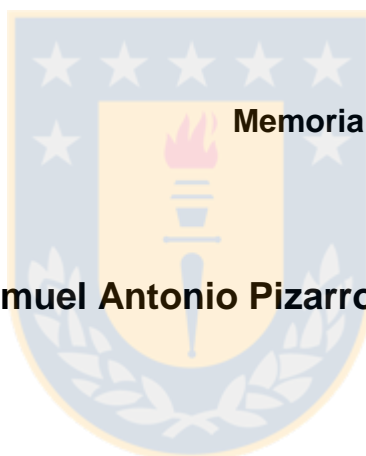




UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA E
HIDROGEOQUÍMICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MAULLÍN
(41°05´-41°46´S Y 72°46´-73°53´W), REGIÓN DE LOS LAGOS,
CHILE.**



Memoria para optar al Título de Geólogo.

Samuel Antonio Pizarro Pavez.

Profesor Patrocinante: Msc. Liubow Nikolaivna González Martínez
Profesionales Guías: Srta. Rosa Alejandra Troncoso Vásquez
Sr. Felipe Ignacio Avilés Maldonado
Profesores Comisión: Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn
Msc. Abraham González Martínez

Concepción, 2019.



Esta memoria está dedicada

A cada uno que me ayudado a ser quien soy, y quien seré.

ÍNDICE.

	Página
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general.	1
1.1.2 Objetivos específicos.	2
1.2 Ubicación y accesos.	2
1.3 Metodología.	3
1.3.1 Etapa de gabinete preterreno.	3
1.3.2 Etapa de Terreno.	5
1.3.2.1 Campaña 1.	5
1.3.2.2 Campaña 2.	6
1.3.2.3 Campaña 3.	6
1.3.2.4 Campaña 4.	6
1.3.3 Etapa posterreno.	7
1.4 Trabajos anteriores.	7
1.5 Clima.	8
1.5.1 Caracterización climática.	9
1.5.1.1 Clima templado lluvioso cálido sin estación seca.	9
1.5.1.2 Clima templado lluvioso cálido con influencia mediterránea.....	9
1.5.1.3 Tundra por efecto de la altura.	9
1.5.1.4 Clima templado lluvioso frío sin estación seca.	10
1.5.2 Precipitaciones.	10
1.6 Agradecimientos.	11
2. HIDROGRAFÍA	13
2.1 Subcuenca del río Maullín.	13
2.2 Red de drenaje.	13
3. MARCO GEOLÓGICO.	17
3.1 Geología del área de estudio.	20
3.1.1 Pleistoceno	20
3.1.1.1 Depósitos Morrénicos Glaciación Río Llico.	20
3.1.1.2 Depósitos Morrénicos Glaciación Santa María.....	20
3.1.1.3 Depósitos Glaciofluviales Glaciación Santa María.....	20
3.1.1.4 Depósitos Morrénicos Glaciación Llanquihue.....	22
3.1.1.5 Depósitos Glaciofluviales Glaciación Llanquihue.....	23
3.1.2 Pleistoceno Medio-Holoceno	24
3.1.2.1 Depósitos de Playa Antiguos	24
3.1.2.2 Depósitos Fluviales Antiguos.....	24
3.1.2.3 Depósitos y rocas de origen piroclástico.	25
3.1.3 Holoceno	25

3.1.3.1 Depósitos de Estuario.....	25
4. HIDROGEOLOGÍA.....	27
4.1 Caracterización de Unidades Hidrogeológicas.....	30
4.1.1 Unidades Hidrogeológicas de alto potencial en depósitos no consolidados.....	30
4.1.1.1 Unidad Hidrogeológica A1.....	30
4.1.1.2 Unidad Hidrogeológica //A1.....	31
4.1.1.3 Unidad Hidrogeológica //A2.....	32
4.1.1.4 Unidad Hidrogeológica A3.....	33
4.1.1.5 Unidad Hidrogeológica /A3.....	34
4.1.2 Unidades hidrogeológicas de bajo potencial en rocas y depósitos no consolidados.....	34
4.1.2.1 Unidad Hidrogeológica C1.....	34
4.1.2.2 Unidad Hidrogeológica //C2.....	35
5. PIEZOMETRÍA.....	36
5.1 Definición del nivel estático.....	36
5.2 Superficie Piezométrica.....	36
6. HIDROGEOQUÍMICA.....	39
6.1 Marco conceptual hidrogeoquímico.....	41
6.2 Parámetros fisicoquímicos.....	41
6.2.1 Conductividad eléctrica.....	41
6.2.2 Temperatura.....	42
6.2.3 Oxígeno.....	42
6.2.4 pH.....	43
6.3 Iones Mayores.....	43
6.3.1 Diagramas Piper.....	44
6.3.2 Diagramas Stiff.....	48
6.4 Relaciones Iónicas.....	49
6.4.1 Índice de intercambio de bases.....	50
6.4.2 Índice rMg/rCa.....	52
6.4.3 Índice rSO ₄ /rCl.....	53
6.4.4 Índice rCl/rHCO ₃	53
6.5 Interpretación hidrogeoquímica.....	55
6.5.1 Elementos mayores.....	55
6.5.2 Relaciones iónicas.....	56
7. ISOTOPÍA.....	58
7.1 Marco conceptual isotópico.....	60
7.1 Composición isotópica de las aguas precipitación.....	61
7.2 Composición isotópica de las aguas superficiales.....	63
7.3 Composición isotópica de las aguas subterráneas.....	63
7.2 Interpretación isotópica.....	67
7.2.1 Aguas de precipitación.....	67
7.2.2 Aguas superficiales.....	67
7.2.3 Aguas subterráneas.....	68

8. CONCLUSIONES	70
9. REFERENCIAS	72

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura.	Página
1. 1. Mapa localización Región de Los Lagos	2
1. 2. Mapa de ubicación área de estudio.....	4
1. 3. Gráfico de precipitación anual promedio.....	11
2. 1. Mapa de la hoya hidrográfica del río Maullín.....	14
2. 2. Gráfico caudal promedio mensual.....	15
2. 3. Mapa red hídrica del área de estudio.....	16
3. 1. Mapa de dominios morfoestructurales	18
3. 2. Mapa Geológico de subcuenca del río Maullín.....	21
4. 1. Mapa Hidrogeológico de la subcuenca del río Maullín.....	28
4. 2. Diagrama de clasificación de Unidades Hidrogeológicas.....	29
5. 1. Gráfico de fluctuación del nivel estático y precipitaciones.....	37
5. 2. Mapa Hidrogeológico con superficie piezométrica.....	38
6. 1. Mapa Hidrogeológico con muestras hidrogeoquímicas.....	40
6. 2. Diagramas C.E.....	42
6. 3. Diagramas de temperatura.....	42
6. 4. Diagramas de oxigenación.....	43
6. 5. Diagramas de pH.....	43
6. 6. Diagrama de Piper.....	44
6. 7. Diagrama Piper subcuenca del Río Maullín.....	45
6. 8. Diagrama Piper Unidades Hidrogeológicas A1 y //A1	46
6. 9. Diagrama Piper Unidad Hidrogeologica //A2.....	47
6.10. Diagrama Piper Unidades Hidrogeológicas A3 y /A3.....	48
6.11. Diagrama Stiff.....	49
6.12. Relación de ICB.....	51
6.13. Relación de rMg/rCa.....	52
6.14. Relación de rSO ₄ /rCl.....	54
6.15. Relación de rCl/rHCO.....	55
7. 1. Mapa Hidrogeológico con muestras isotópicas	59
7. 2. Relación isotopos estables con precipitaciones.....	61
7. 3. Relación δ18O-δ2H	62
7. 4. Relación δ18O-δ2H de A1 y //A1.....	64
7. 5. Relación δ18O-δ2H de //A2.....	65
7. 6. Relación δ18O-δ2H de A3.....	66

ÍNDICE DE TABLAS.

Fotografía.	Página
3. 1. Depósitos Morrénicos Glaciación Santa María.....	22
3. 2. Depósitos Morrenicos Glaciación Llanquihue.....	23

3. 3. Depósitos Glaciofluviales Glaciación Llanquihue.	23
3. 4. Depósitos Glaciofluviales Glaciación Llanquihue con cobertura de ceniza.	24
3. 5. Depósitos Fluviales Antiguos.	25
3. 6. Depósitos y rocas de origen piroclástico	26
3. 7. Depósitos de Estuario.	26

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla.	Página
1. 1. Estaciones meteorológicas.....	10
6. 1. Rangos de salinidad.....	49
7. 1. Clasificación de muestras isotópicas.....	58



RESUMEN.

La subcuenca del río Maullín se emplaza en la Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos. Esta hoya hidrográfica comprende 85 km de longitud, desde la naciente del río Maullín por el Este, hasta su desembocadura en el océano Pacífico que latitudinalmente es limitada por los altos topográficos producidos en las glaciaciones pleistocenas.

Los acuíferos de la subcuenca del río Maullín presentan un sistema de recarga del tipo pluvial. Mientras que los cuerpos de agua superficiales son pluviales con componente nival, influenciado por el lago Llanquihue y sus afluentes cordilleranos.

En base a la geología de superficie y la descripción estratigráfica de captaciones de agua subterránea, se definieron 5 unidades hidrogeológicas, tres de alto potencial, en depósitos no consolidados, que albergan acuíferos libres, libre-cubiertos y/o confinados; y dos de bajo, localizadas en unidades litológicas de ambientes de estuario (C1) y volcánico (C2).

Las unidades hidrogeológicas de alto potencial se identifican en depósitos glaciares Pleistocenos y se clasifican en: A1 (depósitos glaciofluviales y morrénicos de la Glaciación Llanquihue), A2 (depósitos de las glaciaciones más antiguas; Santa María y Río Llico) y A3 (material de origen glaciofluvial de la Glaciación Llanquihue). Cada unidad puede variar localmente por diferencias granulométricas, profundidad de los paquetes de depósitos que la componen o por el grado de meteorización zonal. Causando que en una misma unidad existan variaciones laterales y/o verticales de permeabilidad.

El análisis piezométrico de la subcuenca del río Maullín, indica la existencia de 3 direcciones de descarga subterránea. Una hacia el lago Llanquihue, otra con dirección al seno de Reloncaví y, la más importante, que fluye al río Maullín desde los terrenos ubicados al Norte y Sur, de este cuerpo de agua.

La hidrogeoquímica muestra que los acuíferos reciben una recarga constante por precipitación en todo el trayecto del flujo subterráneo, con aguas dulces de facies Bicarbonatada del Tipo Mixto con cambios leves y locales. Estos últimos por variaciones en la génesis del sustrato que componen los acuíferos.

El patrón isotópico de las lluvias demuestra la influencia en la zona de la continentalización en las precipitaciones, que empobrece en isótopos pesados su registro en dirección SW-NE. Mientras que las aguas de los acuíferos muestran una huella isotópica que comprueba la recarga constante durante su flujo subterráneo con tiempo de residencia aproximado de seis meses.

1. INTRODUCCIÓN.

Este estudio se realizó en la subcuenca del río Maullín con énfasis en la definición de Unidades Hidrogeológicas y su caracterización hidrogeoquímica e isotópica.

La subcuenca del río Maullín se ubica en la Región de Los Lagos (41°05' y 41°46' S - 72°46' y 73°53' W) abarcando toda la extensión del río principal, desde su nacimiento, producto del desagüe del lago Llanquihue, hasta su desembocadura, en el océano Pacífico. Esta hoya hidrográfica se caracteriza por tener precipitaciones durante gran parte del año con un promedio de 1.500 mm/año, las que constituyen las recargas de sus acuíferos.

Debido al sostenido crecimiento poblacional en la región y al incremento en la extracción de agua subterránea, es necesario una mejor conceptualización hidrogeológica de la subcuenca, que permita solventar las necesidades a mediano y largo plazo de los recursos hídricos existentes en los acuíferos.

Para definir las unidades hidrogeológicas, se usó información previa del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), mientras que para la caracterización hidrogeoquímica e isotópica, se utilizaron análisis químicos obtenidos exclusivamente para el proyecto, los cuales permitieron determinar la composición y variación química e isotópica del agua subterránea.

Esta memoria forma parte del proyecto "Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Maullín, Región de Los Lagos" llevado a cabo por el área de Hidrogeología de la Oficina Técnica del SERNAGEOMIN en Puerto Varas. Dicha entidad financió íntegramente este proyecto.

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo general.

Caracterizar los acuíferos y las aguas subterráneas de la subcuenca del río Maullín, entre los 41°05'-41°46'S Y 72°46'-73°53'W, Región de Los Lagos.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Definir las Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de estudio.
- Definir la superficie piezométrica de la subcuenca.
- Determinar direcciones de flujo del agua subterránea.
- Caracterizar mediante análisis hidrogeoquímico e isotópico las aguas de los acuíferos presentes

1.2 Ubicación y accesos.

La zona de estudio se ubica en la Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos, a 24 km al Norte de la capital regional Puerto Montt e inmediatamente al Oeste del lago Llanquihue, comprendiendo a todos los terrenos entorno al río Maullín. Geográficamente se emplaza entre los paralelos $41^{\circ}05'$ y $41^{\circ}46'$ latitud Sur y $72^{\circ}46'$ y $73^{\circ}53'$ longitud Oeste (Figura 1.1).

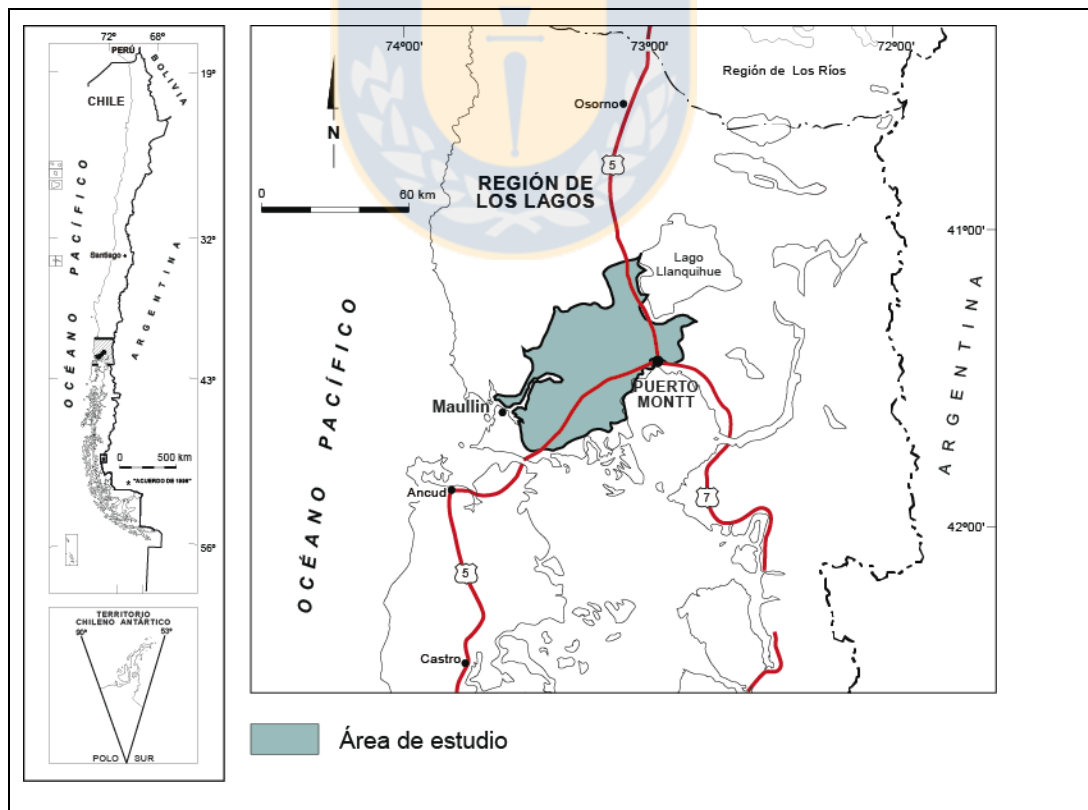


Figura 1.1: Mapa localización Region de Los Lagos.

La subcuenca del río Maullín limita al Oeste con el litoral; al Sur, con los altos previos al canal de Chacao; al Este, con el borde del lago Llanquihue y el volcán Calbuco; y hacia el Norte, con los lomajes que unen Fresia, Llanquihue y Los Muermos (anexo F).

Los cuadrángulos del Instituto Geográfico Militar (IGM) que comprenden la subcuenca son: Maullín, Olmopulli, Los Muermos, Trapén, Tepual, Frutillar, Puerto Montt y Los Bajos (anexo F).

A la zona de estudio se accede por la Carretera Panamericana 5 Sur que posibilita transitar, por empalmes y caminos interiores, los terrenos ubicados al Sur del río Maullín, así como con la ruta V-90 acceder a la desembocadura. El lado Norte se alcanza por la ruta V-50 y V-60, ambas en dirección al poblado de Los Muermos, desde donde por caminos interiores se posibilita la circulación completa del área. Desde Los Muermos es posible dirigirse al estuario, por la ruta V-46 en dirección Lolcura. Al borde nororiental de la subcuenca, se ingresa por el camino interior que bordea al lago Llanquihue, mientras que a su lado suroriental, se alcanza por la V-505, que une Puerto Montt con Puerto Varas, y que permite, además, el acceso al volcán Calbuco. (Figura 1.1).

1.3 Metodología.

La metodología para este trabajo se ha dividido en tres etapas: gabinete de preterreno, terreno y gabinete de posterreno. No obstante, en gran parte del tiempo, cada una de las etapas fue realizada simultáneamente, abarcando las distintas temáticas del estudio hidrogeológico.

1.3.1 Etapa de gabinete preterreno.

En esta etapa se realizó la recopilación de bibliografía relacionada a estudios geológicos, ambientales e hidrogeológicos, para la Región de Los Lagos.

De forma paralela se procede a la recopilación y análisis de expedientes de derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas de captaciones, ubicados dentro del área de estudio. Esta labor se efectuó en dependencias de la Oficina Técnica Puerto Varas del

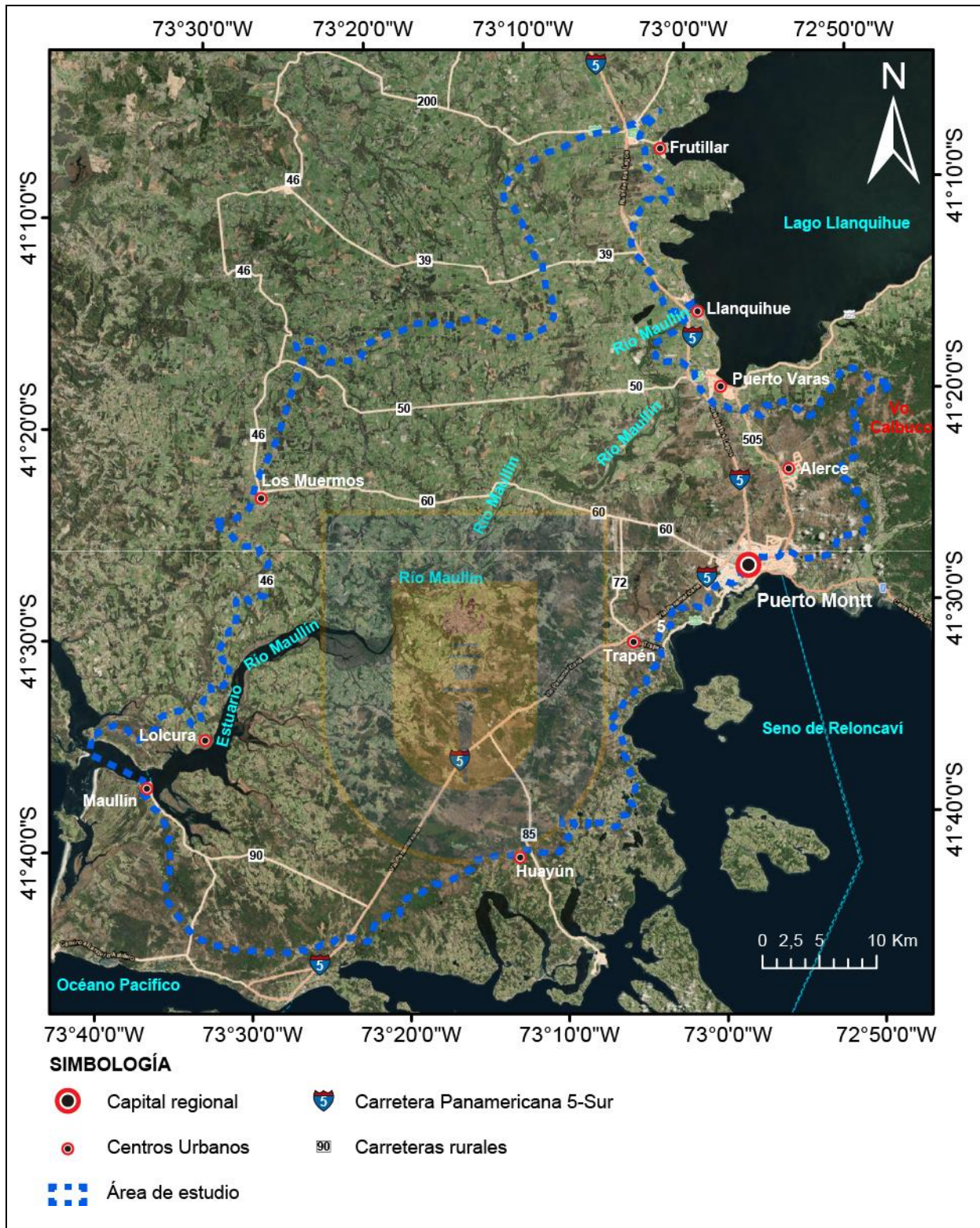


Figura 1.2: Mapa de ubicación área de estudio.

SERNAGEOMIN, importando la información digitalizada obtenida desde la página de Dirección General de aguas (DGA, <http://derechosdeagua.dga.cl>) o solicitándola directamente a esta institución.

Dicha información contiene: descripciones de perforación, habilitación de cribas y caudal de extracción. También, se revisaron estudios geológicos y geomorfológicos de la Región de Los Lagos, tales como Andersen *et al.* (1999), Antinao *et al.* (2000) y Troncoso *et al.* (2008).

Como resultado de esta etapa se obtuvo un catastro preliminar de pozos profundos de captación de agua que sirvió de base el trabajo en terreno y localización geográfica de los recolectores de agua lluvia, con la intención de planificar un muestreo geoquímico e isotópico de precipitación representativo de toda la subcuenca.

1.3.2 Etapa de Terreno.

El trabajo de terreno se llevó a cabo en 4 campañas, detalladas a continuación:

1.3.2.1 Campaña 1 (enero 2015).

Esta campaña tuvo como objetivo reconocer el área de estudio, recopilar datos hidrogeológicos en terreno, comparar y revisar información geológica de la zona.

Para ello, se visitaron y analizaron los afloramientos representativos de las unidades geológicas y se compararon con descripciones anteriores realizadas por SERNAGEOMIN (1998), Antinao (2000a; 2000b) y Andersen *et al.* (1999).

En los pozos visitados se midieron los parámetros fisicoquímicos de pH, conductividad eléctrica, oxigenación y temperatura del agua, con la finalidad de tener una aproximación inicial del comportamiento hidroquímico de las aguas y considerarla en su posterior muestreo. En esta actividad se utilizó el laboratorio portátil WTW *Multi 340i* (propiedad del SERNAGEOMIN). Además se hicieron en cada punto, mediciones de niveles estáticos o dinámicos, para una superficie piezométrica que permita definir la dirección de flujo de las aguas subterráneas. Para esto se utilizó una sonda de nivel *Solinst Water Level Meter, Model 101* (propiedad del SERNAGEOMIN).

1.3.2.2 Campaña 2 (febrero a mayo del 2015).

Esta campaña estuvo orientada al procedimiento de muestreo geoquímico e isotópico de las aguas subterráneas, superficiales y de precipitación.

Para los pozos seleccionados para muestra hidrogeoquímica e isotópica se consideró a aquellos visitados previamente en terreno y que tengan una distribución geográfica representativa para toda la subcuenca. En cada uno se midieron sus parámetros fisicoquímicos y se recolectaron 3 muestras del agua, las que fueron enviadas al laboratorio del SERNAGEOMIN en Santiago, para análisis de elementos mayores, menores y trazas, y también al laboratorio de CCHEN en Santiago, para isótopos de ^{18}O y ^2H .

1.3.2.3 Campaña 3 (Agosto 2015).

En esta campaña se efectuaron las mediciones complementarias de niveles estáticos y con su levantamiento topográfico (alturas y coordenadas de mayor precisión) para el posterior cálculo de las cotas de los niveles piezométricos en cada pozo.

Al inicio de esta campaña, se priorizaron las mediciones de niveles estáticos en pozos que cuentan con la mayor información estratigráfica y de habilitación, según expedientes de DGA.

En la segunda parte, se hizo un levantamiento topográfico en detalle para toda la subcuenca, usando la Estación Total (*Astech X-Treme GPs*). Los datos fueron procesados por el programa *AshTech Solution* con instrumentación del SERNAGEOMIN en Puerto Varas. Esta información, permitió definir de forma más precisa la topografía de las zonas planas del área, las cuales dificultaban la delimitación Norte y Sur de la hoya hidrográfica; además de posibilitar el levantamiento topográfico del trazado para el Perfil Hidrogeológico.

1.3.2.4 Campaña 4 (septiembre 2015).

Esta campaña se enfocó en complementar las zonas con menor información hidrogeológica e hidrogeoquímica realizando muestreos y toma de datos específicas.

