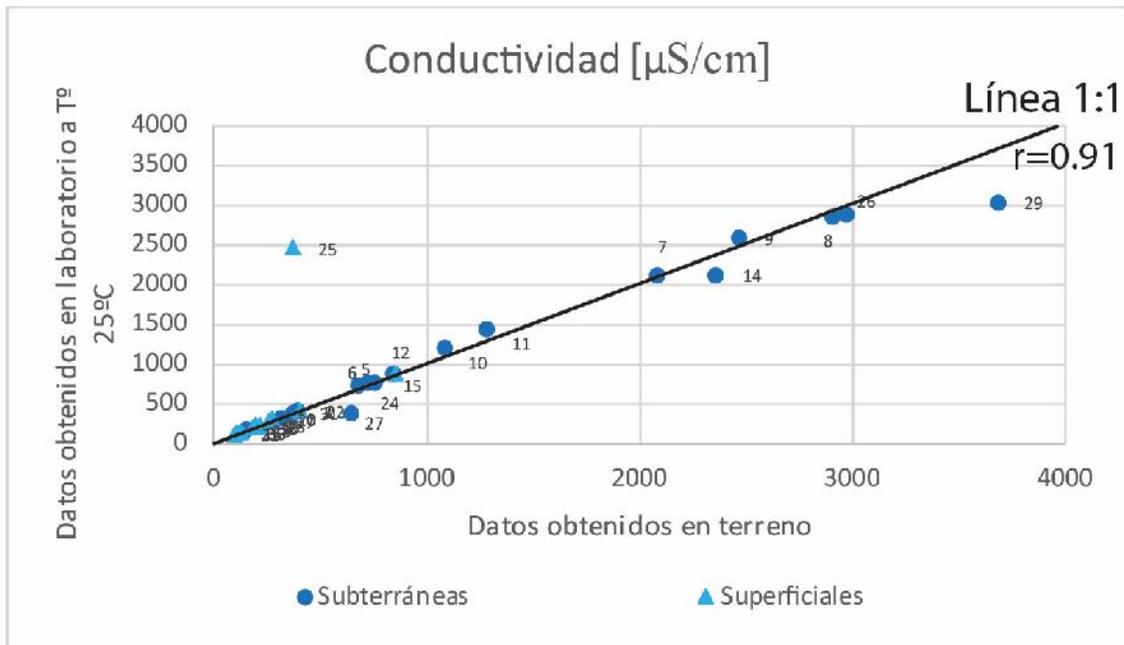


Figura 25: Correlación entre datos de Conductividad eléctrica medida en terreno y datos de conductividad eléctrica medida en laboratorio.

La distribución de la temperatura medida en campo (figura 26) en las muestras estudiadas oscila entre 12.2 °C (muestra 15) a 21.8 °C (muestra 30), pasando por la muestra 6 con un valor de 30.2 °C. El promedio del valor de temperatura es 19.4°C y no se observa un aumento considerable de este valor a lo largo de la cuenca salvo por la muestra 6.

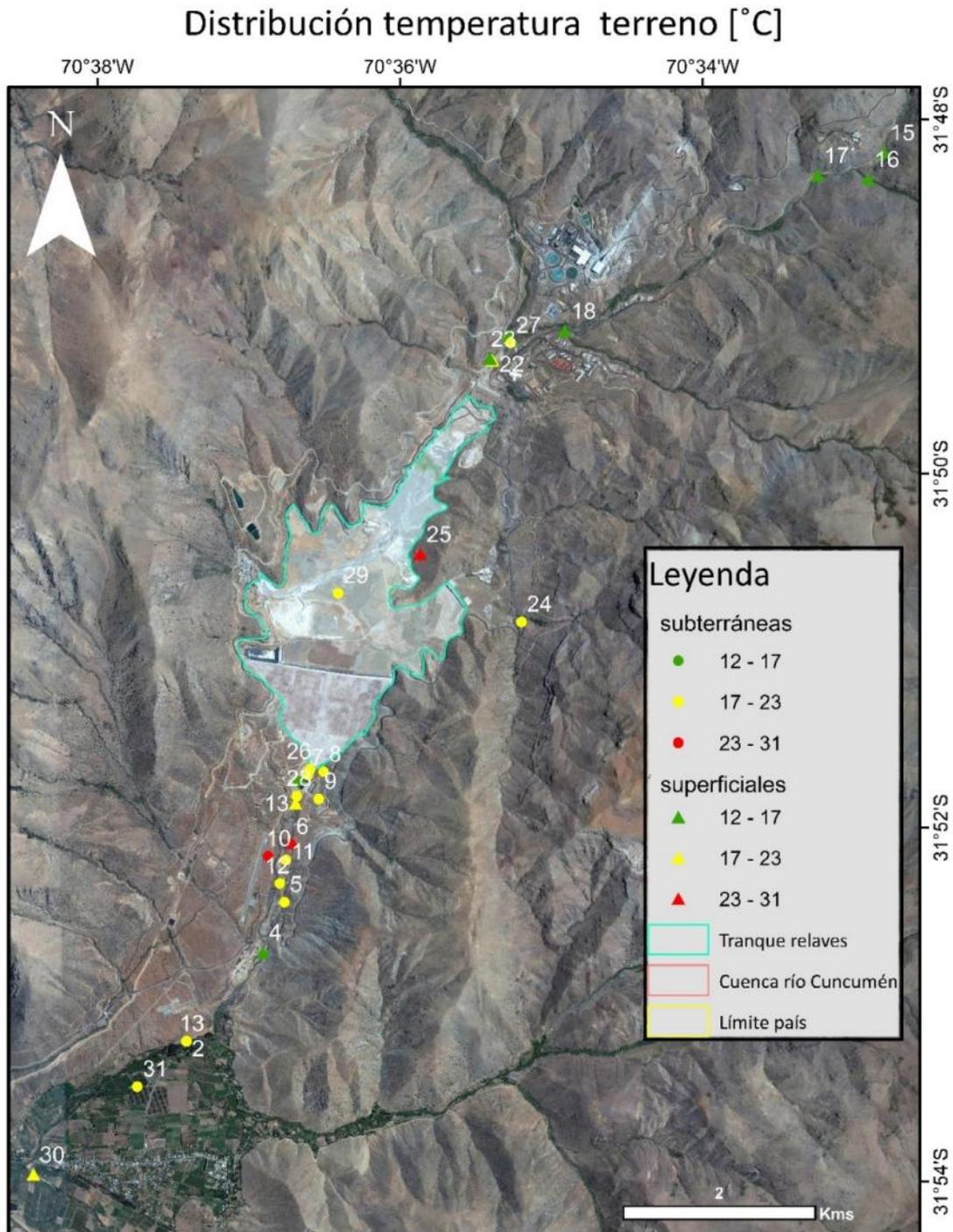


Figura 26: Distribución de la temperatura medida en terreno en la zona de estudio.

Al observar la figura 27, que compara los datos de alcalinidad obtenidos en laboratorio a una temperatura de 25°C v/s los datos obtenidos en terreno es posible notar que presentan una muy buena correlación ( $r=0,99$ ). En este caso la alcalinidad en terreno se midió con un checker portátil de alcalinidad (HI775 Colorímetro para alcalinidad), el cual entrega un resultado en mg/L.

Las muestras de agua subterránea presentan un mayor valor de alcalinidad de laboratorio que el medido en terreno, mientras que las muestras de aguas superficiales presentan valores muy similares entre ambas mediciones.

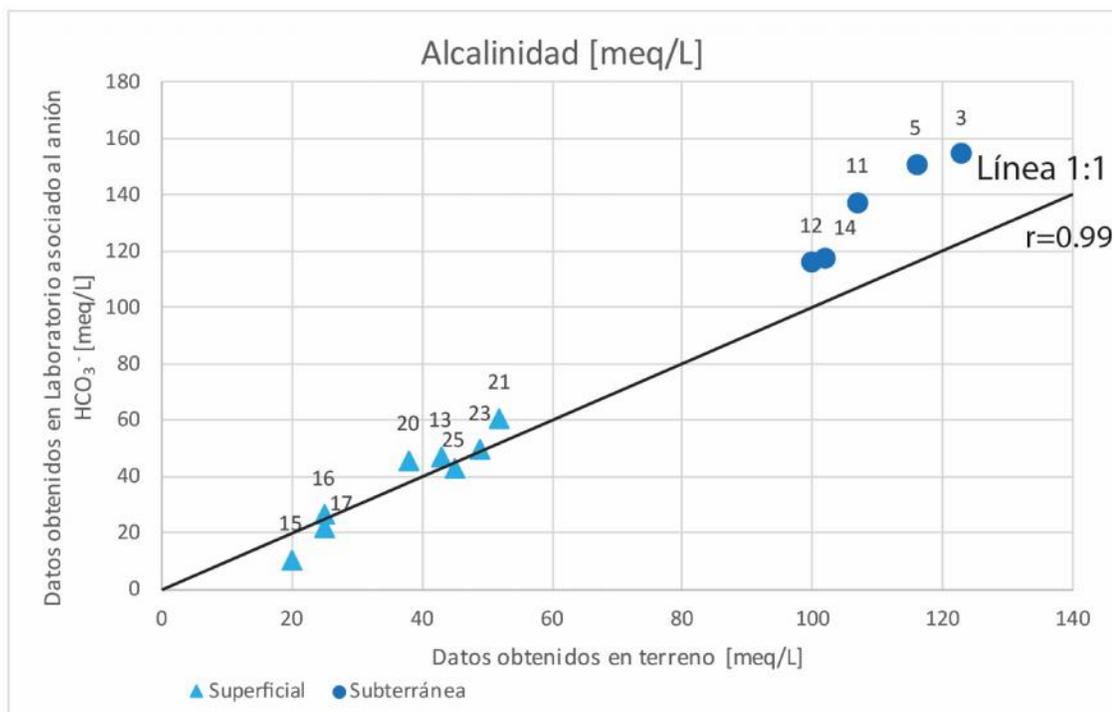


Figura 27: Correlación datos de alcalinidad medida en laboratorio y datos de alcalinidad medida en terreno.

## 5.2 Caracterización de los relaves mineros

Los resultados del estudio mineralógico mediante difracción de rayos X realizado sobre los relaves recolectados en la planta de producción se presentan en la tabla 12 y figura 28. Tal y como se puede observar en estas, la muestra de relave recibida está constituida principalmente (> 90%) por silicatos de la subclase de los tectosilicatos y de los filosilicatos. Los tectosilicatos están representados por feldespatos alcalinos del grupo de la plagioclasa (Albita – Anortita) y de los feldespatos potásicos (estructuras intermedias entre monoclinicos y triclinicos Ortoclasa y Microclina). Los filosilicatos están representados por Biotita, Moscovita y en menor proporción por Clorita. Destaca la presencia de una sola fase de azufre en la muestra, representada por yeso, sin observarse la presencia de sulfuros.

Tabla 12: Resultados de la caracterización mineralógica de la muestra de relave suministrada. Fuente: (IAEA, 2016)

Cod. Ref.	Score	Mineral	Factor	%	Fórmula Química
01-083-1466	53	Albita	0,335	31	$\text{Na}_{0.986}(\text{Al}_{1.005}\text{Si}_{2.995}\text{O}_8)$
01-076-0824	52	Ortoclasa	0,133	13	$(\text{K}_{0.931}\text{Na}_{0.055}\text{Ca}_{0.009}\text{Ba}_{0.005})(\text{Al}_{0.97}\text{Si}_{3.03}\text{O}_8)$
01-083-1366	36	Biotita	0,577	20	$\text{K}_2(\text{Fe}_{2.786}\text{Mg}_{2.321}\text{Ti}_{0.550})(\text{Al}_{2.413}\text{Si}_{5.587}\text{O}_{20})(\text{OH})_4$
01-074-1433	34	Yeso	0,102	4	$\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$
01-072-1503	37	Moscovita	0,114	19	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
01-083-1380	22	Clorita	0,036	4	$\text{Mg}_{5.0}\text{Al}_{0.76}\text{Cr}_{0.23}\text{Al}_{0.96}\text{Si}_{3.04}\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
01-083-1604	37	Microclina	0,093	9	$\text{KAISi}_3\text{O}_8$

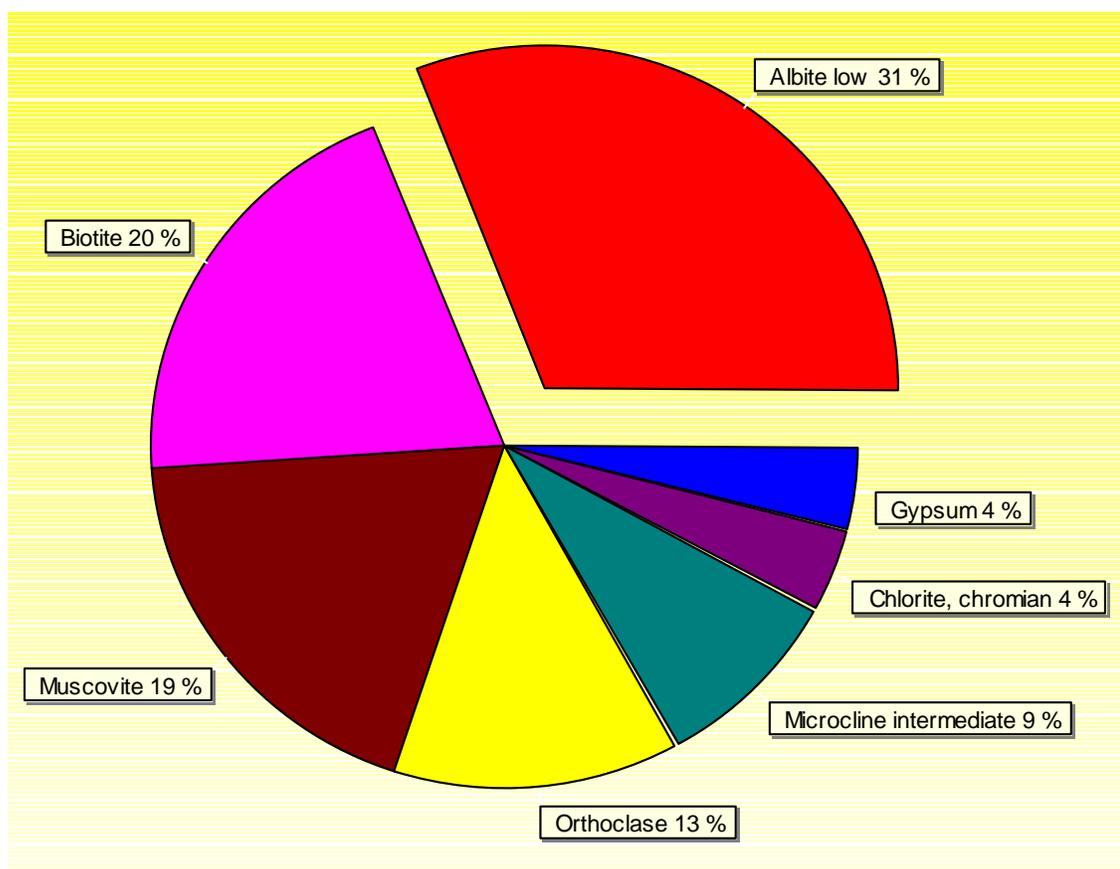


Figura 28: Cuantificación semicuantitativa de las fases minerales presentes en la muestra de relave suministrada, cálculos realizados mediante el software PANalytical X'Pert HighScore v.2.0. Fuente: (IAEA, 2016)

## 5.3 Hidroquímica

### 5.3.1 Balance iónico

El error de balance iónico de las muestras analizadas, considerando en la ecuación (1) los cationes mayoritarios  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y los aniones mayoritarios  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , dio como resultado la admisibilidad de 25 muestras del total (ANEXO A). En este caso se aceptó como error admisible  $\pm 10\%$  y no se consideró dentro de los aniones mayoritarios al ión  $\text{NO}_3^-$ , debido a que más del 35% del conjunto muestral tenía valores bajo el límite de detección y no presentaba variaciones considerables al no ser incorporado, salvo en el caso de la muestra 31 donde si se integró para realizar el cálculo de error, ya que el valor era considerable respecto a los demás iones.

### 5.3.2 Clasificación de las aguas

Las muestras de agua subterránea estudiadas, representadas en el diagrama de Piper (figura 29) muestran que la mayoría son aguas del tipo sulfatada-cálcica. Sin embargo, existe un grupo menor de muestras que presentan una composición distinta; aguas del tipo bicarbonatada-cálcica (1, 2 y 3) y agua del tipo clorurada-sódica, la muestra 24 como se puede observar en el triángulo de los cationes, ya que corresponde a la única muestra donde el catión dominante no es el  $\text{Ca}^{2+}$ , sino que es  $\text{Na}^+$ . Las muestras 27, 28 y 31 si bien se encuentran en el cuadrante central superior y son consideradas sulfatadas-cálcicas, su anión dominante es el  $\text{HCO}_3^-$ . El comportamiento de las muestras 1, 2 y 3 puede tener una explicación en las aguas de recarga a los pozos, donde se espera que la recarga de estos sea más bien somera, mientras que el caso de la muestra 24 se de todo lo contrario y las aguas de recarga sean de circulación profunda.

En el caso de los puntos de agua superficial, la clasificación de las muestras corresponde a aguas del tipo sulfatada-cálcica, salvo las muestras 18, 21 y 30 que corresponden a aguas del tipo bicarbonatada-cálcica. Las muestras 18 y 21 se podría explicar por la geología de las subcuencas aledañas aportante al curso del río Cuncumén, mientras que la muestra 30 corresponde al río Choapa y es de esperar que su composición no necesariamente sea la misma que las otras, ya que esta interactúa con una litología diferente además de que posee un recorrido por un suelo de utilización principalmente agrícola, a diferencia de la cuenca del río Cuncumén, donde la actividad que se realiza es solo minera.

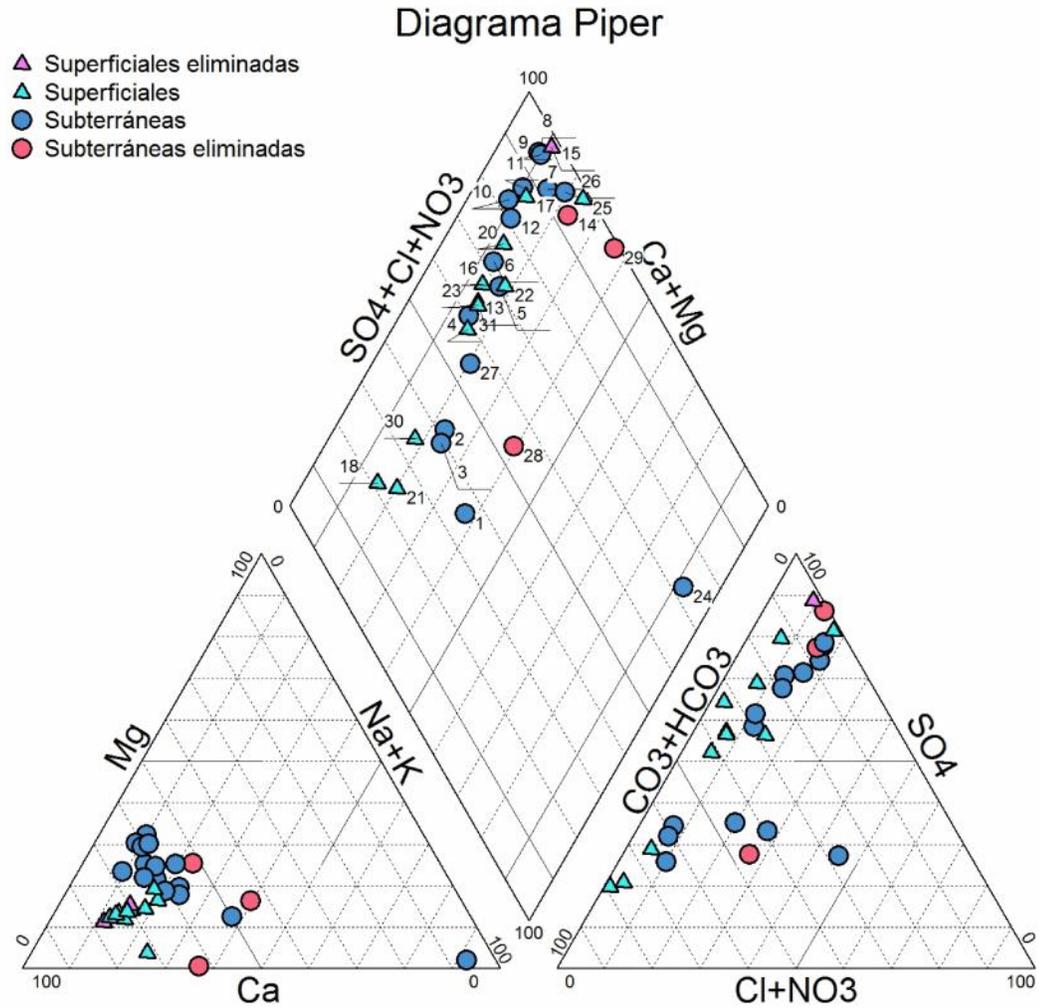


Figura 29: Diagrama piper para las muestras de agua de la zona de estudio, donde se incluyen todas las muestras incluso las que fueron eliminadas por balances iónicos deficientes..

Para estudiar la distribución espacial de las muestras de agua se elaboraron diagramas de Stiff en cada estación de toma de muestras, tal como lo ilustra la figura 30.

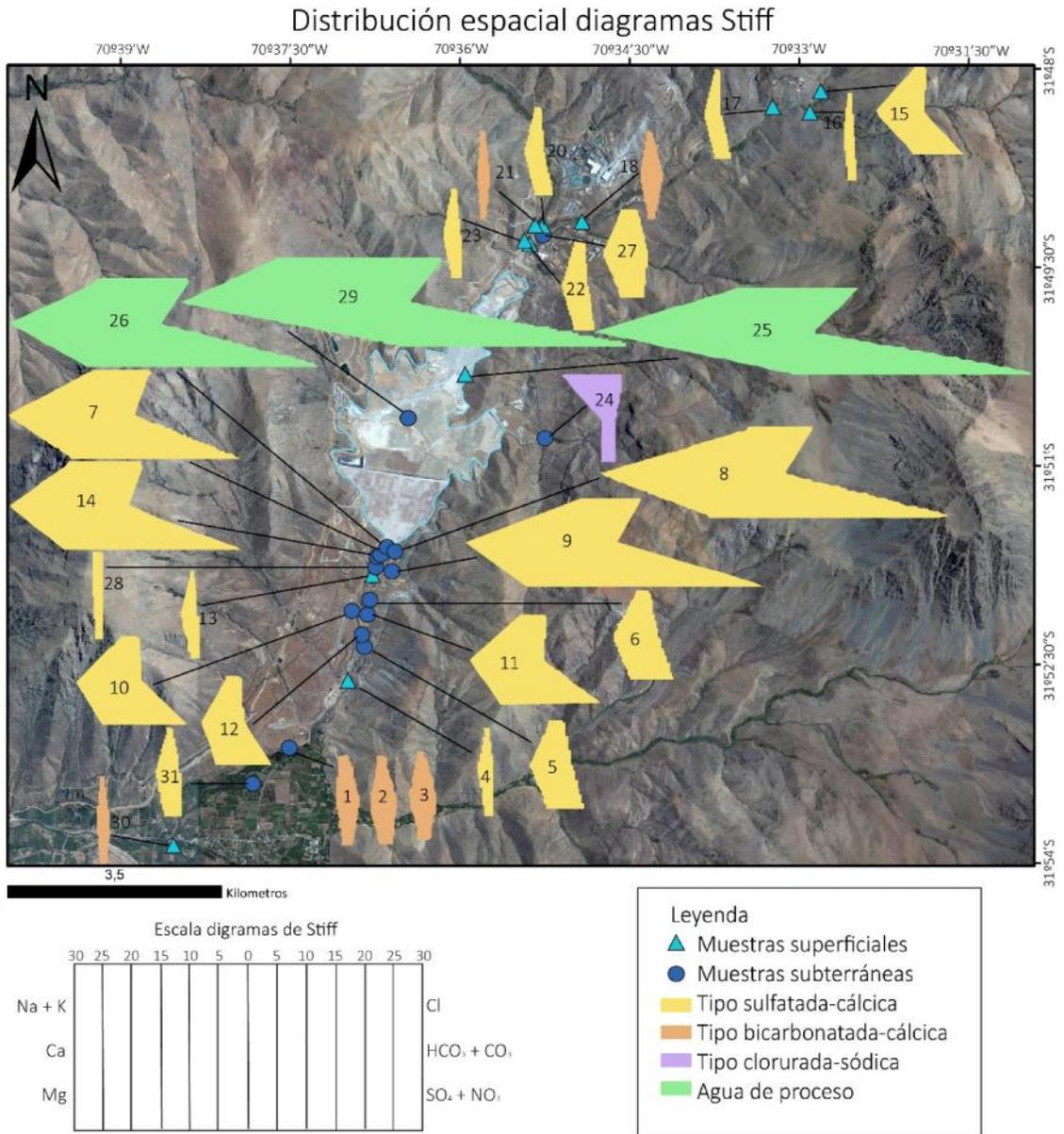


Figura 30: Distribución espacial de los diagramas de Stiff.

El mapa de distribución de diagramas Stiff indica que la química de las muestras evoluciona desde sulfatada cálcica con baja mineralización aguas arriba del tranque, pasando por la zona tranque donde la composición sigue siendo sulfatada cálcica con una mayor proporción de iones, a bicarbonatada cálcica con baja mineralización al salir de la cuenca del río Cuncumén. Este comportamiento se correlaciona con el observado en el diagrama de Piper, donde las aguas evolucionan desde un comportamiento bicarbonatado-cálcico a un comportamiento sulfatado cálcico, que en este caso se asocia al comportamiento de las aguas al salir del valle y al interior de la cuenca respectivamente. La química de las muestras de agua subterránea indica un aumento a medida que avanzamos en la dirección principal de flujo hasta

llegar a la muestra 6 donde se comienza a observar una disminución de la mineralización hasta llegar a valores similares a los obtenidos aguas arriba, mientras que en el caso de las aguas superficiales, se observa que las concentraciones se mantienen casi uniformes, salvo por la muestra 25 que corresponde al residuo de agua superficial de la piscina de aguas claras del tranque de relaves. Las muestras eliminadas fueron incluidas en el mapa con el objetivo de observar su comportamiento (15, 13, 29, 28 y 14)

### 5.3.3 Diagramas binarios

A partir de la ejecución de los gráficos binarios se pudo observar tendencias de comportamiento de los diferentes iones en función del cloruro. Sin embargo, los gráficos de nitrato, bicarbonato, potasio y silicio v/s cloruro (ANEXO B) no mostraron una tendencia clara por lo que no se analizaron en mayor profundidad en este apartado.

Las concentraciones de sulfato y cloruro, siendo este último un ión conservativo, muestran una clara correlación, tanto en las aguas subterráneas, como en las superficiales. El coeficiente de correlación en el caso de las muestras de aguas superficial es 0.99 y en el caso de las muestras de aguas subterráneas es 0.95, mientras que el valor para la correlación entre todas las muestras, tanto superficiales como subterráneas, es 0.97. Las muestras que se encuentran más alejadas de la recta corresponden a 24 y 29. (Figura 31.a)

En el caso del sodio se observa un aumento de su concentración a medida que aumenta la concentración de cloruro (Figura 31.b) con una buena correlación ( $r=0.90$ ). La mayor parte de las aguas superficiales se ubican en el sector de bajas concentraciones del gráfico, siendo la muestra 25 la única muestra que se aleja de ese comportamiento. En el caso de las aguas subterráneas existen pequeñas oscilaciones en las concentraciones, pero mantienen la tendencia positiva de incremento.

A su vez, el catión calcio muestra una correlación de las aguas, donde a medida que aumenta la concentración de calcio se observa un aumento en la concentración de cloruro (Figura 31.c). Al construir una recta de correlación lineal se obtiene un coeficiente de correlación de 0.96. Las muestras que se encuentran más alejadas de la recta corresponden a la muestra 24 y 29, mismo patrón observado en el diagrama  $SO_4$  v/s Cl.

En el caso del magnesio, se puede observar una correlación de las aguas (Figura 31.d), donde a medida que aumenta la concentración de magnesio

también aumenta la concentración de cloruro. Al construir una recta de correlación lineal se obtiene un coeficiente de correlación de 0.78. Las muestras 14, 9, 24, 29 y 15 son las que se encuentran más alejadas de la recta, mientras que 24,25 y 29 presentan concentraciones muy inferiores de Mg.

En términos generales se observa una clara diferencia entre las muestras de aguas superficiales y aguas subterráneas, donde las superficiales tienen bajas concentraciones de todos los iones, salvo por la de aguas claras (muestra 25), y las subterráneas tienen concentraciones muy superiores.

Dentro de las muestras de aguas subterráneas aguas abajo del tranque se identifican tres grupos en función de su salinidad ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ), el primero (G1) corresponde a las muestras 14, 7, 9, 26, 8, estas son las que presentan las mayores concentraciones (5-30 meq/L). El segundo grupo (G2) conformado por las muestras 5, 6, 12, 10, 11, presenta concentraciones intermedias (1-10meq/L). Finalmente se encuentra el grupo de las muestras 1, 2, 3, 28, 31 (G3), que corresponde a los pozos con menores concentraciones (hasta 2 meq/L). Las muestras 29 y 24 no se incluyen dentro de ninguno de los grupos, ya que presentan patrones diferentes dependiendo del gráfico y se ubican al interior de los tranques. G1 posee un vínculo con la muestra 25, ya que estas presentan el mismo patrón de salinidad al comparar todos los iones. Esta relación se debe al posible efecto de infiltración subterránea, es decir mezcla de aguas de proceso (25, 26 y 14) con aguas de circulación bajo el tranque.