Además se aprovechó de efectuar un nuevo levantamiento topográfico, para mejorar la información obtenida y precisar el relieve de la subcuenca.

1.3.3 Etapa posterreno.

En esta etapa se procesaron los datos recolectados en terreno y se analizaron los resultados químicos e isotópicos entregados por los laboratorios.

Se definen las unidades hidrogeológicas mediante la estratigrafía de pozos de los expedientes de derechos de agua recopilados desde la DGA. La descripción de las columnas estratigráficas fue estandarizada en el *software Strater 4*. Se elabora el Mapa Hidrogeológico con el *software ArcGIS v10* y el Perfil Hidrogeológico con *Adobe Illustrator CS5*.

Para clasificar y visualizar las facies hidrogeoquímicas del agua se usaron diagramas de Piper (1944) y Stiff (1951), organizados en *Microsoft Excel 2010*, ilustrados en el *software Diagramme 6.5v*. Para comparar los parámetros fisicoquímicos y relaciones entre elementos se usa el complemento de *Microsoft Excel 2010* para análisis estadístico *XLSTAT 2014*, que facilita graficar en diagramas de caja y dispersión.

Para la representación gráfica de los valores isotópicos se emplea el programa *Diagramme 6.5v 2015*, el cual posibilita directamente graficar la relación de isótopos ^{18}O y ^2H .

1.4 Trabajos anteriores.

La Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) en los años 1974, 1981 y 1983. Realiza 11 sondajes profundos en la Región de Los Lagos, los que cuentan con información estratigráfica detallada, logrando distinguir el basamento metamórfico y las unidades sedimentarias terciarias. En el año 1984, mediante estudios de gravimetría construye un mapa isobático del basamento geológico entre las provincias de Osorno y Llanquihue.

SERNAGEOMIN en conjunto con el *Bureau De Recherches Géologiques Et Minières* (1995) publican la Carta Metalogénica de la Región de Los Lagos Sur, Chile.

Duhart *et al.* (1998) hacen la geología preliminar del área cordillera de Zarao-Río Llico.

SERNAGEOMIN (1998) confecciona el estudio geológico-económico de la Región de Los Lagos Norte.

Andersen *et al.* (1999) publican el estudio de geomorfología glaciaria que comprende a la Región de Los Lagos.

Antinao *et al.* (2000a) confeccionan la hoja Ancud-Maullín correspondiente a la Serie Carta Geológica de Chile N°17, escala 1:100.000.

Antinao *et al.* (2000b) publican Estudio geoambiental del área Puerto Montt-Frutillar, X Región de Los Lagos, a escala 1:100.000, cubriendo la zona de mayor densidad de población (Puerto Montt-Llanquihue).

Clayton y Antinao en SERNAGEOMIN (2000) confeccionan hoja Parga-Calbuco, correspondiente a la Serie Carta Geológica de Chile N°16, escala 1:100.000.

Elgueta *et al.* (2000) definen la estratigrafía y sedimentología de las cuencas terciarias de la Región de Los Lagos.

Troncoso *et al.* (2008) realizan un levantamiento hidrogeológico y de potencial de aguas subterráneas en la Depresión Central de las regiones de Los Ríos y Los Lagos.

Sellés y Moreno (2011) confeccionan la Carta Geológica de Chile, serie Geología Básica, N°130, Geología del volcán Calbuco, a escala 1:50.000, cubriendo la zona volcánica de la subcuenca.

Morales *et al.* (2015) redefine, mediante perfiles gravímetros el comportamiento de las unidades geológicas en profundidad, para la Provincia de Los Lagos.

1.5 Clima.

Dentro del análisis climatológico se incluye la caracterización de los distintos tipos de clima en la zona de estudio y se analizan los registros de precipitaciones de las estaciones meteorológicas instaladas en el área.

1.5.1 Caracterización climática.

Según Fuenzalida (1971) las condiciones térmicas e hídricas de la Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos, se encuentran reguladas por tres factores:

- La influencia oceánica, que penetra desde el litoral hacia el interior.
- La continentalidad, dominante hacia el interior de la Depresión Intermedia (Central).
- El efecto de los grandes cuerpos de agua existentes.

Según este sistema climático (Fuenzalida, 1971) en la Región de Los Lagos, se reconocen los siguientes tipos:

1.5.1.1 Clima templado lluvioso cálido sin estación seca.

Abarca desde Puerto Varas al Norte. Su principal característica, a diferencia del clima mediterráneo, es la ausencia de una estación seca, aunque es posible apreciar una disminución significativa de las precipitaciones durante el verano. Las precipitaciones varían de 1.800 a 2.500 mm/año y las temperaturas medias anuales oscilan entre 9°C a 12°C.

1.5.1.2 Clima templado lluvioso cálido con influencia mediterránea.

Se distribuye desde la ciudad de Puerto Varas, en la costa Sur del lago Llanquihue (Depresión Intermedia), hasta el mar interior de Chiloé y canal de Chacao. Cuenta con un clima extremadamente húmedo, donde las precipitaciones se aproximan a los 2.000 mm/año.

1.5.1.3 Tundra por efecto de la altura.

Se ubica en la zona alta de la Región de Los Lagos y se relaciona con el relieve montañoso, hacia cotas superiores a los 1.000 m s.n.m. Se caracteriza por ir disminuyendo desde un clima de Tundra. Las precipitaciones superan los 3.000 mm/año y las temperaturas mínimas permanecen gran parte del año bajo los 0° C. Su límite inferior se localiza alrededor de 1.800 m s.n.m, en la parte septentrional y 1.200 m s.n.m., en la parte meridional.

1.5.1.4 Clima templado lluvioso frío sin estación seca.

Se ubica en la zona comprendida sobre los 500 m s.n.m., cota que corresponde aproximadamente al trazado de la isoterma invernal de 5°C y se desarrolla, en altitud, hasta el límite de las formaciones vegetacionales.

Este clima se caracteriza por tener elevadas precipitaciones anuales, que van del orden de los 2.500 mm a más de 4.000 mm, las que caen en forma de nieve durante 4 a 6 meses. La temperatura media anual varía entre 9°C a 6°C, y en verano medias entre los 10°C y 15°C. La oscilación media anual es de 10 °C, donde en invierno la temperatura mínima media muy cercana a 0°C.

1.5.2 Precipitaciones.

Para este estudio se utilizaron datos meteorológicos de la estación Frutillar, perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC); las estaciones de Maullín y Frutillar de la Dirección General de Aguas (DGA); y las estaciones de Colegual, Llanquihue y Quilanto en la siguiente tabla:

Tabla 1.1: Estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de estudio.

Estación / Ubicación	Institución	Altitud (m)	Coordenadas (UTM)	
			Norte	Este
Frutillar Centro Experimental	DMC	80	5444578	665070
Frutillar	DGA	142	5445290	662762
Maullín	DGA	5	5391909	616647
Puerto Montt	DGA	90	5408043	672237
Colegual, Llanquihue	INIA	177	5435156	645860
Quilanto, Frutillar	INIA	161	5455931	668450

La precipitación en la provincia y en la zona de estudio, tiene promedios de 1.573,67 mm/año y concentra, entre los meses de abril a septiembre, la mayor cantidad de lluvia (>150 mm/mes) con máximas en el mes de Junio correspondientes a 350 mm/mes (Figura 1.3).

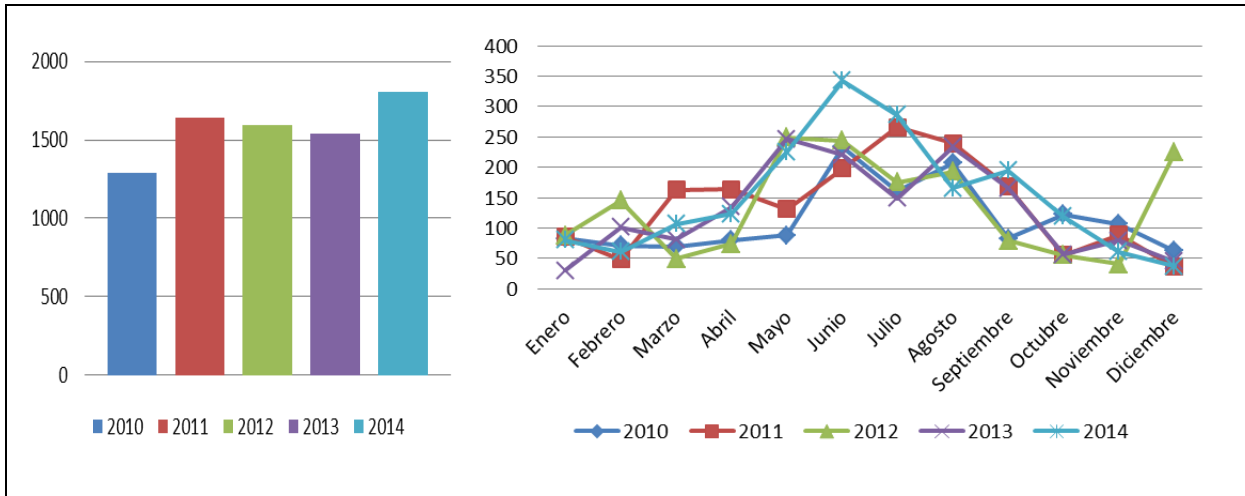


Figura 1.3: Gráfico de precipitación anual promedio para la cuenca del río Maullín durante los años 2014 al 2015 (izquierda). Gráfico de precipitación acumulada mensual para la cuenca del río Maullín durante los años 2010 al 2014 (derecha).

1.6 Agradecimientos.

Al Servicio Nacional de Geología y Minería que financió este proyecto y me permitió poder realizar este hermoso trabajo.

A mis compañeros de SERNAGEOMIN en Puerto Varas: Rosa Troncoso, David Quiroz y Paul Duhart, quienes apoyaron este estudio y confiaron en mí para poder desarrollarlo, especialmente a Rosa, quien fue mi guía y respuesta a mis dudas.

A mis profesores del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, que me formaron como profesional y me enseñaron a querer y comprender esta ciencia. Especialmente a los profesores Ms. Liubow González y Dr. Luis Quinzio, que aunque pasen años, siempre me siguen demostrando sus conocimientos.

A mi familia: mi padre Samuel, mi madre María Elena y mi hermano Hernán que en todo momento me han extendido su mano para poder seguir adelante con mi vida y poder disfrutarla. También a mi primo Jorge y mi familia de Puerto Varas por ayudarme, conversar y enseñarme cuando más lo necesite.

A Camila quien ha sido mi luz y fuerza cada vez que lo necesite, impulsándome más allá de lo que yo nunca creí ser capaz.

A mi amigo Daniel, quien desde el colegio me ha acompañado y aguantado con mis conversaciones geológicas.

A Matías quien me alegro y me hizo feliz cuando más lo necesite, siempre me acompañaras en mis recuerdos.

A todos aquellos que han pasado y han dejado un granito de sus enseñanzas en mi vida.



2. HIDROGRAFÍA.

La zona de estudio comprende parte de la hoya hidrográfica del río Maullín, la que se caracteriza por contener tres subcuencas hidrológicas menores (Figura 2.1) que son:

- Subcuenca del río Quenuir, presenta un sistema único pluvial de aportes propios al río principal que desemboca en el estuario del río Maullín.
- Subcuenca del lago Llanquihue, con sistema pluvial y glaciofluvial de aportes propios y cerrados de agua.
- Subcuenca del río Maullín y área de estudio, consta de un sistema pluvial mixto de aportes propios a la subcuenca (afluentes) y aportes externos de agua (lago Llanquihue). Con un río principal que desagua directamente al océano Pacífico.

A continuación se describirá con más detalle la subcuenca del río Maullín, por ser el objetivo de este estudio.

2.1 Subcuenca del río Maullín.

Denominada por su río principal (nombre homónimo) integra los terrenos ubicados al Norte y Sur de su rivera, desde su nacimiento en la ciudad de Llanquihue por el Este hasta su desembocadura en el océano Pacífico por el Oeste. Con un recorrido de 85 km y un área de 2.288 km² (Figura 2.1).

El río Maullín en todo su transcurso al océano recibe aportes constantes de sus tributarios. Su caudal promedio mensual entre los años 2005 y 2015 es de 42 a 158,77 m³/s, con régimen pluvial y con crecidas entre los meses de junio y agosto (Figura 2.2).

2.2 Red de drenaje.

La subcuenca del río Maullín tiene dos tipos morfologías en su red de drenaje, estas son:

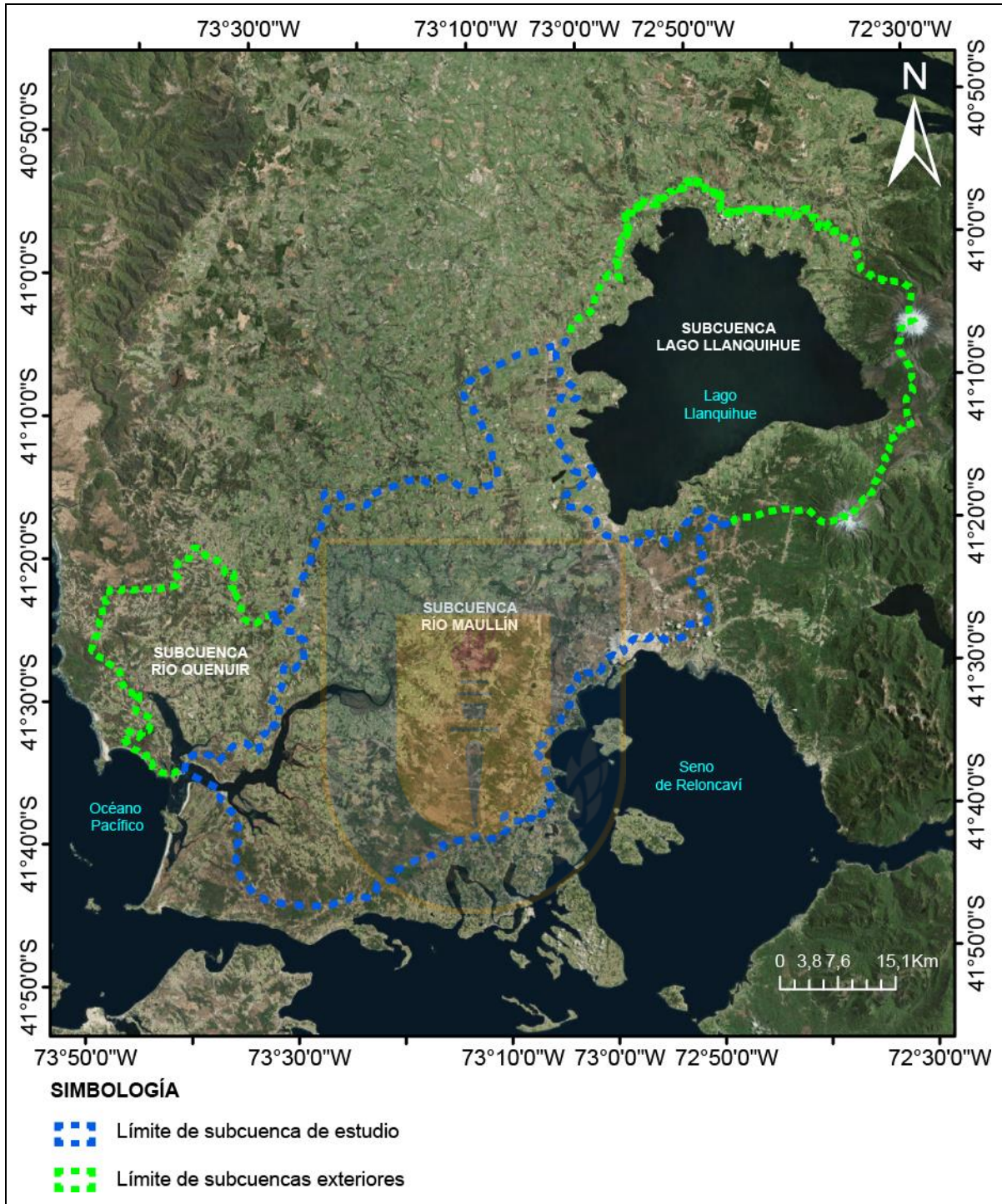


Figura 2.1: Mapa de la hoya hidrográfica del río Maullín.

- Dendrítica (Figura 2.3), ubicada en los tributarios y en el curso superior del río Maullín. Se caracteriza por ser de un alto potencial erosivo que forma pequeños valles en forma de "V".

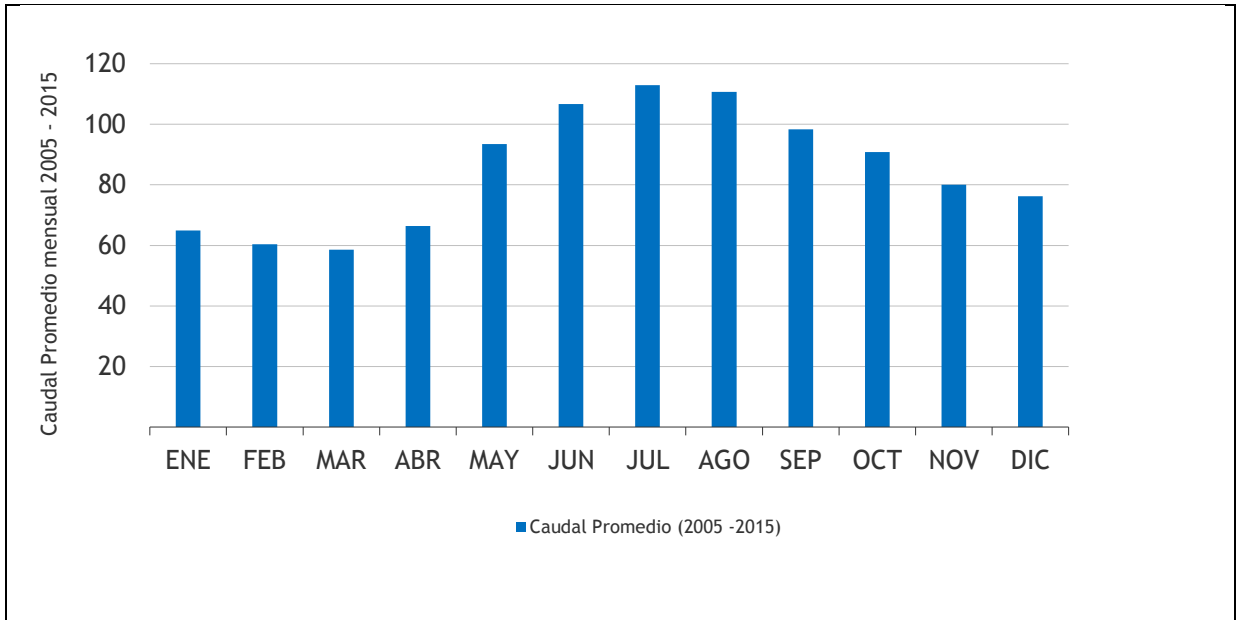


Figura 2.2: Gráfico de barras de caudal promedio mensual entre los años 2005 y 2015 (datos obtenidos de DGA).

- Anastomosada con barras y canales (Figura 2.3), ubicada en el curso inferior del río Maullín. Caracterizada por un alto potencial depositacional y por el aumento en el tamaño del cauce principal que termina en un gran estuario con desembocadura al océano Pacífico.

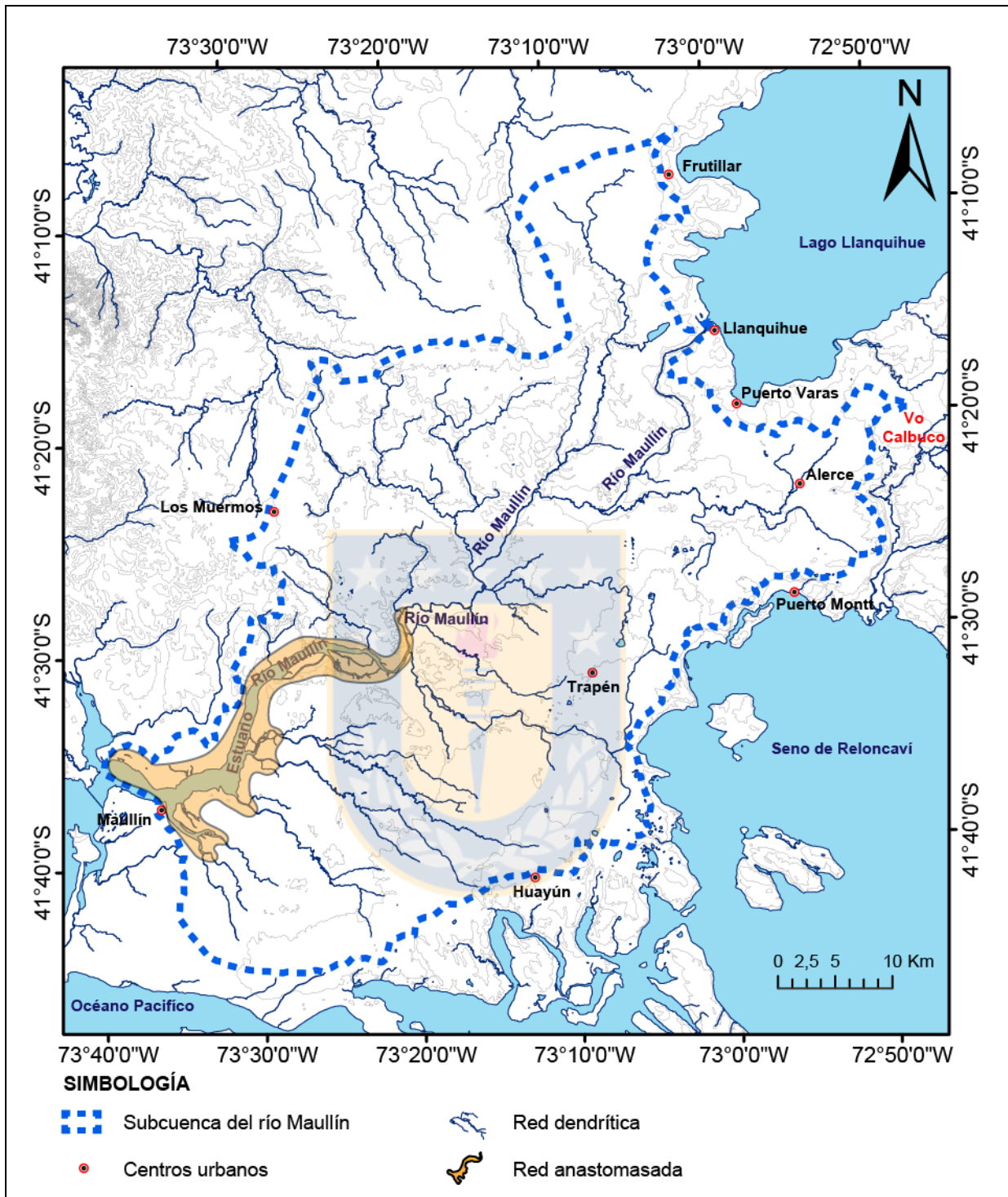


Figura 2.3: Mapa hidrográfico del área de estudio.

3. MARCO GEOLÓGICO.

Según las unidades morfoestructurales definidas para el margen tectónico andino (Tassara et al., 2003) y delimitadas por Duhart (2000) para la Región de Los Lagos, en la subcuenca del río Maullín se identifican tres unidades, que de Oeste a Este son: cordillera de La Costa, Depresión Intermedia y cordillera de Los Andes (Figura 3.1).

La cordillera de La Costa, ubicada en el borde occidental de la Región de Los Lagos (Figura 3.1), representa un relieve positivo estructurado por rocas emergidas del antearco del frente de subducción del centro Sur de Chile (Duhart *et al.*, 2010).

Esta morfoestructura, está constituida principalmente por rocas del basamento metamórfico, asignadas al Complejo Metamórfico Bahía Mansa e interpretadas como un prisma paleoacrecionario del Carbonífero-Pérmico y, en menor cantidad, por rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas de edad Oligo-Mioceno que contiene a los Estratos Cheuquemó (García, 1968), Estratos de Parga (Flores, 1976) y a la Formación Caleta Godoy (Valenzuela, 1982). Además de otro marino-continental representado por la Formación de Santo Domingo (Martínez y Pino, 1979) de edad Mioceno inferior-Mioceno medio y uno volcánico, constituido por lavas del Complejo Volcánico Ensenada-Capitanes (Duhart *et al.*, 1998) y Caleta Parga (Duhart *et al.*, 1998), de edad Oligo-Mioceno.

El cuaternario en esta unidad morfoestructural está representado por escasos depósitos no consolidados de edad Pleistoceno Inferior a Medio de origen glacial y fluvio-glacial (Duhart, 1999).

La Depresión Intermedia se localiza entre la cordillera de La Costa y la cordillera de Los Andes (Figura 3.1), es caracterizada como una unidad morfoestructural deprimida, que durante el terciario correspondió a una cuenca sedimentaria extensional, colmatada (Elgueta *et al.*, 2000), la que hacia Pleistoceno, fue completamente rellena por la acción depositacional del retroceso glacial (Andersen *et al.*, 1999).