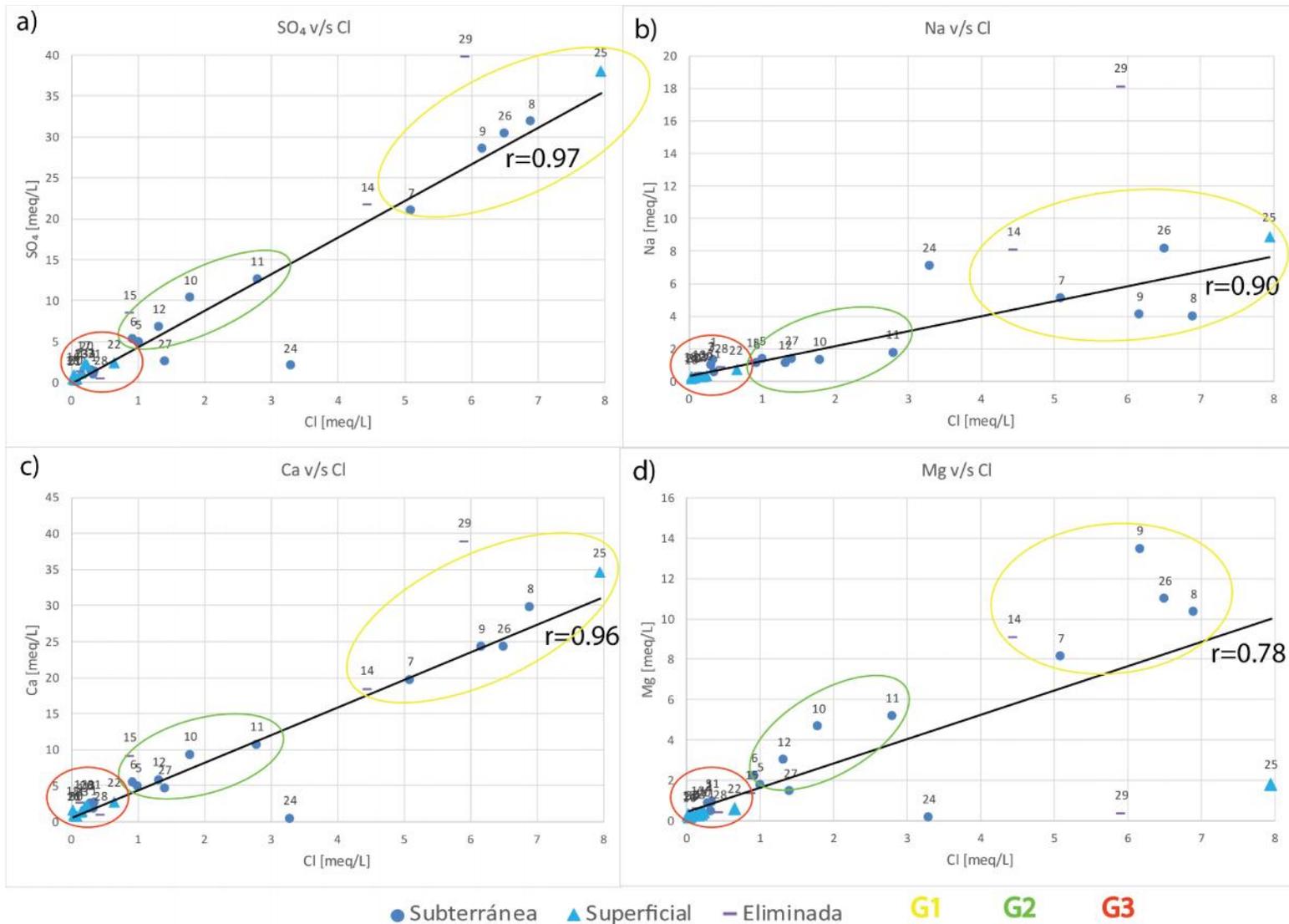


Figura 31: Diagramas binarios. a) Diagrama de correlación de sulfatos y cloruro. b) Diagrama de correlación de sodio y cloruro. c) Diagrama de correlación de calcio y cloruro. d) Diagrama de correlación de magnesio y cloruro

También es posible observar que en los diagramas binarios de  $\text{SO}_4$  v/s Cl y Ca v/s Cl existe una clara tendencia de aumento de concentración de cloruro a medida que aumenta el ión correspondiente, presentando un patrón de comportamiento similar la gran mayoría de las muestras, lo que podría estar indicando una relación directa entre estos iones. Al realizar los gráficos  $[\text{Ca}+\text{Mg}]$  v/s  $\text{SO}_4$  y  $[\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3]$  v/s  $\text{SO}_4$ , para verificar la relación que podrían tener los iones en función de la presencia de minerales carbonatados calco-magnésico o sulfatados calco-magnésicos no es posible encontrar un ajuste mejor de los datos a la línea 1:1 que el gráfico  $\text{SO}_4$  v/ Ca. Debido a que la correlación de los datos de sulfato y calcio es de 0.99 se considera despreciable el desajuste de estos datos respecto a la línea 1:1 en el gráfico Ca v/s  $\text{SO}_4$  (Figura 32).

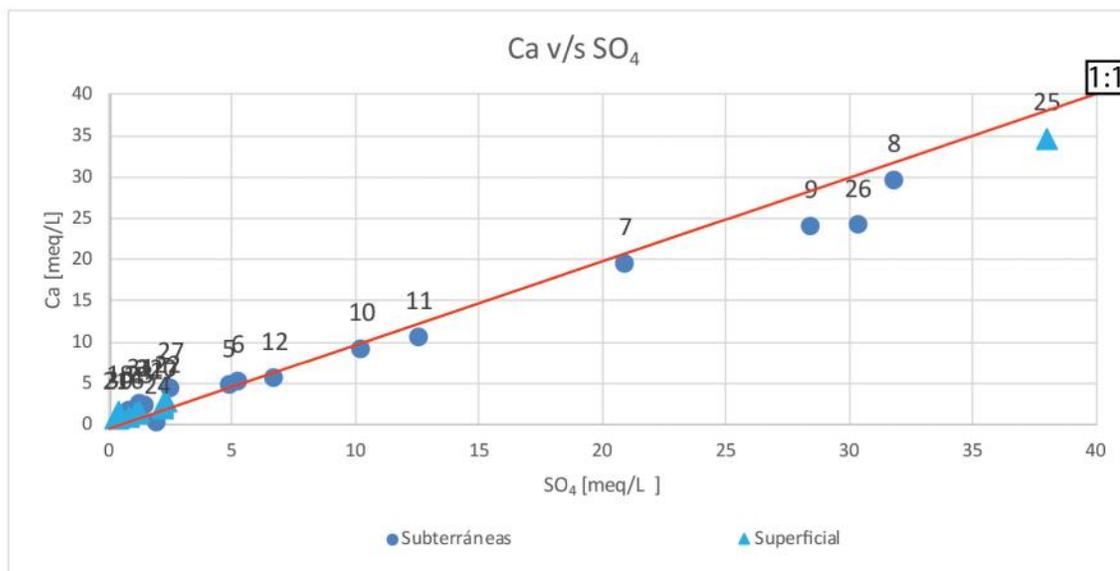


Figura 32: Gráfico de correlación calcio y sulfato, con recta 1:1.

Las muestras se posicionan en la línea de disolución 1:1, con algunas (7, 8, 9, 25, 26) que presentan pequeñas desviaciones. En particular, para la muestra de aguas claras y el agua subterránea aguas abajo del tranque, se puede suponer que el origen del sulfato y calcio está dado por procesos de disolución de yeso/anhidrita. La presencia de yeso, evidenciada en el análisis de los sedimentos del tranque de relaves, además de los índices de saturación (tabla 13),  $[-0.3; 0.3]$  calculados para las muestras 7, 8, 9, 25 y 26, indican que es posible que exista influencia del tranque en el agua subterránea aguas abajo de éste.

Tabla 13: Índices de saturación de las muestras de aguas de procesos y aguas subterráneas ubicadas por debajo del muro del tranque. Obtenido a partir de simulaciones realizadas en el software PHREEQC.

ID muestra	I.S YESO
7	-0,34
8	-0,1
9	-0,21
14	-0,37
25	0,03
26	-0,18
29	0,07

#### 5.3.4 Distribución sulfato disuelto en el agua en la zona de estudio

En la distribución espacial de las muestras se observa que existe una tendencia general de aumento de la concentración de sulfato en el sentido de la dirección principal de flujo, donde las mayores concentraciones se observan en la zona tranque de relaves y posteriormente se produce un descenso en la concentración hasta llegar a valores similares a las aguas superficiales aguas arriba del tranque (Figura 33).

# Distribución sulfato disuelto [mg/L]

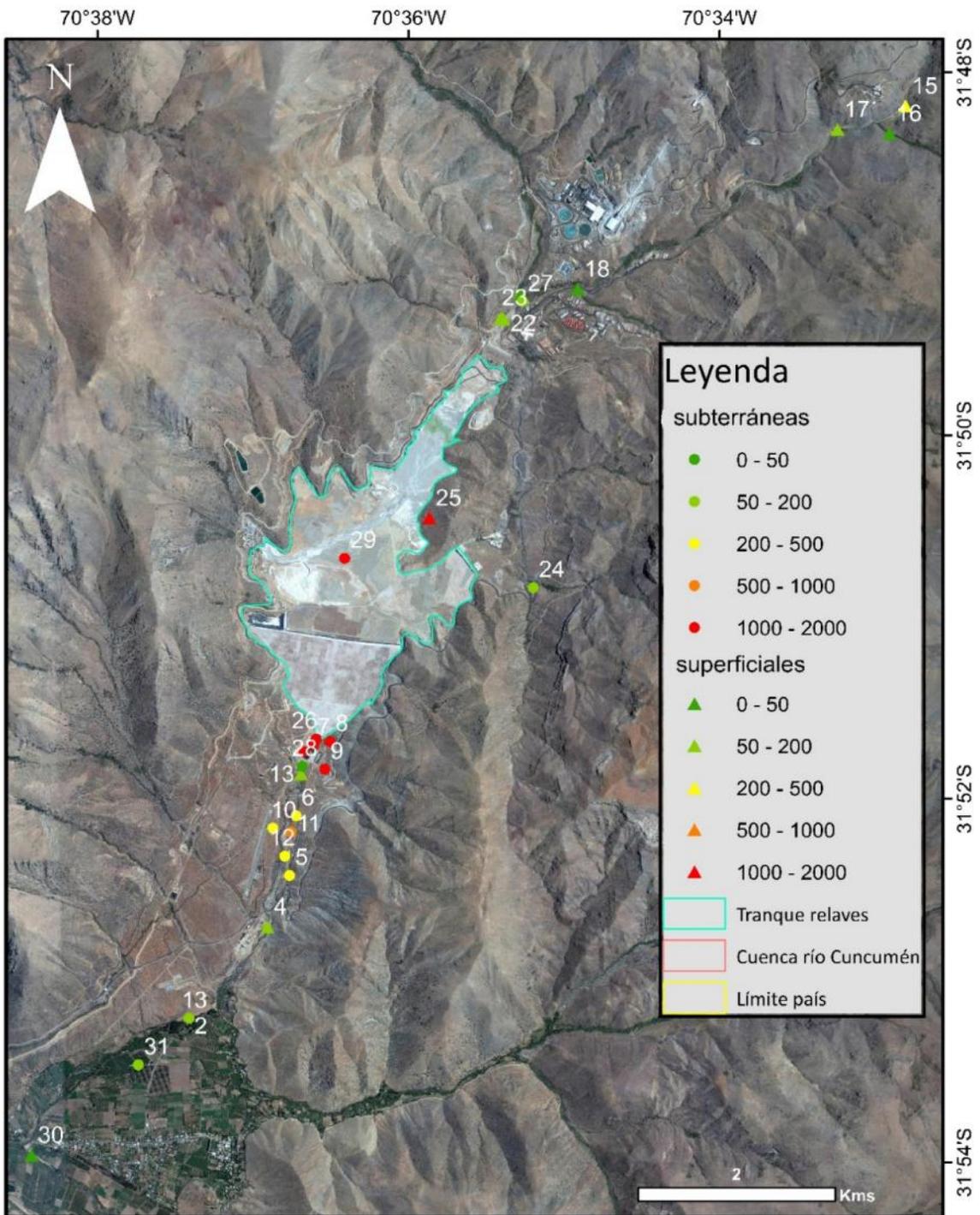


Figura 33: Distribución sulfato disuelto [mg/L] en las muestras de agua a lo largo de la cuenca del río Cuncumén

La muestra 15 ubicada más aguas arriba en la cuenca corresponde al río Pelambres y presenta concentraciones de sulfatos de 405mg/L. Aguas abajo al aporte del afluente río Blanco, muestra 16, el curso del río Pelambres, muestra 17, presenta valores de 106 mg/L en la concentración de sulfatos. La muestra 15 tiene un error de balance iónico positivo, por lo que es probable que el valor indicado para los iones no sea correcto, aunque estudios previos indican una concentración de sulfatos de 400 mg/L en el año 2014 para una muestra tomada 5 km aguas arriba de la muestra 15. Por otra parte, la disminución de concentración de sulfatos que se observa en la muestra 17 podría explicarse por un efecto dilución producto de la mezcla de las muestras 15 y 16 si el caudal del tributario río Blanco fuese muy superior al caudal del río Pelambres, pero debido a que en la realidad es totalmente lo contrario es de esperarse que exista un efecto de dilución producto de aportes de flujo subterráneo con una baja concentración de sulfatos que este recargando al río Pelambres a la altura de la muestra 17 lo que se evidenciaría en un aumento de caudal en ese punto, es decir el río sería receptor de las aguas subterráneas con una concentración inferior de sulfato.

La muestra 20 tomada después de la confluencia del río Pelambres con el estero Chacay, mantiene valores similares en la concentración de sulfatos (105 mg/L) a los obtenidos en la muestra 17. Debido a que la muestra 18 presenta un caudal muy inferior al del río Pelambres, su incorporación al curso de agua principal no produce un efecto dilución significativo en la concentración de sulfato del río Pelambres. Aguas abajo, se encuentra la muestra 21, correspondiente al estero Piuquenes, que tiene concentraciones muy inferiores de sulfato (13.2 mg/L). La muestra 23, correspondiente al río Cuncumén antes del ingreso al túnel, presenta un significativo descenso de concentración de sulfato con un valor de 60.9 mg/L. El comportamiento de la muestra 21, con bajas concentraciones de sulfato y un caudal considerable, hacen que su confluencia con el río Pelambres tenga un efecto significativo en la concentración de sulfato expresado en la muestra 23, donde se observa una disminución de la concentración de sulfato que podría explicarse por efectos de dilución al realizar un balance de masas. La muestra 22, embalse de cola del tranque, mantiene un valor de concentración similar a la muestra 20 y equivalente a 114 mg/L, por lo que se espera que el agua retenida ahí sea desviada previa a la confluencia con el estero piuquenes y que no se alcance el efecto de dilución.

La primera muestra de agua subterránea corresponde a la muestra 27, que tiene una concentración de sulfato equivalente a 120 mg/L., este valor se puede correlacionar con las muestras de aguas superficiales tomadas en el

sector aledaño que arrojaron valores similares (muestra 20), lo que puede indicar una posible fuente de recarga muy superficial considerando además que la profundidad de muestreo fue de 24 m ó que el río sea receptor de agua subterránea y que por esto se observen concentraciones tan similares.

En la zona tranque la muestra 25 correspondiente a la piscina de aguas claras, presenta concentraciones de sulfato de 1824 mg/L, el pozo al interior de la cubeta, muestra 29, 1908 mg/L y el pozo ubicado en el tranque el Chinche, ubicado al este del tranque Quillayes e identificado como muestra 24, tiene concentraciones de sulfato de 94.2 mg/L. El aumento exponencial de la concentración de sulfatos que se observa en las muestras 25 y 29 se explica debido a que ambas representan aguas de proceso y en ellas queda el registro del proceso de oxidación de sulfuros y disolución de sulfatos presentes en el relave. La muestra 29 debe reflejar un efecto de mezcla con el flujo de agua subterráneo al tranque, ya que la profundidad de muestreo fue de 131 m sobrepasando así la zona de relleno asociada al tranque. Sin embargo, esta muestra tiene un error de balance iónico positivo mayor a 10%, por lo que el valor registrado no es confiable, quizás debido a los contenidos en materia orgánica disuelta correspondientes a los colectores de flotación usados. La muestra 24 y su bajo valor de concentración de sulfato indican que desde esa subcuenca no hay un aporte de sulfatos hacia la cuenca del río Cuncumén.

Luego en la zona inferior del muro del tranque, donde se ubican los drenes, la muestra 26 presenta concentraciones de sulfato equivalentes a 1457 mg/L lo que representa un valor intermedio entre la muestra 29 y 25. Esto se condice con el agua que extraen los drenes desde el tranque en la parte inferior del muro, ya que debe representar una mezcla parcial entre el flujo subterráneo entrante aguas arriba del tranque y la infiltración de las aguas de proceso. Los pozos que se ubican bajo el tranque Quillayes, contiguos al muro, presentan concentraciones de sulfato de 1527 mg/L (muestra 8), 1005 mg/L (muestra 7), 1366 mg/L (muestra 9) y 22.4 mg/L (muestra 28). Las muestras 7, 8 y 9 presentan un claro efecto de incremento de la concentración de sulfatos, respecto de la muestra subterránea colectada aguas arriba del tranque, que podría ser debido a infiltración o mezcla desde las aguas de relave hacia las aguas subterráneas aguas abajo del tranque. La muestra 28 presenta una considerable disminución de concentración de sulfato, pero el error de balance iónico en esta muestra es de 16% por lo que no representa el comportamiento general de la distribución de sulfatos en esta zona. La muestra 14, que representa las infiltraciones del tranque hacia el túnel de desvío, es recogida en las piscinas que se ubican bajo el tranque y tiene un valor de concentración de sulfato de 1038 mg/L, este valor es menor al expresado en la muestra de agua de drenes lo que podría deberse a que el

agua del río Cuncumén al interior del túnel no es separada íntegramente y parte de ella se mezcla con el agua de infiltración antes de ser colectada diluyendo la concentración de sulfato. Luego la muestra 13, que corresponde al río Cuncumén a la salida del túnel de desvío, presenta valores muy similares a los encontrados en la muestra 23 a la entrada del túnel (59.2 mg/L). Si bien la muestra 13 presenta concentraciones de sulfato similares a las encontradas en la muestra 23, esta posee un error de balance iónico del 27% por lo que este valor no nos demuestra el efecto definitivo del tranque de relaves sobre las aguas superficiales en esta zona.

La agrupación de pozos que se encuentran a continuación presentan valores de concentración de sulfato equivalentes a 251 mg/L (muestra 6), 492 mg/L (muestra 10), 603 mg/L (muestra 11), 323 mg/L (muestra 12) y 234 mg/L (muestra 5), mostrando una disminución de la concentración de sulfatos aguas abajo del tranque partir de la muestra 6, pero que sigue presentando mayores valores que los obtenidos en los cursos superficiales. El descenso significativo de la concentración de sulfato evidenciado en estas muestras no puede explicarse por un efecto de dilución asociado a un aporte de agua superficial, ya que no hay otros cursos de agua superficiales permanentes que estén ingresando al valle, por lo que este efecto puede deberse a un flujo subterráneo que provenga de una cuenca aledaña de menor envergadura y que llegue directamente al sector donde se agrupan estos pozos, evadiendo el sector de pozos justamente debajo del tranque, o debido al efecto antrópico ocasionado por el bombeo de los pozos de este sector que inducen una recarga de agua de las cuencas laterales.

La muestra 4, curso del río Cuncumén antes de salir del valle, presenta una ligera disminución de la concentración de sulfatos respecto de la muestra 13 y 23, con un valor de 54.2 mg/L. La disminución de la concentración de la muestra 4 puede ser por un efecto de dilución producto a aportes subterráneos que este recargando al río entre el salto de esquí y la estación DGA, pero no se cuenta con datos de caudal para poder corroborar esta teoría.

Luego se ubican los pozos anidados 1, 2 y 3 con valores de concentración de sulfato de 41.3 mg/L, 68,8 mg/L y 63,7 mg/L respectivamente. Si bien las tres muestras tienen un efecto de descenso de concentración, es posible observar una diferencia entre ellas; las muestras 2 y 3 presentan concentraciones bastante similares, pero la muestra 1 tiene aún menor concentración de sulfatos que estas dos. Esto puede explicarse con la existencia de un flujo subterráneo profundo con un aporte muy inferior de

sulfatos que esté afectando sólo a la muestra 1, ya que la profundidad de muestreo en la muestra 1 es de 63 m, mientras que en las muestras 2 y 3 es 30 y 16 m respectivamente.

La muestra 31, correspondiente al pozo agrícola ubicado fuera de la propiedad minera a la salida del valle Cuncumén, presenta concentraciones de sulfato de 61 mg/L. Debido a que la profundidad de muestreo fue de 6 m, es posible que este punto refleje una mezcla entre las aguas superficiales (muestra 4) y subterráneas someras (muestra 3).

La última muestra tomada aguas abajo del valle corresponde a la 30 que representa al río Choapa previo a la confluencia con el río Cuncumén y el valor de concentración de sulfato es bastante bajo y equivalente a 19.7 mg/L. Este valor de concentración nos indica que desde la cuenca vecina no hay aportes considerables de sulfato al curso del río, por lo que la existencia de una mayor concentración de sulfatos en el curso del río Choapa se debe a efectos del valle del río Cuncumén

#### 5.3.5 Relaciones iónicas

Las relaciones iónicas permiten seguir el comportamiento de las aguas a pesar de que existan procesos de dilución, ya que la dilución afecta a ambos elementos. En la figura 34 se observa la relación iónica  $r \text{SO}_4 / r \text{Cl}$  de las muestras de agua a lo largo de la línea principal de flujo, que permite indicar un posible efecto antrópico a partir del comportamiento que presente. Las muestras que están en negro corresponden a las muestras eliminadas (15, 29, 14, 28 y 14) debido a los malos balances de carga obtenidos. Es posible observar una tendencia de aumento de la relación iónica en el sentido de la dirección principal de flujo para las aguas subterráneas, exceptuando la muestra 24, alcanzando el valor máximo en las muestras 6 y 10, para luego continuar con una ligera disminución de este parámetro hasta salir del valle. La relación aguas arriba del tranque tiene un valor de 1,77 y antes de salir del valle Cuncumén presenta valores del orden de 4,5 (muestra 2 y 3) y 2,55 en el caso de la muestra 1.

## Mapa de distribución razón iónica

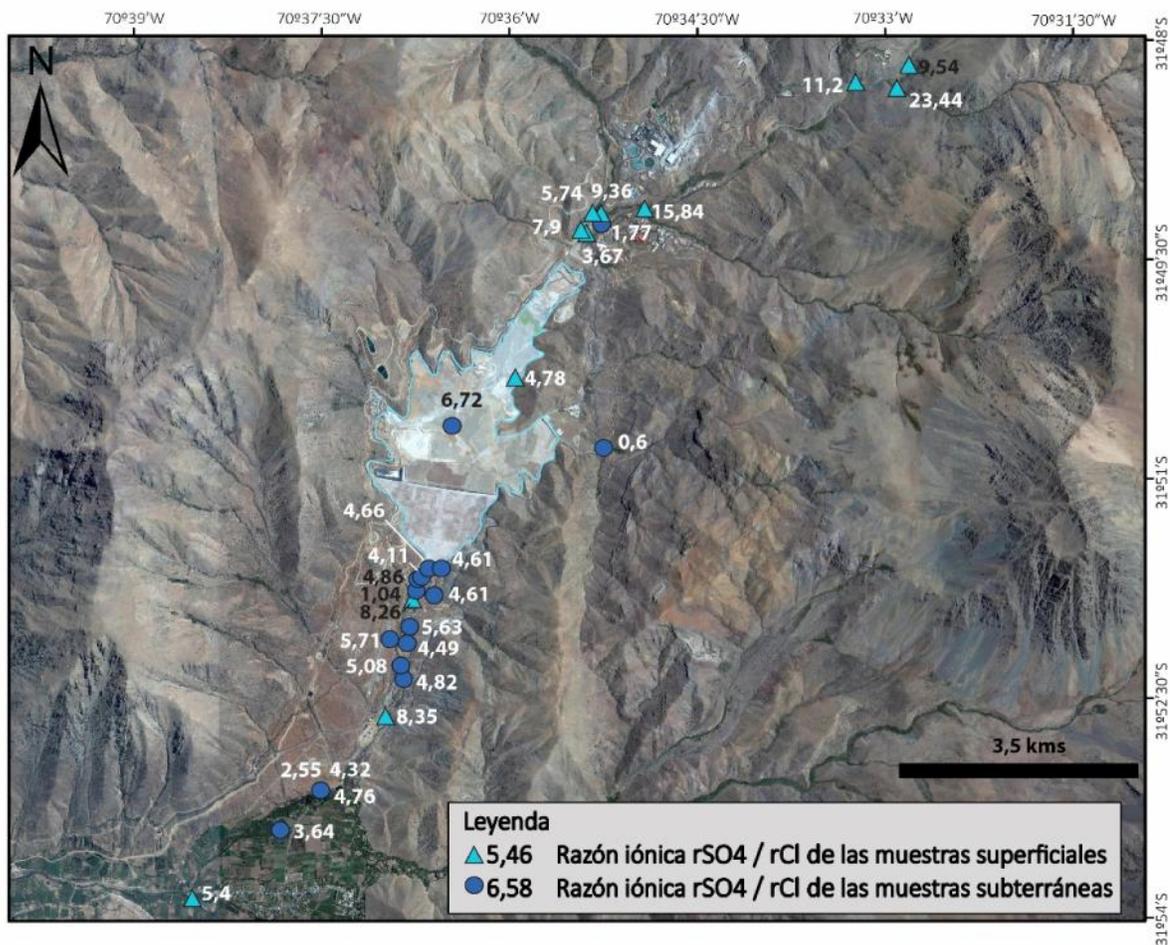


Figura 34: Distribución razón iónica  $SO_4/Cl$

## 5.4 Isótopos

### 5.4.1 Composición isotópica del agua ( $^2H\%$ y $^{18}O\%$ )

Para la interpretación de la geoquímica isotópica del agua es necesario conocer la Línea de Aguas Meteoricas Local (LML) o en su defecto, de no disponer estaciones cercanas, la Línea Global de Aguas Meteoricas (LMG) (I. Clark, P. Fritz, 1997), esta última se indicó en la ecuación 4 del capítulo 4.2.1. En este caso la Línea de Aguas Meteoricas Local se basa en recta meteórica de Chile, indicada en estudios realizados por MLP, donde indican la ecuación que representa dicha línea y que se expresa de la siguiente forma:

$$^2\text{H} = 8.3 * ^{18}\text{O} + 9.8$$

Los valores de  $^2\text{H}$  en la zona de estudio se encuentran entre el rango -106.9‰ y -79.3‰, con un promedio de -92.2‰, y  $^{18}\text{O}$  presenta valores que se encuentran entre -9.6‰ y -14.2‰ con un promedio de -12.3‰. Los valores extremos corresponden a las muestras 30 y 25, donde estas muestras representan el curso del río Choapa y la piscina de aguas claras respectivamente. La distribución de las muestras se observa en la figura 35

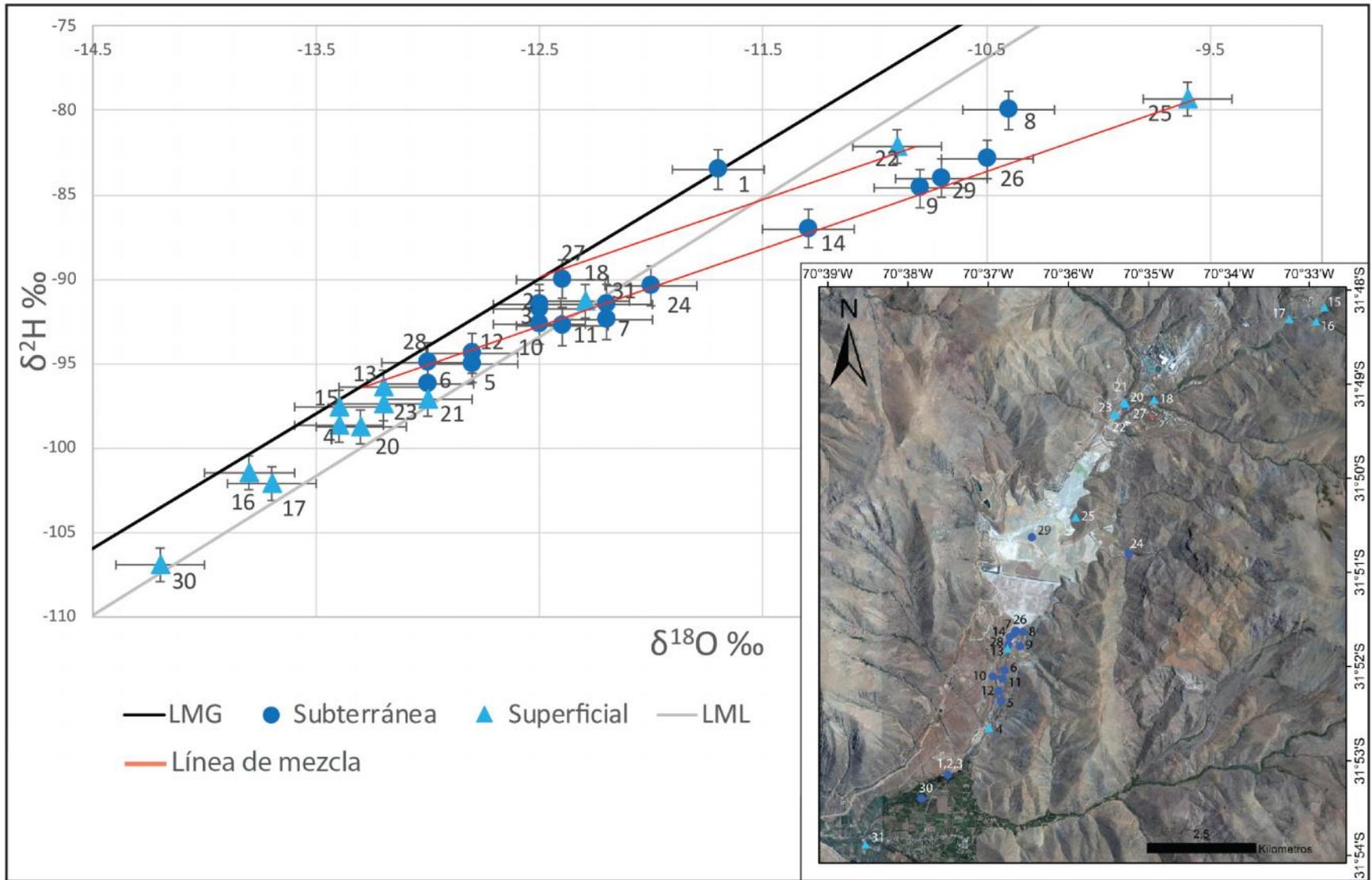


Figura 35: Relación desviación isotópicas  $^{18}\text{O}$  y  $^2\text{H}$  de las muestras.

Es posible agrupar las aguas según su comportamiento isotópico en tres grandes grupos; el primero corresponde a todas las muestras de aguas superficiales ubicadas en la parte izquierda del gráfico, que se proyectan sobre la LML y que representan las más livianas, identificadas como 30, 16, 17, 4, 15, 20, 13, 23 y 21. Luego el segundo grupo, con una composición isotópica intermedia y que también se proyecta sobre la LML, se encuentra mayoritariamente compuesto por aguas subterráneas, donde se encuentran las muestras 6, 5, 28, 12, 10, 11, 2, 3, 27, 31, 7, 24 y la única muestra de agua superficial identificada como 18. Finalmente, el tercer grupo, que corresponde a todas las muestras ubicadas al extremo derecho del gráfico y que constituyen las aguas más enriquecidas en isotopos pesados son las identificadas como 1, 14, 9, 29, 22, 26, 8 y 25, estas representan tanto muestras de aguas subterráneas como de agua superficial y no se proyectan por sobre la LML, sino que presentan una clara desviación de ella.

Las muestras de aguas superficiales situadas por encima del tranque corresponden mayoritariamente a estaciones de aforo. No se dispone de los datos de caudal durante la campaña de muestreo, pero si se cuenta con la base de datos desde 2008 a 2014 de algunas de las estaciones (SGS, 2014), por lo que se utilizará el promedio de datos del mes de noviembre de cada año para caracterizar toda estación de aforo que cuente con dicha información (Tabla 14).

Como se indica en la figura 36, desde aguas arriba del tranque, en la dirección de la línea principal de flujo, se encuentran las muestras 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22 y 23. Aguas abajo del tranque, justo a la salida del túnel de desvío, la muestra 13 y antes de salir de la propiedad minera la muestra 4.

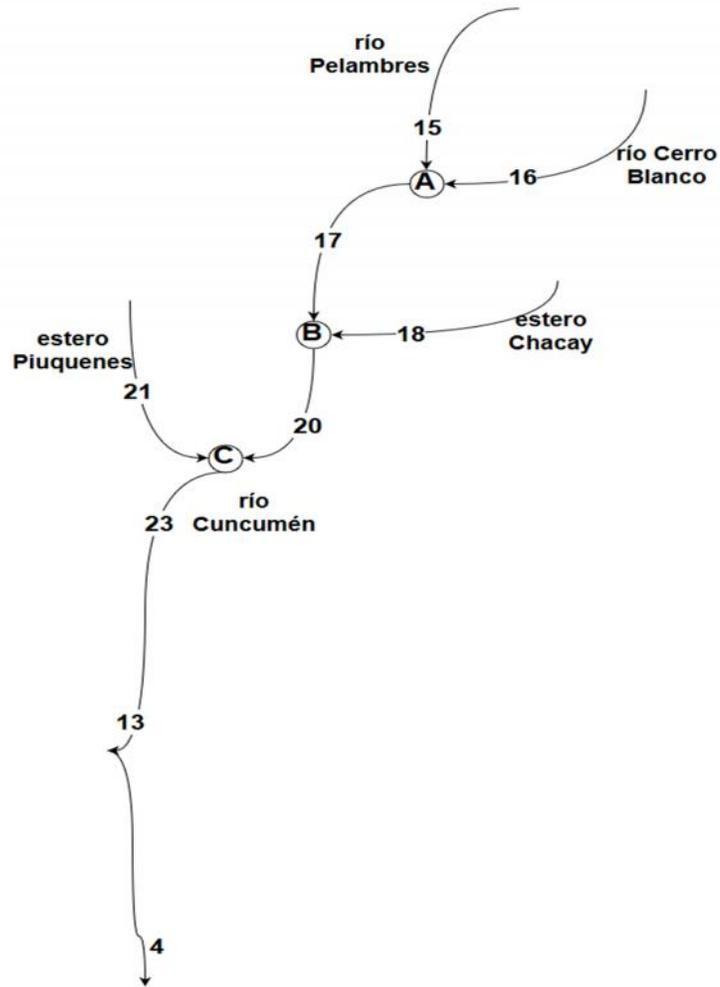


Figura 36: Esquema circulación aguas superficiales, indicando las confluencias de los ríos (A, B y C)

Tabla 14: Datos de estaciones de aforo en m<sup>3</sup>/s en los meses de noviembre. Fuente: (SGS, 2014)

ID	Nov-08	Nov-11	Nov-12	Nov-13	promedio
13	1.26	0.16	0.9	1.1	0.86
17	1.14	0.08	0.8	1.05	0.77
18	0.14	0.02	0.005	0.007	0.04
aguas arriba de 15		0.08	0.15	0.13	0.12
20	1.13	0.26	0.55	1.2	0.79
costado pozos 1,2,3	2.77	0.13	0.013	0.09	0.75
23		0.09	1.75	1.1	0.98
30			2.35		2.35

La marca isotópica de la muestra 17 debe resultar de una mezcla de la marca isotópica de 15 y 16, identificada en la figura como la confluencia A, con un factor de ponderación mayor para 15 ya que el río Pelambres lleva más caudal que el Río Blanco (No existe aforo registrado para la muestra 15, pero se referencia a la estación "aguas arriba de 15". En el caso de la muestra 16 se considera la observación realizada en terreno). En la figura 35 se observa que la marca de 17 es casi idéntica a la de 16 y utilizando la ecuación (5), indicada en el apartado 4.2.1, obtenemos que la fracción molar teórica que debiese aportar la muestra 15 y 16 a la composición isotópica de 17 presenta una inconsistencia matemática (Figura 37). Si consideramos la posibilidad de que el río sea receptor de aportes desde el acuífero en 17 y que la marca isotópica de estas aguas subterráneas sea similar a la de 16 podríamos explicar este comportamiento. Esta hipótesis también explicaría el gran aumento de caudal observado.

$(1) \delta [^{18}\text{O}_{17}] = \delta [^{18}\text{O}_{15}] * [\text{X}_{15}] + \delta [^{18}\text{O}_{16}] * [1 - \text{X}_{15}]$	$\left. \begin{array}{l} \text{---(1) } [\text{X}_{15}] = 0.25 \text{ y } [\text{X}_{16}] = 0.75 \\ \text{---(2) } [\text{X}_{15}] = -0.15 \text{ y } [\text{X}_{16}] = 1.15 \end{array} \right\}$
$(2) \delta [^2\text{H}_{17}] = \delta [^2\text{H}_{15}] * [\text{X}_{15}] + \delta [^2\text{H}_{16}] * [1 - \text{X}_{15}]$	
donde $[\text{X}_{15}] + [\text{X}_{16}] = 1$	

Figura 37: Cálculo de la fracción molar teórica que debiese presentar la muestra 17 a partir de las muestras 15 y 16.

Luego de unos 3.5 km aguas abajo de la confluencia A, se encuentra la confluencia B (Figura 36). En este caso el aporte en caudal desde 18 es muy inferior, por lo que la marca isotópica de 20 debería ser similar a la de 17 (Tabla 14). Ya que la marca isotópica de 20 no es similar a la de 17, si se considera la hipótesis de río aceptor desde el acuífero impregnándole a 20 una marca isotópica intermedia entre 17 y 18, es posible explicar este comportamiento.

Posteriormente, en la confluencia C (Figura 36) los caudales de los aportantes muestreados en 20 y 21 son similares (no se tiene el aforo de la muestra 21, pero se considera la observación de terreno), por lo que la composición isotópica de la muestra 23 resulta de un promedio entre ambas como se puede observar en la figura 35. En este punto posiblemente la composición isotópica del agua aportante desde el acuífero sea similar a la

obtenida producto de la mezcla de los ríos Pelambres y Piuquenes, por lo que no se observa una diferencia en la marca que impregna.

Las muestras 23, entrada río Cuncumén al túnel de desvío, y la muestra 13, salida río Cuncumén del túnel de desvío, tienen una marca isotópica idéntica dentro del error. Esto en primera instancia está indicando que a pesar de que existen infiltraciones desde el tranque de relave (muestra 14) hacia el túnel de desvío, éstas han sido bien controladas ya que no se observa un efecto de mezcla que cambie la marca isotópica de la muestra 13. También se debe considerar que el caudal en 13 disminuye respecto a 23 (Tabla 12), por lo que puede ser que el río esté recargando al acuífero en el sector del salto de sky o que al extraer las infiltraciones también se esté extrayendo agua limpia del río provocando el descenso de caudal. La última observación debería evidenciarse en una marca isotópica de la muestra 14, correspondiente a las infiltraciones, como resultado de una mezcla entre la muestra 13 y la muestra 25.

La muestra 4, río Cuncumén antes de salir de la propiedad de MLP, presenta una composición ligeramente más liviana que la muestra 13, por lo que esto podría indicar que durante su recorrido esté recibiendo algún aporte superficial lateral que tenga una composición isotópica menos enriquecida en isótopos pesados. No se cuenta con datos de caudal aforados en esta estación sin embargo, se cuenta con la información del punto identificado como "costado pozos 1,2,3" que se encuentra 1 km aguas abajo y que presenta un descenso de caudal respecto a la muestra 13, por lo que se presume que en esta zona el río Cuncumén es dador al acuífero.

Finalmente, la muestra 30 correspondiente al río Choapa antes de la confluencia con el río Cuncumén, representa el valor extremo de la campaña que no tiene signos de evaporación aparente. Este ligero empobrecimiento en isótopos pesados respecto al resto de las muestras de aguas superficiales, sobre todo las muestras tomadas en la cabecera del río Pelambres, puede deberse a que la recarga por lluvia de los afluentes del río Choapa, antes de la confluencia con el río Cuncumén, es a mayor altura que la recarga por lluvia del río Cuncumén en la cabecera.

El segundo grupo, que corresponde principalmente a muestras de aguas subterráneas, tiene valores de deuterio y oxígeno más elevados que el primer grupo descrito, lo que podría indicar en primera instancia que la recarga de

estos piezómetros se produce a menor altitud, que correspondería a la cuenca del tranque.

Aguas arriba del tranque de relave, se encuentra el piezómetro donde se tomó la muestra 27 y al costado del tranque de relave Los Quillayes, donde se ubica el tranque el Chinche, el piezómetro donde se tomó la muestra 24. Ambos tienen una composición isotópica bastante similar y representarían el agua regional que ingresa como flujo subterráneo en el sector del tranque de relaves.

Aguas abajo del tranque de relaves se encuentran las muestras 7, 28, 6, 10, 11, 12, 5, 2, 3 y 31 en orden topográficamente descendiente.

La muestra 7 tiene una composición isotópica similar a las aguas subterráneas aguas arriba del tranque lo que en primera instancia podría indicar que no existe una influencia directa del tranque sobre ella.

La muestra 28, que representa un pozo de bombeo bajo la zona tranque de relaves, posee una composición isotópica muy similar al agua del río Cuncumén a la salida del túnel de desvío. Estos puntos se ubican a 70 m de distancia y se presume que la recarga del pozo podría provenir principalmente desde el río Cuncumén, aunque esta hipótesis resulta difícil de entender si consideramos la diferencia topográfica entre ambas muestras. La muestra 6 tiene una marca isotópica muy similar a la muestra 28, por lo que también podría tener una influencia fuerte del río Cuncumén. (La concentración de sulfato de la muestra 6 es 251 mg/L, la mitad de la concentración encontrada en 10 y 11, lo que ayuda a sustentar este supuesto).

Las muestras 10 y 11, pozos de bombeo bajo el tranque, se ubican muy próximos entre sí, a la izquierda y derecha del río Cuncumén respectivamente. Si bien estos poseen una composición isotópica similar, tienen una marca isotópica más pesada que la muestra 6 que se encuentra un poco más arriba. Esta diferencia podría explicarse si en esta zona la influencia de la recarga proveniente del río es menor y se genere una recarga subterránea proveniente de las cuencas laterales. Las cuencas aledañas se encuentran a menor altura por lo que se espera que la marca isotópica proveniente de la precipitación que la recarga sea más pesada que la marca isotópica de las aguas superficiales de la cuenca del río Cuncumén.

Las muestras 12 y 5 corresponden a pozos de bombeo muy próximos entre sí y que están sometidos a intenso bombeo por parte de MLP con el objetivo de poder controlar la pluma de sulfatos. Esto provoca un cono de depresión que recarga al acuífero y debido a que la signatura isotópica de ambos pozos es muy similar a la marca isotópica del río Cuncumén a la salida del túnel de desvío (muestra 13), es posible que la recarga de estos pozos sea principalmente desde el río Cuncumén.

En la parte baja de la cuenca, a 3 km del muro del tranque, el multipiezómetro ABQ2N se muestreo a 16, 30 y 60 m de profundidad. La muestra 1, correspondiente al piezómetro de 60 m de profundidad (ABQ2N-B), presenta valores isotópicos de la composición del agua más elevados que los otros piezómetros. Estos valores podrían ser explicados por aguas recargadas desde las cuencas laterales del valle Cuncumén representando una recarga más local (hipótesis consistente con lo dicho más arriba). Las muestras 2 y 3, correspondientes a los tramos más superficiales, presentan una marca isotópica idéntica de 12.5‰  $^{18}\text{O}$  y 91.7‰ promedio de  $^2\text{H}$ ‰. Estos valores podrían interpretarse por líneas de flujo procedentes de la cuenca superior al tranque de mayor altitud o bien por mezcla entre las aguas del río Cuncumén y las aguas del tramo más profundo representado por la muestra 1.

La muestra 31 situada fuera de la propiedad minera y en una zona con intensa actividad agrícola, presenta una composición ligeramente más pesada, aunque coincidente dentro los márgenes de error con las muestras del multipiezómetro ABQ2N (muestras 2 y 3). Esta pequeña diferencia entre este valor, aunque poco significativa, puede ser explicada por el efecto de evaporación durante las actividades agrícolas.

La muestra 18, si bien está incluida en este grupo por la similitud isotópica, corresponde a una muestra de agua superficial ubicada aguas arriba del tranque de relave y no debiese presentar procesos como los evidenciados para este grupo.

Finalmente, está el grupo de muestras que se separan de la RML. La muestra más enriquecida en isótopos pesados (25) corresponde a la muestra recolectada en la piscina de aguas claras. Si se traza una recta desde la muestra 25 hacia la LMG, intersectando la mayor cantidad de muestras con una pendiente de 4.3, se obtiene lo que se puede clasificar como una recta de evaporación. Las muestras que caen sobre la recta de evaporación corresponden a aguas de proceso (14 y 26), a piezómetros dentro del tranque

(29) y pozos bajo el muro del tranque (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 28 y 31), estas muestras corresponden a procesos de mezcla entre 25 y 13 o a un proceso de evaporación, donde 13 correspondería al término a partir del cual las muestras comienzan a evaporarse. Si consideramos que las aguas que se utilizan en el proceso de flotación provienen tanto del agua recirculada de los tranques de relaves como de las estaciones de aforo ubicadas en la parte superior del tranque, podríamos decir que este corresponde a un proceso de mezcla, donde los términos extremos que componen la mezcla son 25 (aguas claras) y 13 (agua superficial río Cuncumén) y a partir de los cuales se pueden calcular los porcentajes de mezcla de cada una de las muestras que caen por sobre la recta en el momento del muestreo. No obstante, debe considerarse que la composición isotópica de aguas claras puede variar fácilmente con los procesos evaporativos, los cuales deberían ser más intensos en verano y menos intensos en invierno. Por ello se recomienda un seguimiento estacional de la composición isotópica de aguas claras. En este caso la muestra 26 corresponde a una mezcla de aguas 70% de origen de agua de relave y 30% de origen de agua superficial del río Cuncumén, la muestra 9 es una mezcla de aguas 60% de origen de agua de relave y 40% de origen de agua superficial del río Cuncumén y la muestra 14 es una mezcla de aguas 50% de origen de agua de relave y 50% de origen de agua superficial del río Cuncumén. Estos porcentajes representan estimaciones de la composición de cada muestra en el momento del muestreo y no necesariamente reflejan el comportamiento del pozo durante todo el año.

La muestra 22 corresponde a el agua en el tranque de cola que ha sufrido procesos de evaporación que teóricamente debiese tener la misma composición que 23, pero debido a que el agua embalsada lleva ahí un tiempo indeterminado (probablemente desde el periodo de invierno) esta refleja una composición diferente. Al trazar una recta paralela a la línea de evaporación-mezcla desde 22 proyectada en la LMG se obtiene que la composición original del agua es más pesada que 27 pero similar a ella, por lo que es posible que la composición del agua que se evaporó desde el tranque de cola sea parecida al agua que recarga a 27.

#### 5.4.2 Composición isotópica del sulfato disuelto ( $^{34}\text{S}\%$ y $^{18}\text{O}\%$ ).

El carácter bi-isotópico de la molécula del sulfato permite acotar mucho mejor su uso como trazador, pudiendo discriminar entre diferentes fuentes de sulfato, tanto naturales como antrópicas. Las fuentes de sulfato que se pueden considerar en la zona de estudio son: i) sulfatos procedentes de las anhidritas

mineras presentes en las fases hidrotermales del depósito de Pelambres, ii) sulfatos derivados de la oxidación de los sulfuros de la mina de Pelambres y iii) los relaves mineros. Hay que considerar que aun cuando las fuentes de sulfatos derivados de las anhidritas mineras y de la oxidación de sulfuros sean en esencia naturales, la actividad minera suele favorecer el aumento de la contribución de estas fuentes en las aguas superficiales de los cursos de ríos, así como en las aguas subterráneas, pudiéndose considerar estas fuentes como antrópicas.

Se dispone de la composición isotópica de los sulfatos presentes en forma de yeso en los relaves de la mina, los cuales según el informe del proyecto CHI-7013 (IAEA, 2016) tienen una composición isotópica  $^{34}\text{S}\text{‰} = +8,7$  y  $^{18}\text{O} = +8,6 \text{‰}$ . Al no disponer de datos de la composición isotópica de los sulfuros se ha optado por consultar otros depósitos próximos de características similares. Por ello aquí se utilizarán los valores del depósito de "El Teniente" pórfido de Cu-Mo de características muy similares al pórfido Los Pelambres. Los diferentes autores que han estudiado el depósito de "El Teniente" han puesto de manifiesto que la anhidrita ligada a la mineralización muestra valores principalmente en el rango de 6.8 a 8.2‰ para el oxígeno y de 8.5 a 13‰ para el azufre y composiciones isotópicas de azufre de los sulfuros (pirita, molibdenita, calcopirita, etc.) comprendidos entre -6,0 y 2. (Minoru Kusakabe, 1984). En el caso de los sulfuros se ha calculado la composición isotópica teórica del oxígeno del sulfato que se formaría por oxidación de los sulfuros a partir de (Van Stempvoort D.R., 1994) obteniéndose un valor teórico de  $^{18}\text{O}$  para los sulfatos formados por oxidación de las piritas de los relaves comprendidos entre los límites -13.8 y 0.4‰.

En el caso de la anhidrita, su disolución a temperaturas ambientales no comportará ningún tipo de fraccionamiento, ni para el azufre ni para el oxígeno, por lo que la composición isotópica del sulfato disuelto deberá coincidir con las de las propias anhidritas, aunque la precipitación de yeso debería comportar un fraccionamiento a valores ligeramente más pesados, tanto para el azufre como para el oxígeno. En el caso de los sulfuros su disolución deberá dar la formación de sulfato con una composición de  $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  idéntica al sulfuro, y con el oxígeno en equilibrio con las aguas regionales por tanto con valores más livianos de  $^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ .

Los datos de isótopos de  $^{34}\text{S}$  y  $^{18}\text{O}$  de las muestras de aguas subterráneas se mueven en un rango entre 3.0 ‰ y 18.3 ‰ con un promedio de 6.4 ‰ para el  $^{34}\text{S}$ , y en el caso del  $^{18}\text{O}$  se definieron 2 poblaciones, una con valor negativo entre -1.1 y -0.2‰ con un promedio de -0.7‰ y la otra

población mucho mayor con valores positivos que van desde 0‰ a 8.7‰ con un promedio de 2.5‰ (figura 38).

La mayoría de Las muestras de agua subterránea se agrupan acorde a un comportamiento lineal, donde a medida que aumenta la  $^{34}\text{S}$  también aumenta la  $^{18}\text{O}$ . Al realizar un ajuste lineal, sin considerar las muestras 31, 3 y 28, se obtiene un coeficiente de correlación equivalente a 0.96. La muestra 28 tiene un comportamiento muy diferente al resto del grupo y presenta una  $^{34}\text{S}$  muy superior a todas las otras muestras. Por otra parte, también es posible observar que las muestras de agua superficial presentan un comportamiento similar, pero no siguen una relación lineal y tienen una dispersión mayor.

La tendencia que presentan principalmente las muestras de agua subterránea podrían corresponder a un proceso de sulfato-reducción bacteriana. La sulfato-reducción bacteriana manifiesta un fraccionamiento isotópico en el cual el sulfato remanente se enriquece en isotopos pesados de azufre y oxígeno. Este fraccionamiento ha sido estudiado por diversos autores (Mizutani & Rafter, 1969) que indican un fraccionamiento mayor para el azufre que para el oxígeno, evidenciado en una pendiente de  $^{34}\text{S}/^{18}\text{O}$  entre 4 y 2.5. La tendencia mostrada por la composición isotópica del sulfato es coherente con la existencia de este proceso. No obstante, esta tendencia también está representada por algunas muestras de aguas superficiales, como es el caso de las muestras 4, 13, 15, 16, 17, 20 del río Pelambres-Cuncumén que corresponden a aguas prístinas, con contenidos en oxígeno y condiciones oxidantes y por tanto no parece coherente que estén sufriendo un proceso de sulfato-reducción bacteriana. Si bien en la campaña de terreno no fue posible medir el Eh de las muestras con el mismo equipo que se midió pH, conductividad y temperatura, los datos medidos con otro equipo (Tabla 15) no muestran valores de Eh reductores que puedan justificar procesos de reducción bacteriana de sulfato. Al descartarse este proceso, la tendencia observada debe corresponder a un proceso de mezcla entre dos fuentes de sulfato distintas.

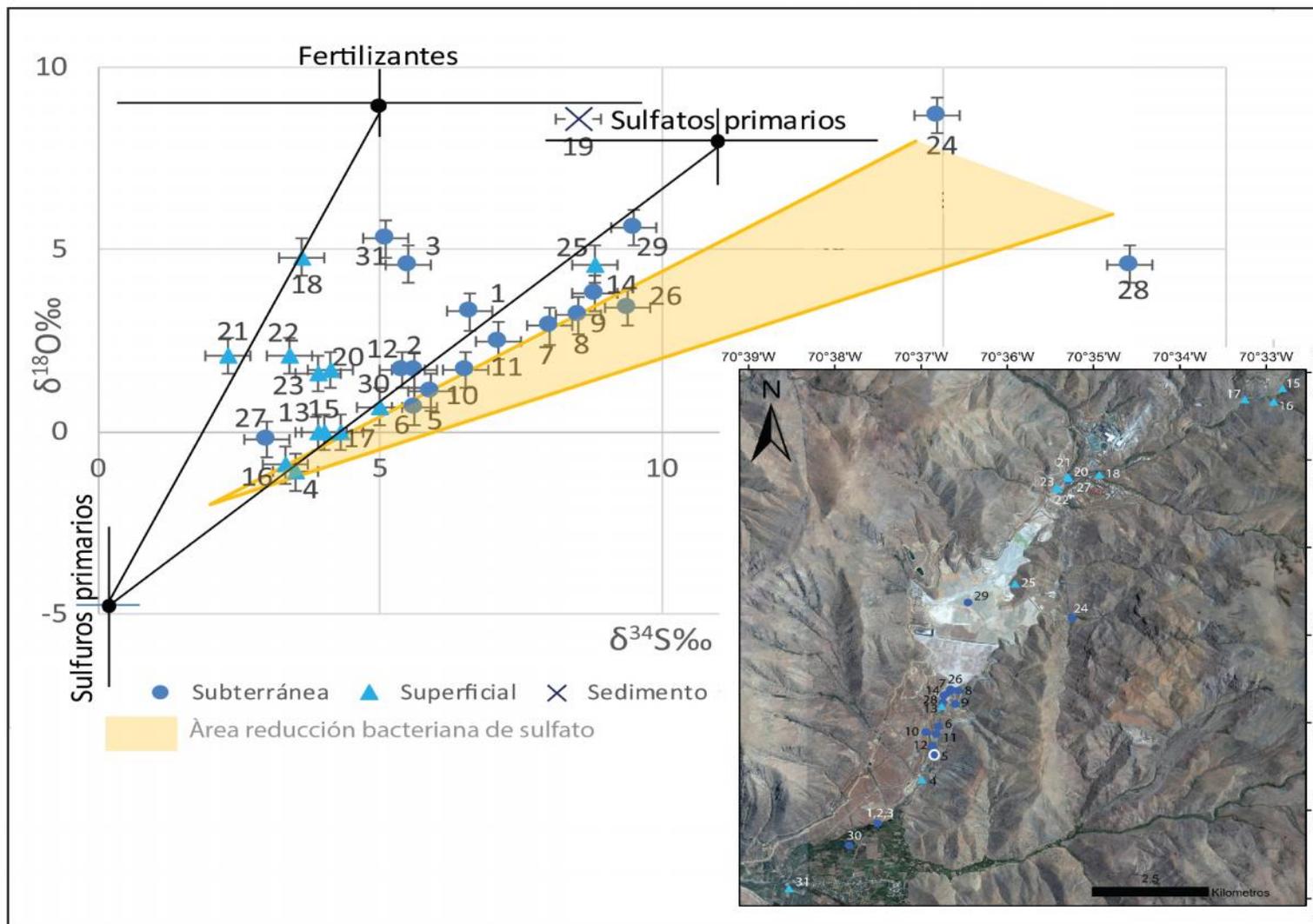


Figura 38: Relación desviaciones isotópicas  $^{34}\text{S}\text{‰}$  y  $^{18}\text{O}\text{‰}$  muestras de agua y sedimento cuenca Cuncumén. Fuente: Modificado de (Minoru Kusakabe, 1984) y (Vitória, 2004)

Tabla 15: Valores de ORP medidos en terreno por hidromensores consultora SRK.

ID	ORP(mV)
3	210
10	65
9	67
2	157
11	-59
5	176
14	123
13	142
12	104

Tal y como ya se ha comentado previamente, el relave tiene como mineral yeso (Figura 27) con una composición isotópica de  $^{34}\text{S}\text{‰} = +8,7$  y  $^{18}\text{O} = +8,6 \text{‰}$ , coincidente con la caja de anhidritas asociadas a las Chimeneas dacíticas de la mina del Teniente. Si además consideramos que los relaves deberían contener además de esta fuente de sulfato, otra fuente correspondiente a la oxidación de los sulfuros presentes en este tipo de depósitos, aunque no ha podido ser determinada la  $^{34}\text{S}\text{‰}$  de los sulfuros presentes en el relave debido al error de muestreo comentado previamente, desde un punto de vista teórico los sulfuros presentes en la mineralización (calcopirita, pirita, molibdenita y bornita) de la mina "El Teniente" presentan valores de  $^{34}\text{S}\text{‰}$  comprendidos entre  $-5,9$  y  $2,4\text{‰}$ . (Minoru Kusakabe, 1984). El sulfato procedente de la disolución de estos sulfuros debería estar en equilibrio con la  $^{18}\text{O}$  del agua y por tanto presentar valores de  $^{18}\text{O}$  más livianos, concretamente en el otro extremo de la mezcla propuesta. Por tanto, el sulfato de las muestras estudiadas parece proceder principalmente de la mezcla de dos fuentes de sulfato, una procedente de la disolución de los sulfatos presentes en la mineralización y del sulfato procedente de la oxidación de los sulfuros. Los valores más livianos de las muestras superficiales, con valores de pH más bajos (ácidos), son coherentes con esta interpretación. Por otro lado algunas muestras superficiales parecen dispersarse de esta mezcla teórica, debido a la presencia de una tercera fuente de sulfato coherente con los valores de fertilizantes agrícolas (en este caso podría ser de explosivos). En este sentido es de señalar que las muestras 18, 31 y 3 que parecen tener una mayor contribución de sulfato procedente de fertilizantes agrícolas, y en concreto la muestra 31 se sitúa en una zona con intensa actividad agrícola.

A pesar de que el sulfato disuelto se podría explicar a partir de la mezcla ternaria a partir de sulfato procedente de los sulfatos y sulfuros asociados a la mineralización, con una contribución menor de sulfato procedente de fertilizantes agrícolas, es necesario un estudio más detallado con el objetivo de confirmar estas conclusiones preliminares. Así, la contribución de sulfato potencial de fertilizantes en algunas muestras de la parte alta de la cuenca no es coherente y se deberían estudiar otras posibles fuentes (explosivos, etc), donde la presencia de nitrato en aguas claras soportaría la existencia de esta tercera fuente de sulfato en la parte alta de la cuenca.

## 6. Conclusiones

A partir del muestreo de 30 puntos de agua superficial y subterránea en la cuenca del río Cuncumén durante noviembre de 2016, de la medición de parámetros físicos en terreno y, de la composición química e isotópica de las aguas analizada en laboratorio, se pudo determinar una serie de procesos hidrogeoquímicos en la cuenca, además del origen de las aguas y de los sulfatos disueltos en ellas.

Los procesos hidrogeoquímicos e isotópicos que el análisis de las muestras ha permitido identificar se detalla a continuación:

Los valores más alcalinos de pH (7.8 - 9.1) se dan en las aguas abajo del tranque de relaves y podrían estar relacionados con pérdidas del tranque de relaves. En éste se han medido los mayores valores (9.22 y 10.3) que estarían relacionados con el uso de portlandita en el proceso mineralúrgico. El aumento de la conductividad eléctrica que presentan las aguas por debajo del muro del tranque, desde 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aguas arriba del tranque hasta valores de 2970  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aguas abajo de éste, podría explicarse si consideramos pérdidas del tranque de relaves debido a que las conductividades observadas en la piscina de aguas claras (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), es considerablemente superior a los valores observados a monte de la cuenca.

El diagrama de Piper muestra que las aguas analizadas corresponden principalmente al tipo sulfatada-cálcica. Los diagramas de Stiff, representados en el área de estudio, evidencian que la salinidad aumenta en la dirección principal de flujo (NE-SO). Sin embargo, al salir del valle se registran valores similares a los obtenidos en las muestras tomadas en la zona aguas arriba del tranque.

En términos generales existe una clara diferencia entre las muestras de agua superficial y las de agua subterránea, donde las superficiales manifiestan una baja concentración de todos los iones.

En las de aguas subterráneas se identifican tres grupos en función de su salinidad: el primero (G1) corresponde a las muestras 14, 7, 9, 26, 8, estas son las que presentan las mayores concentraciones (5 – 30 meq/L). El segundo

grupo (G2) conformado por las muestras 5, 6, 12, 10 y 11 presenta concentraciones intermedias (1 – 10 meq/L). Finalmente se encuentra el grupo (G3) de las muestras 1, 2, 3, 28, 31, que corresponde a los pozos con menores concentraciones (hasta 2 meq/L). G1 posee un vínculo con la muestra 25 (piscina de aguas claras del tranque de relaves), ya que se observan concentraciones similares de todos los elementos mayores. Similitud debida a la posible infiltración desde el tranque y a la consiguiente mezcla de aguas de proceso (25, 26 y 14) con aguas de circulación bajo el tranque que recogen los pozos 7, 8 y 9.

El análisis de la distribución espacial de las muestras revela la existencia de una tendencia al incremento de la concentración de sulfato en el sentido de la dirección principal de flujo. Las mayores concentraciones se observan en la zona del tranque de relaves (1824 mg/L) y en G1 (valores de hasta 1500 mg/L). Los pozos ubicados en la zona media e identificados previamente como G2 presentan concentraciones intermedias de sulfato (250-600 mg/L) y el efecto de disminución se asocia al ingreso lateral de aguas desde una cuenca aledaña producto del bombeo de los pozos 10, 11 y 12. Finalmente, se observa un descenso significativo en la concentración de sulfato 40-60 mg/L en los pozos más distantes aguas abajo del tranque (pozos 1, 2 y 3). Es importante señalar que no se observó un aumento en la concentración de sulfato en el río Cuncumén. Al calcular la razón iónica  $r \text{ SO}_4 / r \text{ Cl}$  y observar su distribución espacial se detectó un incremento en las aguas subterráneas a lo largo de la línea de flujo principal y este efecto se ha documentado como posible contaminación minera.

Las muestras tienen buena correlación Ca-SO<sub>4</sub> ( $r=0.99$ ) y se posicionan en la línea de disolución 1:1, con algunas (7, 8, 9, 25, 26) que presentan pequeñas desviaciones. En particular, para la muestra de aguas claras y el agua subterránea aguas abajo del tranque, se puede suponer que el origen del sulfato y calcio está dado por procesos de disolución de yeso/anhidrita. La presencia de yeso, evidenciada en el análisis de los sedimentos del tranque de relaves, además de los índices de saturación, [-0.3; 0.3] calculados para las muestras 7, 8, 9, 25 y 26, indican que es posible que exista influencia del tranque en el agua subterránea aguas abajo de éste.

En base a la composición isotópica del agua [<sup>2</sup>H y <sup>18</sup>O] de las muestras estudiadas se obtuvieron tres conjuntos; aguas superficiales que proyectan sobre la LMG, muestras más pesadas y con valores <sup>2</sup>H entre -108 a -98 y <sup>18</sup>O entre -14.5 a -13, aguas subterráneas que proyectan sobre la LMG,

muestras intermedias con valores  $^2\text{H}$  entre -98 a -90 y  $^{18}\text{O}$  entre -13 a -12, y aguas subterráneas-superficiales que se desvían de la LMG, muestras más livianas con valores  $^2\text{H}$  entre -88 a -78 y  $^{18}\text{O}$  entre -11.5 a -9.5. El tercer grupo está formado por las muestras situadas en la recta de mezcla donde los términos extremos son las muestras 25 (aguas claras) y 13 (agua superficial río Cuncumén). Se calcularon los porcentajes de mezcla para las muestras que se encuentra sobre la línea de mezcla. Los porcentajes de agua de relave calculados varían entre 70% y 50% indicando que es un aporte importante en estas muestras. Aunque, debe considerarse que la composición isotópica de aguas claras puede variar fácilmente con los procesos evaporativos y, considerando la estacionalidad del proceso, cabe destacar que estos porcentajes representan estimaciones de la composición en el momento del muestreo y no necesariamente reflejan el comportamiento del pozo respectivo durante todo el año.

Según lo indicado por los resultados de  $^{34}\text{S}$  y  $^{18}\text{O}$  del sulfato disuelto en las aguas es posible presumir que la mayoría de muestras subterráneas aguas abajo del tranque serían una mezcla entre los dos términos extremos identificados como sulfato vinculado a la oxidación de sulfuros primarios (pirita) y otro, relacionado con la disolución de los sulfatos primarios del relave (yeso). Al considerar que la muestra correspondiente al sedimento del sulfato de relave (19) cae dentro de la caja de los sulfatos primarios y que la mineralogía del relave ha puesto de manifiesto la presencia de un 5% de yeso, es posible indicar que el efecto del tranque de relaves sobre los sulfatos está asociado a un sulfato proveniente de disolución de yeso. No obstante, hay que considerar que la interacción natural del agua con las rocas del depósito daría una composición isotópica idéntica.