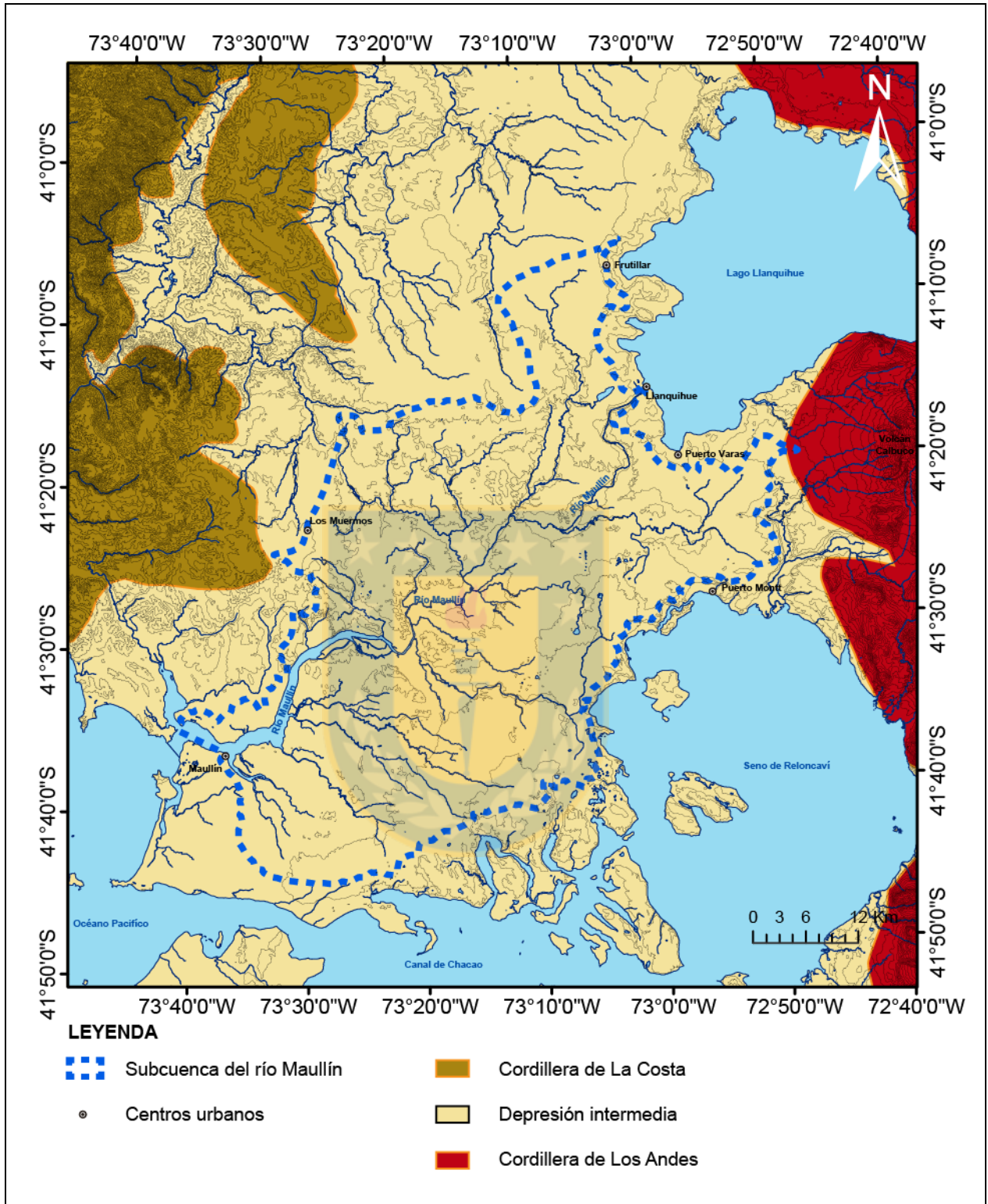


Figura 3.1: Mapa de dominios morfoestructurales del área de estudio. Modificado de Duhart (2000).

Las unidades sedimentarias terciarias que la constituyen, se ubican en un lineamiento Norte-Sur al Oeste del Basamento Metamórfico Bahía Mansa (Duhart, 1999) y se compone por: Estratos Pupunahue-Catamutún (Illies, 1970) y Estratos de Cheuquemó (García, 1968) ambos de edad Oligo-Mioceno; que a la vez, infrayacen a las secuencias miocenas inferior a miocenas medias, marinas-continentales, retrogradantes de la Formación Santo Domingo (Martínez y Pino, 1979).

Las unidades pleistocenas-holocenas que colmataron a la cuenca sedimentaria, se asocian a los distintos episodios glaciares datados y definidos como Glaciación Llanquihue, Glaciación Santa María, Glaciación Río Llico y Glaciación Tegalda (Antinao *et al.*, 2000), que formaron depósitos morrénicos, fluviales y glaciofluviales en la región. Hacia el Holoceno y sobre estos, se ubican: depósitos volcánicos, producidos por los centros eruptivos Calbuco y Osorno; depósitos de estuario, en el delta del río Maullín; y depósitos eólicos además de playa en el litoral (SERNAGEOMIN, 1998).

La morfoestructura más oriental es la cordillera de Los Andes (Figura 3.1) está compuesta por rocas ígneas y en menor medida, sedimentarias y metamórficas (Duhart, 1999).

La unidad intrusiva que constituye a este macizo es el Batolito Norpatagónico (Parada *et al.*, 1997) compuesto por unidades de edad Paleozoico, tonalitas de hornblenda y biotita; Jurásico, granodiorita y granitos de biotita; Cretácico, tonalitas y dioritas (Munizaga *et al.*, 1988) y, en menor proporción, existe un evento Eoceno-Mioceno diorítico, tonalítico y granítico (SERNAGEOMIN-BRGM, 1995; Parada *et al.*, 1997).

Las unidades volcánicas de esta morfoestructura varían desde composiciones andesíticas a basálticas producto del arco volcánico actual (en la zona de estudio: volcán Calbuco). Mientras las volcanosedimentarias están caracterizadas por las Fm. Pichicolo de edad Jurásico-Cretácico (SERNAGEOMIN-BRGM, 1995); Estratos Lago Ranco de edad Cenozoico (Campos *et al.*, 1998) y Fm. Ayacara de edad Mioceno temprano a medio (SERNAGEOMIN-BRGM, 1995; Encinas *et al.*, 2008).

Sobreyacen en esta morfoestructura a todas las unidades los depósitos piroclásticos andesíticos a dacíticos holocenos, que han sido expulsados por los complejos volcánicos ubicados en el sector.

3.1 Geología del área de estudio.

A continuación se describen las rocas y depósitos no consolidados que se encuentran en la subcuenca del río Maullín (Figura 3.2), de acuerdo a su edad (del más antiguo al más nuevo) y se utiliza la escala geológica de Coen *et al.* (2014).

3.1.1 Pleistoceno

3.1.1.1 Depósitos Morrénicos Glaciación Río Llico (Plm3)

SERNAGEOMIN (1998) los localiza principalmente en la Provincia de Osorno y observándose en la zona de estudio, al Norte al de la subcuenca. El material que lo conforma, posee una facie matriz soportada limo-arcillosa, mal seleccionada y sin estratificación, con clastos de composición ígnea (basáltica a andesítica) tamaño grava y con oxidación de minerales ferromagnesianos. Esta última característica le brinda tonalidad distintiva anaranjada amarillenta al depósito (SERNAGEOMIN, 1998). Basándose en el grado de meteorización SERNAGEOMIN (1998) le otorga una edad pleistocena media similar a los acontecimientos ocurridos durante la Glaciación Río Llico.

3.1.1.2 Depósitos Morrénicos de la Glaciación Santa María (Plm2).

Antinao *et al.* (2000a) los identifica en una franja de dirección NNE-SSW al Norte de río Maullín (Figura 3.2) que estratigráficamente, se ubican bajo los depósitos glaciares de la Glaciación Llanquihue (Andersen *et al.*, 2000). La unidad está compuesta por clastos mal seleccionados matriz soportados, alterada, compacta y semicementada por limos y arenas finas de color gris (Fotografía 3.1). Los clastos tamaño gravas son subredondeados a redondeados, con facetas y estrías glaciares (SERNAGEOMIN, 1998). Antinao *et al.* (2000a) diferencia esta unidad del resto, por poseer en sus clastos con cascarras de meteorización con espesores de 2 a 3 mm.

3.1.1.3 Depósitos Glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2).

Antinao *et al.* (2000a) los localiza adyacentes a los depósitos morrénicos de la Glaciación Santa María (Figura 3.2). Están compuestos por clastos de grava y arena (de moderada selección) en una matriz arenosa, con presencia de dendritas de manganeso en sus horizontes superiores (principal característica). La unidad tiene estratificación horizontal

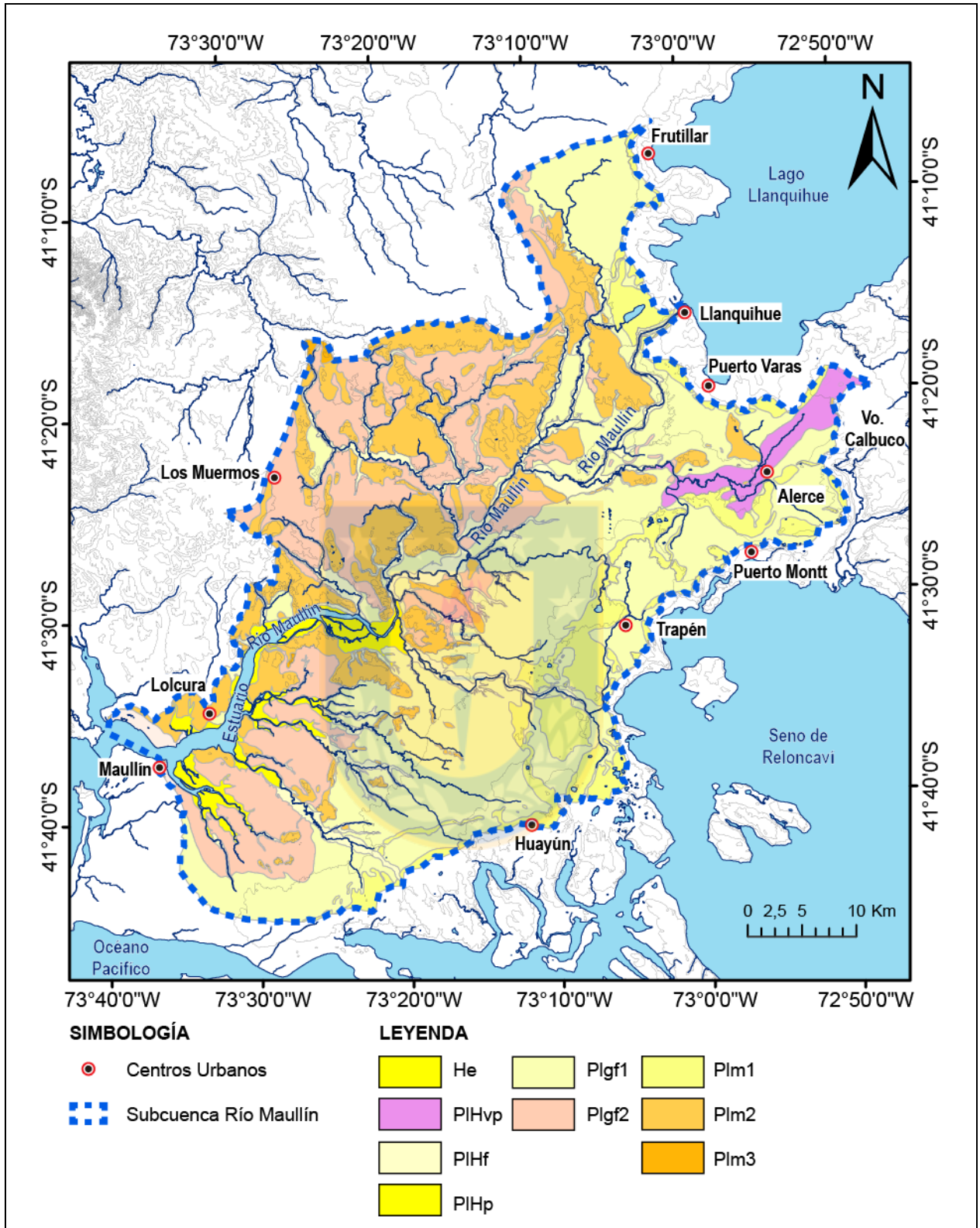
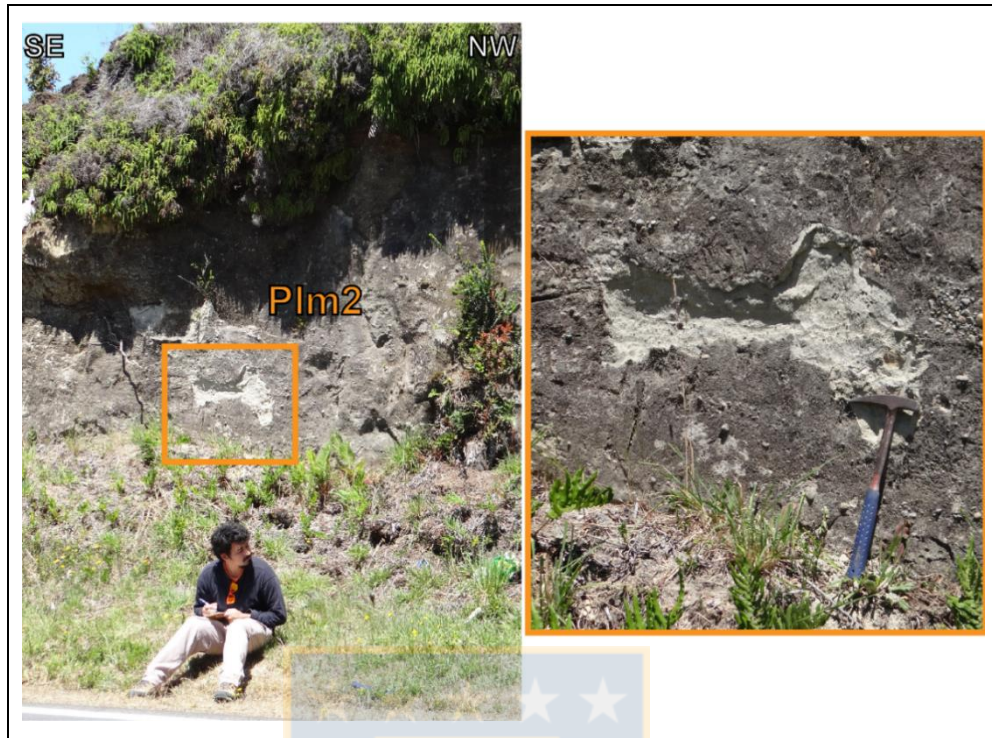


Figura 3.2: Mapa Geológico de la subcuenca del río Maullín (modificado de Troncoso et al., 2015).



Fotografía 3.1: Depósitos Morrénicos de la Glaciación Santa María (Plm2). Sector río Cariquilda. En cuadrado naranja: matriz alterada y compactada, semicementada en limos y arenas finas de coloración gris.

y cruzada granodecreciente, que generalmente, se encuentran interestratificadas con limos y lentes de gravas medias a arenas (SERNAGEOMIN, 1998). Localmente, y donde las gravas representan parte importante de la sedimentación, se forman facies clasto soportadas mal seleccionadas y estratificadas. (SERNAGEOMIN, 1998).

3.1.1.4 Depósitos Morrénicos de la Glaciación Llanquihue (Plm1).

Antinao *et al.* (2000a) los define como depósitos de *till* de la última glaciación y localizados en la parte Sur de la Región de Los Lagos (Figura 3.2) que sobreyacen a las unidades glaciales más antiguas de la zona. Se compone por facies clasto soportadas a matriz soportadas (Fotografía 3.2) de gravas gruesas a finas, de composición dacítica a andesítica con mala selección y limos y arenas finas con carácter volcánico e intrusivo (SERNAGEOMIN, 1998).



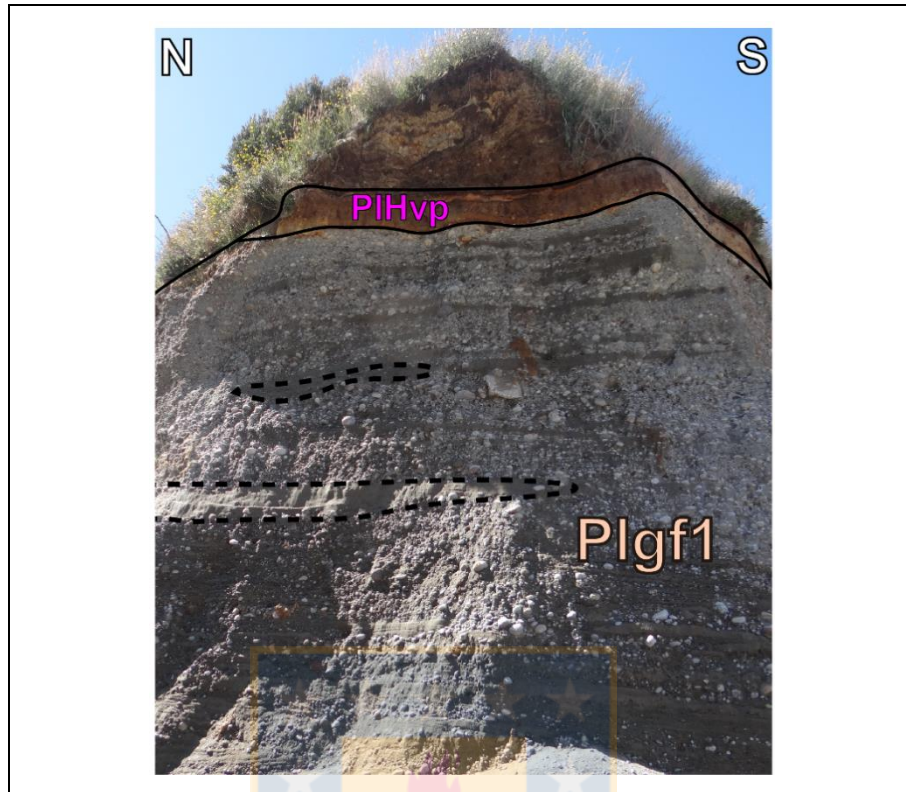
Fotografía 3.2: Depósitos Morrenicos de la Glaciación Llanquihue (Plm1). Sector Panitao.

3.1.1.5 Depósitos Glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1).

Antinao *et al.* (2000a) los identifica adyacente a los depósitos morrénicos de la Glaciación Llanquihue, distribuyéndose desde Frutillar hacia seno de Reloncaví en una franja de orientación NE-SW (Figura 3.2). Se constituye de facies clasto soportada de composición volcánica (dacítica a andesítica) con gravas bien seleccionadas, sin alteración y compactas, en una matriz de arenas gruesas con limos y arcillas (Andersen *et al.*, 2000) que a medida que se aleja de su depósito morrénico (Glaciación Llanquihue) presenta un mayor grado de estratificación plana, cruzada y granodecreciente, interestratificado con lentes de arena y limos laminados (Fotografía 3.3). A su vez, que al ir aproximándose volcán Calbuco comienza a presentar en sus capas superiores una cobertura volcánica de ceniza o lapilli del volcán Calbuco (Fotografía 3.4).



Fotografía 3.3: Depósitos Glaciofluviales de Glaciación Llanquihue (Plgf1) con lentes de arena (línea segmentada blanca). Tomada desde camino a Tepual.



Fotografía 3.4: Depósitos Glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (PIgf1) con cobertura de ceniza (PIHvp) en localidad de Alerce. Línea segmentada negra lentes de limos y arenas.

3.1.2 Pleistoceno Medio-Holoceno

3.1.2.1 Depósitos de Playa Antiguos (PIHp)

SERNAGEOMIN (1998) las define en la desembocadura del río Maullín. En el área de estudio se localizan en la zona litoral de Lolcura (Figura 3.2). El depósito se compone por arenas y gravas de buena selección, bien redondeadas y esféricas que sobreyacen a todos los depósitos glaciares del área (SERNAGEOMIN, 1998). Fueron causados por un ambiente de costa, posterior a la Glaciación Llanquihue.

3.1.2.2 Depósitos Fluviales Antiguos (PIHf)

SERNAGEOMIN (2000) las identifica en paleoterrazas por sobre 10 m sobre el lecho actual (Figura 3.2; Fotografía 3.5:). Se constituye por gravas moderadas a bien seleccionadas con buen redondeamiento, en matriz de arenas gruesas a medias de buena selección con estratificación cruzada, planar y granodecreciente, con algunos sectores de limos laminados (SERNAGEOMIN, 1998). Originados por antiguos cauces

fluviales por el desagües de lagos entrampados durante la Glaciación Llanquihue (Andersen *et al.*, 1999).



Fotografía 3.5: Depositos Fluviales Antiguos (PIHf) Tomados desde el río Maullín.

3.1.2.3 Depósitos y rocas de origen piroclástico (PIHvp).

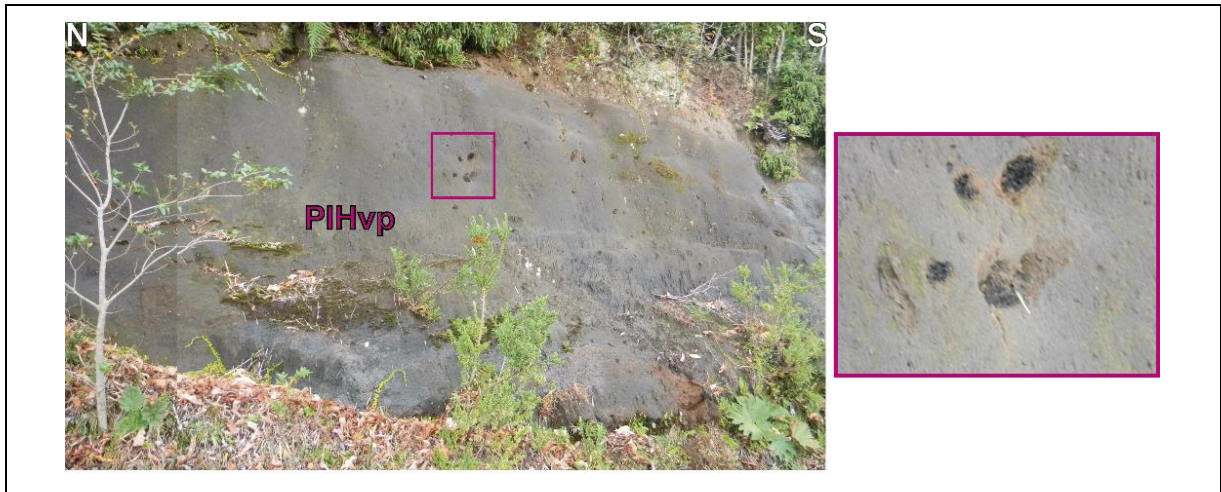
Moreno *et al.* (2010) las determina en la zona del volcán Calbuco. En el área de estudio, se encuentran distribuidas en ladera occidental de este centro eruptivo y en una franja NW-SW hacia la localidad de Alerce (Figura 3.2). El depósito se caracteriza por presentar intercalación de gravas finas a media con arenas volcánicas y cenizas argilizadas, además de poseer piroclastos de caída, asociados a coladas de lava intercaladas con material volcanoclástico, este último descrito como una acumulación de escoria, ceniza y/o pómez, con una ignimbrita de gran heterogeneidad y baja consolidación (Fotografía 3.6) la cual es nombrada por Moreno *et al.* (2010) como Ignimbrita Alerce.

3.1.3 **Holoceno.**

3.1.3.1 Depósitos de Estuario (He).

Antinao *et al.* (2000a) las identifica en el estuario del río Maullín distribuyéndose a lo largo de los sus lechos y riveras tanto en la parte baja como media de la subcuenca (Figura

3.2). Compuestas por arenas finas, limos y arcillas. Se caracterizan por formar grandes terrazas de paleocauces, producidas durante la etapa glacial y posglacial, las cuales, en



Fotografía 3.6: Depósito y de rocas de origen piroclástico (PIHvp). Ignimbrita Alerce Sector Colonia La Poza. En magenta: restos de madera carbonizada.

la desembocadura del río principal (Fotografía 3.7) presentan sedimentación actual producto de las mareas (SERNAGEOMIN, 1998).



Fotografía 3.7: Depósitos de Estuario en zona de inundación mareal del río Maullín.

4. HIDROGEOLOGÍA.

Troncoso *et al.* (2008) define las Unidades Hidrogeológicas como un conjunto de rocas o depósitos no consolidados que por su petrografía, textura o estructura poseen propiedades de porosidad y permeabilidad uniformes, con límites definidos. Aun así y especialmente en los depósitos glaciares, es posible encontrar en una misma unidad con diferentes propiedades hidrogeológicas (Troncoso *et al.*, 2015).

Su unidad base la constituye un acuífero, que corresponde a una formación geológica, grupo de formaciones o partes de estas, que contienen suficiente material permeable saturado para transmitir el agua. (Troncoso *et al.*, 2013).

Para el estudio, se recopiló información de los expedientes de DGA y se hicieron 43 columnas estratigráficas (anexo A). De las cuales, solo 39 contienen estratigrafía, habilitación y nivel estático del agua (anexo A).

En base a la geología de superficie del SERNAGEOMIN (1998) y Antinao *et al.* (2000a y 2000b), el análisis de estratigrafía de pozos y las observaciones de terreno, se procede a confeccionar el mapa hidrogeológico de la subcuenca del río Maullín (Figura 4.1), para mayor detalle del mapa recurrir a anexo F.

Se han clasificado las Unidades Hidrogeológicas de este estudio según su potencial hidrogeológico (alto, moderado, bajo y muy bajo a nulo), aptitud productiva, información técnica y extensión lateral, y se identifican en el mapa (Figura 4.1:), según el esquema de colores modificado de Struckmeier y Margat (1995, Figura 4.2).