Finalmente, al vincular el comportamiento de los parámetros físicos, los datos químicos y los datos isotópicos, es posible sugerir que las elevadas concentraciones de sulfato disuelto registradas en los pozos ubicados por debajo del muro del tranque presentan una influencia directa de los lixiviados del tranque de relaves. La línea de mezcla que define los isótopos de oxígeno y deuterio entre las muestras de aguas de procesos y los pozos bajo el tranque, así como el comportamiento observado sobre la composición isotópica del sulfato disuelto, indica una mezcla entre los sulfatos y sulfuros primarios. Sin embargo, es importante mencionar que este registro representa una foto del momento de muestreo.

## Recomenadaciones

Se recomienda realizar una campaña de muestreo químico e isotópico en mayo-junio para verificar los efectos estacionales en toda la cuenca. Controlar caudal en las estaciones de aforo al momento del muestreo. Controlar Eh en los pozos a muestrear para evidenciar eventual proceso de sulfato reducción. Hacer análisis de elementos traza, además de elementos mayores. Reportar valor de sólidos totales disueltos. Tener especial cuidado al muestrear los pozos que tuvieron B.I deficiente en esta campaña.

Se recomienda realizar un monitoreo químico e isotópico trimestral del agua de la piscina de aguas claras para evidenciar efectos climáticos y la variación isotópica que eso implica (evaporación, lluvia, relaves, etc)

Realizar muestreo periódico en dos puntos a lo largo del tiempo: uno aguas arriba del tranque de relaves y otro aguas abajo del tranque de relaves. Proporciona el conocimiento de la evolución temporal de los diferentes parámetros y supone un control de la calidad del agua con vistas a su uso posterior.

Así mismo es importante, realizar un estudio mineralógico e isotópico de los sulfuros y sulfatos del relave, con el muestreo realizado de forma correcta, para poder corroborar el rango de pertenencia de  $^{34}\text{S}$  asociado a cada miembro extremo, como también considerar el muestreo de roca del yacimiento para tener ambos registros isotópicos.

Controlar temperatura de las muestras en el almacenamiento y transporte. Entregar a laboratorio numeración de las muestras con sólo una codificación.

Construir al menos un pozo en el estribo derecho del tranque para evaluar la composición química e isotópica del agua entrante desde esa cuenca.

Construir un pozo profundo en la zona aguas arriba del tranque, al costado del río Pelambres, donde se pueda registrar parámetros físicos.

## 7. Bibliografía

- AMEC. (2014). Modelo Hidrogeológico Conceptual. Santiago.
- Appelo, C., & Postma, D. (2005). Geochemistry, groundwater and pollution. NW: CRC Press.
- BCN. (s.f.). Biblioteca del congreso nacional de Chile (BCN): Nuestro país, cuarta región. Recuperado el 10 de Febrero de 2017, de <http://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4/relieve.htm>
- Bragado, R. (2016). Tiloom: Diagramas de Piper. Obtenido de <http://www.tiloom.com/diagramas-de-piper/>
- Calabrán, R. (2009). Cybertesis Evaluación del riesgo ambiental del tranque de relaves las tórtolas ubicado en la comuna de Colina, Región Metropolitana de Santiago. Obtenido de [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-calabran\\_r/pdfAmont/aq-calabran\\_r.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/aq-calabran_r/pdfAmont/aq-calabran_r.pdf)
- CHI-7013. (s.f.). IAEA. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <https://www.iaea.org/projects/tc/chi7013>
- Claypool, G., Holser, W., Kaplan, I., Sakai, H., & Zak, I. (1980). The age curve of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation. Chem. Geol 28, 190-260.
- Consejo Minero. (s.f.). Consejo Minero. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.consejominero.cl/chile-pais-minero/>
- Consejo Minero, S. d. (Noviembre de 2002). Informe Uso eficiente de aguas en la industria minera y buenas prácticas. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <http://www.consejominero.cl/wp-content/uploads/2016/06/Acuerdo-marco-de-produccion-limpia-sector-gran-mineria-Buenas-practicas-y-gesti-ambiental.pdf>
- CR2. (2015). Centro de ciencia del clima y la resiliencia. Informe megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Obtenido de <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>

- CRHIAM. (s.f.). Universidad de Concepción. Recuperado el 15 de Marzo de 2017, de [http://www.crhiam.cl/?page\\_id=11](http://www.crhiam.cl/?page_id=11)
- DGA. (2007). documentos DGA. Obtenido de <http://documentos.dga.cl/SUB4843.pdf>
- DGA. (2016). DGA. Obtenido de <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- DGA. (febrero de 2017). dga. Obtenido de Dirección General de Aguas (DGA): Información Hidrológica en línea: <http://www.dga.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Paginas/default.aspx>
- DGA. (2017). IDE: Infraestructura de datos geoespaciales. Obtenido de [http://www.ide.cl/descarga/capas/item/subcuencas.html?category\\_id=70](http://www.ide.cl/descarga/capas/item/subcuencas.html?category_id=70)
- Ecured. (s.f.). ecured. Obtenido de [https://www.ecured.cu/Diagrama\\_hidroqu%C3%ADmico\\_para\\_modelos\\_de\\_agua](https://www.ecured.cu/Diagrama_hidroqu%C3%ADmico_para_modelos_de_agua)
- Errázuriz, A. M. (1998). Manual de geografía de Chile. Santiago: Andrés Bello.
- Escudero, M. (2017). Reporte datos de laboratorio. Santiago.
- Eugster, H., & Jones, B. (1979). Behaviour of major solutes during close basin brine evolution. *American Journal of Science*, 609-631.
- FCIHS. (2009). Conceptos básicos de hidrología subterránea capítulo 8: Isotopía ambiental aplicada a las aguas subterráneas.
- FCIHS. (2009). Hidrogeología. Barcelona: FCIHS.
- Fundación Chile, S. M. (2015). Guía metodología para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras. Recuperado el 7 de Agosto de 2017, de <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/GuiaMetodologicaQuimica.pdf>
- Gestión Ambiental Consultores. (Abril de 2003). SEIA: Servicio de evaluación de impacto ambiental. Obtenido de

[http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013102801/EIA\\_6243\\_Linea\\_base\\_introduccion.pdf](http://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013102801/EIA_6243_Linea_base_introduccion.pdf)

- I. Clark, P. Fritz. (1997). Environmental isotopes in Hydrogeology. USA: CRC Press.
- IAEA. (2000). Environmental isotopes in the hydrological cycle. Vienna.
- IAEA. (5 de Septiembre de 2007). IAEA: Junta de Gobernadores Conferencia General. Obtenido de [https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC51/GC51Documents/Spanish/gc51-4\\_sp.pdf](https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC51/GC51Documents/Spanish/gc51-4_sp.pdf)
- IAEA. (2016). Proyecto CHI-7013: Strengthening the Monitoring of Mining or Industrial Activities and Their Effects on Water Resources Using Isotopic Techniques. Santiago.
- IAEA. (s.f.). International Atomic Energy Agency: problemáticas medio ambientales. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <https://www.iaea.org/topics/addressing-environmental-issues>
- IGME. (s.f.). Obtenido de IGME : [http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf)
- INE. (2016). Infraestructura de datos geoespaciales(IDE): Cartografía Precenso 2016 Región de Coquimbo. Obtenido de [http://www.ide.cl/descarga/capas/item/cartografia-precenso-2016-region-de-coquimbo.html?category\\_id=70](http://www.ide.cl/descarga/capas/item/cartografia-precenso-2016-region-de-coquimbo.html?category_id=70)
- INIA-Intihuasi, & JVRC. (2016). Informe técnico campaña primavera 2016: Proyecto Seguimiento Ambiental Integral en la Cuenca del río Choapa.
- INN. (1987). CiperChile: NCh 1333. Obtenido de [http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978\\_Mod-1987.pdf](http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh1333-1978_Mod-1987.pdf)
- INN. (2005). CiperChile: NCh409. Obtenido de <http://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>
- Jorge Oyarzún, H. M. (2011). Geoquímica del drenaje en las tres cuencas áridas de la región agrícola-minera de Coquimbo (Chile): Balance de una década de estudios, 2000-2010. Secheresse, 244-252.

- Maksaev, V. (2001). Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de CEC-UCHILE: Impacto ambiental de la actividad minera: <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/IMPACTO%20AMBIENTAL%20DE%20LA%20ACTIVIDAD%20MINERA.pdf>
- Maksaev, V. (2004). Obtenido de CEC-UCHILE: Pórfidos Cupríferos: <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/PORFIDOS%20CUPRIFEROS.pdf>
- Maldonado, A. (6 de Octubre de 2015). Facultad de Derecho. Recuperado el 8 de Marzo de 2017, de <http://www.derecho.uchile.cl/noticias/115945/las-aguas-del-minero-y-la-necesidad-de-reforma>
- Martin Reich, M. A. (Septiembre de 2003). Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications. *Mineralium Deposita* , 876-885.
- Milka Alexandra Skewes, W. A. (1985). Petrology of the early formed hydrothermal veins within the central potassic alteration zone of the Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile. *Revista geológica de Chile*, 39-56.
- Minera los Pelambres. (5 de Enero de 2017). Minera los Pelambres. Obtenido de <https://web.pelambres.cl/la-compania-quien-es-mlp.html>
- Minera los Pelambres. (s.f.). web pelambres. Obtenido de <https://web.pelambres.cl/la-compania-quien-es-mlp.html>
- Minoru Kusakabe, S. N. (1984). Oxygen and sulfur isotopic compositions of quartz, anhydrite and sulfide minerals from the el teniente and rio blanco porphyry copper desposits, Chile. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 583-614.
- Mizutani, Y., & Rafter, T. (1969). OXYGEN ISOTOPIC COMPOSITION OF SULPHATES. PART 4. BACTERIAL FRACTIONATION OF OXYGEN ISOTOPES IN THE REDUCTION OF SULPHATE AND IN THE OXIDATION OF SULPHUR. *N. Z. J. Sci.*, 12, 60-68.

- MMA. (2012). Informe del estado del medio ambiente. Capítulo 8: Recursos hídricos. Recuperado el 20 de julio de 2017, de [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_8.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_8.pdf)
- MOP. (2012). Informe Estrategia nacional de recurso hídrico 2012-2025. Obtenido de [http://www.mop.cl/documents/enrh\\_2013\\_ok.pdf](http://www.mop.cl/documents/enrh_2013_ok.pdf)
- MOP. (2017). Infraestructura de datos geoespaciales: Red Vial Nacional. Obtenido de <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/red-vial-nacional.html>
- Nanoscience technology. (16 de julio de 2017). Nanoscience. Obtenido de <http://www.nanoscience.com/technology/sem-technology/how-sem-works/>
- Neus Otero, A. S. (2008). Controls of  $^{34}\text{S}$  and  $^{18}\text{O}$  in dissolved sulphate: Learning from a detailed survey in the Llobregat River (Spain). *Applied Geochemistry*, 1166- 1185.
- OCDE, & CEPAL. (2016). Comisión Económica para América Latina y el Caribe: Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016. Recuperado el 5 de febrero de 2017, de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40308/S1600413\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40308/S1600413_es.pdf)
- 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 of the acid drainage process. *Environ monit assess*, 69-82.
- Pulido, A. (2007). *Nociones de hidrogeología para ambientólogos*. Almería: Editorial Universidad de Almería.
- Redhaounia, B. (Septiembre de 2015). Research Gate : Hydro-geophysical interpretation of fractured and karstified limestones reservoirs: A case study from Amdoun region (NW Tunisia) using electrical resistivity tomography, digital elevation model (DEM) and hydro-geochemical approaches. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/282755959\\_Hydro-geophysical\\_interpretation\\_of\\_fractured\\_and\\_karstified\\_limestones\\_res](https://www.researchgate.net/publication/282755959_Hydro-geophysical_interpretation_of_fractured_and_karstified_limestones_res)

ervoirs\_A\_case\_study\_from\_Amdoun\_region\_NW\_Tunisia\_using\_electrical\_resistivity\_tomography\_digital\_elevation\_model\_DEM\_and\_hydrology

RENFA. (s.f.). RENFA. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://renfa.sma.gob.cl/index.php/que-es-la-renfa/>

Rivano, S. (1991). Hoja Illapel. Carta geológica de Chile N.69. Santiago, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería.

Roberto Oyarzún, P. H. (2010). Aulados. Obtenido de [https://www.aulados.net/Ciencia\\_Sociedad/Investigacion\\_aciertos\\_fallas/Investigacion\\_minero\\_ambiental.pdf](https://www.aulados.net/Ciencia_Sociedad/Investigacion_aciertos_fallas/Investigacion_minero_ambiental.pdf)

Rulamahue. (2015). Rulamahue. Obtenido de [http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile\\_utm19/ficha04utm19.html](http://www.rulamahue.cl/mapoteca/fichas/chile_utm19/ficha04utm19.html)

SEID, C. (2015). Informe Hidrogeológico consolidado pozos productores tranque Quillayes y el Chinche. Santiago.

SERNAGEOMIN. (29 de Agosto de 2015). SERNAGEOMIN: Chile produce 1.400.000 toneladas diarias de relave. Obtenido de <http://www.sernageomin.cl/detalle-noticia.php?IdNoticia=240>

SERNAGEOMIN. (Diciembre de 2016). Página web SERNAGEOMIN. Obtenido de <http://www.sernageomin.cl/mineria-relaves.php>

SERNAGEOMIN, & F.Chile. (2015). Obtenido de SERNAGEOMIN: Guía metodológica para la estabilidad química de faenas e instalaciones mineras: <http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/cierrefaena/GuiaMetodologicaQuimica.pdf>

SGS. (2014). Calidad histórica de aguas.

Sillitoe, R. H. (1973). Geology of the Los Pelambres Porphyry Copper Deposit, Chile. Bulletin of the Society of Economic Geologists, 1-10.

SMA. (s.f.). SMA. Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.sma.gob.cl/index.php/quienes-somos/que-es-la-sma/historia>

- Soler, A. (2015). universidad de barcelona. Obtenido de [http://www.ub.edu/minegeo/images/IL3/Tema2\\_Link3\\_Azufre.pdf](http://www.ub.edu/minegeo/images/IL3/Tema2_Link3_Azufre.pdf)
- Soler, A. (2015). Universidad de barcelona. Obtenido de (<http://www.ub.edu/minegeo/index.php/2-uncategorised/26-tema-2-aplicaciones-en-medioambiente>)
- Soler, A., Otero, N., Rosell, M., Carrey, R., & Domenech, C. (2017). Universidad de Barcelona: Isótopos de la molécula del agua. Obtenido de [http://www.ub.edu/minegeo/images/IL3/Tema2\\_link2\\_Isotopos\\_agua.pdf](http://www.ub.edu/minegeo/images/IL3/Tema2_link2_Isotopos_agua.pdf)
- SONAMI. (s.f.). Recuperado el 3 de Marzo de 2017, de <http://www.sonami.cl/site/>
- SONAMI. (28 de Junio de 2012). SONAMI. Recuperado el 6 de Marzo de 2017, de <http://www.sonami.cl/site/wp-content/uploads/2016/05/03.-Uso-del-Agua-en-la-Miner%C3%ADa.pdf>
- Stern, M. S. (1995). Genesis of the giant Late Miocene to Pliocene copper deposits of central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution. *International Geology Review*, 893-909.
- SWS. (2012). Actualización de la evolución de la pluma del tranque Quillayes. Santiago.
- SWS. (2012). Actualización evolución pluma tranque los Quillayes. Santiago.
- U.Chile, G. (12 de 1 de 2017). IDE. Obtenido de <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000.html>
- Valenzuela, L., Ramírez-Hernández, J., & Palomares, R. (2013). Composición Isotópica del Agua Subterránea y su Relación con la Salinidad en el Valle de San Luis Río Colorado en Sonora, México. *Información tecnológica*, 57-66.
- Van Stempvoort D.R., K. H. (1994). Controls of  $^{18}\text{O}$  in sulphate. In: Alpers, C.A., Blowes, D.W (Eds). *Environmental geochemistry os sulphie oxidation*. Am. Chem. Soc. Symp. Ser, 446-480.

Vitória, L., Otero, N., Soler, A., & Canalias, A. (2004). Fertiliser characterisation: isotopic data (N, S, O, C and Sr). *Environ. Sci. Technol*, 3254-3262.

Zaporozec, A. (1972). Graphical interpretation of water-quality data. *NGWA*, 32-43.

## ANEXO A: Datos Laboratorio y Datos medidos en campo

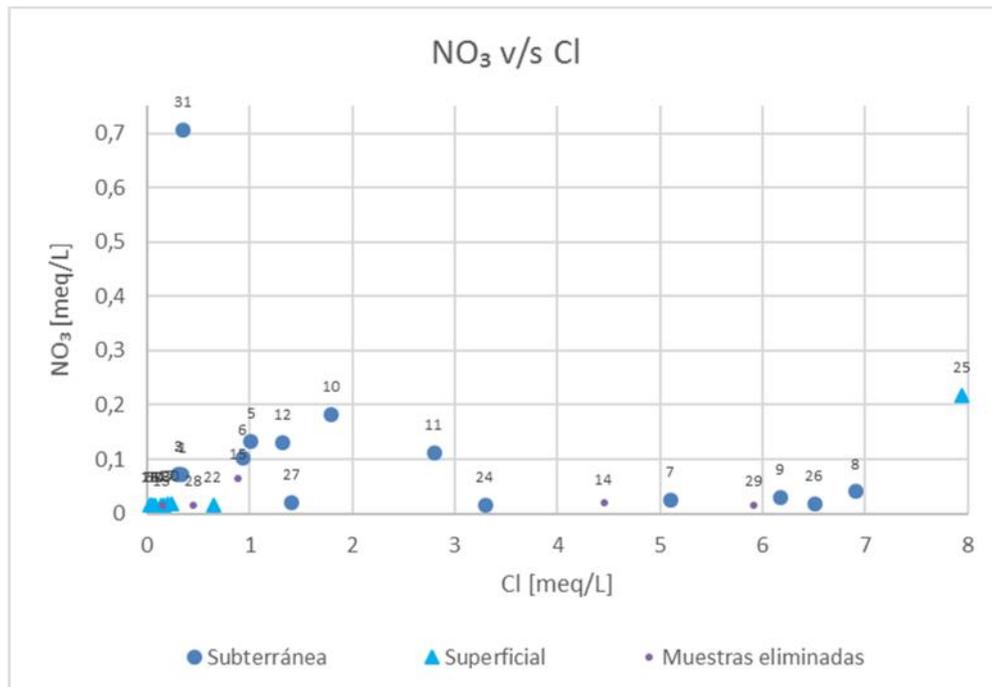
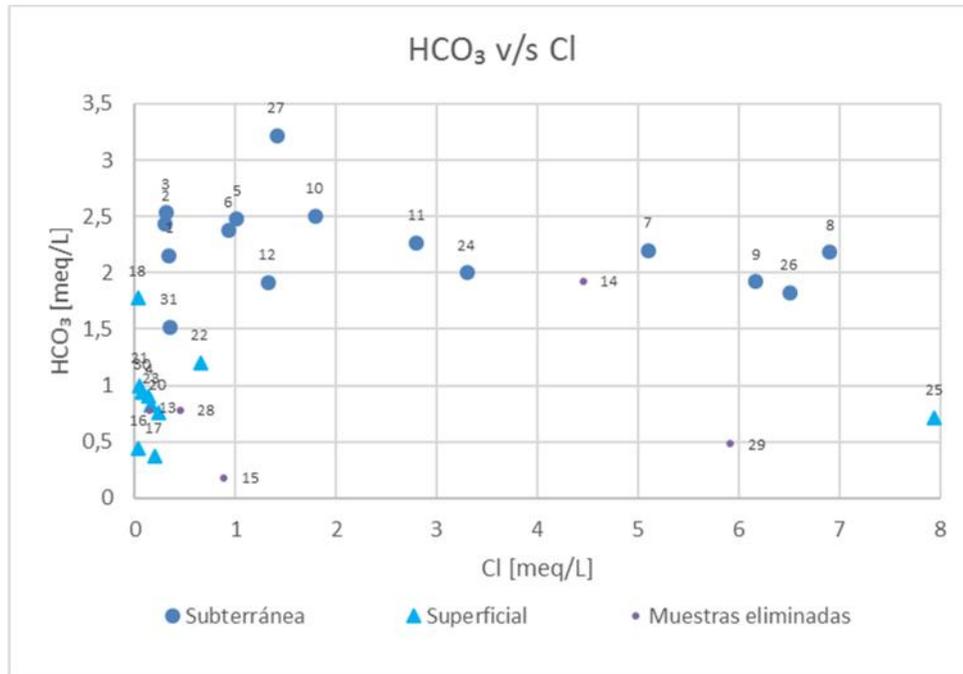
Nombre Memoria M- Jesús	Datos de campo			
	Cond. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp. $^{\circ}\text{C}$	pH	Alcalinidad (mg/L)
1	310,0	19,1	8,28	-
2	386,0	19,8	7,54	-
3	388,0	20,6	7,98	123
5	757,0	21,5	7,84	116
6	722,0	30,2	8,25	-
7	2078,0	19,6	7,47	-
8	2900,0	21,0	8,53	-
9	2460,0	20,3	7,81	-
10	1085,0	24,6	8,50	-
11	1276,0	20,8	7,81	107
12	840,0	19,1	7,92	100
24	672	22,3	9,10	-
26	2970	18,2	7,74	-
27	643	21,7	8,36	-
31	372	19,6	6,65	-
4	207,0	14,3	8,51	-
16	106,9	12,5	6,76	25
17	260,0	12,9	7,16	25
18	180,9	16,7	8,33	-
20	266	15,7	7,75	38
21	94,3	15,4	7,66	52
22	403	22,2	8,12	-
23	218	16,4	7,77	49
25	366	25,4	10,32	45
30	126,1	21,8	7,82	-
14	2360,0	17,4	8,30	102
28	148,2	20,3	8,82	-
29	3682	22,08	9,22	-
13	193,9	17,2	7,86	43
15	852,0	12,2	5,70	20

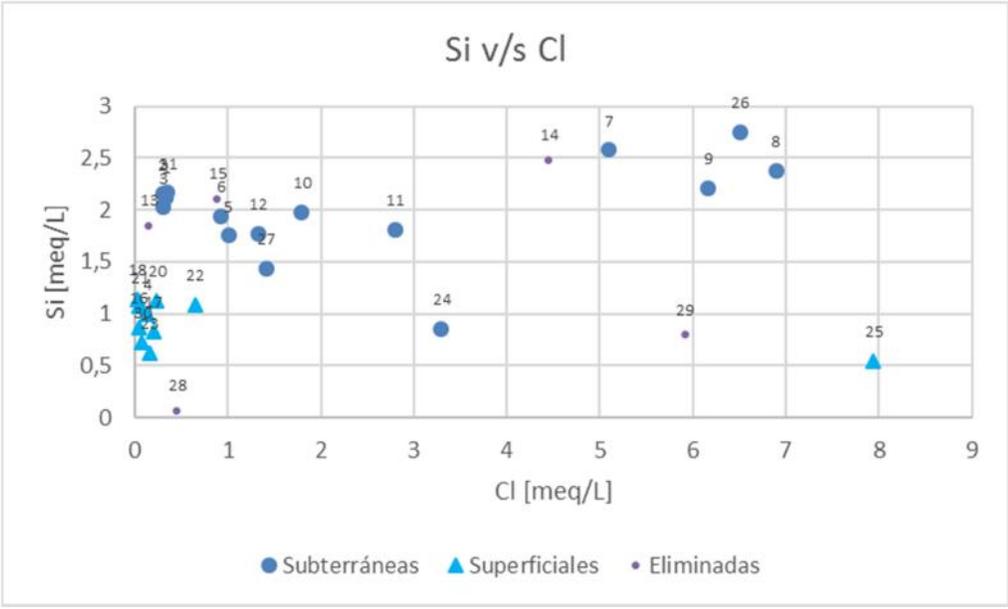
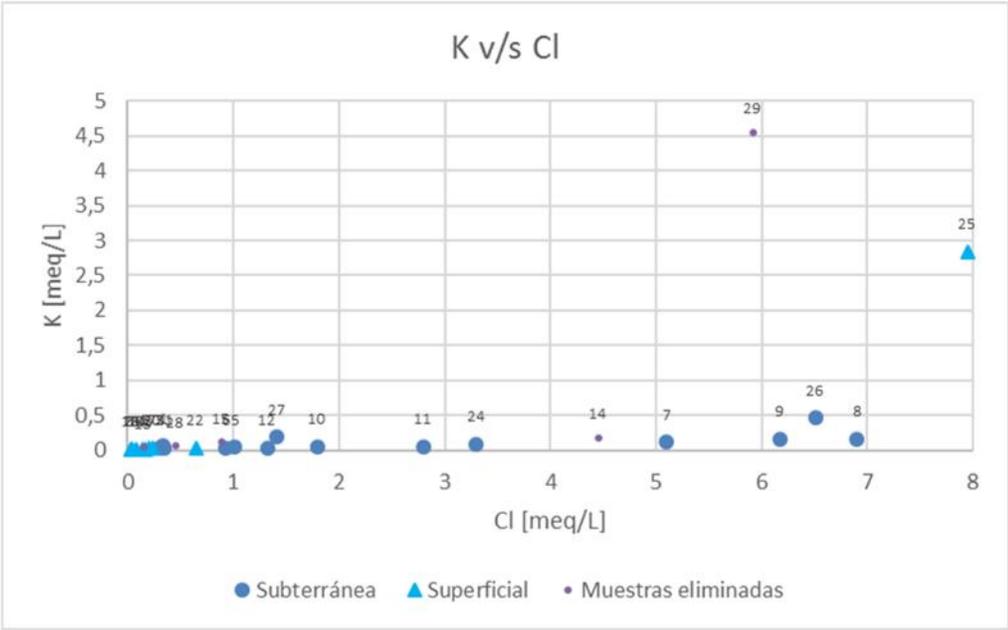
Tipo muestra	Nombre Memoria M-Jesús	Profund. Muestreo en metros (a)	Altitud (m)	Coordenadas (WGS 84 HUSO 19)		pH	Cond. uS/cm	Cl mg/L	SO4 mg/L	NO3 mg/L	HC O3 mg/L	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	B.I S/ NO3
				UTM Sur	UTM Este											
Subterránea	1	63	1070	6471075	346307	8,01	314	12	41,3	4,4	131,2	29,6	2,3	35,7	5,4	3,289
Subterránea	2	30	1070	6471075	346307	7,28	390	10,7	68,8	4,5	148,8	22,6	1,4	50	10,4	2,383
Subterránea	3	16	1070	6471075	346307	7,62	389	10,9	63,7	4,5	154,9	23,6	1,4	51	9,4	2,514
Subterránea	5	119	1156	6472527	347328	7,5	744	35,9	234	8,2	151,3	31,4	1,6	99	21,1	-1,619
Subterránea	6	101	1190	6473132	347395	7,67	744	33	251	6,4	145,2	25,8	1,4	109	26,7	1,585
Subterránea	7	90	1199	6473857	347575	7,4	2100	181	1005	1,5	134	117	4,4	394	98,4	7,833
Subterránea	8	91	1236	6473889	347738	7,49	2830	245	1527	2,5	133	91,9	6,1	596	125	3,978
Subterránea	9	90	1237	6473606	347687	7,4	2580	219	1366	1,8	117,1	93,9	6	485	163	6,892
Subterránea	10	110	1198	6473006	347159	7,82	1180	63,7	492	11,3	152,5	30,1	1,7	186	56,1	2,494

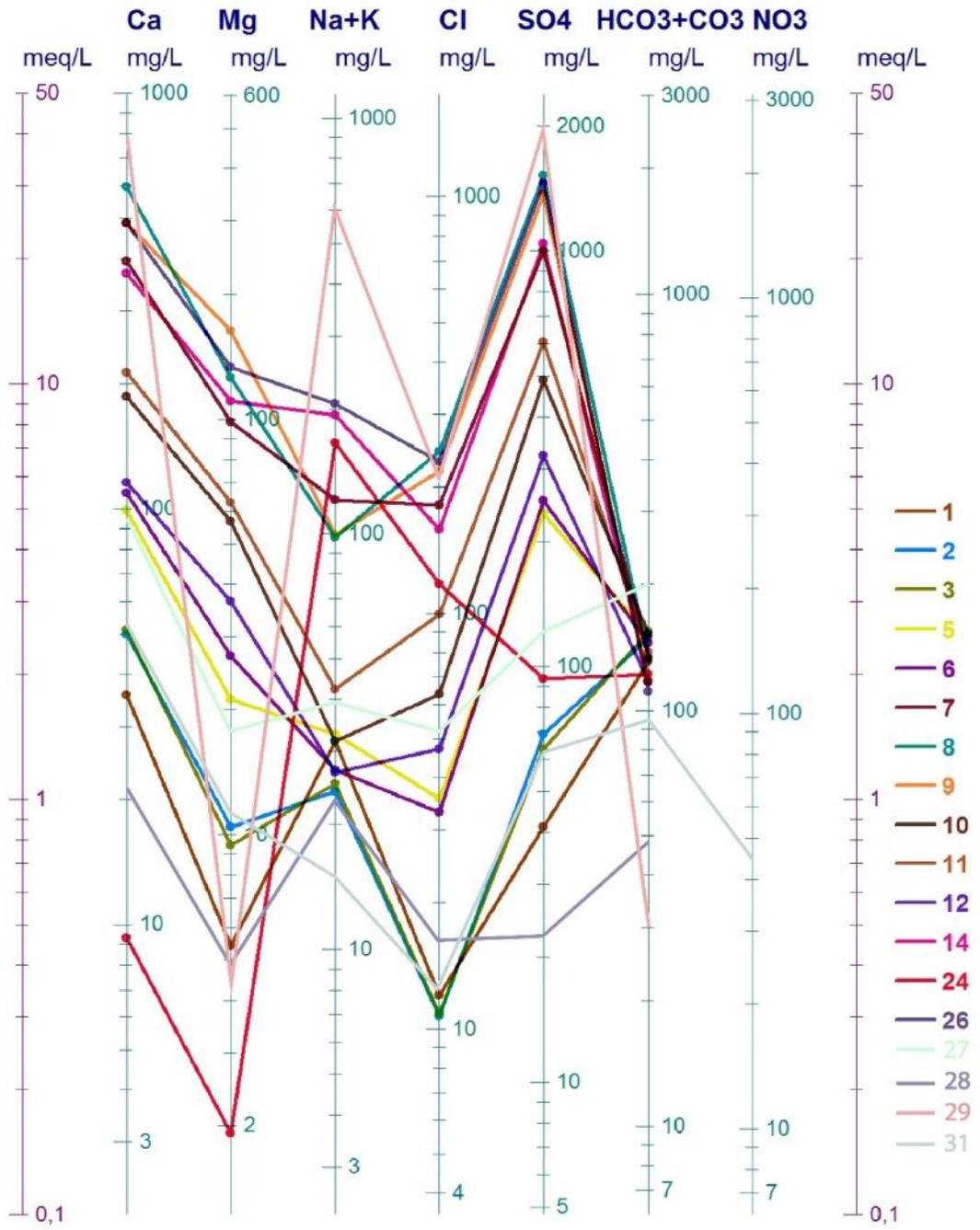
Subterránea	11	50	1157	6472968	347344	7,58	1420	99,3	603	6,9	137,9	40,6	2	214	62,6	0,197
Subterránea	12	80	1151	6472722	347281	7,77	871	47	323	8,1	116,7	25,3	1,4	116	36,2	0,194
Subterránea	24	60	1463	6475453	349803	8,68	717	117	94,2	1	121,9	163	3,4	9,3	1,9	3,583
Subterránea	26	0	1212	6473915	347598	7,67	2860	231	1457	1,1	111	188	18	486	133	6,350
Subterránea	27	24	1480	6478365	349690	8,2	382	50,1	120	1,3	196,1	31,7	7,3	93,1	17,3	3,544
Subterránea	31	6	1055	6470601	345793	6,72	380	12,4	61	43,8	92,7	13,3	1,2	52,8	11,1	3,994
Superficial	4	0	1114	6472004	347102	7,48	207	4,8	54,2	1	54,9	7	0,8	28,9	3,5	2,494
Superficial	16	0	-	6480075	353418	7,27	132	1,3	41,2	1	26,8	3,7	0,66	19	2,1	1,252
Superficial	17	0	1807	6480114	352891	6,93	278	7	106	1,1	22,6	7,1	1,2	42,5	4,2	0,635
Superficial	18	0	1525	6478491	350252	8,02	197	0,99	21,2	1	108,1	7,9	0,35	33,1	3,3	0,851
Superficial	20	0	1482	6478405	349695	7,5	310	8,3	105	1,1	46,4	9,1	1,1	48	5,1	0,985
Superficial	21	0	1478	6478438	349669	7,7	118	1,7	13,2	1	61	6	0,49	17,2	2,7	1,256

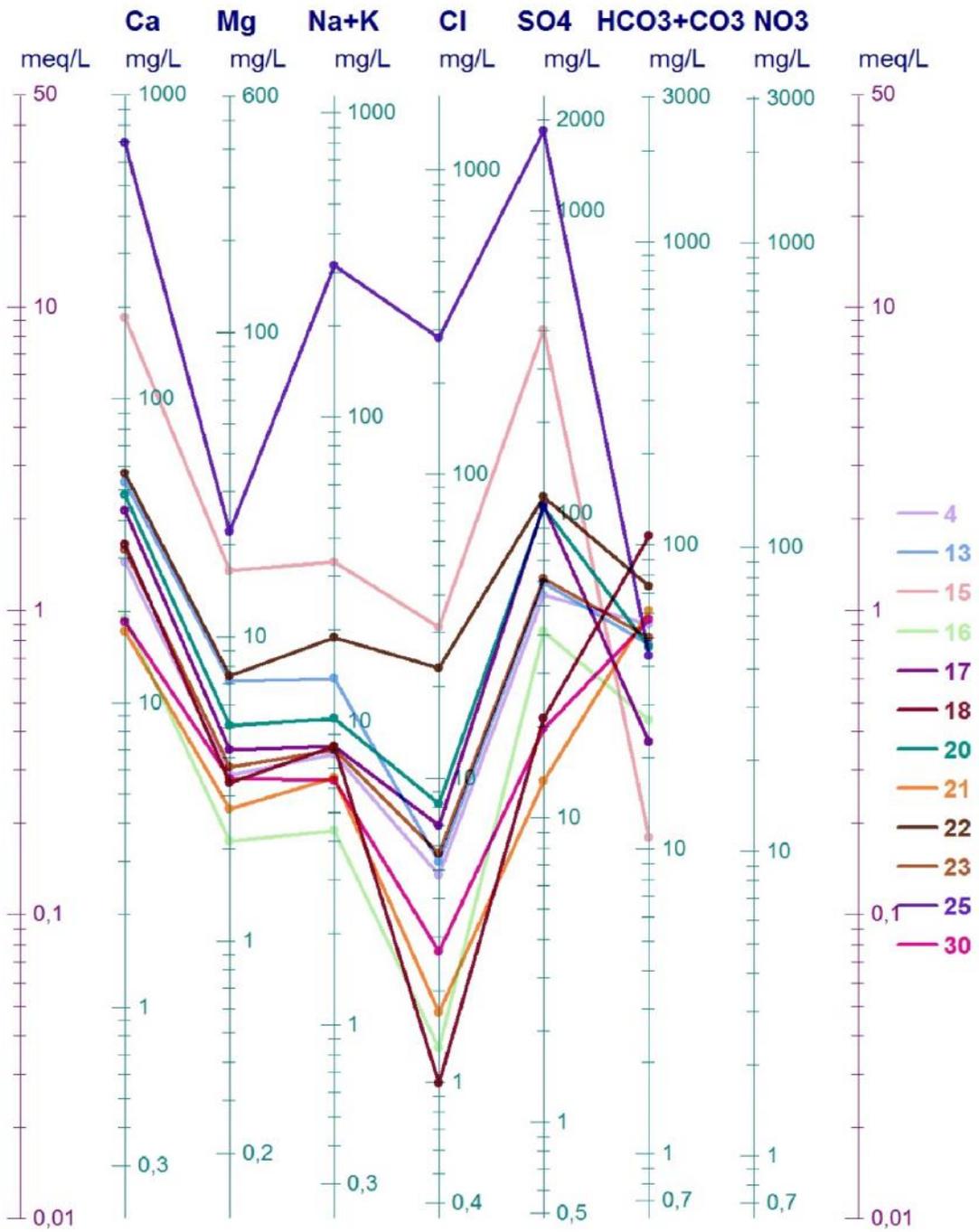
Superficial	22	0	1470	6478185	349501	7,84	401	23	114	1	73,2	17,2	1,5	57	7,4	0,294
Superficial	23	0	1480	6478202	349472	7,65	221	5,7	60,9	1	50	7,2	0,81	31,8	3,7	-0,434
Superficial	25	0	1143	6476162	348744	9,88	2450	282	1824	13,5	43,2	205	111	694	22	1,705
Superficial	30	0	976	6469684	344709	7,27	133	2,7	19,7	1	57,3	5,6	0,8	18,4	3,4	1,353
Subterránea	14	0	1200	6473786	347475	8	2120	158	1038	1,2	117,7	186	6,9	369	110	12,223
Subterránea	28	50	1185	6473635	347457	8,23	163	16	22,4	1	47,6	20,4	2,3	21	4,7	16,818
Subterránea	29	131	1445	6475752	347888	7,01	3030	210	1908	1	29,3	417	178	778	4,3	14,611
Superficial	13	0	1186	6473558	347443	7,71	212	5,3	59,2	1	47,6	12,2	1,6	53,2	7,1	27,673
Superficial	15	0	1880	6480355	353579	5,93	858	31,4	405	4	11	28,9	4,5	184	16,4	11,315

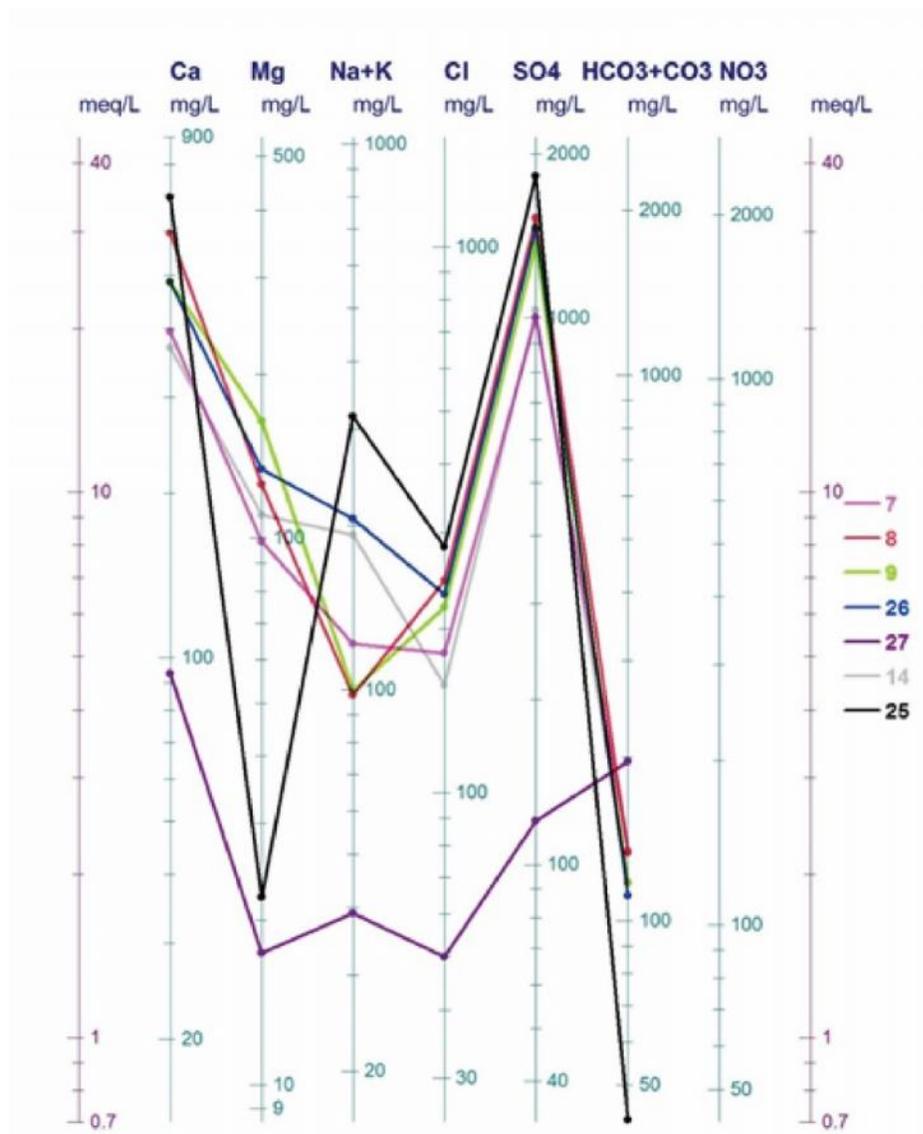
## ANEXO B: Gráficos adicionales











## ANEXO C :Fichas de terreno

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Fecha		Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo		SABO 2ND	
		Código DGA		SABO 2ND	
		Nombre del punto de muestreo			
		ID del punto de muestreo			
		Provincia			
		Comuna			
		Localidad			
		Acuífero / Sector Acuífero			
		Nombre de contacto			
		teléfono de contacto			
Dirección postal:					
Email:					
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS				
	Características del pozo	Coordenadas UTM E		346307	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N		6491075	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno		1071	msnm
		Tipo de uso del pozo		—	(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo			
		Pozo con tapa		SI	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		PVC	(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		—	Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		—	KW
		Marca de la bomba		—	
		Caudal bombeado		—	L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)		0,71	m
		Diámetro			m / in
		Profundidad del pozo*		16	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		5,76	m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
	Registro fotográfico del pozo		SI	(SI / NO)	
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		—	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA		08/11/16	
		Hora		10:50	
		Conductividad eléctrica del agua		368	uS/cm
		Temperatura del agua		20,6	°C
		Valor de pH		7,98	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		210,3	mV	
	Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: nuevo llegada: 8:50 inicio trabajo: 11:20 muestra <i>Huionas filtrada</i> ALCALINIDAD MUESTRA FILTRADA = 123 mg/L					

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	ABQ 7C	
		Código DGA	ABQ 7C	
		Nombre del punto de muestreo		
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		347.158	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6.473.006	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1.198	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba		/	KW
	Marca de la bomba		/	
	Caudal bombeado		/	L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m -
	Diámetro			m / in -
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*		50.34	m
Profundidad del agua (nivel dinámico)*	X		m	
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		08/04/16	
	Hora		16:00	
	Conductividad eléctrica del agua		178.5	uS/cm
	Temperatura del agua		24.6	°C
	Valor de pH		8.5	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)	65-2		mV	
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: Inicio: 12:00 HR Termino: 16:30 HR				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	ABQ ec	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo	ABQ ec	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		347.687	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		647.3606	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1237	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)		0,53	m
	Diámetro		* 0,28	m / in
	Profundidad del pozo*		90.	m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
	Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		08/11/16	
	Hora		15:40	
	Conductividad eléctrica del agua		2460	uS/cm
	Temperatura del agua		20,3	°C
	Valor de pH		7,81	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		66.6	mV
Observación en terreno: del. de 200m E y 300m N con la coordenada de la placa.				
Referencias para llegar al sitio: h llegada = 15:35 h salida = 16:05. * diámetro a partir medida y haberla consultado con la medida real de la caseta pasando a la medición del pozo				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	5 ABQ2 N B	
		Código DGA	5 ABQ2 N B	
		Nombre del punto de muestreo	Agua de campo	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia	Chiriquí	
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto	MLP	
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
Email:				
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	GR 346307	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	SR 6431095	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	SR 1070	msnm
		Tipo de uso del pozo	Monitoreo	(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa	SI	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo	PVC	(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba	—	Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba	—	KW
		Marca de la bomba	—	
		Caudal bombeado	—	L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0,71	m
		Diámetro	4	m (in)
		Profundidad del pozo*	63	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*	2,80	m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m	
	Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)	
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo	—	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/06	
		Hora	9:35	
		Conductividad eléctrica del agua	310	uS/cm
		Temperatura del agua	19,1	°C
		Valor de pH	8,28	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		mV	
	Observación en terreno: N 346 337 / 6431093 / /			
Referencias para llegar al sitio: In. a la salida 9:30 hora salida 11:20				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	5AAA2NC	
		Código DGA	5AAA2NC	
		Nombre del punto de muestreo	Agua subterránea	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
Dirección postal:				
Email:				
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	346307	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	6421075	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1070	msnm
		Tipo de uso del pozo	---	(Consumo/riego/in dustria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/ <u>Puntera</u> / oria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa	ST	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo	PVC	(Metal/Tierra/Horm igón/Otro)
		Tipo de bomba	---	Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba	---	KW
		Marca de la bomba	---	
		Caudal bombeado	---	L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0,71	m
		Diámetro		m / in
		Profundidad del pozo*	30	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*	4,66	m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m
	Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)	
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo	---	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/16	
		Hora	10:45	
		Conductividad eléctrica del agua	386	uS/cm
		Temperatura del agua	19,8	°C
		Valor de pH	7,54	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)	156,5	mV	
	Observación en terreno: El TP fue tomado en la cuneta de la carretera...			
Referencias para llegar al sitio: Ir a... salida: 11:20				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	ABQ 7	
		Código DGA	ABQ 7	
		Nombre del punto de muestreo	ABQ 7	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
Email:				
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E		WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N		WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno		msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo	2002	
		Pozo con tapa		(SI/NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		(Eléctrica o combustión)
		Potencia de la bomba		KW
		Marca de la bomba		
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0.54	m
		Diámetro	*0.3	m / in
		Profundidad del pozo*	50	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m	
	Registro fotográfico del pozo	Si	(SI / NO)	
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo	Si	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/16	
		Hora	16:20	
		Conductividad eléctrica del agua	1276	uS/cm
		Temperatura del agua	20.8	°C
		Valor de pH	7.81	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)	-58.5	mV	
	Observación en terreno: pozo de cemento nuevo una semana y fue grande por el momento			
Referencias para llegar al sitio: la caseta = 16:15 la oficina = 12:00 Abogados más tarde en el día como nuestra integridad y el presupuesto es más... 107 mg/L				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
ORIGINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	ABQ BA	
		Código DGA	ABQ BA	
		Nombre del punto de muestreo	ABQ BA	
		ID del punto de muestreo	150 BA	
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		347328	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6472527	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1156	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo		2010	
	Pozo con tapa		SI	(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			(Eléctrica/combustión)
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)		0.36	m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		08/04/16	
	Hora		12:50	
	Conductividad eléctrica del agua		757	uS/cm
	Temperatura del agua		21.5 (29.9)°C	
	Valor de pH		7.89	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)	125.9		mV	
Observación en terreno: No se pudo medir nivel del agua en el pozo.				
Referencias para llegar al sitio: hora de salida = 11:40 hora de llegada = 13:05 * ORP = 13 mV Alcance del muestreo de agua = 116 mg/L				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	03	
		Código DGA	271	
		Nombre del punto de muestreo	1265-2006-0001-01-001	
		ID del punto de muestreo	03	
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	3247110	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	6472706	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1293	msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa		(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		KW
		Marca de la bomba		
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)		m
		Diámetro		m / in
		Profundidad del pozo*		m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m	
	Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)	
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/16	
		Hora	15:45	
		Conductividad eléctrica del agua	2360	uS/cm
		Temperatura del agua	17.4	°C
		Valor de pH	8.3	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)	123.3	mV	
	Observación en terreno:			
Referencias para llegar al sitio:				
<p>1265-2006-0001-01-001 102 mg/L</p>				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	P20	
		Código DGA	P29	
		Nombre del punto de muestreo	pozo entre de trangua	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	349690	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	6478365	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1480	msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa		(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		KW
		Marca de la bomba		
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up) *		m
		Diámetro		m / in
		Profundidad del pozo*		m
		Profundidad del agua (nivel estático)*	9,54	m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m
		Registro fotográfico del pozo		(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	10/11/16	
		Hora	9:50	SGS
		Conductividad eléctrica del agua	SRK 643 / 688	uS/cm
		Temperatura del agua	21,7 / 17,6	°C
		Valor de pH	8,26 / 8,28	unidad de pH
		ORP (Potencial óxido-reducción)		mV

Observación en terreno:

Pozo fue purgado el día anterior (09/11) y hoy solo se toma muestra.

Referencia para llegar al sitio:

SGS tomo muestra inmediata, para medir parámetros  
SRK al final midió parámetros

Muestra muestra filtrada

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	A-ATB
		Código DGA	
		Nombre del punto de muestreo	ATB
		ID del punto de muestreo	
		Provincia	
		Comuna	
		Localidad	
		Acuífero / Sector Acuífero	
		Nombre de contacto	
		teléfono de contacto	
Dirección postal:			
Email:			
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS		
	Coordenadas UTM E	342 013	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N	642 558	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno	136	msnm
	Tipo de uso del pozo	/	(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo		
	Pozo con tapa		(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba		KW
	Marca de la bomba		
	Caudal bombeado		L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)		m
	Diámetro	m / in	
	Profundidad del pozo*	m	
	Profundidad del agua (nivel estático)*	m	
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*	m	
	Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo	SI	(SI / NO)
Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/16	
	Hora	18:00	
	Conductividad eléctrica del agua	193.9	uS/cm
	Temperatura del agua	14.2	°C
	Valor de pH	7.06	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)	44.6	mV
Observación en terreno:			
Referencias para llegar al sitio: A Vegueta = 17:50 Conductividad: 70 uS/cm pH: 16.6 / Conductividad = 93 mg/L (post filtrado) (post filtrado) (post filtrado)			

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	AB 0 7 D	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo	AB 0 7 D	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
	Email:			
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	347 781	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	647222	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1151	msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Ónía/)
		Año de construcción del pozo	2003	
		Pozo con tapa	SI	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Sierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		(Eléctrica o combustión)
		Potencia de la bomba	—	KW
		Marca de la bomba	—	
		Caudal bombeado	—	L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0.65	m
		Diámetro	* 0.29	m / in
		Profundidad del pozo*		m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*	58.09	m
		Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo	SI	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	03/11/16	
		Hora	17:45	
		Conductividad eléctrica del agua	840	uS/cm
		Temperatura del agua	19.1	°C
		Valor de pH	7.92	unidad de pH
		ORP (Potencial óxido-reducción)	103.8	mV
	Observación en terreno:			
Referencias para llegar al sitio: horizontal = 17:00 para salida = 12:50 Algalipud = 100 mg/L (punto de muestreo)				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	20AS I	
		Código DGA	20AS I	
		Nombre del punto de muestreo	Currantentis de tinel	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia	Choapa	
		Comuna	Salbunanco	
		Localidad	Cuncumén	
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		349 472	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6478202	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1480	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/in dustria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/N oria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Horm igón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo	SI		(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		08/08/16	09/11/16
	Hora		16:05	
	Conductividad eléctrica del agua		218	uS/cm
	Temperatura del agua		16,4	°C
	Valor de pH		7,77	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: Aledinidad medida post filtrado = 49 mg/L  Muestra anterior ya filtrada				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	MC Quillayes	
		Código DGA	MC Quillayes	
		Nombre del punto de muestreo	Embate de Cola	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia	Choapa	
		Comuna	Salamanca	
		Localidad	Cuncumén	
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		349501	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6478185	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1470	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo	SI		(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		15:50	
	Conductividad eléctrica del agua		403	uS/cm
	Temperatura del agua		22,2	°C
	Valor de pH		8,12	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)			mV	
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: muestra de CY 5/18 filtrada sin acidular. Muestra aguas ya filtrada				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	P 23	
		Código DGA	P 23	
		Nombre del punto de muestreo	Pozo antes de trunque chinche	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia	Chorupa	
		Comuna	Salamanca	
		Localidad	Luncumén	
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		0349803	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6475453	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1463	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		16:45	
	Conductividad eléctrica del agua		672	uS/cm
	Temperatura del agua		22,3	°C
	Valor de pH		9,10	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV

Observación en terreno:

Referencias para llegar al sitio:

Muestra Aniones filtrada  
 Muestra Aniones ya filtrada  
 Muestra cationes filtrada?  
 en ABQ6

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	CLA ASI	
		Código DGA	CLA ASI	
		Nombre del punto de muestreo	Aguas Claras	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		348744	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6476162	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1443.	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		18:30.	
	Conductividad eléctrica del agua		366	uS/cm
	Temperatura del agua		25.4	°C
	Valor de pH		10,32	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)			mV	
Observación en terreno: Muestra se toma en un lugar de alta seguridad donde solo podían estar personas con máscara, por lo tanto la muestra fue tomada por mi 30.				
Referencias para llegar al sitio: Alcalinidad medida en muestra filtrada = 45 mg/L Muestra Aniones filtrada en terreno				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	DREN	
		Código DGA	DREN	
		Nombre del punto de muestreo	mezcla drenes	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		34 7800	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6474750	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1198	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
	Registro fotográfico del pozo		SI	(SI / NO)
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		19:20	
	Conductividad eléctrica del agua		2970	uS/cm
	Temperatura del agua	18,2	°C	
	Valor de pH	7,74	unidad de pH	
ORP (Potencial óxido-reducción)		mV		
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio:				
Autos filtrados en terreno				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	12 AS	
		Código DGA	12 AS	
		Nombre del punto de muestreo	Rio blanco antes confluencia a Rio pelambas	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		6 35 3418	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6480075	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno			msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
	Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		SI 09/11/16	
	Hora		11:30	
	Conductividad eléctrica del agua		106,9	uS/cm
	Temperatura del agua		12,5	°C
	Valor de pH		6,76	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		213,9	mV

Observación en terreno:

Referencias para llegar al sitio:

Alcalinidad medida en muestra filtrada = 25 mg/L

Aniones ya filtrada.

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	18 AS.	
		Código DGA	18 AS.	
		Nombre del punto de muestreo	Río plumbas después confluencia	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
Dirección postal:				
Email:				
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	352891	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	6480114	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1807	msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa		(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		KW
		Marca de la bomba		
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)		m
		Diámetro		m / in
		Profundidad del pozo*		m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m
		Registro fotográfico del pozo	SI	(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	09/11/16	
		Hora	12:10	
		Conductividad eléctrica del agua	260	uS/cm
		Temperatura del agua	12,9	°C
		Valor de pH	7,16	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)	228,4	mV		

Observación en terreno:

Referencias para llegar al sitio:

Alcalinidad medida post filtrado = 25 mg/L

muestra de aniones filtrada.

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	8AS	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo	8AS Quebrada Chacoy	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		350252	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6478491	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1525	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m	
Registro fotográfico del pozo	SI		(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		13:00	
	Conductividad eléctrica del agua		180.9	uS/cm
	Temperatura del agua		16.7	°C
	Valor de pH		8.33	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)	298		mV	
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio:				
ANIÓN FILTRADA				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Datos		Registro
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	1 AS	
		Código DGA	1 AS	
		Nombre del punto de muestreo	por sholl N5 pelam bus	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		349 695	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		647 8405	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1482	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/in dustria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/N oria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Horm igón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
	Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16	
	Hora		14:05	
	Conductividad eléctrica del agua		2266	uS/cm
	Temperatura del agua		15,2	°C
	Valor de pH		7,75	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio:				
alcalinidad post filtrado = 38 mg/L				
FIRMADA: ANIONES				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro		
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	P10 ASI		
		Código DGA	P10 ASI		
		Nombre del punto de muestreo	porshua esteo pinguenes		
		ID del punto de muestreo			
		Provincia	Choapa		
		Comuna	Salasbunaco		
		Localidad	Cunamen		
		Acuífero / Sector Acuífero			
		Nombre de contacto			
		teléfono de contacto			
		Dirección postal:			
		Email:			
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS		
			Características del pozo	Coordenadas UTM E	349669
Coordenadas UTM N	6478438			WGS 84 Huso 19 S	
Cota de terreno	1478			msnm	
Tipo de uso del pozo				(Consumo/riego/industria)	
Tipo de pozo				(Sondeo/Puntera/Noria/)	
Año de construcción del pozo					
Pozo con tapa				(SI / NO)	
Tipo de revestimiento del pozo				(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)	
Tipo de bomba				Eléctrica o combustión	
Potencia de la bomba				KW	
Marca de la bomba					
Caudal bombeado				L/s	
Altura referencia al suelo (Stick up)				m	
Diámetro				m / in	
Profundidad del pozo*				m	
Profundidad del agua (nivel estático)*				m	
Profundidad del agua (nivel dinámico)*				m	
Registro fotográfico del pozo	SI			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)		
Datos puntuales de terreno	FECHA		09/11/16		
	Hora		14:40.		
	Conductividad eléctrica del agua		94,3	uS/cm	
	Temperatura del agua		15,4	°C	
	Valor de pH		7,66.	unidad de pH	
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV	

Observación en terreno:

Referencias para llegar al sitio:

Alcalinidad medida en muestra filtrada = 52 mg/L

muestra aniones filtrada.



FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punta de muestreo	AB06	
		Código DGA	AB06	
		Nombre del punto de muestreo	Pozo Franque Quiñayas	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E			WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N			WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno			msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*		22,09	m
Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m	
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		SRK 10/11/16	SGS
	Hora		11:40	
	Conductividad eléctrica del agua		1982 / 176	uS/cm
	Temperatura del agua		19.3 / 19.7	°C
	Valor de pH		8.82 / 8.92	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV
Observación en terreno: Toma muestra con qualera.				
Referencias para llegar al sitio:				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Fecha		Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo		Estación DOA	
		Código DGA		BNA 04204002-7	
		Nombre del punto de muestreo		DGA Buitrón	
		ID del punto de muestreo		Buitrón	
		Provincia			
		Comuna			
		Localidad			
		Acuífero / Sector Acuífero			
		Nombre de contacto			
		teléfono de contacto			
		Dirección postal:			
		Email:			
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS				
	Características del pozo	Coordenadas UTM E		342 102	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N		6420000	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno		1194	msnm
		Tipo de uso del pozo		—	(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		—	(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		—	
		Pozo con tapa		—	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		—	(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		—	Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		—	KW
		Marca de la bomba		—	
		Caudal bombeado		—	L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)		—	m
		Diámetro		—	m / in
		Profundidad del pozo*		—	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		—	m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		—	m
		Registro fotográfico del pozo		SI	(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		—	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA			
		Hora		11:30	
		Conductividad eléctrica del agua		207	uS/cm
		Temperatura del agua		14.3	°C
		Valor de pH		8.5	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		152.3	mV	
	Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio:					
Hora llegada: 11:25 Hora salida: 11:43 Muestra de agua filtrada					

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato		Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo		ABG 6.7A	
		Código DGA		ABG 6.7A	
		Nombre del punto de muestreo			
		ID del punto de muestreo			
		Provincia			
		Comuna			
		Localidad			
		Acuífero / Sector Acuífero			
		Nombre de contacto			
		teléfono de contacto			
		Dirección postal:			
		Email:			
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS				
	Características del pozo	Coordenadas UTM E		347395	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N		6473132	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno		1190	msnm
		Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		2011	
		Pozo con tapa		SI	(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigon/Otro)
		Tipo de bomba			(Eléctrica/combustión)
		Potencia de la bomba			KW
		Marca de la bomba			
		Caudal bombeado			L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)		0,9	m
		Diámetro		0,3	m / in
		Profundidad del pozo*		10,5	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*			m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
		Registro fotográfico del pozo		SI	(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		SI	(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA		08/11/16	
		Hora		13:40	
		Conductividad eléctrica del agua		122	uS/cm
		Temperatura del agua		30.2	°C
		Valor de pH		8.25	unidad de pH
	ORP (Potencial óxido-reducción)		129.5	mV	
	Observación en terreno:				
	Referencias para llegar al sitio: hora llegada = 13:30 hora salida = 14:00 * muestra fluio en el terreno				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	ABQ 9A	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo	ABQ 9A	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	347 525	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	647 8537	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1177	msnm
		Tipo de uso del pozo	---	(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo	2010	
		Pozo con tapa	SI	(SI) (NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba	---	KW
		Marca de la bomba	---	
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0,72	m
		Diámetro	0,33	m / in
		Profundidad del pozo*	9,0	m
		Profundidad del agua (nivel estático)*		m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m
		Registro fotográfico del pozo		(SI) (NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		(SI) (NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	08/11/16	
		Hora	14:23	
		Conductividad eléctrica del agua	2079	uS/cm
		Temperatura del agua	19,6	°C
		Valor de pH	7,47	unidad de pH
		ORP (Potencial óxido-reducción)	108,8	mV
	Observación en terreno: <i>Se realizó el muestreo en un punto de muestreo que no tiene caseta de bombeo.</i>			
	Referencias para llegar al sitio: Hr. NEGADO: 14:10 Hr. TERRENO: 14:40 * <i>Muestra Agua filtrada</i>			

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	APQ9	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo	APQ9	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		297 723	WGS 84 Huso 19 S
	Coordenadas UTM N		6011 500	WGS 84 Huso 19 S
	Cota de terreno		1000	msnm
	Tipo de uso del pozo			(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo			(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo		2008	
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo			(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)		0,58	m
	Diámetro		* 0,28	m / in
	Profundidad del pozo*		91	m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo	SI		(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo	SI		(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		02/11/16	
	Hora		15:00	
	Conductividad eléctrica del agua		2900	uS/cm
	Temperatura del agua		21	°C
	Valor de pH		8,58	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)	23		mV	
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: h. llegada = 14:50 h. salida = 15:30 * Muestra de agua filtrada				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	P13 - C	
		Código DGA		
		Nombre del punto de muestreo		
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero		
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS			
	Características del pozo	Coordenadas UTM E	347.888,88	WGS 84 Huso 19 S
		Coordenadas UTM N	6.475.753,06	WGS 84 Huso 19 S
		Cota de terreno	1445,84	msnm
		Tipo de uso del pozo		(Consumo/riego/industria)
		Tipo de pozo		(Sondeo/Puntera/Noria/)
		Año de construcción del pozo		
		Pozo con tapa		(SI / NO)
		Tipo de revestimiento del pozo		(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
		Tipo de bomba		Eléctrica o combustión
		Potencia de la bomba		KW
		Marca de la bomba		
		Caudal bombeado		L/s
		Altura referencia al suelo (Stick up)	0,95	m
		Diámetro	2"	m / in
		Profundidad del pozo*	140 - 83,92	m (130-B a 133,8)
		Profundidad del agua (nivel estático)*	83,92	m
		Profundidad del agua (nivel dinámico)*		m
		Registro fotográfico del pozo		(SI / NO)
	Registro fotográfico de la caseta de bombeo		(SI / NO)	
	Datos puntuales de terreno	FECHA	10/11/16	
		Hora	16:00	
		Conductividad eléctrica del agua	3682	uS/cm
Temperatura del agua		22,08	°C	
Valor de pH		9,22	unidad de pH	
ORP (Potencial óxido-reducción)	227,3	mV		

Observación en terreno:

ZONA RANUNDA 130,8 - 133,8

Referencias para llegar al sitio:

AGUA TURBIO y con olor fuerte

P13 - B Nivel : 74,38 m (menos 0,95) = mbus

ZON prof. INSTALADO : 131 m

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro	
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	CHO (4AS)	
		Código DGA	CHO (4AS)	
		Nombre del punto de muestreo	Río Choapa antes de Junta Curicuman	
		ID del punto de muestreo		
		Provincia		
		Comuna		
		Localidad		
		Acuífero / Sector Acuífero	Río CHOAPA	
		Nombre de contacto		
		teléfono de contacto		
		Dirección postal:		
		Email:		
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS	
Características del pozo	Coordenadas UTM E		344.709	WGS 84 Huso 19 S ✓
	Coordenadas UTM N		6469684	WGS 84 Huso 19 S ✓
	Cota de terreno		976	msnm
	Tipo de uso del pozo		/	(Consumo/riego/industria)
	Tipo de pozo		/	(Sondeo/Puntera/Noria/)
	Año de construcción del pozo			
	Pozo con tapa			(SI / NO)
	Tipo de revestimiento del pozo		/	(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)
	Tipo de bomba			Eléctrica o combustión
	Potencia de la bomba			KW
	Marca de la bomba			
	Caudal bombeado			L/s
	Altura referencia al suelo (Stick up)			m
	Diámetro			m / in
	Profundidad del pozo*			m
	Profundidad del agua (nivel estático)*			m
	Profundidad del agua (nivel dinámico)*			m
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)	
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)	
Datos puntuales de terreno	FECHA		SRK	SGS
	Hora			
	Conductividad eléctrica del agua		126,1 / 137,9	uS/cm
	Temperatura del agua		21,8 / 19,7	°C
	Valor de pH		7,82 / 8,09	unidad de pH
ORP (Potencial óxido-reducción)			mV	
Observación en terreno:				
Referencias para llegar al sitio: SGS				

FICHA INVENTARIO DE PUNTO DE MONITOREO DE AGUA SUBTERRÁNEA

Lugar de registro	Categoría	Dato	Registro		
OFICINA	Ubicación y datos de contacto	Código interno del punto de muestreo	AGR		
		Código DGA	AGR		
		Nombre del punto de muestreo	Pozopuerto Alameda.		
		ID del punto de muestreo			
		Provincia			
		Comuna			
		Localidad			
		Acuífero / Sector Acuífero			
		Nombre de contacto			
		teléfono de contacto			
		Dirección postal:			
		Email:			
		TERRENO	Responsable terreno toma de datos SGA / SGS		
			Características del pozo	Coordenadas UTM E	245793
Coordenadas UTM N	6970601			WGS 84 Huso 19 S	
Cota de terreno	1055			msnm	
Tipo de uso del pozo	Consumo			(Consumo/riego/industria)	
Tipo de pozo	Nuvia			(Sondeo/Puntera/Noria/)	
Año de construcción del pozo					
Pozo con tapa				(SI / NO)	
Tipo de revestimiento del pozo				(Metal/Tierra/Hormigón/Otro)	
Tipo de bomba				Eléctrica o combustión.	
Potencia de la bomba				KW	
Marca de la bomba					
Caudal bombeado				L/s	
Altura referencia al suelo (Stick up)				m	
Diámetro				m / in	
Profundidad del pozo*	7.40			m	
Profundidad del agua (nivel estático)*	5.46			m 5.46	
Profundidad del agua (nivel dinámico)*				m	
Registro fotográfico del pozo			(SI / NO)		
Registro fotográfico de la caseta de bombeo			(SI / NO)		
Datos puntuales de terreno	FECHA		12/11/16.		
	Hora		17:50		
	Conductividad eléctrica del agua		372	uS/cm	
	Temperatura del agua		19.6	°C	
	Valor de pH		6.65	unidad de pH	
	ORP (Potencial óxido-reducción)			mV	
Observación en terreno:					
Referencias para llegar al sitio:					



MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES

LABORATORIO AMBIENTAL  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

LADGA-IM-01  
Versión: 01  
Fecha: 24/01/14  
Página: 1 de 10

Historia e identificación de los cambios

Versión	Fecha	Preparado por	Aprobado por	Cambios efectuados
00	11/06/2008	Depto. de Conservación y Protección Recursos Hídricos	Jefatura Laboratorio	Se modifican instructivos generados en capacitación de hidromensores 2008

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

## 1. OBJETIVO

El objetivo de este documento es proporcionar criterios y recomendaciones técnicas para monitorear la calidad de las aguas superficiales y adecuarse a la normativa vigente.