El esquema cataloga el potencial hidrogeológico con las letras A, B, C y D, y se acompañan por un índice numérico que determina la jerarquía relativa dentro de la clase, donde:

- A. Acuíferos de alto potencial hidrogeológico.
- B. Unidades hidrogeológicas con capacidad hidrogeológica moderada.
- C. Acuíferos con potencial hidrogeológico bajo a muy bajo
- D. Unidades hidrogeológicas con nulo potencial hidrogeológico.

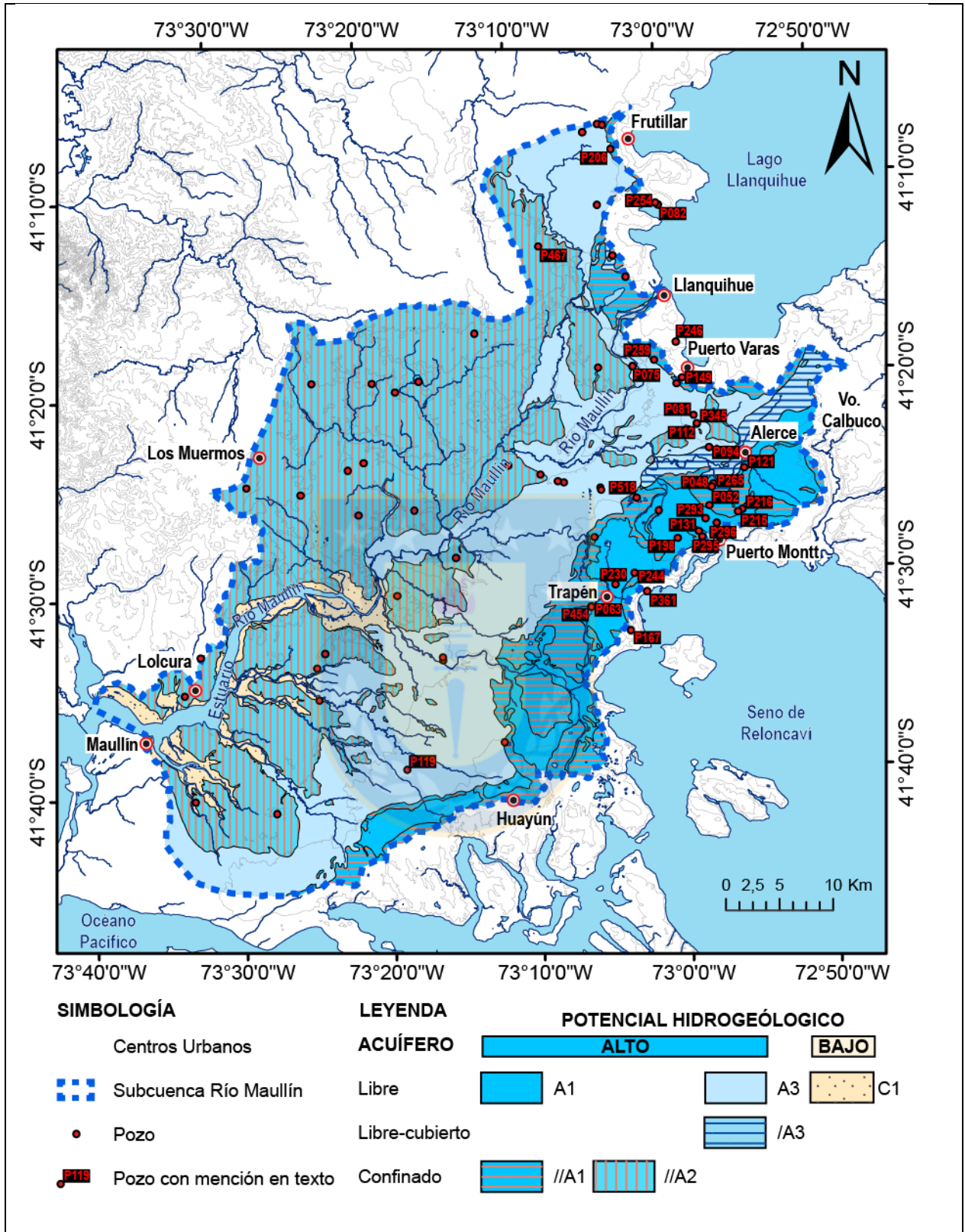


Figura 4.1: Mapa Hidrogeológico de la subcuenca del río Maullín. Potencial hidrogeológico según Struckmeier y Margat (1995)

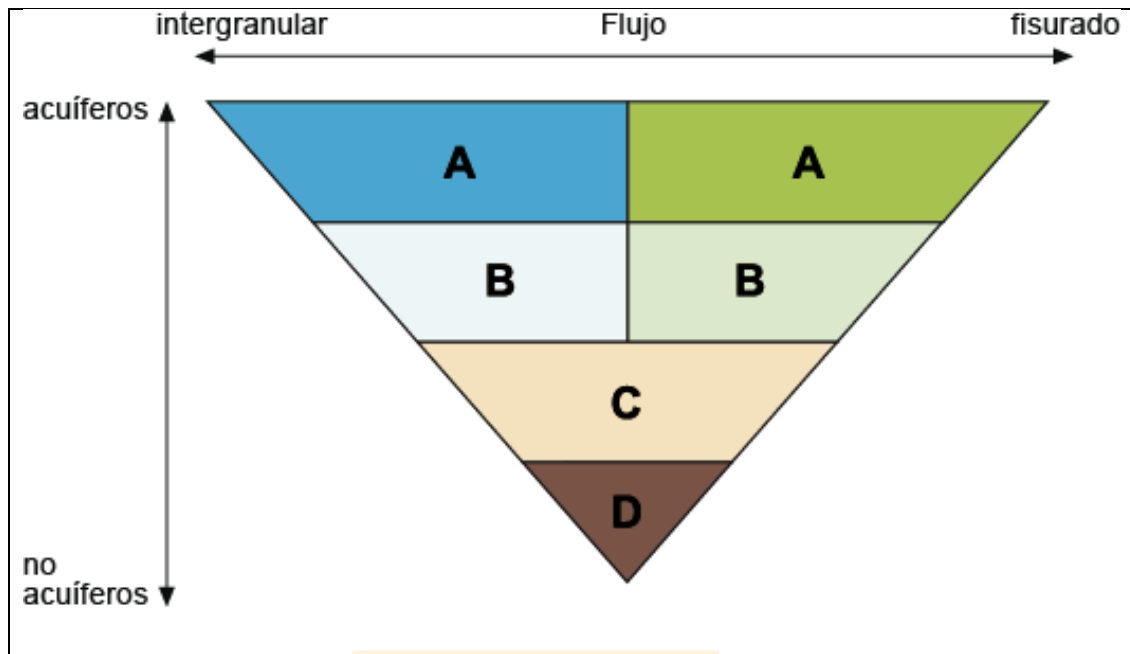


Figura 4.2: Diagrama de clasificación de Unidades Hidrogeológicas según clasificación de Struckmeier y Margat (1995) modificado por Troncoso *et al.*, 2015.

Además, para definir las características hidráulicas se antepone a la identificación de las Unidades Hidrogeológicas:

- Una línea diagonal (*I*): al haber una secuencia o dos unidades dispuestas en continuidad hidráulica, aun cuando, tengan diferencias litológicas que las distinguen. En casos particulares, se utiliza también al inicio de la secuencia para indicar la condición de acuífero libre, pero con presencia de un nivel local y restringido que se considera como impermeable.
- Dos líneas diagonales (*II*): para representar el confinamiento de una unidad hidrogeológica; ya sea, si esta se ubica en la parte superior de la secuencia o bajo otra unidad, es decir, cuando existe un estrato impermeable que sobreyace a un acuífero.

Para ilustrar la relación en profundidad de las Unidades Hidrogeológicas se efectuó un perfil esquemático, el cual se encuentra ubicado en el anexo F.

4.1 Caracterización de Unidades Hidrogeológicas.

4.1.1 Unidades Hidrogeológicas de alto potencial en depósitos no consolidados.

4.1.1.1 Unidad Hidrogeológica A1.

Esta Unidad Hidrogeológica se reconoce bordeando el margen Sur de la subcuenca del río Maullín, desde la localidad de Alerce hasta el límite surponiente de la hoya (Figura 4.1) y se caracteriza por poseer el mayor potencial de extracción.

Esta constituida por una interestratificación entre depósitos glaciofluviales (Plgf1) y depósitos morrénicos (Plm1), ambos de edad Pleistoceno Superior y formados durante la Glaciación Llanquihue. Los depósitos glaciofluviales (Plgf1) están compuestos de gravas, principalmente clasto soportadas, con matriz de arenas gruesas y no consolidadas. Mientras que los morrénicos se constituyen por gravas mal seleccionadas, clasto a matriz soportada arcillosa y bien compactada (Plm1). En las cercanías de los cursos fluviales actuales, se suman a esta unidad, los depósitos de gravas y arenas asociadas a estos cauces, cuyas edades varían desde el Pleistoceno al Holoceno (PIHf y Hf).

Para esta Unidad Hidrogeológica (A1), se han recopilado información estratigráfica de los pozos (anexo A) localizados en la franja que bordea al seno de Reloncaví (Figura 4.1). En base a esto, se distingue que la unidad conforma acuíferos libres, los que se caracterizan por una alternancia de estratos de arenas y gravas, con intercalaciones menores de capas arcillosas. A la vez, la unidad posee una conexión hidráulica con las unidades hidrogeológicas adyacentes como también con los cauces fluviales actuales (anexo F: Perfil Hidrogeológico)

No obstante, en algunos pozos de A1 se reconoce una condición de confinamiento. especialmente en los sectores de Trapén (Figura 4.1), se evidencia una secuencia conformada por dos niveles permeables separados por estratos de arcilla, donde ambos horizontes se encuentran habilitados, como ocurre en los pozos P063 y P454 de Trapén (Figura 4.1 y anexo A).

De acuerdo a lo descrito en los informes de la DGA varios pozos tienen la característica de poseer una potente capa de arcilla o turba hacia su base, en una profundidad cercana

a las 70 m (P167, P198, P230, P244, P293, P296, P366 y P454; anexo A), lo que podría sugerir el límite inferior de la unidad asociado a una capa confinante. Debido a esto, a la unidad A1 se le asigna una potencia máxima de 70 m y sus profundidades de perforación varían entre 34 m y los 152 m, con la máxima observada en el pozo P244 (anexo A).

4.1.1.2 Unidad Hidrogeológica //A1

La //A1 se localiza contigua al acuífero libre A1, tanto en el área del lago Llanquihue como en la del seno de Reloncaví (Figura 4.1).

Su litología es similar A1, pero se distingue por tener en superficie una cobertura de depósitos de baja permeabilidad (Plm1. anexo F: Perfil Hidrogeológico) que generalmente en subsuperficie se presenta con intercalaciones de gravas y arenas de mayor permeabilidad (Plgf1), lo que resulta en acuíferos generalmente confinados y en menor medida cubiertos (anexo F: Perfil Hidrogeológico).

En los acuíferos confinados, el nivel piezométrico medido en el pozo se eleva por sobre el límite inferior de la capa confinante, incluso, puede haber surgencia, como es el caso del pozo P206 (anexo A), ubicado en la localidad Frutillar (Figura 4.1). Mientras que, en los acuíferos cubiertos observados en la unidad el nivel estático se ubica bajo el límite inferior de la capa confinante, como es el caso del pozo P259 (anexo A).

La estratigrafía de pozos que perforan la unidad //A1, y que además alcanzan profundidades entre los 26 m a 152 m (anexo A), indican que sus depósitos subsuperficiales presentan una gran variabilidad litológica, lo que propicia que las habilitaciones sean ubicadas a distintas profundidades y sin un patrón definido.

Los pozos ubicados al borde del lago Llanquihue (Figura 4.1), presentan una mayor interestratificación de capas con diferentes granulometrías, donde las cubiertas de baja permeabilidad (limos, arcillas, arenas finas), tienen una mayor potencia que otorga un confinamiento a la unidad en el sector lacustre (anexo A). Estas propiedades condicionan a que las habilitación de los pozos, se ubiquen por sobre los 60 m de profundidad.

La estratigrafía de pozos de la unidad //A1 determina intercalaciones en o sobre la capa confinante, con estratos de gravas y/o arenas, que otorga mayor permeabilidad. No

obstante, se observa que en la mayoría de los pozos, los niveles que sobreyacen al acuífero confinado o cubierto, no se encuentran habilitados. Lo que señala, la baja productividad de estos estratos compuestos de gravas y/o arenas.

Los pozos más profundos perforados de esta unidad se ubican en los sectores de Cardonal (P131. Figura 4.1), Puerto Montt (P082. Figura 4.1), Llanquihue (P254. Figura 4.1) y Puerto Varas (P149. Figura 4.1). Donde el pozo P131, con una profundidad de 150 m, presenta una habilitación bajo una capa de arcilla de 18 m de espesor, entre los 108 m y 128 m, lo que sugiere la presencia de una Unidad Hidrogeológica confinada diferente. El resto de los pozos, captan el agua desde la unidad //A1, aunque los más profundos (> 80 m) podrían llegar a perforar hasta la capa confinante antes descrita, dado que presentan en su base un potente estrato de arcillas (P052, P077, P121, P197, P214, P246, P356, P361 y P518; anexo A).

Los pozos P215 y P216 (anexo A) ubicados al Oeste de la ciudad de Puerto Montt (Figura 4.1), han sido descritos que en sus respectivas bases (P215: 71 m y P216: 67 m) poseen una capa de 10 m de "material compacto", la que corresponderían al techo de otra una Unidad Hidrogeológica en profundidad, similar a lo identificado pleistoceno en P131. Lo anterior permite inferir mediante las profundidades de ubicación, un espesor máximo aproximado de 108 m para la unidad que //A1.

4.1.1.3 Unidad Hidrogeológica //A2.

Esta Unidad Hidrogeológica se distribuye al Oeste del lago Llanquihue y al Norte del río Maullín (Figura 4.1). Está formada por depósitos pleistocenos correspondientes a las glaciaciones Santa María y Río Llico (Plm2, Plgf2, Plgl2, Plm3) además de incluir a los depósitos de los cursos fluviales antiguos (PIHf) .

En base a la observación de afloramientos e información de pozos de extracción de agua, de distintos sectores, se ha logrado diferenciar que:

- Hacia el límite Norte de la subcuenca, existen depósitos morrénicos de baja a moderada compactación, constituidos por facies matriz soportado mala selección, cuya matriz se encuentra semicementada y está compuesta de arcillas, limos y

arenas finas, en esta matriz se encuentran insertos clastos de gravas y bolones subredondeados a redondeados (SERNAGEOMIN, 1998).

- Inmediatamente al Norte del río Maullín y hacia el Sur en el sector litoral. Depósitos glaciofluviales de gravas y en menor proporción arenas, presentando buena a moderada selección (SERNAGEOMIN, 1998).
- En torno al lago Llanquihue, posee depósitos glaciolacustres locales con limos, arcillas y arena finas, con espesores del orden de 3 m (SERNAGEOMIN, 1998).
- En terrazas de hasta 10 m de alto por sobre el lecho actual, presenta depósitos fluviales antiguos, con gravas moderadas a bien seleccionadas, bien redondeadas, inmersas en una matriz de arenas gruesas y medias (SERNAGEOMIN, 1998).

En base a la estratigrafía de sus pozos agua, se identifica que en donde no aflora la unidad esta se dispone bajo A1, //A1 y A3 (anexo F: Perfil Hidrogeológico) y además, hacia el volcán Calbuco, se interestrifica en profundidad con depósitos volcanoclásticos y volcánicos de edad Pleistoceno-Holoceno (P215 y P216).

La presencia de arcilla en esta Unidad Hidrogeológica le otorga confinamiento a sus acuíferos, característica observada en particular, en el pozo P467 (anexo A), el cual presenta surgencia.

4.1.1.4 Unidad Hidrogeológica A3.

El acuífero de alto potencial A3 se distribuye en una franja de orientación NE-SW, localizada al Sur del río Maullín (Figura 4.1). La unidad está compuesta por depósitos de gravas, principalmente clasto soportados, con matriz de arenas gruesas no consolidadas de origen glaciofluvial de la Glaciación Llanquihue (Plgf1).

Los pozos perforados en esta unidad se concentran en el sector oriental de esta franja, entre las ciudades de Puerto Varas y Puerto Montt (Figura 4.1). De acuerdo a las descripciones estratigráficas, los depósitos de la unidad A3 se caracterizan por conformar acuíferos de tipo libre, aunque existe en el sector oriente de la subcuenca 4 pozos que muestran unidades cubiertas (P075, P081, P112 y P345; anexo A). Por esto no se descarta que en esta zona se los pozos estén habilitados en profundidad en la unidad //A2.

Estratigráficamente los pozos de esta unidad (A3) poseen una alternancia capas de gravas y arenas fina, con lentes de facies clasto soportada de similar composición e intercalados localmente, por lentes finos de arcillas y arenas finas, con una profundidad que fluctúan entre los 35 y 109 m, y con cribas situadas bajo los 20 m de profundidad.

La potencia total de la unidad A3 es desconocida, aunque se estima que hacia el Noreste su espesor disminuye (< 30 m), pues hacia esta zona, la unidad //A2 aflora en superficie. Mientras que, hacia el Suroeste aumentaría su espesor, característica reconocida en la base del pozo P119 (96 m de profundidad) en donde se observa una capa de arcilla de 4 m de espesor que aísla la unidad superior (A3) y da inicio a la //A2.

4.1.1.5 Unidad Hidrogeológica /A3.

Esta unidad /A3, se distribuye principalmente en la ladera occidental del volcán Calbuco en dirección NE-SW hacia el poblado de Alerce como en la zona lacustre bordea la ciudad de Llanquihue (Figura 4.1)

Litológicamente /A3 se diferencia de unidad A3, por poseer en superficie una cobertura de Depósitos y rocas de origen piroclásticos de edad Pleistoceno al Holoceno (PIHvp), que en las descripciones estratigráficas han sido identificados como niveles de baja a muy baja permeabilidad, pozos P048, P094 y P265 (anexo A) . La presencia de este nivel de menor permeabilidad, le otorga una condición de acuíferos cubierto.

4.1.2 Unidades hidrogeológicas de bajo potencial en rocas y depósitos no consolidados.

4.1.2.1 Unidad Hidrogeológica C1.

La unidad se distribuye en los lechos y riveras cercanas a la desembocadura del río Maullín y en la zona del estuario (Figura 4.1) esta compuesta por Depósitos Litorales (PIHp) y Depósitos de Estuario (He), con granulometrías de arenas finas a limos y en menor cantidad arcillas. Hacia la desembocadura del río Maullín, aumenta su granulometría hasta gravas (SERNAGEOMIN, 1998). Además, se caracteriza por poseer conexión hidráulica con el cauce superficial, lo que sumado a su granulometría, conlleva a su alta saturación en agua dando origen a terrenos pantanosos, característicos de la ambientes de estuario.

4.1.2.2 Unidad //C2.

Esta unidad (//C2) se localiza en la zona volcánica del área de estudio (Figura 4.1). Se compone por secuencias de coladas de lavas andesíticas con depósitos piroclásticos, intercalados con brechas laharicas y piroclásticas, dispuestas en forma de abanico.

Se diferencia de la capa de baja permeabilidad de la unidad /A3, por encontrarse a una profundidad mayor de 30 m (P094) infrayaciendo a las unidades hidrogeológicas próximas al centro eruptivo, ubicándose bajo A1, A3 y /A3 e interdigitado estratigráficamente con //A2.

Esta unidad de baja permeabilidad compuesta por depósitos y rocas de origen volcánico y sumado a su ubicación a mayor en profundidad, permiten otorgarle un mayor confinamiento que el visto en la cobertura superficial de /A3.



5. PIEZOMETRÍA.

La piezometría utilizada en el estudio corresponde a 156 mediciones de nivel estático (N.E.), de las cuales, 98 han sido obtenidas en las campañas de terreno.

En conjunto con la recolección en terreno, se procedió a complementar con información obtenida desde el estudio geoambiental del área de Puerto Montt-Frutillar, hechas por el SERNAGEOMIN (2000). Todos los valores de niveles estáticos se presentan en el anexo B.

5.1 Definición del nivel estático.

Mediante la información de niveles estáticos obtenidos del SERNAGEOMIN (2013 a 2014), de la DGA (2013 a 2015) y de la recolectada en terreno, se confecciona un diagrama de fluctuación (Figura 5.1).

Se identifica que entre los junio del año 2013 a julio del 2015 se produce una variación máxima de 2,7 metros del N.E. con valores mínimos registrados, entre los meses de diciembre a junio, con una respuesta máxima del nivel estático al aumento o disminución de la precipitación de 4 meses (Figura 5.1).

5.2 Superficie Piezométrica.

Para trazar la superficie piezométrica se utilizaron los niveles estáticos de los meses de abril a septiembre y en función de la densidad geográfica, se definió una equidistancia de 20 m entre cada curva piezométrica (Figura 5.2:).

El resultado sugiere la relación directa entre la morfología de la superficie y la piezometría del agua subterránea.

Las isopiezas creadas muestran la existencia de tres direcciones de flujo subterráneo (Figura 5.2:):

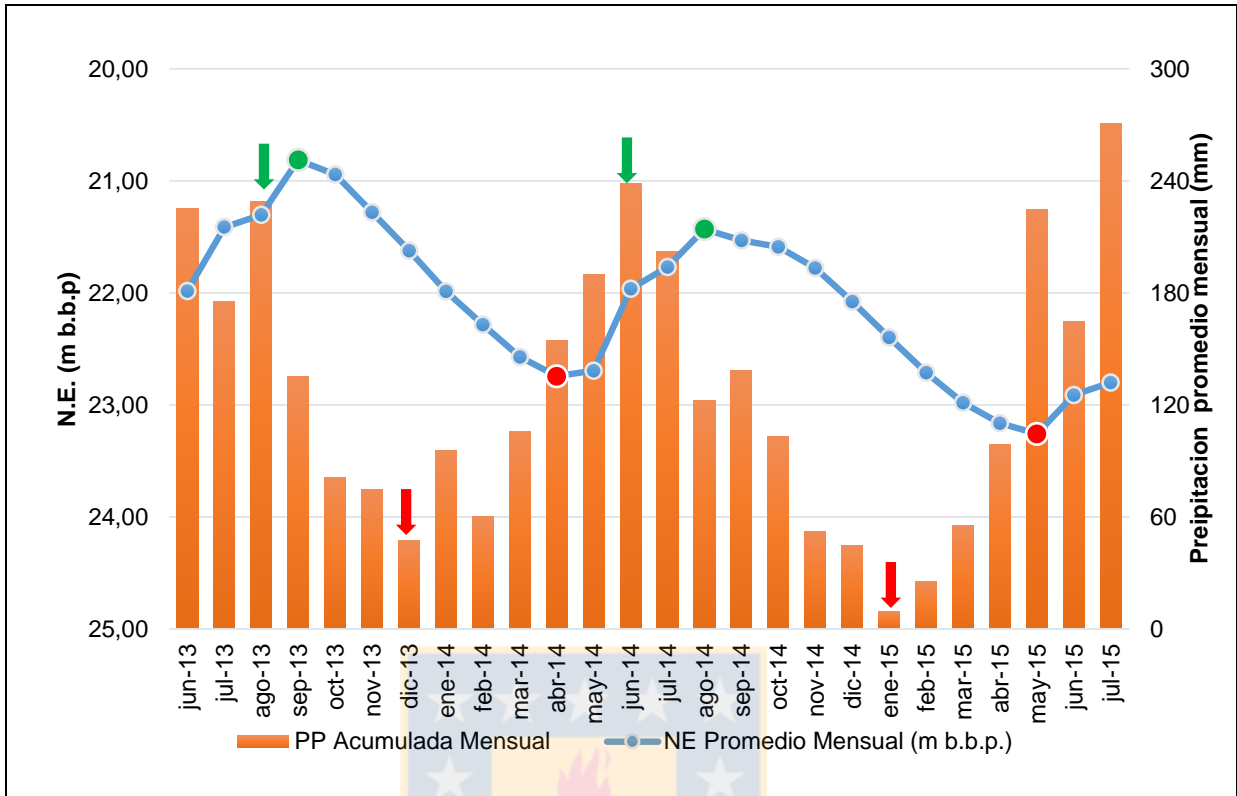


Figura 5.1: Gráfico de fluctuación del nivel estatico (N.E.) y precipitaciones (PP) acumuladas mensuales, entre junio 2013 a Julio 2015. Flecha y círculo rojo indican valores mínimos; flecha y círculo verde, valores máximos.

- La primera que desagua en dirección al río Maullín y drena los acuíferos al Sur y al Norte del cauce. Este flujo muestra la característica efluente del río principal.
- La segunda y fuera del área de estudio con dirección de flujo hacia el lago Llanquihue. Drena los terrenos limítrofes a este cuerpo de agua como también las laderas del volcán Calbuco.
- La tercera desemboca las aguas subterráneas de los terrenos ubicados al límite Sur hacia el seno de Reloncaví.