## 2. ALCANCE

Este instructivo se aplica a las operaciones de toma de muestras de agua superficiales realizadas en terreno por los hidromensores en regiones, las que posteriormente serán analizadas en el Laboratorio Ambiental de DGA, en su dependencia de la ciudad de Santiago.

Este instructivo aplica a la campaña de muestreo de aguas superficiales tanto en condiciones de control rutinario como en situaciones de emergencia.

## 3. DUEÑO PROCESO

### Director Regional de DGA:

El Director Regional de DGA deberá conocer este instructivo y efectuar las coordinaciones necesarias con el Jefe de Laboratorio Ambiental de DGA de modo que el trabajo de los hidromensores y de los químicos del Laboratorio Ambiental de DGA que se encuentren en terreno, se desarrolle acorde a las indicaciones del mismo. El Director Regional de DGA podrá designar otro profesional responsable de atender esta actividad a nivel regional y/o provincial.

### Hidromensores:

Los hidromensores tienen la responsabilidad de seguir este instructivo efectuando todos los pasos descritos. Además deberán comunicar al encargado de calidad del Laboratorio Ambiental las modificaciones que a su criterio resulten necesarias en virtud de las necesidades del trabajo diario, las características especiales de cada región y/o provincia, considerando la mejora continua.

Será responsabilidad del funcionario que ejecuta la toma de muestras, cumplir con las indicaciones descritas en este instructivo, además de las normas y reglas de acuerdo a lo definido en el reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

## 4. DEFINICIONES

- a) Muestreador: canastillo metálico con tres cavidades en las que se introducen tres botellas para el muestreo de aguas superficiales.
- b) Ambiental: enjuagar las botellas de muestreo y tapas con una muestra de agua para asegurar que éstas queden en condiciones similares a la muestra que se conservará y enviará a análisis.

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 3 de 10
--	---	---

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN

Este instructivo no cuenta con indicadores de gestión.

## 6. REFERENCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Water and Wastewater Examination (2005), 21th Edición en Inglés. (Título en Español Manual de Métodos Estándares para Análisis de Aguas y Aguas Residuales).
- Laboratorio Ambiental, Dirección General de Aguas, Instructivo N°1 V°0 Muestreo de Aguas Superficiales.
- Norma Chilena 411/3 Of.96. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- CENMA-DGA. 2010. Estudio: “Diagnóstico y Acompañamiento al Muestreo de las Redes de Calidad de Aguas de la Dirección General de Aguas”.
- Instructivo N°1: Muestre de aguas superficiales, versión: 00. Fecha 16-06-2008. Laboratorio Ambiental.
- Reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

## 7. REGISTROS

Identificación y código	Responsable	Almacenamiento			Disposición
		Tiempo retención	Medio de soporte	Lugar y responsable	
Original de muestreo	Hidromensor	4 años	Papel y digital	Dirección Regional - Hidromensor	Eliminar después de 4 años
Ficha de terreno para emergencias Ambientales	Hidromensor	4 años	papel	Dirección Regional - Hidromensor	Eliminar después de 4 años

## 8. DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE MUESTREO

La actividad conocida como “muestreo” de aguas superficiales, se considera como un proceso que consta de diferentes etapas, que siguen el siguiente orden y son descritas detalladamente a continuación:



Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 4 de 10</b>
--	---	--

El muestreo comienza antes del acto de llenar los envases con agua y no termina hasta que todos los envases son recibidos satisfactoriamente en el laboratorio de análisis.

El personal que ejecuta el muestreo es responsable de que los envases contengan una muestra representativa de la porción de agua superficial y que la misma llegue de manera íntegra a la oficina regional y al LADGA, de modo, que sea factible realizar un análisis representativo de los contenidos reales.

A continuación se describe cada una de las etapas mencionadas anteriormente:

### **8.1 Preparación de materiales para el terreno**

El hidromensor deberá preparar los siguientes insumos **ANTES** de salir a terreno, de modo de asegurar un muestreo correcto. Es altamente recomendable sistematizar estos criterios de modo de lograr agilidad en la preparación.

En cada epígrafe a continuación, se describen las características generales de los materiales a preparar, destacando su función dentro del proceso de muestreo de aguas superficiales.

#### **8.1.1 Envases**

Todos los envases utilizados en los muestreos de aguas superficiales son proporcionados por el Laboratorio Ambiental de la Dirección General de Aguas. El laboratorio selecciona y prepara los envases de acuerdo a los parámetros a determinar según lo establecido en procedimiento interno.

Los envases corresponden a botellas de plástico (polietileno de alta densidad) de 250 mL de capacidad.

El laboratorio enviará los envases de cada dependencia regional o provincial de modo de garantizar la toma de muestra en todos los puntos comprendidos en la red de calidad de aguas antes de iniciar las etapas de muestreo, por lo cual el hidromensor sólo debe utilizar dichos envases.

El hidromensor debe asegurarse de portar una cantidad suficiente de envases.

#### **8.1.2 Preservantes**

La preservación corresponde a la adición de diferentes compuestos químicos y/o a condiciones físicas que se utilizan durante el proceso de muestreo para minimizar las modificaciones de las características de los parámetros de interés durante el tiempo que transcurre desde que se extrae la muestra hasta que se realiza el análisis de la misma, por consiguiente también incluye el tiempo de empaquetado, transporte, recepción y entrega para análisis. (Ver instrucciones detalladas en Instructivo Preservación y etiquetado de muestras - LADGA-IM-03)

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 5 de 10</b>
--	---	--

La determinación de los analitos de interés presentes en el agua y sus respectivos métodos de análisis requieren condiciones específicas de preservación, almacenamiento y tiempo de espera, que permiten asegurar la calidad de los resultados, dependiendo de las propiedades de cada uno de los parámetros a analizar. La modificación de las condiciones recomendadas de preservación, conservación y/o tiempo de espera puede invalidar el resultado del análisis ante una reclamación.

El hidromensor debe asegurarse de portar una cantidad suficiente de botellas, etiquetas, lápiz indeleble, ice packs y contenedor termoaislantes para el traslado de las muestras.

### 8.1.3 Equipamiento e instrumentación

- **Equipamiento para mediciones en terreno.**

Algunos parámetros deber ser determinados in situ, mediante el uso de la sonda multiparámetro. Estos parámetros son conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y porcentaje (%) de saturación de oxígeno.

El manejo de estos equipos incluye varias etapas previas a su uso en terreno, las cuales se describen a continuación:

- a) **Revisión de manuales de uso e instrucciones:** debe conocerse el modo de uso recomendado por los fabricantes así como los errores más frecuentes y las acciones para solucionarlos (ver Instructivo Calibración y uso de sondas multiparámetro - LADGA-IM-09).
- b) **Verificación de su estado técnico:** Chequee el estado de las conexiones, cables, estado de las membranas y dispositivos, sensores, soluciones internas, entre otras.
- c) **Calibración previa:** Este paso deberá efectuarse justo antes de comenzar el trabajo. Al comenzar el día de trabajo realice la calibración de la sonda según las instrucciones del fabricante. Para ello, utilice soluciones patrones conocidas de modo de contrastar su respuesta.
- d) **Verificación de condiciones de suministro:** Se deberá verificar anticipadamente el estado de todos los detalles para asegurar un funcionamiento adecuado, lo que incluye el estado y carga de las baterías, estado y carga de baterías de recambio, estado de cables, enchufes, conexiones.
- e) **Recalibración del sensor de oxígeno:** Se deberá recalibrar en terreno el sensor de oxígeno utilizando las soluciones correspondientes indicadas por el fabricante, (ver manual específico e Instructivo calibración y uso de sonda multiparámetro - LADGA-IM-09).

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 6 de 10</b>
--	---	--

f) **Llenado de registro:** Llene el registro correspondiente al uso, mantención y calibración de la sonda.

- **Implementos para obtener información relevante adicional (aplica especialmente en caso de emergencias ambientales; ver instructivo LADGA-IM-07).**

Durante el muestreo de aguas, deberá registrarse información adicional sobre el lugar de la toma de muestras, que no se limita exclusivamente a lo medido con equipos. Este registro de información aplica especialmente en condiciones de emergencias ambientales. Para ello se pueden utilizar, entre otros:

- Instrumentos de localización del punto de muestreo, tipo GPS u otro similar, en sistema de coordenadas UTM Datum WGS84 Universal, indicando HUSO.
- Cámaras fotográfica y/o de video, para recoger evidencia gráfica del lugar.
- Pilas o baterías adecuadas para alimentación de cámaras.

- **Implementos para la extracción y transporte de muestras.**

Para la extracción y transporte de muestras se utilizan implementos varios que incluyen:

- Canastillo.
- Cuerdas.
- Envases (botellas plásticas de polietileno de 250 mL).
- Agua destilada, en cantidad suficiente.

- **Implementos de conservación y/o preservación.**

- Cajas termoaislantes (cooler) para colocar los envases.
- Ice-packs congelados.
- Preservantes: ácido nítrico p.a (HNO<sub>3</sub>) y ácido sulfúrico p.a (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- Bolsas de plástico de polietileno.
- Papel absorbente de uso general.

- **Implementos.**

- Etiquetas autoadhesivas (descritas en instructivo LADGA-IM-03).
- Lápiz con tinta indeleble.
- Cinta adhesiva transparente.

#### 8.1.4 Registros

El funcionario a cargo de la toma de muestras deberá verificar la disponibilidad de los formularios correspondientes a su región (o provincia), de modo de registrar toda la información relevante, como se indica más adelante (revisar Documento Registro Original de Muestreo).

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 7 de 10
--	---	---

### 8.1.5 Implementos de seguridad

**La obtención de una muestra de agua, en ninguna circunstancia deberá poner en riesgo la integridad del personal que realiza el muestreo.** De modo general, éste deberá realizarse por al menos dos personas considerando la participación de un auxiliar o de un chofer, y nunca en lugares peligrosos o de gran riesgo para la vida. El chofer no participará en el muestreo, su función será la de conducir el vehículo.

Antes de salir a terreno, el funcionario que esté a cargo deberá asegurarse de que dispone de los implementos de seguridad personal tales como:

- Arnéses y cuerdas de protección personal.
- Guantes de látex.
- Botas de agua y/o zapatos de seguridad apropiados.
- Traje impermeable.
- chaleco salvavidas
- chaleco reflectante.
- Lentes de seguridad (oscuros y transparentes)
- Repelente de insectos.
- Protector solar.
- Mascarilla.
- Teléfono celular, satelital o de radio según disponibilidad.
- Cargador de teléfono.
- GPS y/o mapas.

### 8.1.6 Transporte

El chofer, previo a salir al terreno, deberá verificar las condiciones del vehículo a utilizar: nivel de aire y estado de los neumáticos, estado batería, combustible necesario, implementos de seguridad (extintor, triángulo), herramientas, cadenas (aplicable a algunos lugares), entre otros.

El chofer deberá contar con su licencia para conducir al día, así como los permisos para conducir un vehículo de DGA.

## 8.2 Medición de parámetros in situ

### 8.2.1 Ubicación de los puntos de medición in situ y muestreo

El procedimiento de ubicación de los puntos de muestreo dependerá de las circunstancias que motiven esta acción:

- a. Si el muestreo corresponde a una estación de **monitoreo regular** dentro de la red de calidad de agua, la ubicación del punto deberá estar definida con antelación, incluyendo sus coordenadas geográficas, ruta de acceso e indicaciones de referencia para llegar al lugar específico.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

- b. Si el muestreo corresponde a una estación de monitoreo nueva dentro de la red de calidad, o bien es un punto de muestreo en circunstancias de emergencia, la ubicación de éste debe ser definido con el mayor detalle posible antes de salir a terreno a ejecutar el muestreo. En esta etapa previa se hace necesario considerar múltiples fuentes de información, entre ellos es fundamental el conocimiento previo de la zona, las rutas de acceso, las características del río, etc.

Al llegar al punto de interés, el hidromensor deberá reconocer la zona de medición de parámetros in situ y muestreo de aguas superficiales, así como evaluar la utilización del método de muestreo más adecuado, siguiendo siempre las medidas de seguridad establecidas.

**En la selección del punto de medición y muestreo, debe evitarse muestrear aguas en zonas de turbulencia, rápidos, remolinos, cascadas, saltos, etc. Tampoco pueden tomarse muestras en sectores con aguas detenidas, remansos o con excesiva vegetación.**

**En caso que el cauce presente dos brazos, se debe proceder a medir y muestrear aquel que lleve mayor caudal.**

### 8.2.2 Reconocimiento de la zona

El reconocimiento del sector presta una gran ayuda en la interpretación de resultados de parámetros medidos in situ y resultados de análisis químicos. Las características de la zona deben ser registradas especialmente en el caso de emergencias ambientales o en caso de observar condiciones inusuales en el cauce.

### 8.2.3 Medición In Situ

Establecido el lugar específico de cada muestreo, se debe reconocer la forma segura de colocar la sonda multiparamétrica para proceder a la medición de los parámetros en terreno: pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, temperatura y conductividad eléctrica. Estos parámetros deberán medirse en todos los puntos de las campañas de muestreo.

Se deberá asegurar la sonda de forma de evitar la pérdida o daño de ella, registrar los valores medidos en el formulario correspondiente.

## 8.3 Procedimiento de extracción de muestras

En todos los puntos de muestreo, proceder en el siguiente orden:

- a. Primero medir los parámetros in situ.
- b. Colocar etiquetas a los envases

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 9 de 10
--	---	---

- c. Proceder a extraer la muestra de agua (seleccionar un método de muestreo; descritos a continuación).
- d. Proceder a completar información de las etiquetas de cada muestra.

Los métodos de muestreo de aguas superficiales son los siguientes:



Si la estación posee carro de aforo:

- **Muestreo desde carro de aforo.** Cuando los ríos a muestrear cuenten con un carro de aforo, se procederá con esta técnica. Este tipo de muestreo presenta ventajas como fácil acceso, identificación exacta del punto de muestreo, posibilidad de controlar las posiciones verticales y laterales del muestreo y la capacidad de tomar muestras con mayor seguridad bajo todas las condiciones de caudal y tiempo.  
El funcionario que sube al carro de aforo debe contar con todos los implementos de seguridad, debe conocer los procedimientos de maniobra y emergencias asociadas al uso del carro de aforo.

Si la estación no posee carro de aforo y el río es caudaloso, realizar el muestreo desde el puente:

- **Muestreo desde puente.** Las muestras deben tomarse aguas arriba. Se deberá coleccionar la muestra en el centro de la masa de agua, sumergiendo el muestreador o canastillo unos 15 cm bajo la superficie y en contracorriente.

Si la estación no posee carro de aforo y el río es de poco caudal, realizar el muestreo por vadeo:

- **Muestreo por vadeo.** Identifique algún lugar de fácil acceso que le permita introducirse al agua, sin riesgo para la operación. Use ropa apropiada. Se recomienda ayudarse de una vara que le permita guardar el equilibrio y distinguir la presencia de zonas más profundas, especialmente en ríos de aguas turbias. Ubique el resto de los implementos lo más cerca posible de la orilla para facilitar el trabajo. La muestra deberá ser tomada preferentemente en el centro de la masa de agua, a contracorriente y a 15 cm bajo la superficie. Se deberán considerar las medidas de resguardo pertinentes como usar un bastón o una cuerda salvavidas anclada a la ribera.

Si la estación no posee carro de aforo, no hay puente cercano o no posee, y no se puede muestrear por vadeo, realizar muestreo desde orilla:

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUPERFICIALES</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-01</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 10 de 10</b>
--	---	---

- **Muestreo desde orilla.** Realizar el muestreo desde la orilla, sosteniendo el canastillo abierto en sentido contracorriente o atado a una cuerda, evitando remover sedimentos, sumergirlo y luego retirar cuidadosamente para no perder las muestras.

#### **8.4 Operaciones en terreno**

Una vez que la muestra ha sido recolectada, proceder a aplicar el instructivo de preservación y etiquetado de las muestras (LADGA-IM-03).

#### **8.5 Registro de la información en formularios correspondientes**

Toda la información relativa al lugar de extracción de la muestra deberá ser registrada en un formulario.

En el caso de puntos de muestreo que conforman la red de calidad, completar documento Registro Original de muestreo.

En caso de emergencias ambientales, utilizar instructivos:

- Procedimientos ante emergencias ambientales (LADGA-IM-07).
- Instructivo llenado de ficha de emergencias (LADGA-IM-08).

#### **8.6 Transporte de muestras**

Las condiciones de traslado de botellas desde el punto de muestreo a la oficina de la Dirección Regional, está establecido en el Instructivo Envío y traslado de muestras (LADGA-IM-06).

#### **8.7 Entrega de muestras en el laboratorio**

Las condiciones de traslado de botellas desde la oficina de la Dirección Regional hasta el Laboratorio Ambiental DGA, está establecido en el Instructivo Envío y traslado de muestras (LADGA-IM-06).

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------



PRESERVACION DE MUESTRAS Y  
ETIQUETADO DE ENVASES

LABORATORIO AMBIENTAL  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

LADGA-IM-03  
Versión: 01  
Fecha: 13/01/14  
Página: 1 de 10

Historia e identificación de los cambios

Versión	Fecha	Preparado por	Aprobado por	Cambios efectuados
00	20/05/2008	Depto. de Conservación y PRH	Jefatura Laboratorio	Se actualiza instructivo generado en capacitación de hidromensores del año 2008

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------



## PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES

LABORATORIO AMBIENTAL  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS

LADGA-IM-03  
Versión: 01  
Fecha: 13/01/14  
Página: 2 de 10

### 1. OBJETIVO

Describir las instrucciones para la preservación de muestras de agua obtenidas en terreno, de manera de retrasar los cambios físicos, químicos y/o biológicos que inevitablemente suceden desde la recolección de las muestras hasta su análisis; y que puedan alterar los contenidos originales de los distintos parámetros y elementos. Además, este instructivo describe las instrucciones para el etiquetado de los envases con muestras, de manera de disminuir al mínimo la posibilidad de errores por confusión del contenido y procedencia de la muestra.

### 2. ALCANCE

Este instructivo se aplica a las operaciones de preservación de muestras y etiquetado de los envases conteniendo muestras, realizadas en terreno, tanto por los hidromensores en regiones como por el personal del Laboratorio Ambiental de DGA en terreno, las que posteriormente serán analizadas en el Laboratorio Ambiental de DGA, en su dependencia de la ciudad de Santiago.

Este instructivo aplica a muestras de aguas superficiales y subterráneas, según corresponda a la campaña desarrollada, en condiciones de muestras para análisis rutinario de calidad de aguas y situaciones de emergencia.

### 3. DUEÑO PROCESO

#### Director Regional de DGA:

El Director Regional de DGA deberá conocer este instructivo y efectuar las coordinaciones necesarias con el Jefe de Laboratorio Ambiental de DGA de modo que el trabajo de los hidromensores y de los químicos del Laboratorio Ambiental de DGA que se encuentren en terreno, se desarrolle acorde a las indicaciones del mismo. El Director Regional de DGA podrá designar otro profesional responsable de atender esta actividad a nivel regional y/o provincial.

#### Hidromensores:

Los hidromensores tienen la responsabilidad de seguir este instructivo efectuando todos los pasos descritos. Además deberán comunicar al encargado de calidad del Laboratorio Ambiental las modificaciones que a su criterio resulten necesarias en virtud de las necesidades del trabajo diario, las características especiales de cada región y/o provincia, considerando la mejora continua.

Será responsabilidad del funcionario que ejecuta la preservación de muestras, cumplir con las indicaciones descritas en este instructivo, además de las normas y reglas de acuerdo a lo definido en el reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

### 4. DEFINICIONES

**Ácido nítrico:** Sustancia química corrosiva y tóxica, incolora, con olor fuerte y que al contacto puede ocasionar graves irritaciones y quemaduras.

**Ácido sulfúrico:** Sustancia química corrosiva, y que al contacto puede ocasionar graves irritaciones y quemaduras, también puede afectar al inhalarlo.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p><b>PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES</b></p> <p><b>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b></p>	<p>LADGA-IM-03 Versión: 01 Fecha: 13/01/14 Página: 3 de 10</p>
--	---	--

Hidróxido de sodio: es un sólido o líquido corrosivo, puede irritar los pulmones y causar tos y/o falta de aire, al contacto puede ocasionar irritación y severas quemaduras.

Chemizorb: Sustancia neutralizadora en caso de derrame.

Dosificador: Implemento utilizado para la graduación de ácidos.

Accidente de trabajo: (Art.5°, Ley 16.744), es toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo, y que le produzca incapacidad o muerte.

Accidente de trayecto: (Art.5°, Ley 16.744), son aquellos accidentes ocurridos en el trayecto directo de ida o regreso entre la habitación y el lugar de trabajo.

Enfermedad profesional: (Art.7°, Ley 16.744), es la causada de una manera directa por el ejercicio de la profesión o el trabajo que realice una persona y que le produzca incapacidad o muerte.

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN

Este instructivo no cuenta con indicadores de gestión.

## 6. REFERENCIAS

- ✓ Fichas de datos de seguridad para ácido nítrico y sulfúrico (adjuntas).
- ✓ Reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.
- ✓ Procedimiento de trabajo seguro: preservación y etiquetado de muestras en la Dirección General de Aguas.
- ✓ Norma Chilena 411/3 Of. 96 Calidad del agua-Muestreo-Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- ✓ Standard Methods for Water and Wastewater Examination, 21 th Edition, 2005. 1060: Collection and preservation of samples.
- ✓ Instructivo N°5: Preservación y Etiquetado de Muestras. Versión: 00. Fecha: 20/05/2008 Laboratorio Ambiental DGA.

## 7. REGISTROS

Identificación y código	Responsable	Almacenamiento			Disposición
		Tiempo retención	Medio de soporte	Lugar y responsable	
Original de muestreo	Hidromensor	4 años	Papel y Digital	Dirección Regional Hidromensor	Eliminar
Ficha de terreno Emergencias Ambientales	Hidromensor	4 años	Papel	Dirección Regional Hidromensor	Eliminar

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

## 8. DESCRIPCIÓN

### 8.1 SEGURIDAD.

Todos los funcionarios deberán trabajar en conciencia y teniendo en cuenta su seguridad personal al momento de manipular reactivos, cuidando de no exponer su seguridad ni la del resto de los integrantes del equipo de trabajo.

El manejo de los ácidos concentrados deberá hacerse de forma tranquila y segura, utilizando SIEMPRE los implementos de seguridad personal apropiados: guantes, lentes de seguridad, pechera protectora (ver fig.1).

En caso de que **alguna gota** salpique sobre una porción de piel no protegida por los implementos de seguridad, lávese con abundante agua inmediatamente.

Si se produce un accidente, se deberá seguir el procedimiento de “Qué hacer en caso de accidente de trabajo” establecido por el reglamento interno de higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

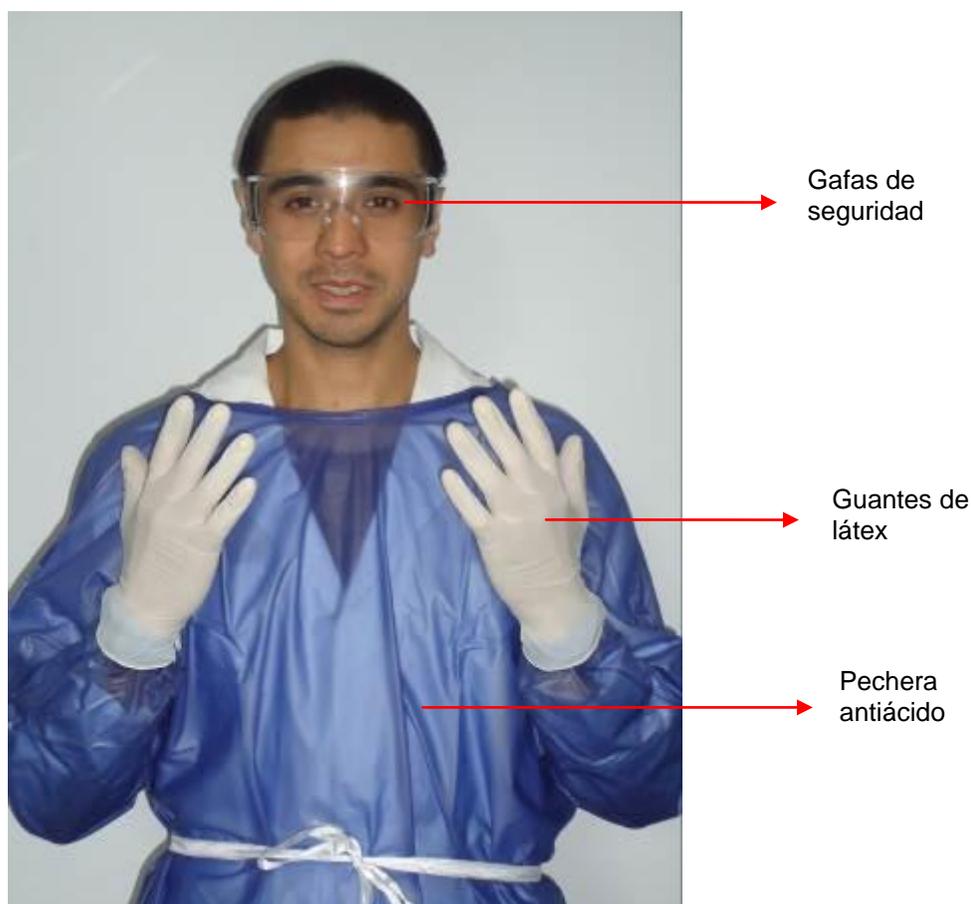


Fig. 1: Implementos de seguridad para preservación de muestras

	<p>PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-03 Versión: 01 Fecha: 13/01/14 Página: 5 de 10</p>
--	---	--

## 8.2 MATERIALES Y EQUIPOS

- Botellas plásticas (polietileno) de 250 ml con muestras de agua (superficial o subterránea).
- Botella de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), conteniendo ácido sulfúrico para análisis concentrado (presentación comercial listo para su uso).
- Botella de Ácido Nítrico ( $HNO_3$ ), conteniendo ácido nítrico para análisis concentrado (presentación comercial listo para su uso).
- Frasco con Hidróxido de sodio (NaOH) en lentejas (solo para la IV región, provincia del Elqui).
- Chemizorb
- Dosificadores
- Guantes de látex
- Lentes de seguridad
- Pechera antiácido
- Papel antiácido para mesones
- Etiquetas autoadhesivas
- Cinta adhesiva transparente
- Lápiz permanente.
- Bolsa de basura.

## 8.3 PROCEDIMIENTO DE PRESERVACION EN TERRENO.

El hidromensor deberá seguir estas instrucciones en cada punto de recolección de muestras de agua. Si no dispone de las condiciones para realizar la preservación en el punto de recolección de la muestra, proceda a realizarlo tan pronto como le sea posible, **idealmente durante el mismo día en que obtuvo las muestras.**

Al terminar la extracción de la muestra, disponga de un espacio despejado para efectuar la preservación de las mismas.

**NOTA:** Se puede utilizar el espacio trasero de la camioneta o algún espacio despejado en las inmediaciones, idealmente cubierto de papel antiácido. En caso contrario, ubicar un mesón o mesa limpia el cual debe proteger con papel antiácido para evitar deterioro de éste por un eventual derrame de ácido.

Disponga las botellas con muestras de modo ordenado y proceda a la preservación uno a uno, exceptuando la muestra natural que NO se preserva.