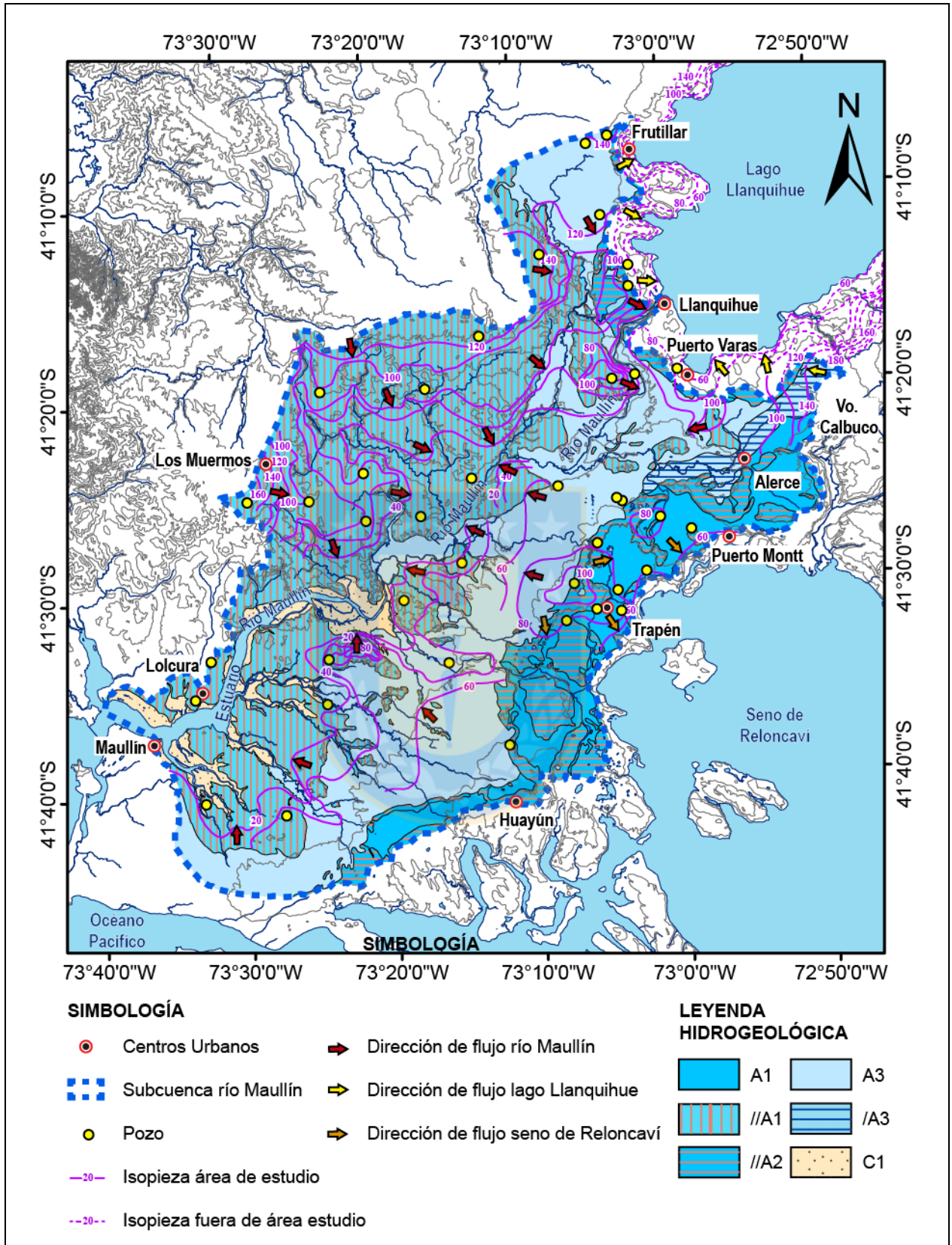


Figura 5.2: Mapa Hidrogeológico con superficie piezométrica de la subcuenca del río Maullín.

6. HIDROGEOQUÍMICA.

Una descripción química detallada de las aguas es importante y fundamental para poder caracterizar y entender una Cuenca Hidrogeológica, donde la relación de los iones disueltos en el agua es útil para la comprensión hidrológica de las escorrentías subterráneas y superficiales, debido a que éstas entregan información relevante sobre: el terreno y/o ambiente por donde circulan; su origen y fenómenos modificadores o alguna otra característica específica (Custodio y Llamas, 1996).

Los datos utilizados para el estudio corresponden a un total de 108 muestras recolectadas durante las campañas de terreno realizadas entre marzo y abril 2014, febrero y mayo 2015 y septiembre 2015, de las cuales: 20 pertenecen a aguas superficiales y 88 son a aguas subterráneas (Figura 6.1), estas últimas divididas según su Unidad Hidrogeológica y representándose con: 13 a la Unidad A1, 14 a //A1, 40 a //A2; 14 a /A3 y 7 a /A3 (anexo D).

Los parámetros fisicoquímicos: temperatura, oxigenación, pH y conductividad eléctrica, fueron medidos en terreno, en el momento de la recolección de muestras (anexo D), las que fueron enviadas, a análisis químico en el laboratorio del SERNAGEOMIN para obtener concentraciones de elementos mayores, menores y de trazas.

El método de muestreo se indica en el anexo C; la ubicación de los puntos de muestreo en detalle se encuentra en el Mapa Hidrogeológico (anexo F), mientras que los resultados de los análisis químicos están en el anexo D.

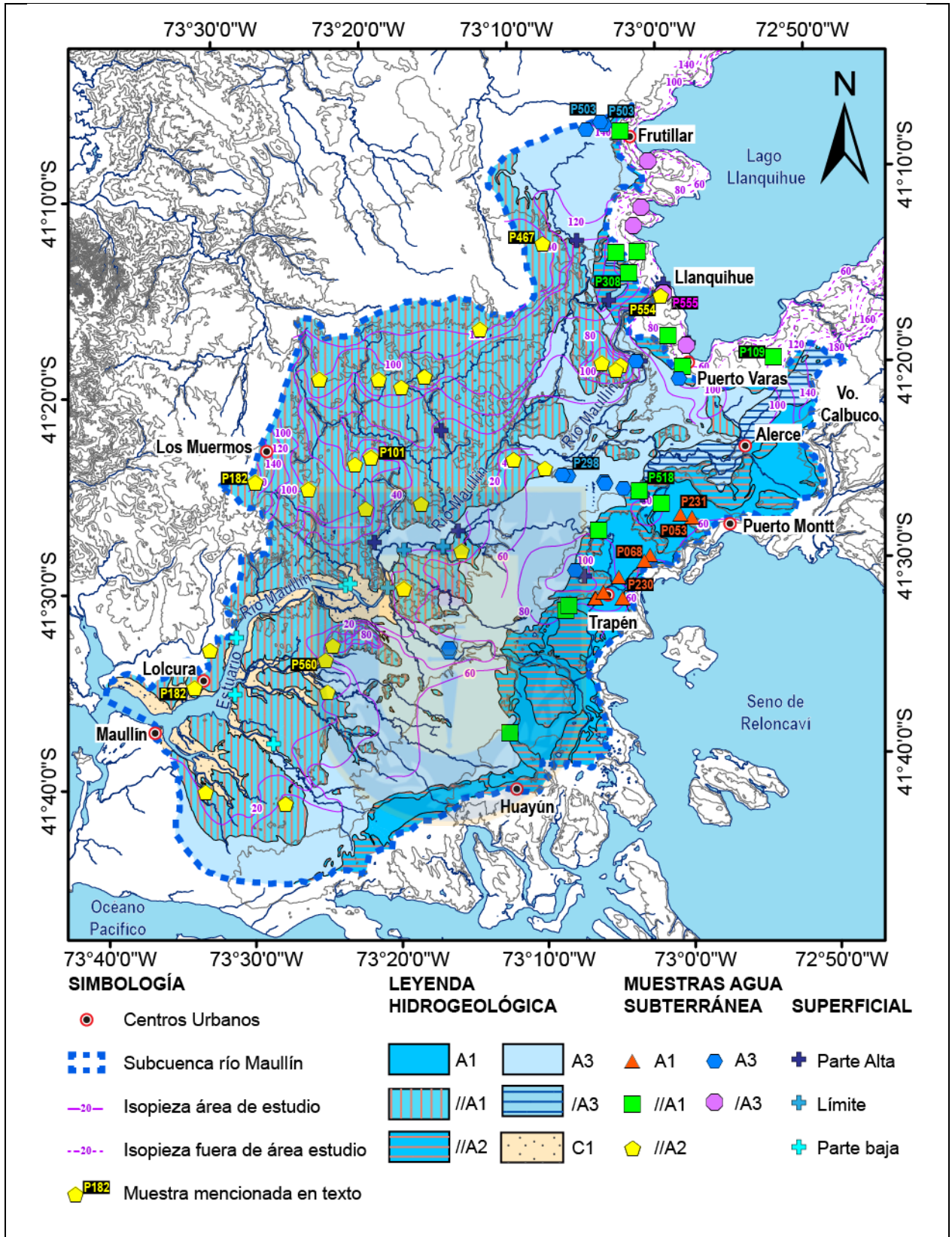


Figura 6.1: Mapa Hidrogeológico con ubicación de muestras hidrogeoquímicas de aguas subterráneas y superficiales en la subcuenca del río Maullín.

6.1 Marco conceptual hidrogeoquímico.

Los iones mayores reportados del análisis de laboratorio del SERNAGEOMIN, por Espectrometría de Absorción Atómica para cationes y Cromatografía Iónica para aniones (anexo E), corresponden a: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- y NO_3^- ; con concentraciones expresadas en miligramos por litro (mg/l) y para fluoruros se utiliza electro ion selectivo.

Los iones menores representan menos del 1% del contenido iónico total y los elementos trazas exhiben cantidades difícilmente medibles por métodos químicos usuales (Custodio y Llamas, 1996). Por esto el laboratorio del SERNAGEOMIN hace el análisis de elementos traza y iones minoritarios (Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, F, Fe, Li^{2+} , Mn, Mo, P, Pb, Sb, Se, Sn, V y Zn) mediante el método de espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), con límites de detección variables dependiendo de cada elemento y que se encuentran entre 0,002 y 0,02 mg/l (anexo D).

Para clasificar las aguas y facilitar su estudio y comparación, los análisis de iones mayores, menores y trazas, entregados por el laboratorio son convertidos desde miligramos por litro (mg/l) a mili equivalentes por litro (meq/l).

6.2 Parámetros fisicoquímicos.

6.2.1 Conductividad Eléctrica (C.E.).

La C.E. de las aguas superficiales aumenta desde la parte alta hasta su desembocadura, con valores desde 11,13 $\mu\text{S/cm}$ (P574) a 11.884 $\mu\text{S/cm}$ (P580), estos últimos localizados en el estuario.

La conductividad eléctrica media para las aguas subterráneas de la subcuenca es de 171,31 $\mu\text{S/cm}$, con un rango entre 66 $\mu\text{S/cm}$ (P502) y 513 $\mu\text{S/cm}$ (P531). Con valores atípicos por sobre los 320 $\mu\text{S/cm}$ (P560) hasta los 513 $\mu\text{S/cm}$ (P502; Figura 6.2). Estos últimos valores, ambos de la unidad A3, se asocian a la concentración constante de iones en su flujo a la descarga (Figura 6.1).

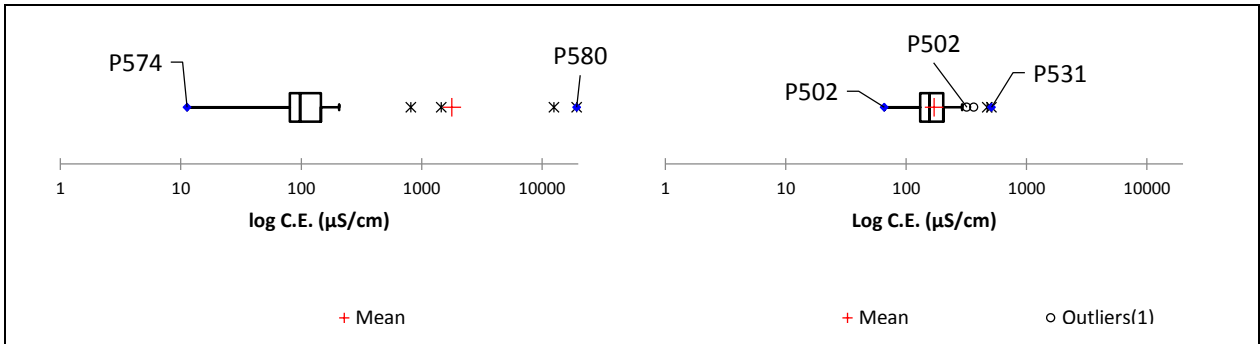


Figura 6.2: Diagrama de Caja de log C.E. para muestras de aguas superficiales (izquierda) y subterráneas (derecha).

6.2.2 Temperatura.

Respecto a la temperatura (T°), las aguas superficiales no tienen gran variación, concentrándose entre los 16°C y los 19°C (Figura 6.3), con valores atípicos máximos localizados la parte alta de la subcuenca (Figura 6.1). Las T° registradas en las aguas subterráneas oscilan entre los 12°C y los 15°C (Figura 6.3), con un descenso de 4°C respecto a las aguas superficiales.

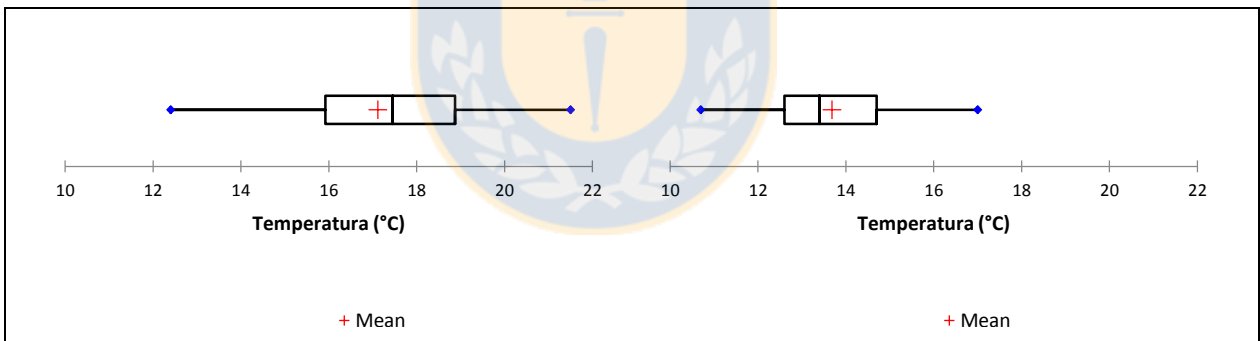


Figura 6.3: Diagrama de Caja de temperatura para muestras de aguas superficiales (izquierda) y subterráneas (derecha).

6.2.3 Oxígeno (O_2).

Los valores de oxigenación de las aguas superficiales varían entre los $5,88 \text{ mg/l}$ y los $6,86 \text{ mg/l}$ de O_2 (Figura 6.4). Mientras que los valores de las aguas subterráneas se concentran entre los $3,83$ y $6,85 \text{ mg/l}$ de O_2 (Figura 6.4). La mayor amplitud de este intervalo, se debe a la presencia de unidades hidrogeológicas confinadas de menor oxigenación y libres con mayor oxigenación.

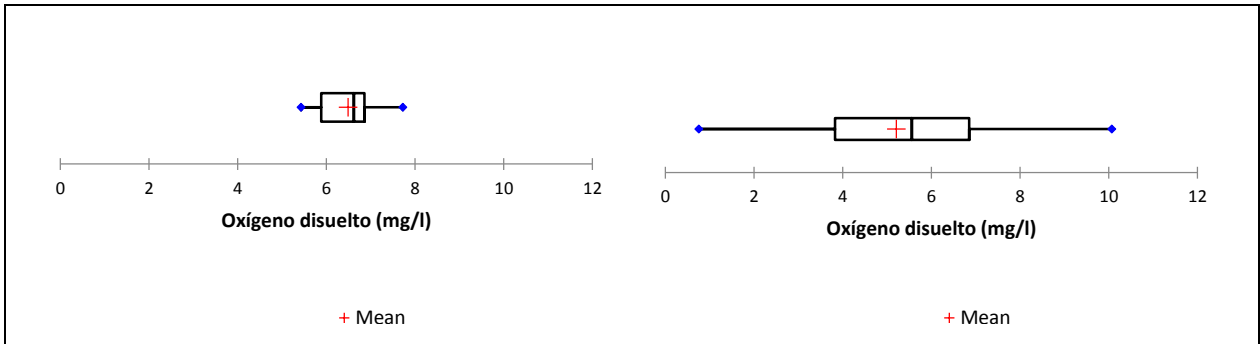


Figura 6.4: Diagrama de Caja de oxigenación para muestras de aguas superficiales (izquierda) y subterráneas (derecha).

6.2.4 pH.

Las aguas superficiales poseen un pH neutro (Figura 6.5), en donde los menores valores de este parámetro (más ácidos) se localizan en el sector de Lagunitas (P572; Figura 6.1) con 6,63. Mientras que el pH de las aguas subterráneas tienen valores neutros a ligeramente alcalino (7,56 de media; Figura 6.5) a excepción de la muestra P500 de la unidad //A2 (Figura 6.5) ubicada en Los Muermos y con un valor de 6,45 pH (ligeramente ácido).

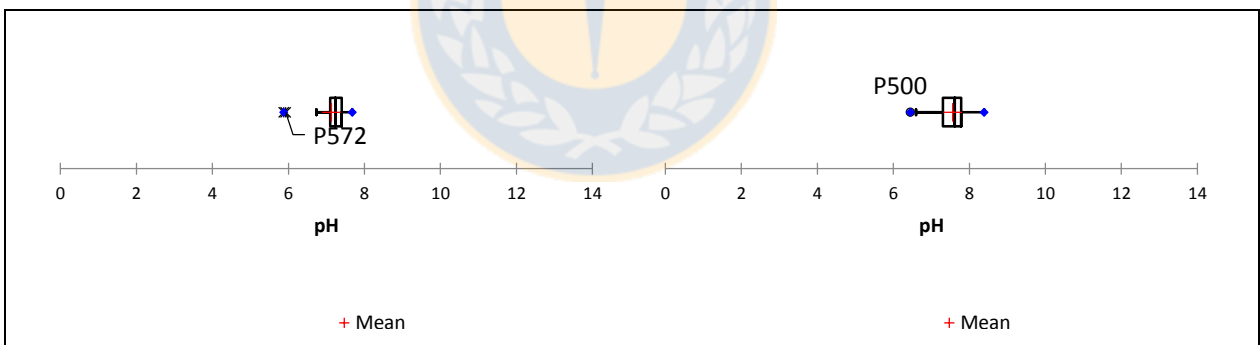


Figura 6.5: Diagrama de Caja de pH para muestras de aguas superficiales (izquierda) y subterráneas (derecha).

6.3 Iones Mayores.

Para el estudio e interpretación de aguas se utilizan representaciones gráficas de datos hidroquímicos. Éstas constituyen herramientas de trabajo muy eficientes y prácticas, para la interpretación de las propiedades del agua, como también, para realizar trabajos comparativos o correlacionales. A su vez, facilitan la visualización del comportamiento y

evolución de un agua en un territorio determinado y a través del tiempo (Custodio y Llamas, 1996).

En el estudio son usados los diagramas de Piper y Stiff para la representación de los análisis químicos. Los cuales fueron ordenados en plantillas de *Microsoft Excel*, para luego, ser graficados mediante el programa *Diaggramme 6.5v* del Laboratorio de Hidrogeología de la Universidad de Avignon (*Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon*).

6.3.1 Diagramas Piper.

Estos diagramas (Figura 6.6) proporcionan una visión de la composición química de las aguas y su comportamiento, sin considerar el grado de saturación o concentración que éstas contengan. Lo que permite hacer una caracterización general de los distintos tipos de aguas existentes en un área y clasificarlas según su tipo o facies hidrogeoquímicas (Troncoso *et al.*, 2015).

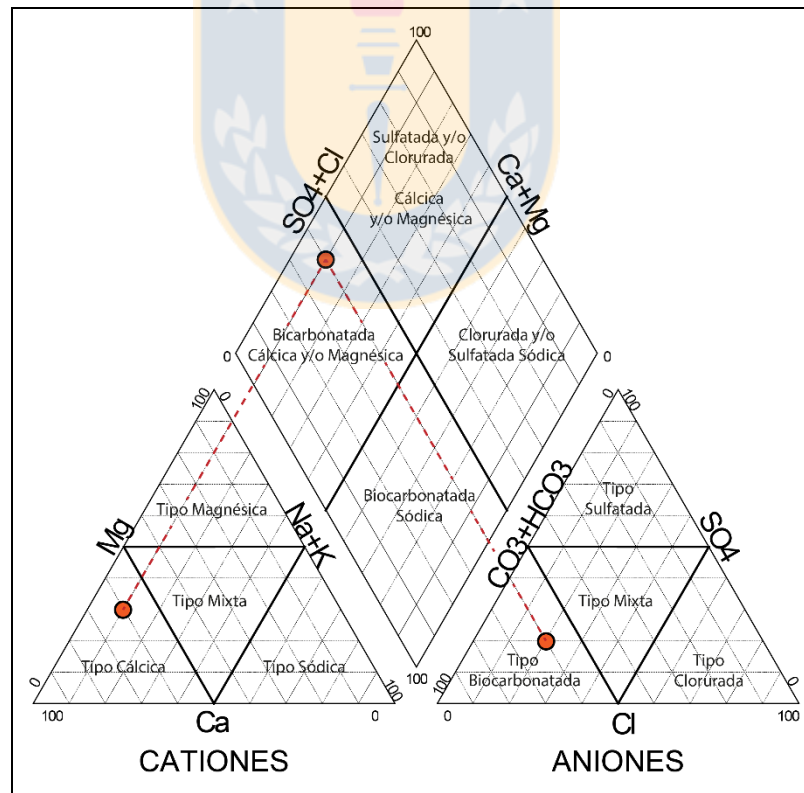


Figura 6.6: Diagrama de Piper.

El diagrama combina tres campos definidos para su representación gráfica: dos triangulares en la parte inferior y uno romboidal en el superior (Figura 6.6). En el campo triangular inferior izquierdo, se representan los cationes de Ca^{2+} , Mg^{2+} y $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ y en el inferior derecho, los aniones de $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-$, SO_4^- y Cl^- (Figura 6.6). En ambos grupos se grafican las concentraciones relativas de los diferentes constituyentes disueltos en el agua.

El campo superior del diagrama Piper (Figura 6.6) se emplea para indicar el carácter químico total de la muestra de agua, por medio de un punto, que corresponde a la proyección de los cationes y aniones en el rombo (Figura 6.6).

6.3.1.1 Clasificación según diagrama Piper.

Las aguas de la subcuenca del río Maullín se ubican en el campo de la facies Bicarbonatadas del Tipo Mixto, con excepción de algunas muestras subterráneas que se agrupan en de Tipo Mixto Bicarbonatadas y Cloruradas, y otras superficiales en la facies de Bicarbonatadas y Cloruradas ambas del tipo Sodico (Figura 6.7).

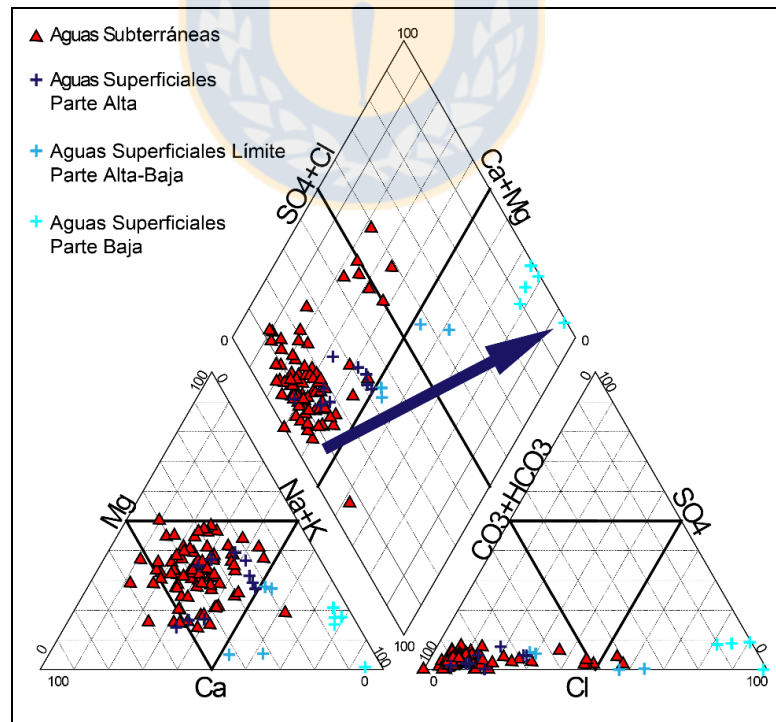


Figura 6.7: Diagrama Piper general para aguas de la subcuenca del río Maullín. Flecha Azul: Evolución química de aguas superficiales

Las aguas superficiales en la parte alta de la subcuenca comienzan a evolucionar desde facies Bicarbonatadas a facies Cloruradas mixtas hacia el estuario (Figura 6.7). En esta última zona, las aguas van modificando su composición, según el grado de mezcla con la intrusión oceánica hasta llegar a registros Clorurados del tipo Sódico (Figura 6.7).

Mientras que el diagrama Piper para las aguas subterráneas tiene tendencia al dominio composicional Bicarbonatado del Tipo Mixto (Figura 6.7) con excepciones, ubicadas en la mayoría de los casos, en los límites de esta facies (Figura 6.7).

A continuación, para una descripción más detallada de las aguas subterráneas en diagrama Piper se separan, según la Unidad Hidrogeológica a la cual pertenecen.

Las aguas de la Unidad Hidrogeológica A1, se ubican en la facies Bicarbonatada del Tipo Mixto (Figura 6.8), dentro de este conjunto, la muestra P068 cae fuera de este campo, localizándose en el grupo Clorurado del tipo Mixto (Figura 6.8).