Recuerde que las muestras recolectadas son en triplicado por estación y serán identificadas de la siguiente manera:

- Muestra preservada con ácido nítrico: N (tapa roja)
- Muestra preservada con ácido sulfúrico: S (tapa azul)
- Muestra sin preservar: SP (tapa verde)

**IMPORTANTE:** Previo a la preservación de las muestras póngase los elementos de protección personal: guantes, lentes de seguridad y pechera antiácido.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

### Partes del dosificador:

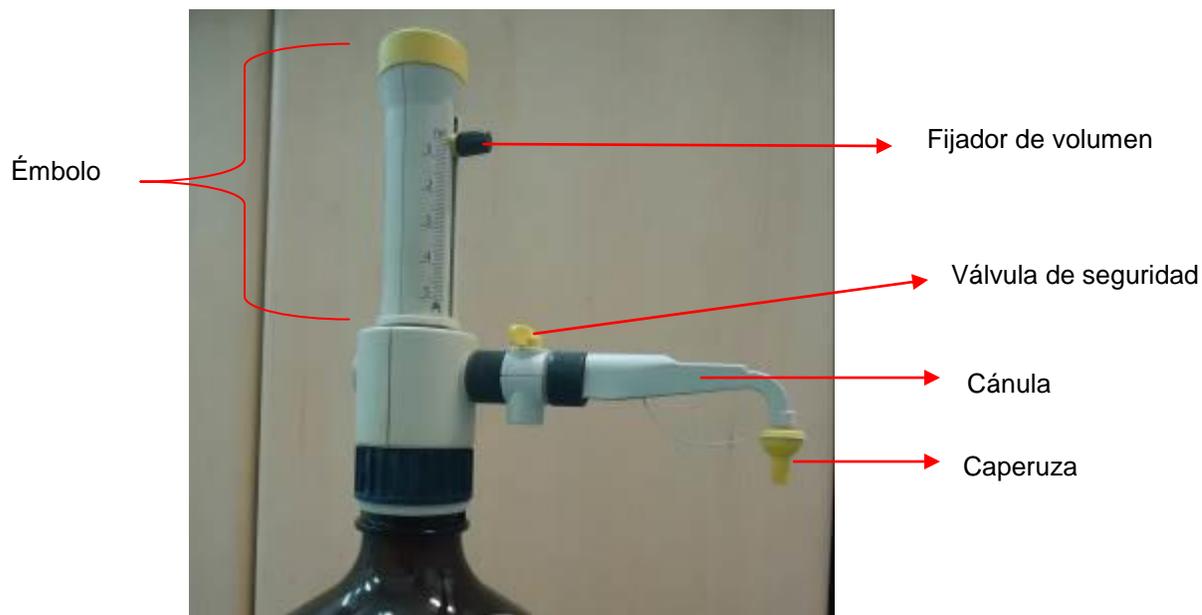


Fig. 2: Componentes de un dosificador

### Ajuste de volumen del dosificador

Soltar el fijador de volumen, girándolo hacia la izquierda, ajuste a 0,5 ml moviendo el fijador suavemente hacia arriba o hacia abajo. Una vez seleccionado el volumen, cierre el fijador girándolo hacia la derecha.

Verificar que el volumen a utilizar sea el correcto, observando que el fijador de volumen quede en 0,5 mL. (Ver fig. 3)

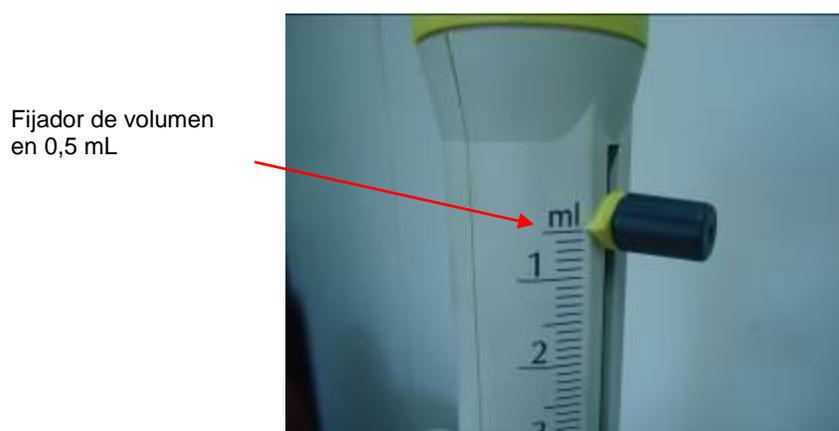


Fig.3: Dispensador de ácido ajustado en 0,5 ml

### Purga del dosificador

Cerrar la válvula de seguridad (ver Fig.4).



Fig. 4: Cierre de válvula de seguridad

Levantar y bajar el embolo del dosificador, de tal modo que las pequeñas porciones de ácido que se encuentren en la cánula del dosificador sean devueltas al frasco de ácido.

Abrir válvula de seguridad para comenzar con la preservación de muestras (Ver fig. 5).



Fig. 5: Válvula de seguridad abierta

**NOTA:** Realizar el ajuste de volumen y purga para los dosificadores de ácido nítrico y sulfúrico.

	<p><b>PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES</b></p> <p><b>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b></p>	<p>LADGA-IM-03 Versión: 01 Fecha: 13/01/14 Página: 8 de 10</p>
--	---	--

### 8.3.1 MUESTRA PRESERVADA CON ÁCIDO NÍTRICO.

Destape la botella con muestra (tapa roja) y asegúrese de colocar la tapa boca arriba en un lugar limpio, de modo que no entre en contacto con tierra u otros elementos que puedan contaminar la muestra.

Al comenzar la medición el émbolo debe estar abajo (hasta el tope), luego debe empezar a medir levantando el embolo lentamente (hasta el tope).

Acercar la botella con muestra a la cánula del dosificador, bajar el embolo lentamente para evitar salpicaduras, vaciar hasta que la última gota de ácido caiga en la muestra.

Tape la botella con la muestra.

Agite la muestra para homogeneizar el efecto del ácido en toda la muestra de agua.

Verifique que la botella con muestra se encuentre bien cerrada.

Identificar en la etiqueta de la botella con muestra el tipo de preservación: N, además no olvide indicar la fecha de la preservación.

Coloque una cinta autoadhesiva transparente para proteger la etiqueta, evitando pérdidas de información.

Repetir las instrucciones hasta finalizar el total de las muestras a preservar con ácido nítrico.

Una vez finalizada la preservación con ácido nítrico cerrar la cánula del dosificador y guardar la botella con el ácido nítrico para evitar una eventual confusión con el ácido sulfúrico a utilizar en la preservación de las muestras restantes.

**NOTA 1:** Si por accidente cayera ácido sobre la piel, lavar con abundante agua y aplicar bicarbonato en la zona afectada (ver ficha de seguridad de ácido nítrico), luego concurrir al centro asistencial más cercano.

**NOTA 2:** Si por alguna razón el ácido se derramara sobre alguna superficie, aplicar Chemizorb (sustancia neutralizadora) abundantemente, a fin de que contrarrestar la acción del ácido.

### 8.3.2 MUESTRA PRESERVADA CON ÁCIDO SULFURICO.

Destape la botella con muestra (tapa azul) y asegúrese de colocar la tapa boca arriba en un lugar limpio, de modo que no entre en contacto con tierra u otros elementos que puedan contaminar la muestra.

Al comenzar la medición el émbolo debe estar abajo (hasta el tope), luego debe empezar a medir levantando el embolo lentamente (hasta el tope).

Acercar la botella con muestra a la cánula del dosificador, bajar el embolo lentamente para evitar salpicaduras, vaciar hasta que la última gota de ácido caiga en la muestra.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-03 Versión: 01 Fecha: 13/01/14 Página: 9 de 10</p>
--	---	--

Tape la botella con la muestra.

Agite la muestra para homogeneizar el efecto del ácido en toda la muestra de agua.

Verifique que la botella con muestra se encuentre bien cerrada.

Identificar en la etiqueta de la botella con muestra el tipo de preservación: S, además no olvide indicar la fecha de la preservación.

Coloque una cinta autoadhesiva transparente para proteger la etiqueta, evitando pérdidas de información.

Repetir las instrucciones hasta finalizar el total de las muestras a preservar con ácido sulfúrico.

Una vez finalizada la preservación cerrar la cánula del dosificador y guardar el ácido sulfúrico.

**NOTA 1:** Si por accidente cayera ácido sobre la piel, lavar con abundante agua y aplicar bicarbonato en la zona afectada (ver ficha de seguridad de ácido sulfúrico), luego concurrir al centro asistencial más cercano.

**NOTA 2:** Si por alguna razón el ácido se derramara sobre alguna superficie, aplicar Chemizorb (sustancia neutralizadora) abundantemente, a fin de que contrarrestar la acción del ácido.

### 8.3.3 MUESTRA SIN PRESERVAR

No agregar ácido a las terceras muestras de cada punto.

Cerrar cuidadosamente las botellas (tapa verde).

Identificar en la etiqueta de la botella con muestra el tipo de preservación: SP (sin preservar), no completar fecha de la preservación.

Colocar una cinta autoadhesiva transparente para proteger la etiqueta, evitando pérdidas de información.

Guardar todas las muestras en coolers (con ice pack) y cajas para el transporte.

### 8.3.4 INDICACIONES FINALES

Limpie el área de trabajo.

Deseche guantes, papel y otros restos en una bolsa de basura, que deberá conservar durante todo el trayecto hasta llegar a un lugar apropiado para desecharla.

Complete la información correspondiente en el registro original de muestreo o ficha de terreno para emergencias ambientales, según corresponda.

**NOTA:** Los números asignados a las estaciones de monitoreo en el original de muestreo **NO** deben ser cambiados; debido a que sirven para identificar las muestras a su llegada al Laboratorio.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p><b>PRESERVACION DE MUESTRAS Y ETIQUETADO DE ENVASES</b></p> <p><b>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b></p>	<p>LADGA-IM-03 Versión: 01 Fecha: 13/01/14 Página: 10 de 10</p>
--	---	---

Continué con las operaciones en terreno que le restan hasta llegar al próximo punto de muestreo.

Una vez finalizada las operaciones en terreno guarde los ácidos (nitríco y sulfúrico) en un lugar fresco, seco y a baja altura.

### 8.3.5 ETIQUETADO DE ENVASES

A continuación se presenta, en la fig.6, el diseño de la etiqueta utilizada para identificar las botellas con muestras, donde se recoge información valiosa acerca de su origen y la preservación realizada.

	<p><b>IDENTIFICACION DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DGA</b></p>		
Dirección General de Aguas			
<b>Nº DE BOTELLA</b>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>		
<b>TIPO DE PRESERVACION</b>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>		
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>
<b>FECHA DE PRESERVACION</b>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>
<p>DIA                      MES                      AÑO</p>			
<b>USO EXCLUSIVO LABORATORIO</b>			
<b>Nº DE INGRESO</b>	<input style="width: 100%; height: 100%;" type="text"/>		

Fig. 6: Etiqueta para la identificación de las botellas.

Complete la información contenida en la etiqueta de la siguiente forma, utilizando lápiz permanente:

- ✓ En el recuadro identificado como “**Nº DE BOTELLA**”, indicar el número de botella según lo asignado en el original de muestreo correspondiente (recordar que **NO** debe modificarse este número).
- ✓ En el recuadro identificado como “**TIPO DE PRESERVACIÓN**”, indicar el tipo de preservante utilizado según los siguientes códigos:
  - SP: muestra sin preservante
  - N: muestra preservada con ácido nítrico
  - S: muestra preservada con ácido sulfúrico
- ✓ En el recuadro identificado como “**FECHA DE MUESTREO**”, indicar la fecha de muestreo según el orden día, mes, año.
- ✓ En el recuadro identificado como “**FECHA DE PRESERVACION**”, indicar la fecha de preservación de la muestra según el orden día, mes, año.
- ✓ **NO** completar el recuadro identificado como “**Nº DE INGRESO**”, ya que será completado por personal del Laboratorio Ambiental.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

 <p>Dirección General de Aguas Ministerio de Obras Públicas Gobierno de Chile</p>	<p>ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-06 Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 1 de 7</p>
---	--	---

Historia e identificación de los cambios				
Versión	Fecha	Preparado por	Aprobado por	Cambios efectuados
00	11/6/2008	Depto. de Conservación y PRH	Jefatura Laboratorio	Se actualiza instructivo generado en capacitación de hidromensores del año 2008

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-06</b> Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 2 de 7
--	--	--

## 1. OBJETIVO

Describir las instrucciones para el envío y/o transporte de los envases conteniendo muestras desde terreno, para su análisis en el Laboratorio Ambiental de DGA según los parámetros que correspondan a cada región y/o tipo de agua.

## 2. ALCANCE

Este instructivo se aplica al envío de muestras desde terreno, obtenidas por los hidromensores en regiones o por personal del Depto. de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, para ser analizadas en el Laboratorio Ambiental de DGA, en su dependencia de la ciudad de Santiago.

## 3. DUEÑO PROCESO

### **Director Regional de DGA:**

El Director Regional de DGA en cada región deberá conocer este instructivo y efectuar las coordinaciones necesarias con el Jefe de Laboratorio Ambiental de DGA de modo que el trabajo de los hidromensores y de los químicos del Laboratorio Ambiental de DGA que se encuentren en terreno, se desarrolle acorde a las indicaciones del mismo. El Director Regional de DGA podrá designar otro profesional responsable de atender esta actividad a nivel regional y/o provincial.

### **Hidromensores:**

Los hidromensores tienen la responsabilidad de seguir este instructivo efectuando todos los pasos descritos. Además deberán comunicar al encargado de calidad del Laboratorio Ambiental de DGA las modificaciones que a su criterio resulten necesarias en virtud de las necesidades del trabajo diario, las características especiales de cada región y/o provincia, considerando la mejora continua.

## 4. DEFINICIONES

**Termómetro de máxima y mínima:** Instrumento para medir temperatura que tiene la capacidad de registrar la temperatura máxima y mínima en un intervalo de tiempo.

**Neveras Cooler:** caja de plástico capaz de mantener condiciones de temperatura.

**Ice pack:** Contenedor plástico pequeño sellado que contiene gel en su interior, que tiene la propiedad de conservar o mantener temperaturas bajas en neveras cooler.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-06</b> Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 3 de 7
--	--	--

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN

Este instructivo no cuenta con indicadores de gestión.

## 6. REFERENCIAS

- Norma Chilena 411/3 Of. 96 Calidad del agua-Muestreo-Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- Standard Methods for Water and Wastewater Examination, 21 th Edition, 2005. 1060: Collection and preservation of samples.
- InstructivoN°10: Traslado y envío de muestras. Versión 00. Fecha 11/06/2008. Laboratorio Ambiental de DGA.

## 7. REGISTROS

Identificación y código	Responsable	Almacenamiento			Disposición
		Tiempo retención	Medio de soporte	Lugar y responsable	
Original de muestreo	Hidromensor	4 años	Papel /Digital	Dirección Regional Hidromensor	Eliminar
Memo u oficio conductor	Director regional	4 años	Papel	Dirección Regional Hidromensor	Eliminar

## 8. DESCRIPCIÓN

### 8.1 SEGURIDAD

Al levantar los cooler y cajas use movimientos lentos y suaves. Los movimientos apurados y a tirones pueden esforzar excesivamente los músculos de la espalda.

Mantenga su cuerpo de frente al objeto mientras lo levanta. Girar mientras levanta puede lesionar su espalda.

Mantenga la carga cerca de su cuerpo. Tener que levantar los brazos para alzar y cargar un objeto puede lesionar su espalda.

Para levantar con las piernas, doble las rodillas -no la espalda- para alzar la carga. Mantenga la espalda derecha.

Trate de llevar la carga en el espacio entre su cintura y su hombro. Esto esfuerza menos los músculos de la espalda

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-06</b> Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 4 de 7
--	--	--

## 8.2 MATERIALES Y EQUIPOS

- Botellas plásticas de 250 ml con muestras preservadas con: ácido nítrico, ácido sulfúrico y sin preservar, según corresponda a cada muestreo
- Neveras Cooler
- Caja transportadora
- Espuma.
- Ice Pack
- Termómetro de máxima y mínima para cooler

## 8.3 PROCEDIMIENTO

### Preparación de las muestras para el envío

Verifique que los coolers se encuentran limpios y en condiciones adecuadas para el transporte; esto es: sin quiebres o cierres en mal estado.

Sacar las muestras del refrigerador, sin permitir que disminuyan notablemente su temperatura.

Introducir todas las muestras sin preservar identificadas como Botellas SP (tapa verde) al primer cooler (ver fig.1)

- Colocar ice pack previamente congelados en el cooler para mantener la temperatura adecuada.
- Los distintos ice pack también ayudan a ordenar las muestras, evitando que se volteen durante el transporte.
- Pegar el termómetro de máxima y mínima en la tapa del cooler (ver fig.1). Ver instructivo de uso de termómetro de máxima y mínima.
- Cerrar el cooler para evitar el cambio brusco de temperatura.
- Fijar la tapa con cinta de embalaje.
- Identificar el destinatario de manera legible: LABORATORIO AMBIENTAL DGA, Santa Rosa 342, piso 2, Santiago.

Dueño de proceso	Hidromensurador	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-----------------	---------------	----------------------

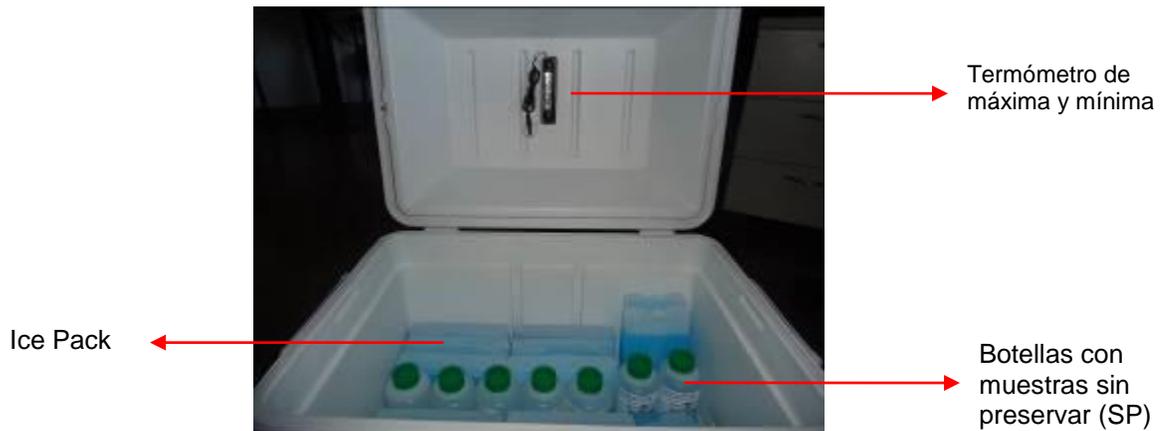


Fig. 1: Muestras sin preservar en cooler de transporte

Introducir todas las muestras preservadas con ácido sulfúrico identificadas como Botellas S (tapa azul) al segundo cooler (ver fig.2).

- Colocar ice pack previamente congelados en el cooler para mantener la temperatura adecuada.
- Los distintos ice pack también ayudan a ordenar las muestras, evitando que se volteen durante el transporte.
- Pegar el termómetro de máxima y mínima en la tapa del cooler, esperando cinco minutos antes de resetearlo.
- Cerrar el cooler para evitar el cambio brusco de temperatura.
- Fijar la tapa con cinta de embalaje.
- Identificar el destinatario de manera legible: LABORATORIO AMBIENTAL DGA, Santa Rosa 342, piso 2, Santiago.

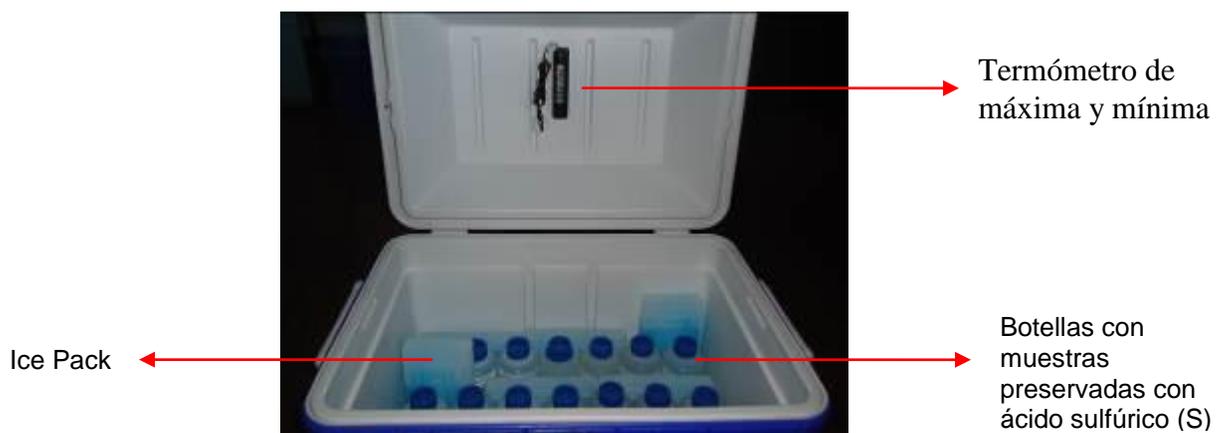


Fig. 2: Muestras preservadas con ácido sulfúrico en cooler de transporte

Introducir todas las muestras preservadas con ácido nítrico identificadas como Botellas N (tapa roja) en la caja transportadora (ver fig.3).

- Para ordenar utilice la esponja de la caja

Dueño de proceso	Hidromensurador	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-----------------	---------------	----------------------

	<b>ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-06</b> Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 6 de 7
--	--	--

- Cerrar la caja y fijar la tapa con cinta de embalaje.
- Identificar el destinatario de manera legible: LABORATORIO AMBIENTAL DGA, Santa Rosa 342, piso 2, Santiago.



Fig. 3: Muestras preservadas con ácido nítrico en caja de transporte

Verifique que la información requerida en el original de muestreo y Memo u oficio conductor estén completas.

Introducir la documentación referida al envío: Original de muestreo y memo u oficio conductor en la caja de transporte. Además envíe por mail el original de muestreo en formato digital a: Alejandro Soto (asistente técnico) con copia a Cinthya Montecinos (Jefa del Laboratorio).

Dirigirse al punto de despacho más cercano, si va a efectuar envío o al medio de transporte si van a ser trasladadas en vehículo por personal del Laboratorio Ambiental de DGA.

### Envío de muestras

Proceda al envío de la caja de transporte y de los coolers con las muestras con destino al Laboratorio Ambiental de DGA. Considere los tiempos razonables, es decir, realice los envíos al iniciar la semana, evitando con esto que las muestras permanezcan el fin de semana en la empresa de transporte, perdiendo las muestras la cadena de frío.

Comunique vía email al Laboratorio Ambiental de DGA acerca de las condiciones del envío.

**NOTA: Recuerde que según instrucciones impartidas por el Depto. de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos (ORD.79), se especifica: ... “el envío de las muestras debe ser de forma parcial, se recomienda envío semanal para evitar vencimiento por preservación de los parámetros: Cloruro, Sulfato Boro, DQO y**

Dueño de proceso	Hidromensur	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p style="text-align: center;">ENVIO Y TRASLADO DE MUESTRAS LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-06 Versión: 01 Fecha: 21/01/14 Página: 7 de 7</p>
--	--	---

**Nitrógeno (nitrito+nitrato), que según metodología requiere que el análisis de estos parámetros se realice durante los primeros 28 días, una vez recolectada la muestra”.**

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

 <p>Dirección General de Aguas Ministerio de Obras Públicas Gobierno de Chile</p>	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 1 de 18</p>
---	---	--

Historia e identificación de los cambios				
Versión	Fecha	Preparado por	Aprobado por	Cambios efectuados
00	12/06/2008	Depto. de Conservación y Protección Recursos Hídricos	Jefatura Dpto. de Conservación y Protección de Recursos Hídricos	Se modifican instructivos generados en capacitación de hidromensores 2008

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 2 de 18</b>
--	--	--

## 1. OBJETIVO

El objetivo de este documento es proporcionar criterios y recomendaciones técnicas para monitorear la calidad de las aguas subterráneas y adecuarse a la normativa vigente.

## 2. ALCANCE

Este instructivo se aplica a las operaciones de toma de muestras de agua subterráneas realizadas en terreno por los hidromensores de la DGA en regiones, las que posteriormente serán analizadas en el Laboratorio Ambiental de DGA, en su dependencia de la ciudad de Santiago.

Este instructivo aplica a la campaña de muestreo de aguas subterráneas tanto en condiciones de control rutinario como en situaciones de emergencia ambiental.

## 3. DUEÑO PROCESO

### Director Regional de DGA:

El Director Regional de DGA deberá conocer este instructivo y efectuar las coordinaciones necesarias con el Jefe de Laboratorio Ambiental de DGA de modo que el trabajo de los hidromensores y de los químicos del Laboratorio Ambiental de DGA que se encuentren en terreno, se desarrolle acorde a las indicaciones del mismo. El Director Regional de DGA podrá designar otro profesional responsable de atender esta actividad a nivel regional y/o provincial.

### Hidromensores:

Los hidromensores tienen la responsabilidad de seguir este instructivo efectuando todos los pasos descritos. Además deberán comunicar al encargado de calidad del Laboratorio Ambiental las modificaciones que a su criterio resulten necesarias en virtud de las necesidades del trabajo diario, las características especiales de cada región y/o provincia, considerando la mejora continua.

Será responsabilidad del funcionario hidromensor que ejecuta la toma de muestras, cumplir con las indicaciones descritas en este instructivo, además de las normas y reglas de acuerdo a lo definido en el reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

## 4. DEFINICIONES

- a) Acuífero: formación de suelo y/o roca permeable capaz de almacenar y transmitir cantidades aprovechables de agua.
- b) Agua subterránea: agua contenida en un acuífero, la que puede ser extraída o alumbrada a través de una perforación desde la superficie.
- c) Pozo: agujero o perforación, excavado o taladrado en la tierra para extraer agua o para efectuar mediciones. Para efectos de este instructivo y en consideración a su objetivo, un pozo tiene un diámetro mayor a 200 mm.
- d) Sondeo o piezómetro: perforación que penetra en el acuífero y permite obtener información puntual del nivel freático o altura piezométrica, tomar muestras del agua subterránea, conocer la estratigrafía del suelo y/o realizar ensayos de bombeo. Para efectos de este instructivo, se considerará como referencia una perforación con diámetro igual o menor a 200 mm.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 3 de 18</b>
--	--	--

- e) Camisa; encamisado: tubo sólido usado como revestimiento permanente o temporal para un pozo o piezómetro, con el objeto de impedir la entrada de materiales sólidos en la perforación o para asegurar que el agua subterránea sólo entre a la perforación mediante un tubo criba a una profundidad específica.
- f) Tubo criba: tipo de tubo de revestimiento con aberturas (agujeros, ranuras, etc.) diseñado para permitir el ingreso de agua desde el acuífero al pozo, impidiendo la entrada de material sólido a éste.
- g) Nivel de agua subterránea: elevación, en un lugar y momento dado, del nivel freático o piezométrico de un acuífero.
- h) Pozómetro o sonda de nivel: instrumento portátil utilizado para medir el nivel de agua subterránea. Consta de un carrete, una huincha milimetrada de longitud determinada y un sensor en su extremo que al contacto con el agua emite una señal acústica y/o luminosa.
- i) Bomba: dispositivo utilizado para extraer agua subterránea en un pozo.
- j) Tubo de muestreo o Bailer: dispositivo utilizado para obtener manualmente una muestra de agua subterránea.

## 5. INDICADORES DE GESTIÓN

Este instructivo no cuenta con indicadores de gestión.

## 6. REFERENCIAS

- a) APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for Water and Wastewater Examination (2005), 21th Edición en Inglés. (Título en Español Manual de Métodos Estándares para Análisis de Aguas y Aguas Residuales).
- b) Laboratorio Ambiental, Dirección General de Aguas, Instructivo N°2 V°0 Muestreo de Aguas Subterráneas. Método Bailer.
- c) Norma Chilena 411/3 Of.96. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
- d) NCh 411/11.Of 98 "Calidad del agua – Muestreo – Parte 11: Guía para el muestreo de aguas subterráneas".
- e) CENMA-DGA. 2010. Estudio: "Diagnóstico y Acompañamiento al Muestreo de las Redes de Calidad de Aguas de la Dirección General de Aguas".
- f) Agència Catalana de l'Aigua. 2005. Protocol: Mostreig d'aigües subterrànies; Guia Pràctica.
- g) Reglamento interno de orden, higiene y seguridad del Ministerio de Obras Públicas.

## 7. REGISTROS

Identificación y código	Responsable	Almacenamiento			Disposición
		Tiempo retención	Medio de soporte	Lugar y responsable	
Original de muestreo	Hidromensor	4 años	Papel y digital	Dirección Regional - Hidromensor	Eliminar después de 4 años
Ficha de terreno para emergencias Ambientales	Hidromensor	4 años	papel	Dirección Regional - Hidromensor	Eliminar después de 4 años

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

## 8. DESCRIPCIÓN DE LAS ACCIONES DE MUESTREO

La actividad de muestreo de aguas subterráneas considera diferentes etapas que siguen el orden indicado en el esquema siguiente. Este instructivo aborda la descripción de las tres primeras etapas: “Preparación de materiales”, “Medición de parámetros in situ” y “Extracción de muestras”.



El muestreo comienza antes del acto de llenar un envase con agua y no termina hasta que todos los envases son recibidos satisfactoriamente en el laboratorio de análisis.

El personal que ejecuta el muestreo es responsable de que los envases contengan una muestra representativa de la porción de agua subterránea y que la misma llegue de manera íntegra a la oficina regional y posteriormente al laboratorio, de modo que sea factible realizar un análisis representativo de las concentraciones reales de los analitos presentes en la muestra.

A continuación se describe cada una de las etapas mencionadas anteriormente:

### 8.1 Preparación de materiales

El hidromensor deberá preparar los siguientes insumos **ANTES** de salir a terreno, de modo de asegurar un muestreo correcto. Es altamente recomendable sistematizar estos criterios de modo de lograr agilidad en la preparación. En el Anexo A – Figura A1 se representan las principales tareas dentro de la planificación de una campaña en terreno, la preparación de materiales de muestreo y la logística asociada. En la misma línea, se presenta en el Anexo A - Tabla A1, un listado de indicaciones detalladas para la preparación de materiales y la logística a considerar antes de salir a terreno.

En cada epígrafe a continuación, se describen las características generales de los materiales a preparar, destacando su función dentro del proceso de muestreo.

#### 8.1.1 Envases

Todos los envases utilizados en los muestreos de aguas subterráneas son proporcionados por el Laboratorio Ambiental de la Dirección General de Aguas. El laboratorio selecciona y prepara los envases de acuerdo a los parámetros a determinar según lo establecido en procedimiento interno.

Los envases corresponden a botellas de plástico (polietileno) de 250 mL de capacidad.

El laboratorio enviará los envases de cada dependencia regional o provincial de modo de garantizar la toma de muestra en todos los puntos comprendidos en la red de calidad de aguas de la Región o Provincia antes de iniciar las etapas de muestreo, por lo cual el hidromensor sólo debe utilizar dichos envases.

El hidromensor debe asegurarse de portar una cantidad suficiente de envases.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 5 de 18</p>
--	---	--

### 8.1.2 Preservantes

La preservación corresponde a la adición de diferentes compuestos químicos y/o a condiciones físicas que se utilizan durante el proceso de muestreo para minimizar las modificaciones de las características de los parámetros de interés durante el tiempo que transcurre desde que se extrae la muestra hasta que se realiza el análisis de la misma, por consiguiente también incluye el tiempo de empaqueo, transporte, recepción y entrega para análisis. (Ver instrucciones detalladas en Instructivo Preservación de muestras y etiquetado de envases- LADGA-IM-03)

La determinación de los analitos de interés presentes en el agua y sus respectivos métodos de análisis requieren condiciones específicas de preservación, almacenamiento y tiempo de espera, que permiten asegurar la calidad de los resultados, dependiendo de las propiedades de cada uno de los parámetros a analizar. La modificación de las condiciones recomendadas de preservación, conservación y/o tiempo de espera puede invalidar el resultado del análisis ante una reclamación.

El hidromensurador debe asegurarse de portar una cantidad suficiente de botellas, etiquetas, lápiz indeleble, ice packs y contenedor termoaislantes para el almacenamiento y traslado de las muestras.

### 8.1.3 Equipamiento e instrumentación

- **Equipamiento para mediciones en terreno.**

Algunos parámetros deben ser determinados en terreno, mediante el uso de la sonda multiparámetro. Estos parámetros son: conductividad eléctrica, temperatura, pH, oxígeno disuelto y porcentaje (%) de saturación de oxígeno.