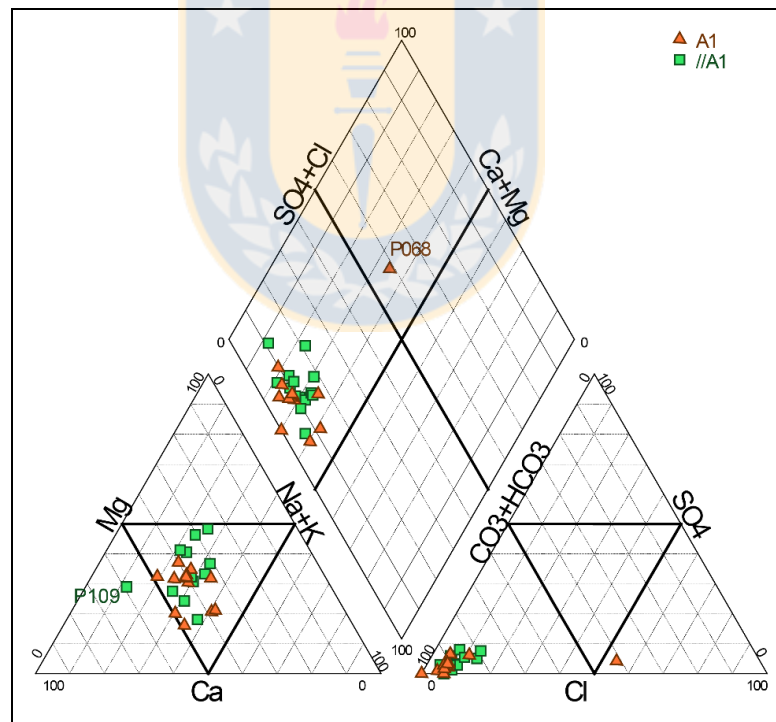


Figura 6.8: Diagrama Piper para aguas subterráneas de las unidades hidrogeológicas A1 y //A1

En el diagrama de Piper de la unidad //A1, las muestras se ubican en la facies Bicarbonatada de Tipo Mixto (Figura 6.8) con excepción de la muestra P109, ubicada en el volcán Calbuco con una composición cálcica (Figura 6.8), la que se debe a la litología volcánica del acuífero del sector que enriquece en Ca^{2+} las aguas que circulan por él.

Las muestras obtenidas desde la Unidad Hidrogeológica //A2 (Figura 6.9), se ubican en la facies Bicarbonatada del Tipo Mixto con algunos ejemplares cálcicos y clorurados mixtos, que indica el cambio de composicional en la dirección a su flujo subterráneo, desde uno Clorurado (P500, Figura 6.9) en Los Muermos a uno Bicarbonatado (P182, Figura 6.9) hacia el río Maullín y además de uno sódico (P554, Figura 6.9), ubicado en la ciudad de Llanquihue.

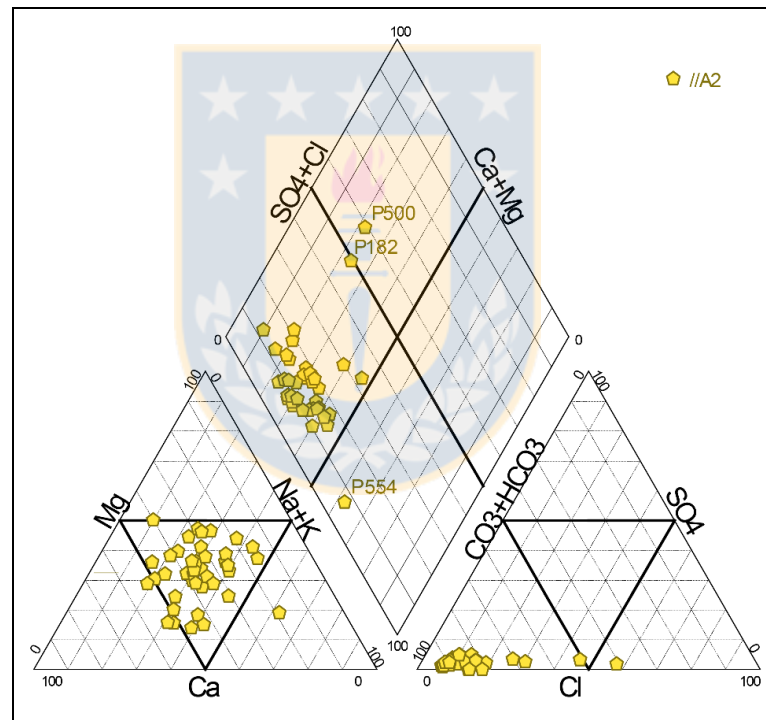


Figura 6.9: Diagrama Piper para aguas subterráneas de la Unidad Hidrogeológica //A2.

Las muestras de la Unidad Hidrogeológica A3 caen en la facies Bicarbonatada del Tipo Mixto (Figura 6.10), las aguas ubicadas bajo zonas urbanas (Frutillar,), poseen una leve tendencia en su composición aniónica, ubicándose hacia a los límites de la facies mixtas (P502, Figura 6.10).

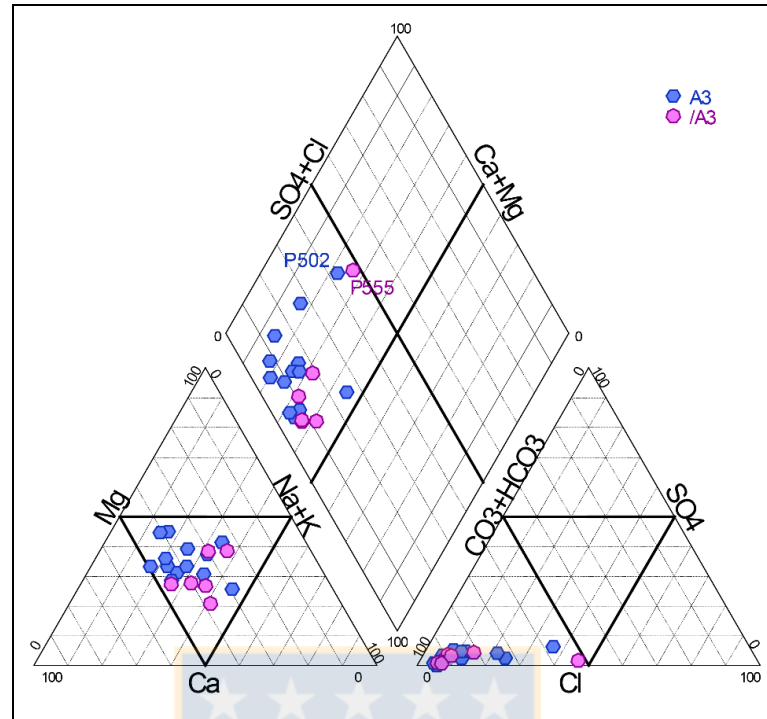


Figura 6.10: Diagrama Piper para aguas subterráneas de las unidades hidrogeológicas A3 y /A3.

El conjunto de muestras obtenidas desde /A3 se agrupan en la facies Bicarbonatada del Tipo Mixto (Figura 6.10:) y dentro de esta unidad, se destaca las muestras P555, obtenida de Llanquihue y que poseen una tendencia clorurada, similar a lo observado en la muestra P502 de la unidad A3, sugiriendo que en ambos pozos existe infiltración por de agua para usos antrópicos.

6.3.2 Diagramas Stiff.

Los diagramas Stiff son útiles para la representación espacial de los resultados químicos de las aguas. En ellos se reconocen, las relaciones individuales existentes entre cationes y aniones de las muestras, de modo que son bastante prácticos para su utilización en mapas hidrogeoquímicos (Custodio y Llamas, 1996).

Para el estudio de la subcuenca del río Maullín se utilizó el diagrama de Stiff modificado por Custodio y Llamas en 1996 (Figura 6.11), el cual Santibañez (2000), le agrega colores para facilitar la lectura de concentración de salinidad en los mapas, estos son (Tabla 6.1):

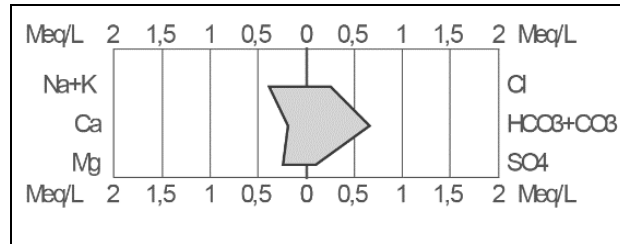


Figura 6.11: Diagrama Stiff modificado de Custodio y Llamas (1996).

Tabla 6.1: Rangos de salinidad. Recopilados por Santibáñez (2000).

Tipo de agua	Sólidos disueltos totales (ppm)	Escala en meq/l	Color
Dulce	0 – 100	0 – 2	Cyan
Dulce, moderadamente mineralizada	100 – 500	0 – 5	Blue
Dulce, mineralizada o moderadamente Salobre	500 – 1.000	0 – 10	Green
Salobre	1.000 – 5.000	0 – 40	Yellow
Salada	5.000 – 20.000	0 – 150	Orange
Muy salada (agua de mar)	20.000 – 50.000	0 – 400	Red
Salmuera	> 50.000	0 – 2.000	Dark Red

Para su mejor identificación los diagramas de Stiff han sido representados en el Mapa hidrogeológico (anexo F).

6.4 Relaciones Iónicas.

FCIHS (2009) señala que las relaciones iónicas permiten identificar el origen continental o marino del agua; determinar el trazado de líneas de dirección de flujo en función del aumento de la mineralización del agua y reconocer posibles procesos de disolución-precipitación, oxidación-reducción e intercambio iónico, lo que facilita entender, las interacciones hidrogeoquímicas que ocurren en los acuíferos.

A continuación cada relación iónica estudiada, será graficada en un diagrama de dispersión donde su concentración se expresara en *log versus* el *log Cl*⁻, debido al carácter conservativo y alta solubilidad de este ion.

6.4.1 Índice de intercambio de bases (ICB).

Custodio y Llamas (1996) señalan, que el índice de intercambio de bases o ICB es un parámetro que demuestra el desequilibrio entre cloruros (Cl^-) y alcalinos (Na^+ y K^+). Su relación está dada por la siguiente expresión (Ecuación 1):

$$ICB = \frac{rCl - r(Na + K)}{rCl} \quad \text{Ecuación 1}$$

La que al presentar valores negativos indicaría un flujo a través de terrenos plutónicos y/o volcánicos; que al haber un incremento del ICB en conjunto con la salinidad, reflejaría un cambio de bases por el endurecimiento; y al contrario, si ambos disminuyen, es resultado de un ablandamiento de las aguas (Custodio y Llamas, 1996; FCIHS, 2009; Sánchez, 2011).

Las aguas subterráneas de la subcuenca poseen valores de ICB mayoritariamente negativos y positivos bajos (Figura 6.12) con registros desde -9,74 (P554) a +0,5 (P182) de ICB (Figura 6.12). Lo que demostraría la interacción de flujo subterráneo con medios de composición ígnea.

Esta interacción se registra en toda la subcuenca, donde las aguas subterráneas fluyen a través de depósitos glaciares, compuestos principalmente por clastos y matriz ígnea como también, por depósitos volcánicos cuaternarios de los centros eruptivos adyacentes a la subcuenca (volcán Calbuco).

Respecto a la relación de salinidad *versus* ICB, se advierte una correlación entre ambos valores, donde al aumentar el ICB aumenta la salinidad (Figura 6.12) en la dirección de flujo subterráneo y, por ende, un endurecimiento, conforme transita las agua por los acuíferos.

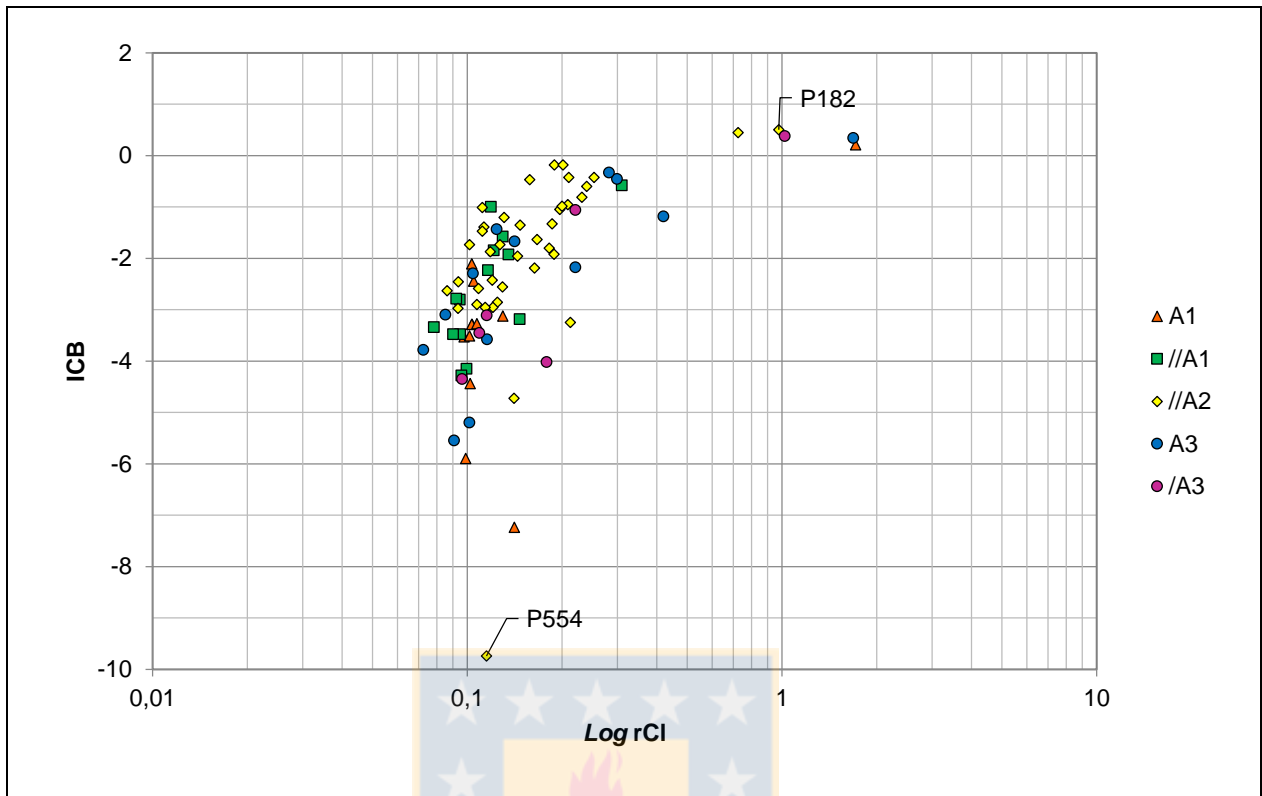


Figura 6.12: Relación de ICB para las muestras de agua subterránea de la zona de estudio en comparación con $\log rCl^-$.

Los valores ICB máximos y mínimos de las aguas subterráneas corresponden a las muestras de los pozos P182 y P554 (Figura 6.12). Donde P182, representa el valor más alto de toda la subcuenca para aguas subterráneas y superficiales, con +0,5 de ICB (Figura 6.12); esto se debe a su extracción desde punteras ubicadas en depósitos de estuario muy próximos a su desagüe en el río Maullín. Esta característica (valor positivo de ICB) sumada a una mayor salinidad, insinúa la intrusión de agua salina por el depósito y produciendo el endurecimiento de las aguas extraídas desde las punteras.

Mientras, la muestra P554 (Figura 6.12) con el registro más bajo de ICB (-9,74) posee una concentración de cloruro, dentro del rango normal para aguas subterráneas de la subcuenca (0,1 - 0,2 rCl^-).

6.4.2 Índice rMg/rCa.

Esta índice de rMg/rCa es una medida que señala el tipo de origen de las aguas, al cual Custodio y Llamas (1996) para aguas continentales le da un rango de 0 a 1,5, y para marinas, en torno a 5. Además, y de acuerdo a la composición litológica del acuífero, el índice rMg/rCa presenta valores que: próximos a 1, reflejan flujo a través de un medio dolomítico; superiores 1 (Figura 6.13), un tránsito por rocas ricas en silicatos magnésicos; y en torno a 5 (Figura 6.13), flujo por rocas o sedimentos de origen marino o con influencia de contaminación marina (Custodio y Llamas, 1996; FCIHS, 2009).

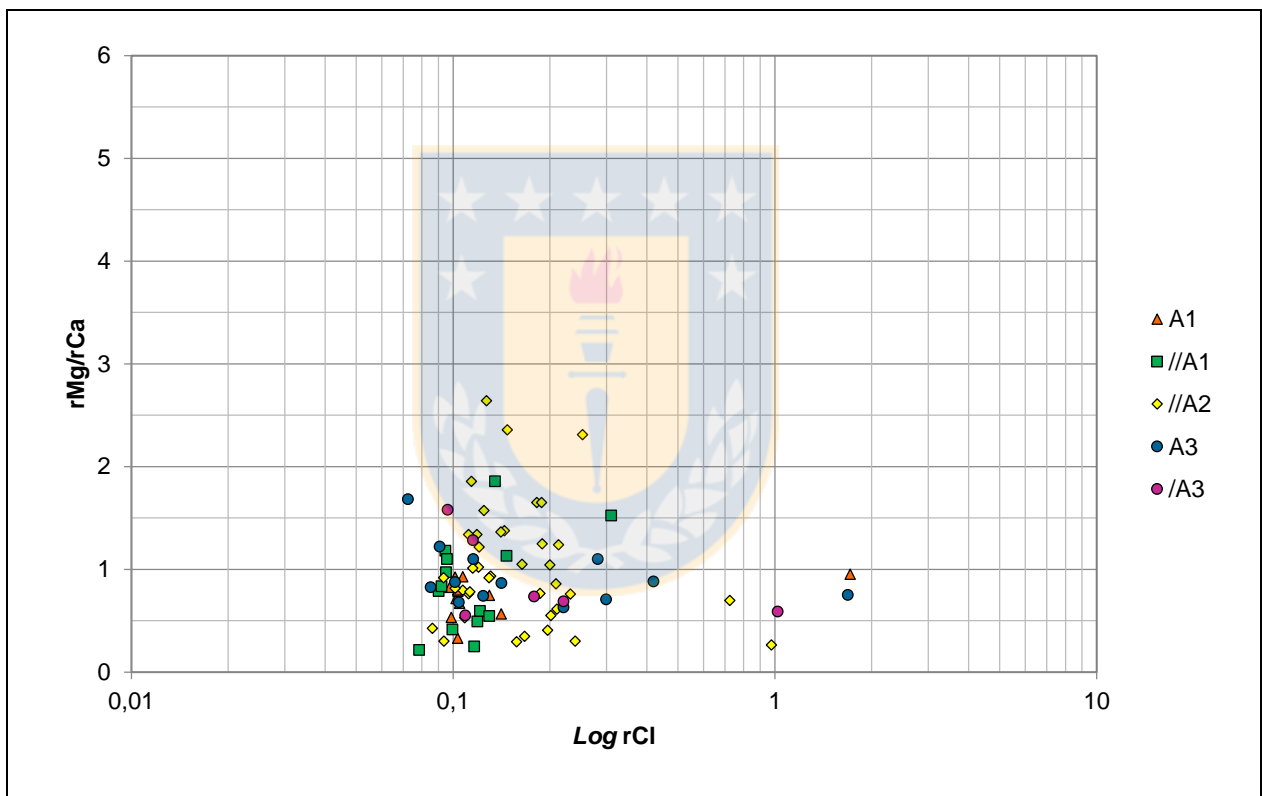


Figura 6.13: Relación de rMg/rCa para las muestras de agua subterránea de la zona de estudio en comparación con log rCl-.

Las aguas subterráneas tienen índice de rMg/rCa ubicado en el intervalo de aguas continentales, con excepciones de valores mayores y próximos a 1,5 (Figura 6.13). Respecto a la litología por donde fluyen las aguas subterráneas, la relación rMg/rCa demuestra la presencia de terrenos ricos en silicatos magnésicos, que están representados por la matriz y clastos ígneos de los depósitos glaciales.

6.4.3 Índice rSO_4/rCl .

Esta relación iónica (rSO_4/rCl) es útil para evaluar la fuente o fuentes de aportes suplementarios de sulfato, ajenos al origen marino (Gómez y Calvache, 2010). Además, Rankama y Sahama (1954) señalan que valores iguales o inferiores a 0,1 de rSO_4/rCl , representan aguas de origen marino. A su vez, FCIHS (2009) señala que el aumento de rSO_4/rCl y cloruro, puede significar que las aguas reciben contaminación de origen agrícola.

Las aguas subterráneas poseen valores rSO_4/rCl entre 0,03 (P500 y P555; Figura 6.14) a 1,27 (P231; Figura 6.14), ubicados en el rango de aguas continentales con salinidades de 100-500 ppm, con excepción de las muestras P068, P182, P500 y P555 (Figura 6.14), situadas en el categoría de aguas marinas con mayor salinidad (500-1.000 ppm).

P182 (Figura 6.14) es extraída desde una puntera próxima al depósito estuario de C1, y es la única a cual se le puede asociar infiltración de agua marina. Mientras que al resto del grupo, por estar en la parte alta y sin posibilidad de mezcla con aguas marinas, su bajo valor en rSO_4/rCl es producto de filtración de aguas de uso antrópico en los acuíferos (P068, P500 y P555; Figura 6.14).

6.4.4 Índice $rCl/rHCO_3$.

Un incremento en la relación de $rCl/rHCO_3$ señala un aumento en el proceso de concentración de sales (Custodio y Llamas, 1996), debido a precipitación de $CaCO_3$, intrusión marina o mineralización (FCIHS, 2009). Herrera *et al.* (2010) sugiere que este aumento, si es continuo, es producto de procesos de incorporación selectiva de cloruro, mientras que aumento bruscos, marcarían límites entre aguas de distinto origen.

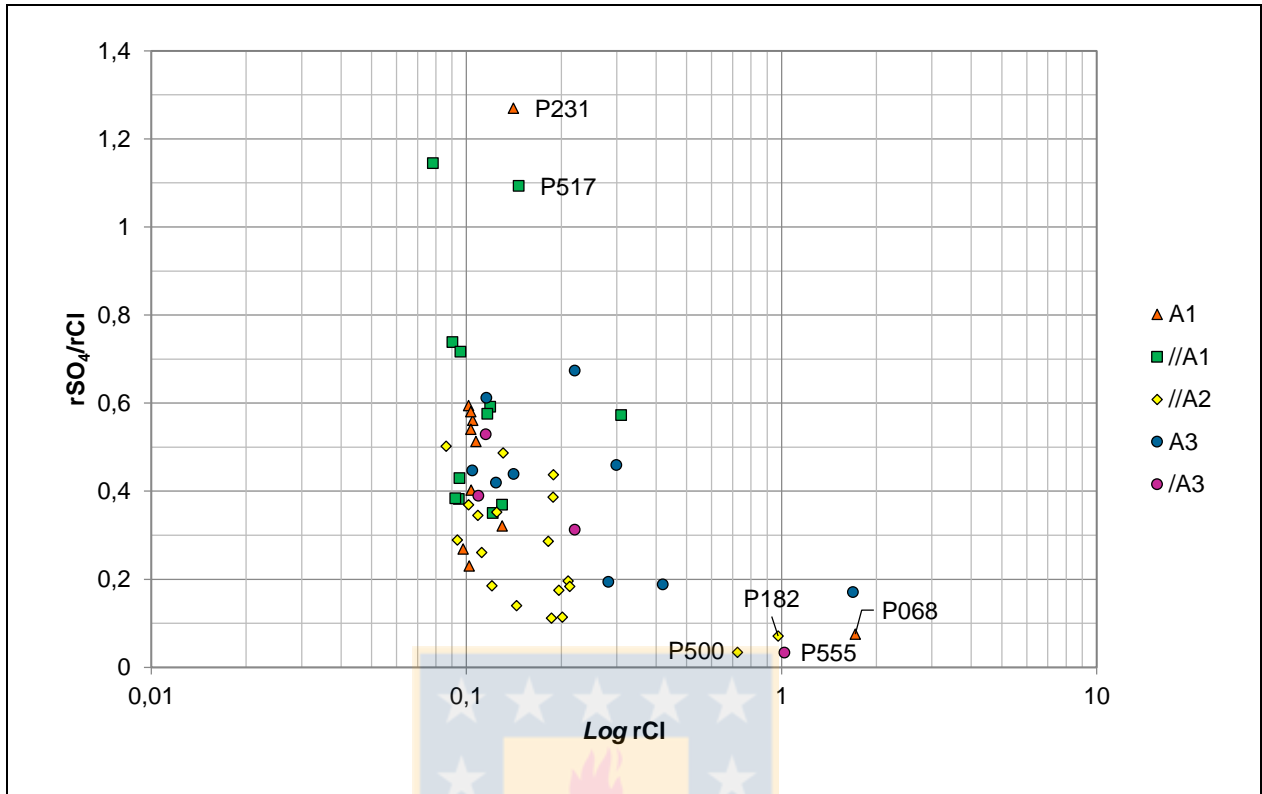


Figura 6.14: Relación de rSO_4/rCl para las muestras de agua subterránea de la zona de estudio en comparación con $\log rCl$.