El manejo de sondas multiparámetro incluye varias etapas previas a su uso en terreno, las cuales se describen de modo general a continuación:

- Revisión de manuales de uso e instrucciones:** debe conocerse el modo de uso recomendado por los fabricantes así como los errores más frecuentes y las acciones para solucionarlos (ver Instructivo Calibración y uso de sondas multiparámetro - LADGA-IM-09).
- Verificación de su estado técnico:** Chequear el estado de las conexiones, cables, estado de las membranas y dispositivos, sensores, soluciones internas, entre otras.
- Calibración previa:** Este paso deberá efectuarse justo antes de comenzar el trabajo. Al comenzar el día de trabajo realice la calibración de la sonda según las instrucciones del fabricante. Para ello, utilice soluciones patrón conocidas de modo de contrastar su respuesta.
- Verificación de condiciones de suministro:** Se deberá verificar anticipadamente el estado de todos los detalles para asegurar un funcionamiento adecuado, lo que incluye el estado y carga de las baterías, estado y carga de baterías de recambio, estado de cables, enchufes, conexiones.
- Recalibración del sensor de oxígeno:** Se deberá recalibrar en terreno el sensor de oxígeno utilizando las soluciones correspondientes indicadas por el fabricante, (ver

Dueño de proceso	Hidromensurador	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-----------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 6 de 18</b>
--	--	--

manual específico e Instructivo Calibración y uso de sonda multiparámetro - LADGA-IM-09).

- f) **Llenado de registro:** Llene el registro correspondiente al uso, mantención y calibración de la sonda.

**Implementos para obtener información relevante adicional (aplica especialmente en caso de emergencias ambientales; ver instructivo LADGA-IM-07).**

Durante el muestreo de aguas, deberá registrarse información adicional sobre el lugar de la toma de muestras, que no se limita exclusivamente a lo medido con equipos. Este registro de información aplica especialmente en condiciones de emergencias ambientales (ver instructivo LADGA-IM-07)

- **Implementos para la extracción y transporte de muestras.**

Para la extracción y transporte de muestras se utilizan implementos varios que incluyen:

- Muestreador Bailer.
- Pozómetro.
- Cuerdas.
- Peso (en caso que se requiera medir la profundidad del pozo).
- Vaso o Jarro plástico de 1000 mL
- Envases (botellas de polietileno de 250 mL).
- Agua destilada, en cantidad suficiente (0.5 a 1 litro por punto de muestreo).

- **Implementos de conservación y/o preservación.**

- Cajas termoaislantes (cooler) para colocar los envases.
- Ice-pack congelado.
- Preservantes: ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- Bolsas de plástico.
- Papel absorbente de uso general.

- **Implementos.**

- Etiquetas autoadhesivas.
- Lápiz con tinta indeleble
- Cinta adhesiva transparente.

#### 8.1.4 Registros

El funcionario a cargo de la toma de muestras deberá verificar la disponibilidad de los formularios correspondientes a su región (o provincia), de modo de registrar toda la información relevante, como se indica más adelante (revisar Documento Registro Original de Muestreo).

#### 8.1.5 Implementos de seguridad

**La obtención de una muestra de agua, en ninguna circunstancia deberá poner en riesgo la integridad del personal que realiza el muestreo.** De modo general, el muestreo deberá realizarse por al menos dos personas considerando la participación de un auxiliar o de un chofer, y nunca se realizará en lugares peligrosos o de gran riesgo para la vida. El chofer no participará en el muestreo, su función será la de conducir el vehículo.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 7 de 18</p>
--	---	--

Antes de salir a terreno, el funcionario que esté a cargo deberá asegurarse de que dispone de los implementos de seguridad personal tales como:

- Arneses y cuerdas de protección personal.
- Guantes de látex.
- Botas de agua y/o zapatos de seguridad apropiados.
- Traje impermeable.
- Chaleco reflectante.
- Lentes de seguridad (oscuros y transparentes)
- Repelente de insectos.
- Protector solar.
- Mascarilla
- Teléfono celular, satelital o de radio según disponibilidad.
- Cargador de teléfono.
- GPS y/o mapas.

### 8.1.6 Transporte

El chofer, previo a salir al terreno, deberá verificar las condiciones del vehículo a utilizar: nivel de aire y estado de los neumáticos, estado batería, combustible necesario, implementos de seguridad (extintor, triángulo), herramientas, cadenas (aplicable a algunos lugares), entre otros.

El chofer deberá contar con su licencia para conducir al día, así como los permisos para conducir un vehículo de DGA.

En el Anexo A, Figura A1 se muestran indicaciones para el proceso de preparación y logística del muestreo en terreno.

## 8.2 Medición de parámetros in situ

### 8.2.1 Reconocimiento de la zona

Al llegar a terreno, el hidromensor deberá reconocer la zona, identificando si la estación tiene incorporada una bomba para la extracción del agua, la que podrá utilizarse de manera preferencial.

**NOTA:** La extracción de la muestra de agua debe realizarse ANTES de que el agua alcance el sistema de desinfección, si existiera dicho sistema en el pozo muestreado y antes mezclarse con un estanque de acumulación.

En caso de que el pozo no disponga de equipo de bombeo, deberá utilizarse el muestreador bailer para extraer la porción de agua necesaria, verificando la homogeneidad de los parámetros medidos in situ (descrito más adelante en el apartado 8.2.2.2).

Completar la información acerca del reconocimiento de la zona en el Registro Original de Muestreo y en caso de emergencias ambientales (ficha de emergencia: Instructivo LADGA-IM-08).

En todos los puntos, proceder **primero a la medición de parámetros en terreno y posteriormente a extraer la muestra de agua** destinada al envío a laboratorio, **EN ESE ORDEN**.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 8 de 18</p>
--	---	--

## 8.2.2 Medición In Situ

Sea que se controle la calidad del agua subterránea en un pozo o en un sondeo, debe verificarse siempre que sea posible la profundidad del nivel freático o piezométrico antes de utilizar la sonda multiparámetro o de tomar muestras de agua.

**Medición de nivel:** Introducir la sonda o pozómetro en el pozo, una vez que ésta tiene contacto con el agua se activa una señal auditiva o luminosa (dependiendo del equipo). En ese momento se debe registrar la lectura del nivel de agua con la cinta métrica (cable graduado) del pozómetro, anotando en el respectivo documento de registro. Seguidamente, se debe retirar cuidadosamente el pozómetro del pozo, procurando que éste no se enganche en algún elemento (fierros, cables, etc.) que pudiera estar presente en el interior del pozo.

Posterior al registro de nivel piezométrico, se debe tomar la muestra de agua subterránea, cuyo procedimiento variará de acuerdo a las características del pozo o sondeo y si éste dispone de equipo de bombeo.

### 8.2.2.1 Si el pozo o sondeo dispone de bomba

a) Si el pozo dispone de equipo de bombeo, y éste fue utilizado **hace menos de 48 horas**, se puede asumir que el agua almacenada en el pozo representa las características del acuífero.

a.1 Si existe una forma segura de introducir la sonda multiparámetro en el pozo, proceda a la medición de los parámetros en terreno: pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, temperatura y conductividad eléctrica, bajando la sonda al interior del pozo y sumergiéndola bajo el agua.

Verificar la estabilidad de los parámetros

Registrar los valores medidos de los parámetros en el formulario correspondiente.

a.2 Si no es posible bajar la sonda al interior del pozo, por ejemplo porque el pozo es muy profundo y no alcanza el cable de la sonda a llegar al agua, o bien porque presenta riesgos de que la sonda multiparámetro pueda quedar atrapada, se deberá recoger una porción de agua usando la misma bomba. En este caso accione la bomba y deje correr el agua por al menos 1 minuto, verificando que el agua salga limpia (incolora, cristalina), asegurándose con esto la renovación el agua de la tubería.

Descargar agua en un recipiente plástico o jarro de capacidad de 1000 mL (ambientar previamente). Introduzca la sonda en el recipiente y proceda a la medición de los parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica verificando que las magnitudes se observen relativamente constantes (la concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua NO SON REGISTRADOS con los demás parámetros en el documento Original de Muestreo, sino que debe **registrarse dentro la las observaciones del formulario**).

b) Si el pozo fue utilizado **hace más de 48 horas**, se debe proceder a activar la bomba al menos 5 minutos hasta que se haya extraído el agua de la tubería y ésta se vea limpia (incolora, cristalina).

Dueño de proceso	Hidromensur	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 9 de 18</p>
--	---	--

- b.1 Si existe alguna forma segura de introducir la sonda multiparámetro en el pozo, proceda a la medición de los parámetros en terreno: pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, temperatura y conductividad eléctrica, bajando la sonda al interior del pozo. Registre los valores medidos en el formulario correspondiente.
- b.2 Si no puede introducir la sonda multiparámetro en el pozo o sondeo, recoja parte del caudal bombeado en el recipiente plástico o jarro de capacidad de 1000 mL, ambientándolo 3 veces.

Ya ambientado el envase, recoja una primera muestra de agua e introduzca la sonda multiparámetro en el recipiente, proceda a la medición de los parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica. Anote en borrador los valores de los parámetros y luego elimine el volumen de agua controlado. Vuelva a recoger una muestra de agua y repita el procedimiento antes descrito, eliminando luego la muestra. Finalmente, se debe recoger una tercera muestra para realizar la medición de parámetros in situ. La decisión de registrar oficialmente estas últimas mediciones depende de si se ha constatado una estabilización de sus magnitudes. Se considera que los parámetros están estabilizados cuando la diferencia de temperatura entre la segunda y tercera medición no supera los 0.2 °C; así también, el pH y conductividad eléctrica resultan en magnitudes muy próximas. Si los parámetros se han estabilizado, se procede a registrar las últimas magnitudes medidas. Si los parámetros no se han estabilizado, se debe repetir el procedimiento de toma de muestra y medición de parámetros hasta alcanzar la estabilidad

#### 8.2.2.2 Si el pozo o sondeo no dispone de bomba y se utiliza muestreador bailer

Inicialmente se deberá identificar si existe forma de introducir la sonda multiparámetro en el pozo.

- a) Si existe una forma segura de introducir la sonda multiparámetro, proceda a la medición de los parámetros directamente dentro del pozo o sondeo: pH, oxígeno disuelto, % de saturación de oxígeno, temperatura y conductividad eléctrica. Para ello se debe introducir el equipo en el pozo o sondeo y bajarlo cuidadosamente, procurando no engancharlo o golpearlo bruscamente. Una vez que el equipo se sumerge en el agua, se debe verificar que las mediciones de los parámetros sean similares en distintas profundidades. Registre los valores medidos en el formulario correspondiente.
- b) Si no es posible bajar la sonda al interior del pozo (por ejemplo porque el pozo sea muy profundo y no alcance el cable de la sonda), se deberá recoger una porción de agua usando un bailer. Antes de tomar la muestra se debe ambientar el bailer y comprobar la estabilizaciones de los parámetros medidos in situ. Usando el bailer, tome una muestra de agua y viértala en un recipiente plástico o jarro de capacidad de 1000 mL. Introduzca la sonda en el recipiente y proceda a la medición de los parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica. Registre los valores medidos en borrador y repita el proceso **3 veces**, constatando la estabilización de sus magnitudes (diferencia máxima de temperatura de 0.2 °C entre mediciones y valores muy próximos de conductividad eléctrica y pH; el procedimiento es similar al descrito en la letra b.2 del numeral 8.2.2.1). Finalmente, complete el formulario correspondiente.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 10 de 18</b>
--	--	---

En el Anexo A - Figura A2 se presenta un diagrama de flujo con los procedimientos sugeridos para evaluar las condiciones de purga y muestreo de aguas subterráneas en un pozo y sondeo.

En el Anexo A - Tabla A2 se resumen criterios prácticos para evaluar el registro de parámetros in situ considerando la existencia de bomba, el tiempo desde el último bombeo y la factibilidad de introducir la sonda multiparámetro en el sondeo o pozo.

### 8.3 Extracción de muestras

#### 8.3.1 Recolección de una muestra desde pozo con bomba

Prepare los envases, colocando las etiquetas correspondientes a cada uno.  
 Retire las tapas y dispóngalas en un lugar seguro evitando su contaminación.

Una vez finalizado la etapa de medición de los parámetros in situ, proceda a tomar la muestra de agua que será enviada a laboratorio.

En caso de pozo o sondeo con bomba, acerque los envases a la boca de la bomba (o válvula de muestreo), ambientar los envases y llenar cada uno de ellos evitando tocar la boca de la bomba (o de la válvula de muestreo) con el envase.

Verifique que todos los envases hayan sido llenados hasta el volumen mínimo necesario (hombro en envase). En caso de que no se alcance el volumen mínimo, desechar la muestra y repetir la operación anterior.

Coloque las tapas a los envases.

Muévase a un lugar seguro para proceder a la preservación de las muestras (en caso que se realice este procedimiento en terreno) (ver Instructivo Preservación de muestras y etiquetado de envases - LADGA-IM-03).

#### 8.3.2 Extracción usando muestreador bailer

##### 8.3.2.1 Medición de nivel de agua

Como se describe al inicio del numeral 8.2.2 Medición In Situ, la primera operación antes de extraer una muestra adecuada para determinaciones físico químicas, es medir el nivel del agua en el pozo. Para esto se utiliza la sonda de nivel o pozómetro.

##### 8.3.2.2 Purga de sondeo usando muestreador bailer

A continuación se efectúa la purga de los sondeos con el objetivo de desalojar el agua estancada y así obtener muestras representativas del acuífero. El volumen a extraer es variable y el proceso de purga se realiza con el muestreador bailer.

El procedimiento de muestreo mediante la utilización de bailers considera un volumen de purga equivalente a **tres (3) veces** el volumen de agua contenido en el sondeo antes de efectuar el

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 11 de 18</p>
--	---	---

muestreo definitivo de agua. De este modo se asegura que el agua extraída para el análisis químico sea representativa de las condiciones del acuífero y no del agua almacenada en el mismo (pudiendo ésta ser diferente a la del acuífero, por variaciones ocurridas durante su estancamiento en el interior del sondeo).

Para determinar el número teórico de extracciones que se deben realizar en cada sondeo con el bailer, primero se debe calcular el volumen almacenado en cada sondeo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_{sondeo} = \frac{\pi \cdot D_{sondeo}^2}{4} \cdot (H_{sondeo} - H_{Agua}) \cdot 1000 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $V_{Sondeo}$  = Volumen del sondeo, [litros]
- $D_{Sondeo}$  = Diámetro de la habilitación del sondeo, [m]
- $H_{Sondeo}$  = Profundidad total perforada del sondeo, [m]
- $H_{Agua}$  = Profundidad del agua subterránea en el sondeo, [m]

Una vez determinado el  $V_{Sondeo}$  y junto con conocer el volumen del bailer ( $V_{Bailer}$ ), se calcula el número teórico de extracciones ( $N_{Ext}$ ) para purgar 1 vez el volumen del sondeo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$N_{Ext} = \frac{V_{Sondeo}}{V_{Bailer}} \quad \text{Ecuación 2}$$

**Nota:** el bailer utilizado en la red de monitoreo DGA tiene un volumen total de 1 litro.

El número teórico de extracciones calculado según estas ecuaciones puede resultar muy alto y por consiguiente puede ser un procedimiento impracticable por el excesivo tiempo que demandaría su aplicación. Para representar esta situación, se puede revisar los ejemplos de cálculo adjuntos en el Anexo B.

### 8.3.2.3 Método abreviado para muestreo representativo del acuífero

El método que aquí se describe es una alternativa abreviada en comparación con la extracción de 3 veces el volumen del sondeo usando el muestreador bailer, descrito en el numeral 8.3.2.2.

Para ello se requiere asegurar la representatividad de la muestra de agua sobre las condiciones naturales del acuífero.

- a) Realice una **primera extracción** de agua con el bailer; verter su contenido en un vaso de precipitado o recipiente adecuado para ambientarlo. Este envase se utilizará para medir los parámetros in situ, por lo que es deseable que tenga una capacidad un 1 Litro.
- b) Realice una **segunda extracción** y descargue el agua en el mismo vaso de precipitado o recipiente adecuado.
- c) Introduzca la sonda multiparámetro en el recipiente con agua y registre el valor de temperatura, conductividad eléctrica y pH en un documento borrador.
- d) Realice una **tercera extracción** y descargue el agua en el vaso de precipitado o recipiente adecuado.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 12 de 18</b>
--	--	---

- e) Introduzca la sonda multiparámetro en el recipiente con agua y registre los valores de temperatura, conductividad eléctrica y pH un documento borrador.
- f) Compare las magnitudes de los parámetros medidos. Si las dos medidas de pH y conductividad eléctrica son aproximadamente iguales y la diferencia de temperaturas es menor a 0.2°C, se considera que la representatividad de la muestra es Conforme.
- g) Si la diferencia entre los dos registros es mayor a 0.2°C se considera que la representatividad de la muestra es No Conforme y se deben repetir las extracciones sucesivas hasta obtener Conformidad respecto de la representatividad de la última muestra.
- h) Una vez demostrada la representatividad Conforme del agua extraída, registre los valores medidos en la última extracción como valores de medición in situ para los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica en el registro correspondiente (ficha original de muestreo o ficha de emergencia ambiental).
- i) En este momento es posible extraer una nueva muestra de agua que será distribuida en los envases plásticos destinados para su análisis en laboratorio.

Par llevar a cabo el procedimiento de muestreo de aguas subterráneas utilizando bailer:

- a) Ubique los envases en un lugar seguro evitando que se ensucien.
- b) Coloque las etiquetas a los envases.
- c) Retire las tapas y ubíquelas en un lugar donde no se ensucien.
- d) Sumerja el bailer en el pozo o sondeo y extraiga una porción de agua.
- e) Descargue el agua en cada uno de los envases. Ambientar los envases y las tapas.
- f) Verifique que hayan sido llenados hasta el volumen mínimo necesario (hombro en envase). En caso de que no se alcance el volumen mínimo, desechar la muestra y repetir la operación anterior.
- g) Colocar las tapas a los envases.
- h) Muévase a un lugar seguro para proceder a la preservación de las muestras (en caso que esto se realice inmediatamente en terreno).

### 8.1 Operaciones en terreno

Una vez que la muestra ha sido recolectada, proceder a aplicar el instructivo de preservación y etiquetado de las muestras (LADGA-IM-03).

### 8.2 Registro de la información en formularios correspondientes

Toda la información relativa al lugar de extracción de la muestra deberá ser registrada en un formulario.

En el caso de puntos de muestreo que conforman la red de calidad, completar documento Registro Original de muestreo.

En caso de emergencias ambientales, utilizar instructivos:

- Procedimientos ante emergencias ambientales (LADGA-IM-07).
- Instructivo llenado de ficha de emergencias (LADGA-IM-08).

### 8.3 Transporte de muestras

Las condiciones de traslado de botellas desde el punto de muestreo a la oficina de la Dirección Regional, está establecido en el Instructivo Envío y traslado de muestras (LADGA-IM-06).

### 8.4 Entrega de muestras en el laboratorio

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

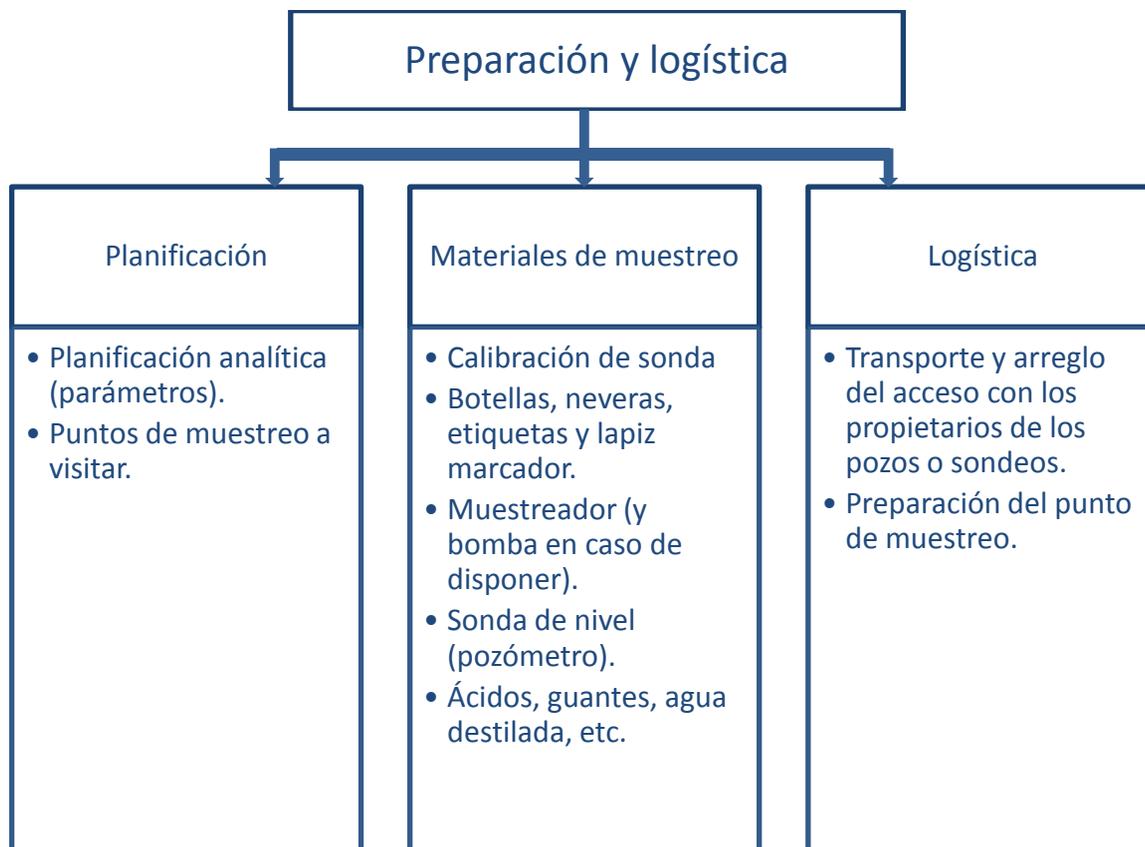
	<p>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</p> <p>LABORATORIO AMBIENTAL DIRECCION GENERAL DE AGUAS</p>	<p>LADGA-IM-02 Versión: 01 Fecha: 24/01/14 Página: 13 de 18</p>
--	---	---

Las condiciones de traslado de botellas desde la oficina de la Dirección Regional hasta el Laboratorio Ambiental DGA, está establecido en el Instructivo Envío y traslado de muestras (LADGA-IM-06).

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

## ANEXO A

**Figura A1:** Indicaciones para el proceso de preparación y logística del muestreo en terreno.



(Modificado de: Guia Práctica Protocol: mostreig d'aigües subterrànies. ACA, 2005)

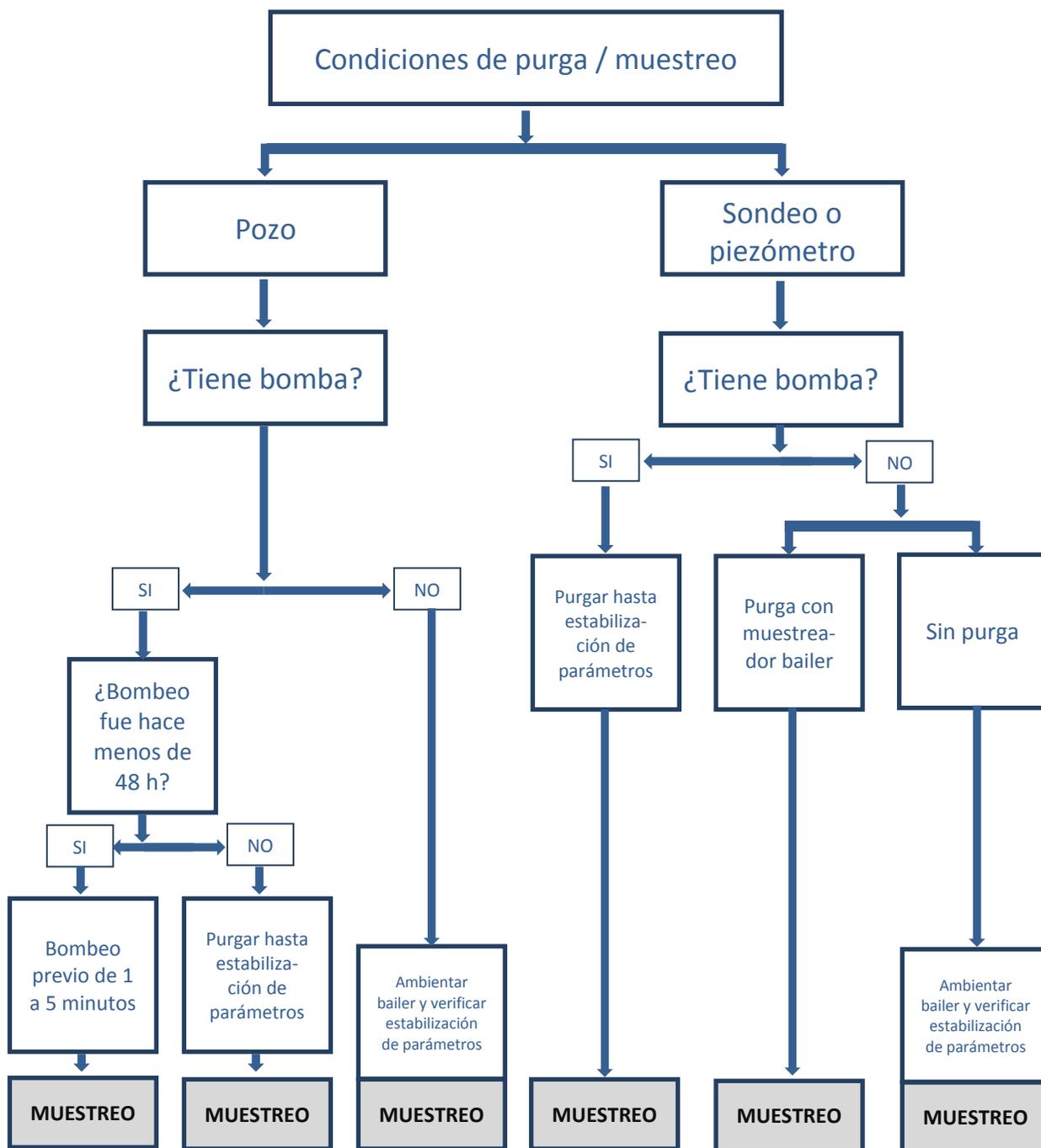
	<b>MUESTREO PARA AGUAS SUBTERRANEAS</b>  <b>LABORATORIO AMBIENTAL</b> <b>DIRECCION GENERAL DE AGUAS</b>	<b>LADGA-IM-02</b> <b>Versión: 01</b> <b>Fecha: 24/01/14</b> <b>Página: 15 de 18</b>
--	--	---

**Tabla A1:** Resumen indicativo de la etapa de preparación de materiales para la campaña en terreno de muestreo de aguas subterráneas.

Logística
Coordinar acceso y puesta en marcha de la captación con el responsable, siempre que sea necesario.
Laboratorio
Asegurarse de contar con la cantidad suficiente de contenedores, ice-pack, botellas y etiquetas.
Acordar fecha, número de muestras y requisitos (especialmente en caso de emergencias ambientales).
Historial
Revisar resultados de los análisis previos (parámetros registrados en terreno).
Portar mapa de la ubicación.
Preparación
Organizar el equipamiento y materiales necesarios (incluidos los implementos de seguridad).
Comprobar la carga de las pilas.
Verificar el funcionamiento de los aparatos de medida (sonda multiparámetro). Revisar manual si se requiere.
Inspeccionar visualmente el estado de los aparatos (bailer, recipiente 1 L).
Disponer de GPS, cámara fotográfica, lápiz indeleble, fichas de registro de datos en terreno.
Recomendable: portar herramientas (destornillador, cinta aislante, tijeras), bolsas plásticas, cinta métrica.
Materiales de purga y de bombeo
Bomba de purga y accesorios (tubos, cables, enchufes, etc.)
Generador /alimentador de corriente.
Sonda de nivel.
Muestreador bailer y carrete con cuerda (incluir peso en caso de necesidad de medir la profundidad del pozo).
Herramientas específicas de muestreo.
Instrumentos para medir los parámetros de campo
Sensores de temperatura, conductímetro, pH-metro, medidor de oxígeno disuelto (Sonda multiparámetro).
Estándares de calibración para cada sensor de la sonda.
Pilas de recambio.
Envase para depositar agua y hacer las medidas con la sonda.
Equipos de limpieza
Envases para preparar la solución de limpieza.
Agua destilada: 0.5 a 1 litro por pozo.
Rollos de papel absorbente para secar.

Dueño de proceso	Hidromensor	Aprobado por:	Jefatura Laboratorio
------------------	-------------	---------------	----------------------

**Figura A2:** diagrama de flujo de procedimientos sugeridos para evaluar condiciones de purga y muestreo de aguas subterráneas.



(Modificado de: Guia Práctica Protocol: mostreig d'aigües subterrànies. ACA, 2005)

**Tabla A2:** Resumen de aplicación de criterios para el control de parámetros in situ en aguas subterráneas y la recolección de muestras.

<b>¿El pozo o sondeo a monitorear cuenta con equipo de bombeo?</b>							
↓							
<b>¿El pozo estuvo en uso recientemente?</b>							
↓							
<b>¿Se puede ingresar la sonda al pozo?</b>							
↓							
<b>SI</b>	Bombeo hace menos de 48 h		Puede meter sonda	Si	Introducir sonda y medir en profundidad (pH, T, Cond, OD)	Purgar tubería	Tomar muestra en superficie.
				No	Purgue la tubería		Tomar muestra y mida en superficie (pH, T, Cond).
	Bombeo hace más de 48 h	Purgar pozos, comprobar Estabilidad de parámetros	Puede meter sonda	Si	Introducir sonda y medir en profundidad (pH, T, Cond, OD)		Tomar muestra en superficie
				No	Tomar muestra y medir en superficie (pH, T, Cond).		
<b>NO</b>	Puede meter sonda	Si	Introducir sonda y medir en profundidad (pH, T, Cond, OD)		Tomar muestra en profundidad usando bailer.		
		No	Tomar muestras en profundidad usando bailer		Verificar parámetros en superficie (pH, T, Cond) y tomar muestra.		

**ANEXO B**

Ejemplo de cálculo de número de extracciones de agua usando un bailer en un sondeo de diferentes dimensiones.

Sondeo	D <sub>Sondeo</sub>	H <sub>Sondeo</sub>	H <sub>Agua</sub>	V <sub>Sondeo</sub>	V <sub>Bailer</sub>	N <sub>Ext</sub>	N <sub>Ext</sub>
	(m)	(m)	(m)	(litros)	(litros)	(1 vez V <sub>Sondeo</sub> )	(3 veces V <sub>Sondeo</sub> )
Sondeo 1	0,05	10	5	9,8	1,0	10	30
Sondeo 2	0,05	15	5	19,6	1,0	20	60
Sondeo 3	0,05	20	5	29,5	1,0	30	90
Sondeo 4	0,10	15	5	78,5	1,0	79	237
Sondeo 5	0,20	15	5	314,2	1,0	315	945
Pozo 1	1,00	8	5	2356,2	1,0	3257	4713

Donde:

- D<sub>Sondeo</sub> = Diámetro de la habilitación del sondeo, [m]
- H<sub>Sondeo</sub> = Profundidad del sondeo, [m]
- H<sub>Agua</sub> = Profundidad del agua subterránea en el sondeo, [m]
- V<sub>Sondeo</sub> = Volumen del sondeo, [litros]
- V<sub>Bailer</sub> = Volumen del bailer, [litros]
- N<sub>Ext</sub> = Número de extracciones para purgar 1 vez el volumen del sondeo.

Memoria de cálculo para purga de Sondeo 1:

$$V_{Sondeo1} = \frac{\pi \cdot D_{sondeo1}^2}{4} \cdot (H_{sondeo1} - H_{Agua}) = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} \cdot (10 - 5) \cdot 1000 = 9,8 \text{ litros}$$

$$N_{Ext} = \frac{V_{Sondeo}}{V_{Bailer}} = \frac{9,8 \text{ litros}}{1,0 \text{ litros}} = 10 \text{ extracciones (purga de 1 vez el volumen del sondeo)}$$

**NOTA:**

En general, un gran número de extracciones de agua con el bailer hace impracticable purgar un sondeo o un pozo mediante el uso de este instrumento. Para casos como éstos, se recomienda llevar a cabo el procedimiento alternativo descrito en el numeral **8.3.2 Extracción usando muestreador bailer**.