Las aguas subterráneas de la subcuenca poseen valores de $rCl/rHCO_3$ (Figura 6.15) entre 0,04 (P053) a 1,40 (P500). La relación del índice $rCl/rHCO_3$ con el sentido del flujo subterráneo registra un aumento constante, que da como resultado la presencia de procesos de concentración de sales por mineralización e incorporación de cloruro. Se observa estas se agrupan mayoritariamente entre 0,04 a 0,45 de $rCl/rHCO_3$ (Figura 6.15), lo que sugiere el mismo origen de sus recargas. Mientras que existe un grupo aislado por sobre los 0,64 de $rCl/rHCO_3$ (Figura 6.15), compuesto por registros recolectados desde las zonas altas de la subcuenca y con una densa actividad antrópica (P500, P502, P068 y P555; (Figura 6.15).

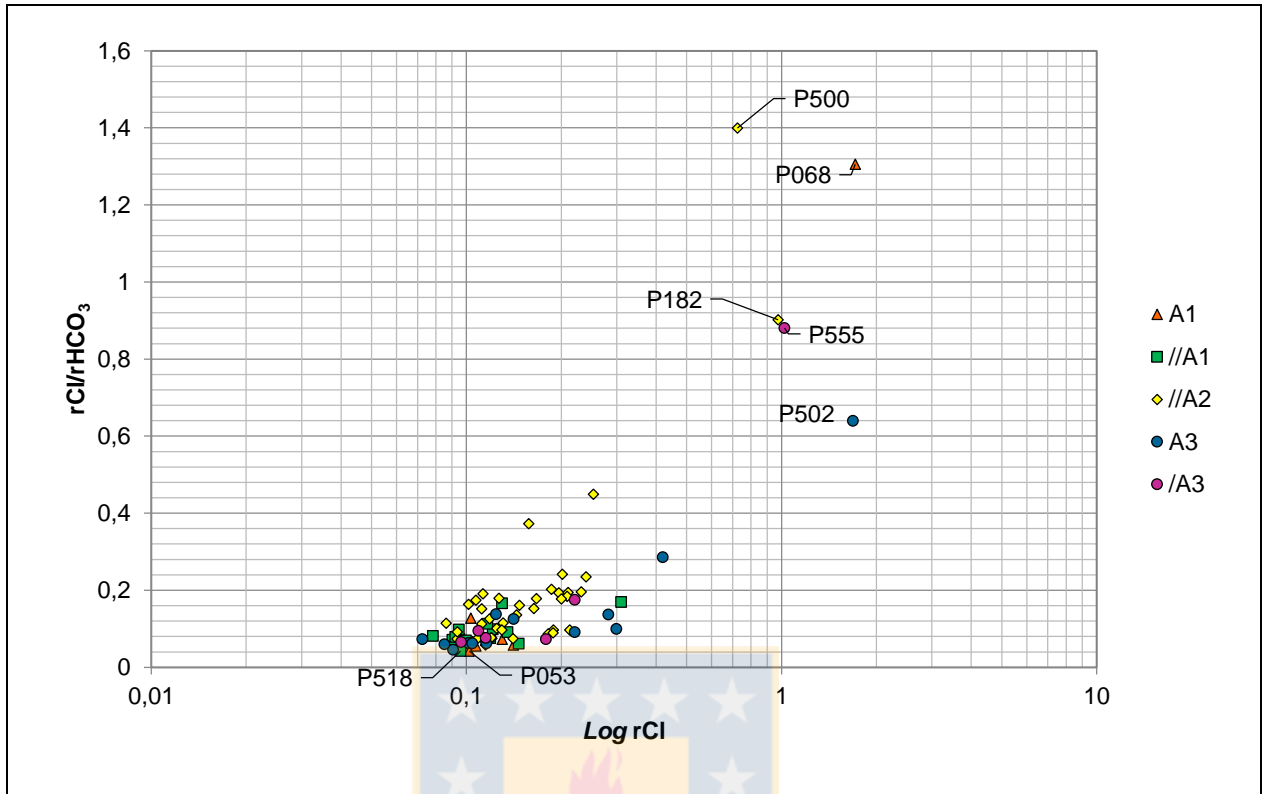


Figura 6.15: Relación de $rCl/rHCO_3$ en logaritmo para las muestras de agua subterránea de la zona de estudio en comparación con $\log rCl$.

6.5 Interpretación hidrogeoquímica.

6.5.1 Elementos mayores.

Las aguas subterráneas de la subcuenca del río Maullín no exhiben grandes diferencias en su composición química, manteniéndose mayoritariamente en una facies Bicarbonatada del Tipo Mixto con un rango de salinidad de aguas dulces. Esta característica señala la continua recarga de los acuíferos conforme van a su desagüe y su similar origen. Las anomalías a esta generalidad, son producto de la infiltración de aguas de uso antrópico tanto por pérdidas de agua potable para el uso urbano y agroindustrial como por regadío.

De todas las unidades hidrogeológicas que afloran en la superficie, //A2 es la única que no recibe efectos inmediatos de la actividad antrópica, manteniéndose en patrones químicos bicarbonatados mixtos. Esto se debe, posiblemente, a la capa de material arcilloso superficial, producto de la meteorización, que aísla localmente al acuífero de

cualquier infiltración que modifique la composición química del agua. Aun así, y en zonas urbanas, presenta infiltración directa al pozo de extracción (P554).

Se identifica que la unidad /A3 posee dos tipos de salinidades: dulces moderadamente mineralizadas, en pozos de extracción somera; y dulces, en pozos de extracción profunda, que sugiere la disolución química de las aguas antrópicas al ir infiltrándose en profundidad o la presencia de capas aislantes que separarían acuíferos localmente.

En la zona aledaña al volcán Calbuco las aguas subterráneas son bicarbonatadas con tendencia al Ca^{2+} , debido al origen predominantemente volcánico del sustrato, lo que las diferencia de las facies bicarbonatadas mixtas registradas en la subcuenca y observadas en los depósitos glaciares.

Las aguas superficiales evolucionan a lo largo de su trayecto desde aguas bicarbonatadas mixtas, de salinidad dulce (parte alta) a aguas cloruradas sódicas salobres a salinas, influenciadas por la intrusión marina en el estuario. Demarcando un límite máximo en la localidad de El Salto.

6.5.2 Relaciones Iónicas.

El valor de rMg/rCa y el carácter negativo de ICB indican el tránsito por acuíferos de composición ígnea. Esto es coherente con la composición litológica ígnea de clastos y matriz que componen a los depósitos glaciares y glaciofluviales de la subcuenca.

Los valores expresados en las relaciones ICB, rMg/rCa y rCl/rHCO_3 para aguas subterráneas, señalan la escasa influencia marina. Por ende, su aumento de salinidad, es propio de la evolución de las aguas al circular por un acuífero. Con salvedad de la muestra P182, obtenida desde la puntera de Lolcura, en que sus índices de ICB, rMg/rCa y rCl/rHCO_3 sugieren infiltración de aguas marinas hacia los depósitos de estuario.

El incremento del ICB con la salinidad, evidencia el endurecimiento de las aguas, esperable en una evolución normal. Así también lo señala el descenso generalizado del índice rSO_4/rCl y el aumento de rCl/rHCO_3 . A excepción de las muestras obtenidas en

zonas de alta actividad antrópica (Llanquihue, Puerto Montt, Los Muermos, Chiquihue), que aportarían iones adicionales por filtración de aguas antrópicas a los acuíferos.

Los valores por sobre 1,5 de rMg/rCa registrados en el tramo inicial de la subcuenca, complementado con las profundidades de sus captaciones (sobre de 50 m), apuntan a una probable interacción con rocas de origen marino y/o con aguas subterráneas más profundas.

El descenso de la relación rMg/rCa sugiere el ingreso de calcio al sistema acuífero. Esto podría estar relacionado al intercambio catiónico $Mg^{2+} \rightarrow Ca^{2+}$ derivado de la meteorización de los depósitos glaciares más antiguos.



7. ISOTOPIA.

Junto con la descripción química, la caracterización isotópica de aguas subterráneas, precipitación y superficiales, son de gran utilidad para el estudio de una cuenca hidrogeológica. Con una buena interpretación, se puede generar una idea del origen de las aguas y la condición ambiental y climática en la cual se infiltró.

Para el análisis isotópico de la subcuenca del río Maullín se han utilizado 257 muestras de precipitación extraídas desde la página web del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA). Además de 64 muestras, recolectadas en terreno para el estudio y separadas en:

Tabla 7.1: Clasificación de muestras isotópicas recolectadas para este estudio.

TIPO AGUA	CANTIDAD DE MUESTRAS
Total Aguas de precipitación	21
Unidad Hidrogeológica	
//A1	7
//A2	15
A1	7
A3	10
Total Aguas Subterránea	39
Total Aguas Superficial	4
TOTAL	64

Para la obtención de muestras de lluvia se ubicaron en la subcuenca del río Maullín estaciones de precipitación (Figura 7.1) para el muestreo subterráneo, se recolectaron directamente desde los pozos de extracción, siendo clasificadas función de la Unidad Hidrogeológica que pertenecen (Figura 7.1) y para los registros superficiales han sido recogidos desde la naciente del río principal hasta la parte media de la subcuenca (Figura 7.1). El método de muestreo y el detalle de los análisis isotópicos, se encuentra, en el anexo C y anexo E, respectivamente.

7.1 Marco conceptual isotópico.

Los isótopos estables pesados de hidrógeno (^2H , deuterio o D) y oxígeno-18 ($^{18}\text{O}_8$ ó O^{18}), son utilizados en estudios hidrogeológicos como trazadores de aguas subterráneas. Dado que sus contenidos isotópicos, son alterados solo al momento de su precipitación por: factores geográficos (latitud, continentalización y altitud), climáticos (temperatura, condensación de masa nubosa), procesos de precipitación- evaporación, geotermiales, metamórficos y actividad humana, y que al momento de infiltrar en los acuíferos, heredan su huella isotópica previa (Cook, 2002).

Es decir, una vez que han entrado al acuífero, mantienen sus propiedades sin ser afectados por las interacciones hidroquímicas. Permitiendo determinar el origen, zona de recarga y descarga, tiempo de residencia, mezcla de aguas entre otros.

Graig (1961) define la Línea Meteórica Mundial (Ecuación 2), en función de la relación ^2H versus ^{18}O de precipitaciones de todo el mundo:

$$\delta^2\text{H} = 8 \times \delta\text{O}^{18} + 10\text{‰}_{\text{OIS-MOW}} \quad \text{Ecuación 2}$$

En general, el patrón isotópico del agua meteórica, tiende a coincidir con las aguas de lluvia que recargan al acuífero (FCIHS, 2009).

Este registro, se encuentra afectado irreversiblemente por factores físico-químicos que alteran localmente al agua durante su evaporación (salinidad, temperatura y humedad), enriqueciendo su remanente acuoso en isótopos pesados, modificando el patrón inicial la Línea Meteórica Mundial irreversiblemente a una Línea Meteórica Local.

A la vez, la ubicación de los valores isotópicos respecto a la Línea Meteórica Local (LML) puede dar indicios de: procesos de mezcla de aguas, evaporación previa y post recolección en lagos y ríos e intercambio de oxígeno entre agua y minerales desde fuentes volcánicas y geotérmicas (FCIHS, 2009).

7.1 Composición isotópica de las aguas precipitación.

Para analizar isotópicamente las precipitaciones se utilizaron datos recolectados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), en la localidad de Chamiza (al Este de Puerto Montt. Figura 7.1). Cabe señalar que estos, presentan un sesgo geográfico, dado que son muestras de lluvia obtenidas desde un sector en particular. Aun así, permiten ser analizadas isotópicamente en base a su acumulación y a la estación del año al momento de precipitar. (Figura 7.2).

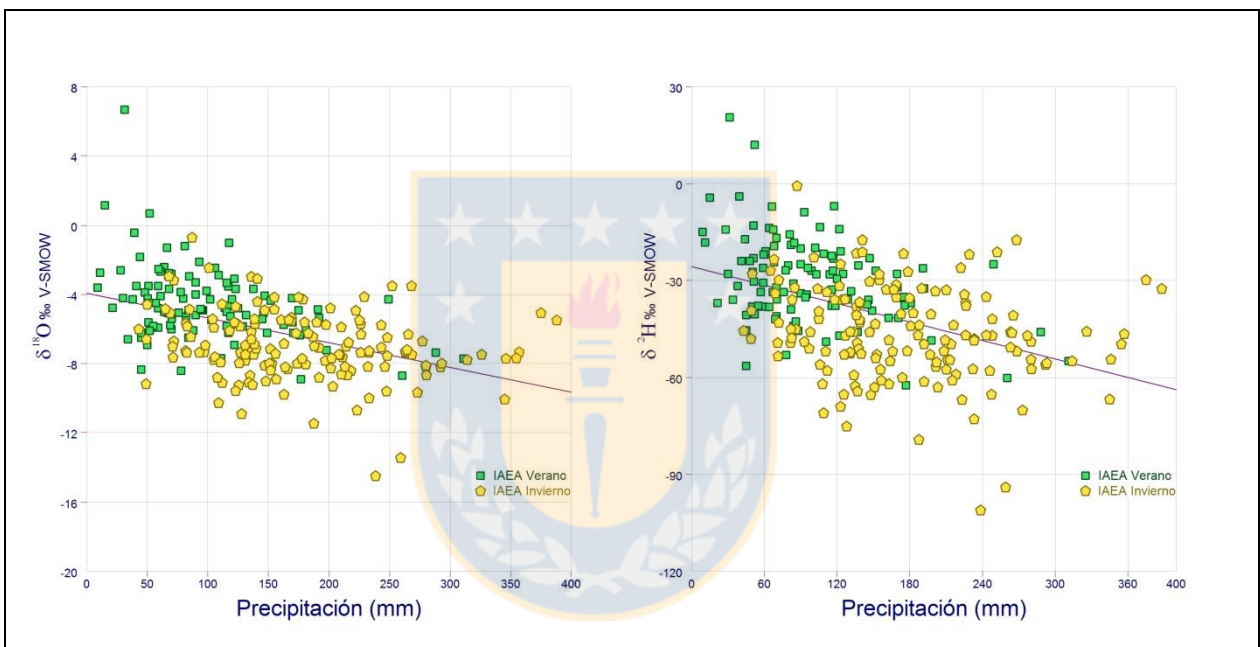


Figura 7.2: Relación entre el valor de $\delta^{18}O$ (izquierda) y δ^2H (derecha) versus la cantidad de precipitaciones medias mensuales obtenidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica en la localidad de Chamiza (período 1964 – 2014).

Los valores isotópicos del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA Verano e IAEA Invierno; Figura 7.2), poseen una pendiente con tendencia negativa que al aumentar la precipitación se empobrecen los valores. La superposición de los valores isotópicos observados entre los intervalos de verano e invierno (Figura 7.2) es producto de la transición interestacional (otoño y primavera), como también a la baja variabilidad climática imperante en la zona.

Las precipitaciones recolectadas para el estudio identificadas como SNGM-Lluvia (Figura 7.3), poseen valores isotópicos que desde -4,33 a -1,65‰ para el $\delta^{18}\text{O}$ y -21,04 a -4,3 de $\delta^2\text{H}$ (Figura 7.3), que caen en el intervalo de verano y son concordantes a su época de extracción (Figura 7.3).

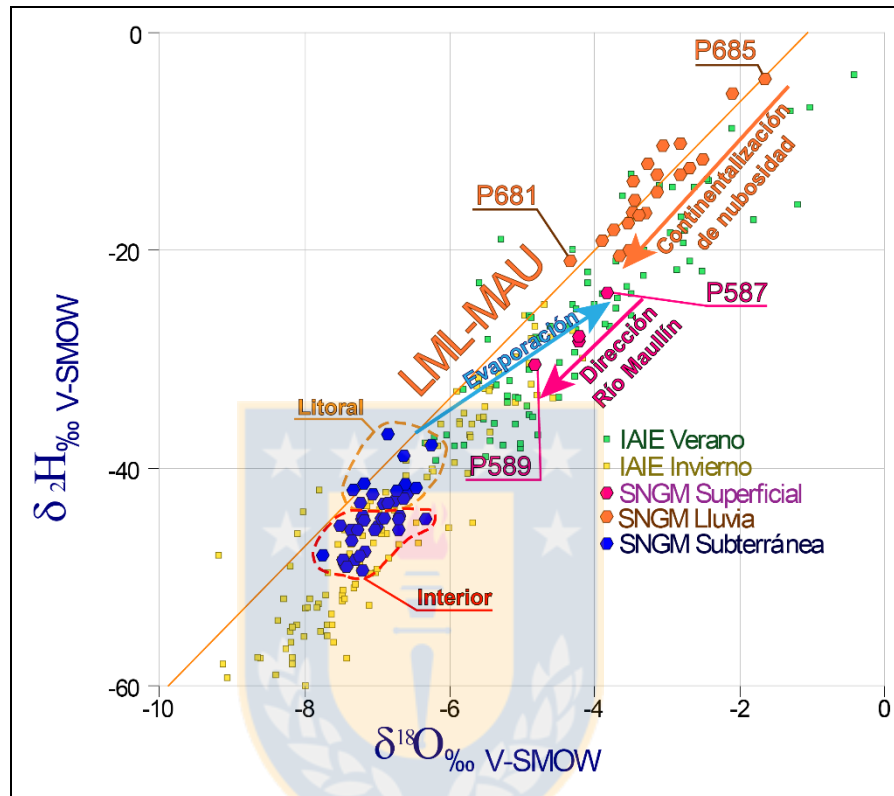


Figura 7.3: Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ para muestras de la subcuenca del río Maullín. LML-MAU: Línea meteorológica local del subcuenca del río Maullín.

Para definir la Línea Meteorológica de la subcuenca del río Maullín o LML-MAU (Figura 7.3), se considera únicamente a los registros de precipitación obtenidos en este estudio, debido a que no presentan el sesgo geográfico identificado en los del Organismo Internacional de Energía Atómica.

La siguiente ecuación define la LML-MAU:

$$\delta^2\text{H} = 6,8029 \times \delta\text{O}^{18} + 7,2483\text{‰}_{\text{ov-smow}} \quad \text{Ecuación 3}$$

La diferencia entre ambas líneas, Meteórica (Ecuación 2) y mundial (Ecuación 3) es influida regionalmente: por el fraccionamiento isotópico por meridional, que en el área de estudio varia a una local: por la continentalización de la nubosidad, desde la costa al continente, y el aumento de la altitud hacia las laderas del volcán Calbuco.

En la subcuenca del río Maullín, los valores isotópicos más enriquecidos de precipitación, se ubican en la costa y, a medida que la nubosidad ingresa al continente, las lluvias sufren empobrecimiento isotópico. Una excepción a esta tendencia, es de la muestra recolectada de Huayún (P681) empobrecida en la relación ^{18}O - ^2H (Figura 7.3), la cual se identifica con contaminación previa al muestro.

7.2 Composición isotópica de las aguas superficiales.

La representación isotópica de las aguas superficiales se circunscribe solo al río Maullín, desde su nacimiento hasta la confluencia con el río Ostiones (Figura 7.1) con valores cercanos a patrones de verano e isotópicamente más livianos que las aguas de precipitación (Figura 7.3). Sus registros varían desde $-4,83\text{‰}$ a $-3,83\text{‰}$ para el $\delta^{18}\text{O}$ y para el $\delta^2\text{H}$ desde $-30,5\text{‰}$ hasta $-23,9\text{‰}$ (Figura 7.3).

Estos valores muestran un continuo empobrecimiento en isótopos pesados según avanza la corriente, donde P587 (Figura 7.1) representa a la nacimiento y P589 (Figura 7.1) la más cercana a la desembocadura, sugiriendo que hacia el estuario las aguas superficiales tienen influencia marina. Además de mostrar un tendencia de evaporación respecto a la Línea Meteórica del río Maullín (Figura 7.3).

7.3 Composición isotópica de las aguas subterráneas.

Las aguas subterráneas de la subcuenca se caracterizan por poseer valores isotópicos más livianos que las precipitaciones con registros entre $-7,75$ a $-6,26\text{‰}$ para el $\delta^{18}\text{O}$ y $-49,40$ a $-36,90\text{‰}$ para el $\delta^2\text{H}$ (Figura 7.3), todos ubicados en el intervalos isotópico de invierno.

Para su descripción han sido separadas en cada Unidad Hidrogeológica a la cual pertenecen.

Los valores isotópicos de A1 (Figura 7.4) se ubican para el $\delta^{18}\text{O}$ entre $-7,27\text{‰}$ (P230) y $-6,56\text{‰}$ (P068), y para el $\delta^2\text{H}$ entre $-47,67\text{‰}$ (P232) y $-41,51\text{‰}$ (P231). La cercanía geográfica entre P454 y P063 (Figura 7.1) y su diferencia respecto a la LML-MAU (Figura 7.4), permite determinar que las aguas subterráneas infiltradas durante 2015 presentan una mayor evaporación respecto a las del 2014.

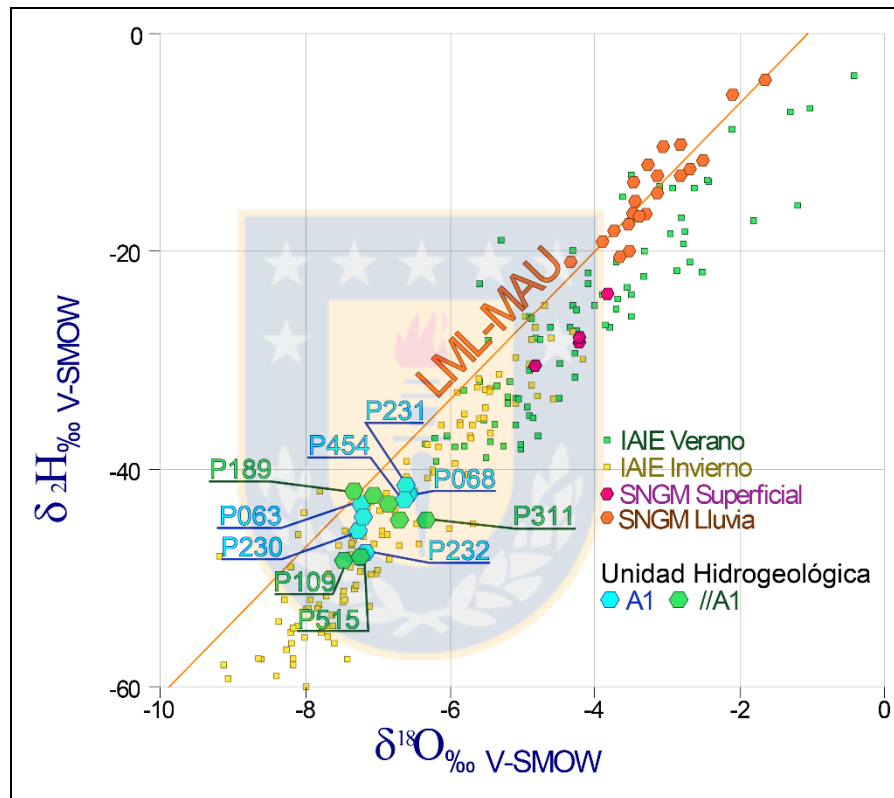


Figura 7.4: Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ para A1 y //A1. LML-MAU: Línea meteorológica local del subcuenca del río Maullín.

La Unidad Hidrogeológica //A1 posee valores isotópicos desde $-7,46\text{‰}$ (P109) a $-6,33\text{‰}$ (P311) para el $\delta^{18}\text{O}$, y desde $-48,41\text{‰}$ (P109) a $-42,00\text{‰}$ (P189) para el $\delta^2\text{H}$ (Figura 7.4). El valor menos pesado registrado en la muestra P109 (Figura 7.4), es producto del aumento de altitud al ascender las nubosidad por faldas del volcán Calbuco (Figura 7.1) y recargar los acuíferos en cotas sobre los 300 m s.n.m. Mientras que el empobrecimiento isotópico de P515 (Figura 7.4) es generado por la continentalización (Figura 7.1). Las restantes muestras tienen un patrón isotópico más enriquecido debido a que sus recargas

son próximas a la costa y van decayendo en isotopos pesados, en dirección de su descarga al río Maullín.

Los registros isotópicos de //A2 tienen valores de mayor dispersión en la relación $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ (Figura 7.5:) entre -7,75 (P498) y -6,26‰ (P001) para el $\delta^{18}\text{O}$ y entre -49,40 (P511) y 36,90‰ (P292) para el $\delta^2\text{H}$, producto de la mayor extensión geográfica de esta Unidad Hidrogeológica.

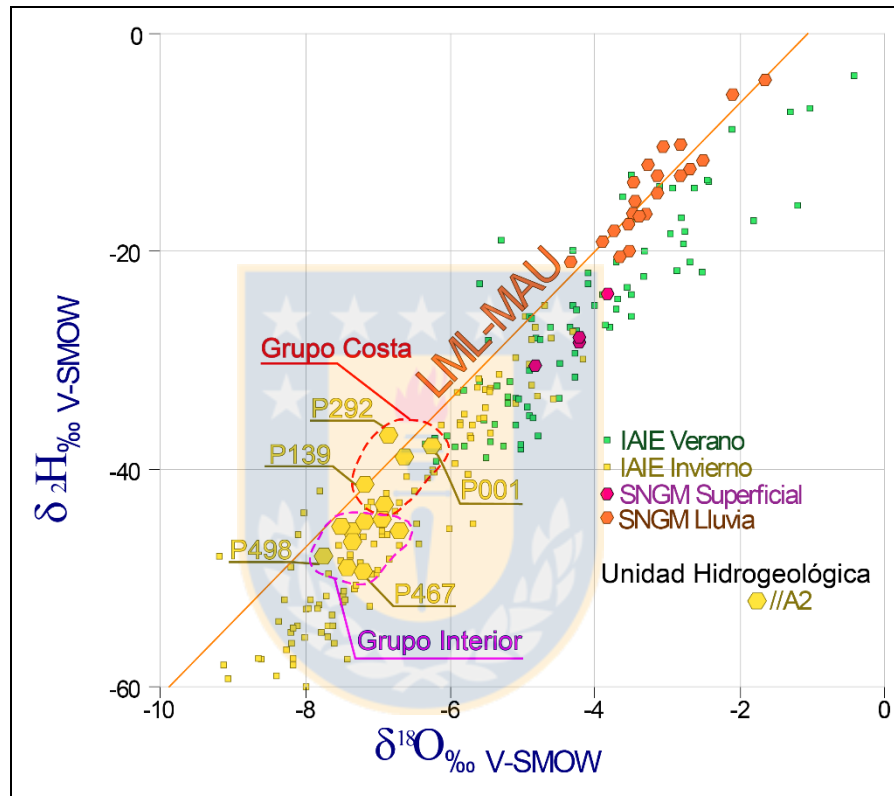


Figura 7.5: Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ para muestras de //A2. LML-MAU: Línea meteorológica local del subcuenca del río Maullín.

En función de su ubicación geográfica han sido separados en :

- Grupo Costa con valores isotópicos más enriquecidos, producto de que sus recargas son las primeras precipitaciones que caen al continente. Sus registros varían entre -7,19‰ hasta -6,26‰ para el $\delta^{18}\text{O}$, y -43,31‰ hasta -36,90‰ para el $\delta^2\text{H}$.

- Grupo Interior aguas isotópicamente más livianas por el fraccionamiento isotópico de continentalización nubosas que ocurren en sus recargas. Sus valores fluctúan entre -7,75‰ y -6,70‰ para el $\delta^{18}\text{O}$ y -49,40‰ hasta -40,70‰ para el $\delta^2\text{H}$.

La Unidad Hidrogeológica A3 (Figura 7.6) posee valores isotópicos para el $\delta^{18}\text{O}$, desde -7,45‰ (P171) hasta -6,46‰ (P130) y para el $\delta^2\text{H}$, desde -48,81‰ (P171) hasta -41,82‰ (P130).

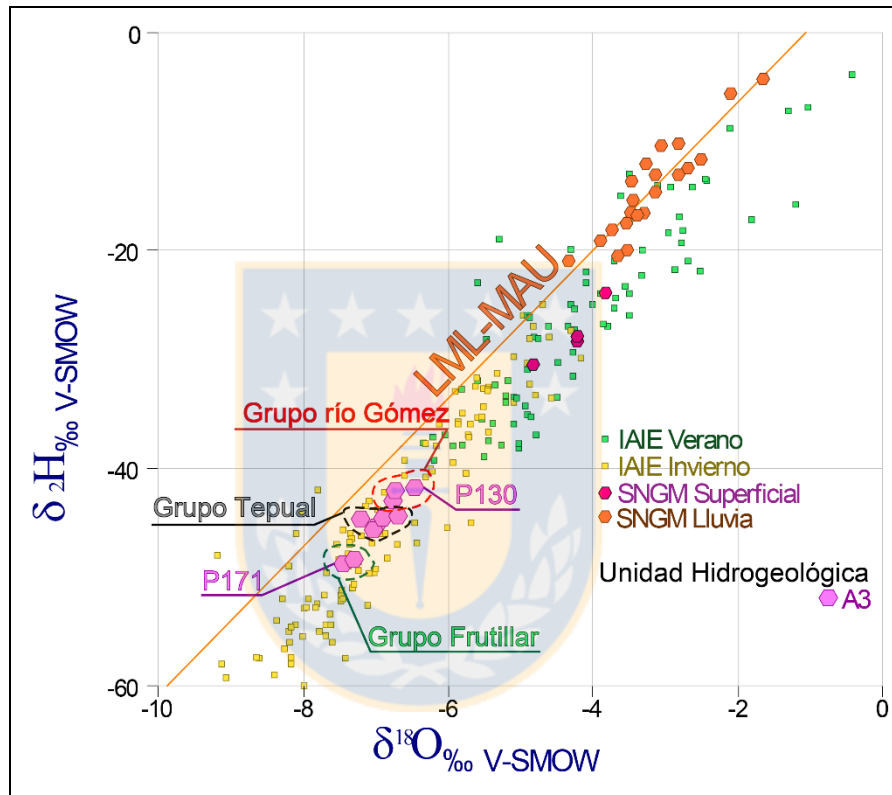


Figura 7.6: Gráfico $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta^2\text{H}$ para muestras A3. LML-MAU: Línea meteórica local del subcuenca del río Maullín.

Según su ubicación geográfica ha sido posible separar esta Unidad Hidrogeológica en grupos:

- Grupo Frutillar con registros más livianos y a la vez más continentalizados. Sus recargas, son las únicas que provienen del lado Noreste de la subcuenca.
- Grupo río Gómez con isotópicamente el más enriquecido de la unidad, ubicados en las cercanías de la localidad de El Llolli.

- Grupo Tepual con registros isotópicos intermedios entre los dos grupos anteriores y localizados en la parte media de la subcuenca del río Maullín.

7.2 Interpretación isotópica.

7.2.1 Aguas de precipitación.

La huella isotópica de las precipitaciones en la subcuenca del río Maullín, se encuentra afectada principalmente, por procesos de fraccionamiento continental y estacional, que localmente en el área de estudio, están influenciados por el aumento de altitud al aproximarse al volcán Calbuco.

El factor continental se observa en la evolución isotópica de las muestras, desde valores enriquecidos en el litoral a valores empobrecidos en zonas interiores.

Se identifica que el valor obtenido desde la estación Huayún difiere de la tendencia observada de empobrecimiento isotópico de las lluvias al producirse la continentalización, esto producto de la contaminación previa de la muestra.

El factor estacionalidad se observa en las muestras de Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA), donde los valores isotópicos más altos son recolectados en verano mientras que los más bajos son obtenidos en invierno.

La Línea Meteorica de la subcuenca del río Maullín (LML-MAU) difiere en la pendiente respecto a la mundial (LMM), por el factor regional latitudinal, que disminuye los contenidos de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ en las lluvias al alejarse la Línea del Ecuador, y locales de continentalización del ingreso nuboso, altitud al aumentar la cota hacia la cordillera y centros eruptivos y estacionalidad por mayores lluvias caídas durante invierno respecto a verano.

7.2.2 Aguas superficiales.

Sus valores isotópicos intermedios responden a la mezcla de aguas de distinto origen que ocurre en el río Maullín, entre: las aguas subterráneas recargadas por precipitación previa (más empobrecidas y con rango de invierno), lluvias de la temporada (más

enriquecidas) y aguas recolectadas por el lago Llanquihue, más livianas producto de su mayor continentalización y altitud.

El río Maullín al poseer un patrón más pesado que el de las aguas subterráneas, manifiesta el carácter efluente, pues de lo contrario, las aguas subterráneas de la subcuenca presentarían patrones similares a las del río.

La isotopía superficial con tendencia paralela y más alejada a la Línea Meteorica del río Maullín, indica que todas han sufrido mismo grado de evaporación.

7.2.3 Aguas subterráneas

Los registros isotópicos de las aguas subterráneas se caracterizan por ser los más menos enriquecidos de la subcuenca, concentrados entre los valores de $-7 \delta^{18}\text{O}$ y $-45 \delta^2\text{H}$, lo que indica la existencia de una mezcla constante de recargas en los acuíferos hacia su desagüe, coincidente con la conexión hidráulica de las Unidades Hidrogeológicas.

Las muestras subterráneas han sido recolectadas en verano y poseen patrones isotópicos de invierno, lo que demuestra la circulación semestral de las aguas en los acuíferos antes de ser descargadas.

Los valores isotópicos relativamente similares de las Unidades Hidrogeológicas de la subcuenca, sugieren que sus aguas presentan una mezcla durante su flujo subterráneo, recargándose constantemente de las precipitaciones en su trayectoria al río Maullín.

Se identifica que los valores menos enriquecidos de //A1 son producto de las recargas originadas desde el volcán Calbuco, las cuales precipitan a mayor altitud y mayor continentalización, empobreciendo su valor isotópico. Además, esta unidad se caracteriza por tener similar distancia bajo la Línea Meteorica del río Maullín, señalando que sus aguas son sido sometidas a un proceso de similar evaporación.

Los tres grupos identificados en A3, indican las diferentes zonas de recarga . Frutillar, es la más enriquecida debido a que sus recargas se originan a una mayor altitud y continentalización. Mientras que Tepual y río Gómez, sus recargas caen cerca de la costa y a alturas similares, lo que causa la menor diferenciación entre ambas.

La mayor dispersión isotópica de la unidad //A2 se debe a su gran extensión geográfica, ya que abarca desde áreas próximas al litoral (grupo Costa) hasta zonas más continentalizadas (Grupo Interior). De este último grupo se registra la muestra P001 que su registro isotópico difiere de los valores normales para el conjunto, probablemente es debido a infiltración de agua de uso agroindustrial.



8. CONCLUSIONES.

Los acuíferos de la subcuenca del río Maullín son recargados únicamente por precipitación y desembocan sus aguas principalmente hacia el río Maullín.

Existen tres unidades hidrogeológicas principales A1, A2 y A3, ubicadas en depósitos no consolidados de origen glaciar y fluvio-glaciar, que conforman acuíferos granulares, extensos y altamente productivos. A su vez, tienen una condiciones variables en su permeabilidad, produciendo acuíferos libres A1 y A3, acuíferos cubiertos o confinados //A1 y //A2 y semicubiertos /A3, en una misma Unidad Hidrogeológica.

Las diferencias de permeabilidad en las Unidades Hidrogeológicas, están relacionadas directamente con el grado material fino que poseen los distintos depósitos glaciares, producto de la meteorización o por la depositación de distintos ambientes glaciares por esto se encuentran en depósitos de una misma época Glacial acuíferos permeables localizados en depósitos fluvio-glaciares a impermeables en unidades de morrénicos, y en unidades más antiguas, acuíferos impermeables.

En la zona volcánica los acuíferos comienzan a experimentar confinamiento, debido la capa volcánica que cubre en superficie, aislando a los acuíferos del sector.

Las piezometrías de la subcuenca del río Maullín, permiten definir tres direcciones de descarga subterránea.

1. Al río Maullín, desde terrenos ubicados al Norte y al Sur de su ribera.
2. Al lago Llanquihue, desde los terrenos que lo circundan.
3. Al seno de Reloncaví, desde las localidades de Trapén y Chinquihue.

Las aguas subterráneas de la subcuenca corresponden mayoritariamente a facies bicarbonatadas mixtas y dulces. Con excepción /A3 con valores más cálcicos que mixtos, producto del tránsito por material volcánico.

Las anomalías químicas e isotópicas de las aguas subterráneas y la zona en donde se localizaron, sugieren la existencia de vulnerabilidad en los acuíferos por infiltración, tanto de agua de regadío en áreas agrícolas y potables en urbanas.

Las relaciones iónicas demuestran que en los bordes de Unidades Hidrogeológicas de alto potencial (A) que limitan con la unidad C1 pueden presentar que presenta infiltración de agua marina desde la zona de estuario.

A escala regional, la Línea Meteórica del río Maullín es afectada por el fraccionamiento isotópico latitudinal que localmente es influenciada por la continentalización de la nubosidad y al aumento de la altitud hacia el continente y los sistemas volcánicos del sector.

Los valores isotópicos acotados de las aguas subterráneas demuestran una buena mezcla de sus aguas de recarga, lo que posibilita concluir que las precipitaciones se infiltran continuamente durante el flujo subterráneo hacia su desagüe y son sus únicas recargas.

Las aguas subterráneas muestran un empobrecimiento isotópico con patrones de épocas de invierno, lo que significa que las aguas se filtran y transitan por los acuíferos a lo menos un semestre antes de desaguar. A diferencia de las aguas superficiales que son descargadas en la misma época que son recargadas.

Las recargas originadas en volcán Calbuco poseen valores isotópicos más empobrecidos, producto de su infiltración a mayor altitud.

La precipitación presenta un empobrecimiento isotópico en dirección preferencial hacia el lago Llanquihue, mientras que las aguas de los acuíferos van en dirección de su flujo subterráneo. Estas últimas demostrando la recarga constante de aguas que ocurre en los acuíferos, antes de ser desaguadas.

9. REFERENCIAS.

- ANDERSEN, B. G.; DENTON, G. H. & LOWELL, T. V. 1999. Glacial Geomorphologic Maps of Llanquihue Drift in the Area of the Southern Lake District, Chile. *Geografiska Annaler*, Vol. **81** (2): 155-166.
- ANTINAO, J. L.; DUHART, P.; CLAYTON, J.; ELGUETA, S. & MCDONOUGH, M. 2000a. Geología del Área de Ancud-Maullín, Región de Los Lagos, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos N°17. Puerto Varas.
- ANTINAO, J. L.; CLAYTON, J. D.; SANTIBÁÑEZ, I.; TOLOCZYKI, M.; SCHWERDTFEGGER, B.; HANISCH, J. & KRUCK, W. 2000b. Geología para el ordenamiento territorial: estudio geoambiental del área Puerto Montt-Frutillar, Región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 55: 34 pp. Puerto Varas.
- CAMPOS, A.; MORENO, H.; MUÑOZ, J.; ANTINAO, J.; CLAYTON, J & MARTIN, M. 1998. Geología del Área de Futrono-Lago Ranco, Región de Los Lagos, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos N°08. Santiago.
- CLAYTON, J. & ANTINAO, J. L. 2000. Geología del Área Pargua-Calbuco, Región de Los Lagos, Escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos N°16. Puerto Varas.
- COEN, K.M.; FINNEY, S.C.; GIBBARD, P.L. & FAN, J.X. 2013. The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36: 199-204.
- CRIGNOLA, P. 1999. Depósitos metalíferos, anomalías geoquímicas y recursos energéticos del sector Norte de la Región de Los Lagos, Escala 1:500.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa de Recursos Minerales de Chile N°06. Santiago.
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M. 1996. Hidrología subterránea. Vol. 1. Ediciones Omega.: 1154 pp. Barcelona.
- DUHART, P. & ADRIASOLA, A. 2010. New time-constraints on provenance, metamorphism and exhumation of the Bahía Mansa Metamorphic Complex on the Main Chiloé Island, south-central Chile. *Revista Geológica de Chile*, Vol. **35** (1): 79-104.
- DUHART, P. 1999. Geología del basamento metamórfico de la Cordillera de la Costa entre los 41°00'- 42°00'L.S, Región de Los Lagos, Chile: consideraciones geocronológicas. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 158 pp., Concepción.
- DUHART, P., MCDONOUGH, M., MUÑOZ, J., MARTIN, M., & VILLENEUVE, M. (2001). El Complejo Metamórfico Bahía Mansa en la cordillera de la Costa del centro-Sur de Chile (39° 30'-42° 00'S): geocronología K-Ar, 40Ar/39Ar y U-Pb e implicancias en la evolución del margen Sur-occidental de Gondwana. *Revista Geológica de Chile*, Vol. **28** (2): 179-208.

DUHART, P.; LARA, L.; PÉREZ, Y.; RODRÍGUEZ, C.; ANTINAO J.; CLAYTON, J.; MCDONOUGH, M.; FONSECA, E. & MUÑOZ, J. 1998. Estudio Geológico-Económico de la Región de Los Lagos Norte. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado: Volumen N°2: 191 pp. Puerto Varas.

ELGUETA, S.; DUHART, P.; LE ROUX, J.; MCDONOUGH, M. & URQUETA, E. 2000. Estratigrafía y sedimentología de las cuencas terciarias de la Región de Los Lagos (39-41°30'S). Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 51: 50 pp. Puerto Varas.

ENCINAS, A.; FINGER, K. L.; NIELSEN, S. N.; LAVENU, A.; BUATOIS, L. A.; PETERSON, D. E. & LE ROUX, J. P. 2008. Rapid and major coastal subsidence during the late Miocene in south-central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, N° 25 (2): 157-175.

FCIHS 2009. Hidrogeología: Conceptos básicos de hidrología subterránea. Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea.: 768 pp. Barcelona.

FLORES, R. 1976. Evaluación preliminar de los recursos carboníferos de la cordillera de Zarao, Décima Región. *GEOSUR*. Informe de Intendencia Región de Los Lagos. 122 pp. Inédito. Puerto Montt.

FUENZALIDA, H. 1971. Clima: Geografía económica de Chile. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción: 99-152. Santiago.

GARCÍA, F. 1968. Estratigrafía del Terciario de Chile, Zona Central. Sociedad Geológica de Chile El Terciario de Chile. *Sociedad Geológica de Chile*: 280. El Terciario de Chile Zona Central. Cecioni, G. Editorial Andrés Bello: 25-57. Santiago.

HERRERA, C.; FERNÁNDEZ, H.; ROJAS, C.; BRAVO, M. J.; KREFT, R.; CUSTODIO, E.; TRONCOSO, R. & GÓMEZ, L. 2010. Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de las aguas subterráneas del Valle del río Huasco. Región de Atacama, Chile. Evaluación hidrogeológica de la Cuenca del río Huasco, con énfasis en la cuantificación y dinámica de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Universidad Católica del Norte. Informe Registrado 05CR11IXM-28 (Inédito): Vol. 2: 66-84. Inédito. Antofagasta.

ILLIES, H. 1970. Geología de los alrededores de Valdivia y Volcanismo y Tectónica en márgenes del Pacífico en Chile Meridional. Memoria para optar a Título de Geólogo. Universidad Austral de Chile, Instituto de Geología y Geografía (Inédito): 64 pp., Valdivia.

MARTÍNEZ, R. & PINO, M. 1979. Edad, paleoecología y sedimentología del Mioceno Marino de la Cuesta de Santo Domingo, Provincia de Valdivia, X Región. Congreso Geológico Chileno, N° 2. C311-C325. Arica.

Mook, W. G.; Gat, J. R.; Roznski, K.; Froehlich, K.; Geyh, M.; Séller, K. L. & Konikow, L. F. 2002. Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico. Principios y aplicaciones. Instituto Geológico y Minero de España.: 596 pp. Madrid.

- MORALES, D.; PÁEZ, D. & PIZARRO, S. 2015. Anomalías Gravimétricas y Modelos de la Geomorfología de las Cuencas del río Maullín y río Bueno, Región de Los Lagos. Congreso Geológico Chileno, N°14. 743-747. La Serena.
- MORENO, H.; LARA, L. & OROZCO, G. 2010. Geología del Volcán Osorno, escala 1:50.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica N° 126. Santiago.
- MUNIZAGA, F.; HERVÉ, F.; DRAKE, R.; PANKHURST, R.; BROOK, M. & SNELLING, N. 1988. Geochronology of the Lake Region of South-Central Chile (39-42° S): Preliminary results. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol, 1(3): 309-316.
- PARADA, M.A.; PALACIOS, C. & LAHSEN, A. 1997. Jurassic extensional tectonomagmatism and associated mineralization of the El Faldeo polymetallic district, Chilean Patagonia: geochemical and isotopic evidence of crustal contribution. *Mineralium Deposita*, Vol. 32: 547-554.
- SÁNCHEZ, F. J. 2011. Medidas puntuales de permeabilidad. Universidad de Salamanca: 13 pp. Inédito. Salamanca.
- SANTIBÁÑEZ, I. 2000. Guía metodológica para la elaboración de mapas hidrogeológicos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Inédito. Santiago
- SELLÉS, D. & MORENO, H. 2011. Geología del Volcán Calbuco, escala 1:50.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica N° 130. Santiago.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 1998. Estudio geológico-económico de la Región de Los Lagos Norte, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-98-15 (Inédito): 814 pp 6 vol. Inédito. Santiago.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA-BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES. 1995. Carta Metalogénica de la Región de Los Lagos Sur, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería-Bureau de Recherches Geologiques et Minieres. Informe Registrado IR-95-054 (Inédito): 460 pp. Inédito. Santiago.
- STRUCKMEIER, W. & MARGAT, J. 1995. Hydrogeological Maps: A Guide and a Standard Legend. *International Association of Hydrogeologists*: Vol. 17. 177 pp. Dordrecht.
- TASSARA, A. & YÁÑEZ, G. 2003. Relación entre el espesor elástico de la litosfera y la segmentación tectónica del margen andino (15-47°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 30(2): 159-186.
- TRONCOSO, A. & BARRERA, E. 1979. Estudio Palinológico de tres testigos del pozo río Blanco N°1 (Osorno, Chile). Congreso Geológico Chileno, N°2. Actas, Vol. 3. H1-H14. Arica.

TRONCOSO, R.; AVILÉS, F.; MORALES, D.; PÁEZ, D. & PIZARRO, S. 2015. Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Maullín, Región de Los Lagos: Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-15-60 (Inédito): 120 pp. Inédito. Puerto Varas.

TRONCOSO, R.; ESPINOZA, M.; PÉREZ, Y.; CASTRO, R.; LORCA, M.; VEGA, N.; FEUKER, P.; ARÉVALO, C.; MERCADO, E.; CREIXELL, C.; ORTIZ, M. & WALL, R. 2013. Evaluación hidrogeológica de la cuenca del río Copiapó, con énfasis en la cuantificación, dinámica y calidad química de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR-12-49 (Inédito): 326 pp. Santiago.

TRONCOSO, R.; FEUKER, P.; MUÑOZ, J.; PÁEZ, D. & PÉREZ, Y. 2008. Levantamiento hidrogeológico y potencial de agua subterránea de la depresión central de las regiones de Los Ríos y Los lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-34 (Inédito): 175 pp. Inédito. Puerto Varas.

VALENZUELA, E. 1982. Estratigrafía de la boca occidental del Canal de Chacao, Región de Los Lagos, Chile. Congreso Geológico Chileno, N°3. Actas 1: A343-A376. Concepcion.





ÍNDICE.

A. ESTRATIGRAFÍA DE POZOS DE AGUA.....	1
B. NIVELES PIEZOMÉTRICOS.....	24
C. MUESTREO DE AGUAS.....	32
D. ANÁLISIS QUÍMICO.....	38
E. ANÁLISIS ISOTÓPICO.....	53
F. MAPA Y PERFIL HIDROGEOLÓGICO.....	55



A. ESTRATIGRAFÍA DE POZOS DE AGUA.

La estratigrafía de pozos utilizada para el estudio de la subcuenca del río Maullín, es producto de la recopilación de antecedentes de DGA y ENAP.

Si bien, algunas descripciones son detalladas y aportan gran cantidad de información, otras son escuetas y no se apoyan en un lenguaje técnico. Por esto y para facilitar su comparación, fue necesario homogeneizar y simplificar la información obtenida.

Resultando descripciones que mantienen las dos características principales de la textura en cada tramo de sedimento o roca definido durante su perforación. Es decir, si la definición textural en terreno ha sido “grava arcillosa y arenosa”, para este estudio ha quedado como “grava arcillosa”.

Además se ha designado para cada textura litológica una clasificación definida según Struckmeier y Margat (1995), que indica la capacidad de transmitir agua. Estas ilustraciones son generadas en el programa *Strater V5*.

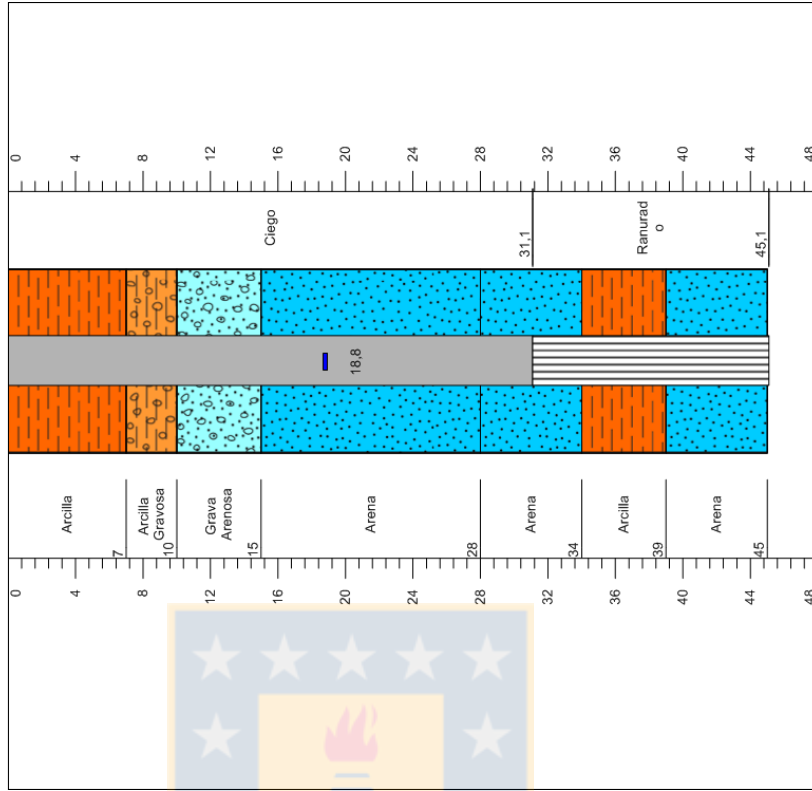
Se debe considerar que las interpretaciones realizadas en este estudio son en base a las descripciones originales realizadas durante la perforación por diferentes personas, lo cual le agrega un carácter subjetivo a la definición. Por esto se debe tomar con mesura la homogenización y simplificación, ya que pueden presentar leves diferencias.

A continuación, se encuentran las descripciones más relevantes utilizadas en el estudio.

Código SNGM: SNGM-RMA-P048

Nombre pozo: ND-1003-591
Ubicación: Embalsadura Williamson Balfour, Pto Montt
UTM Norte: 5411588
UTM Este: 670838
Cota (m s.n.m.): 97,73

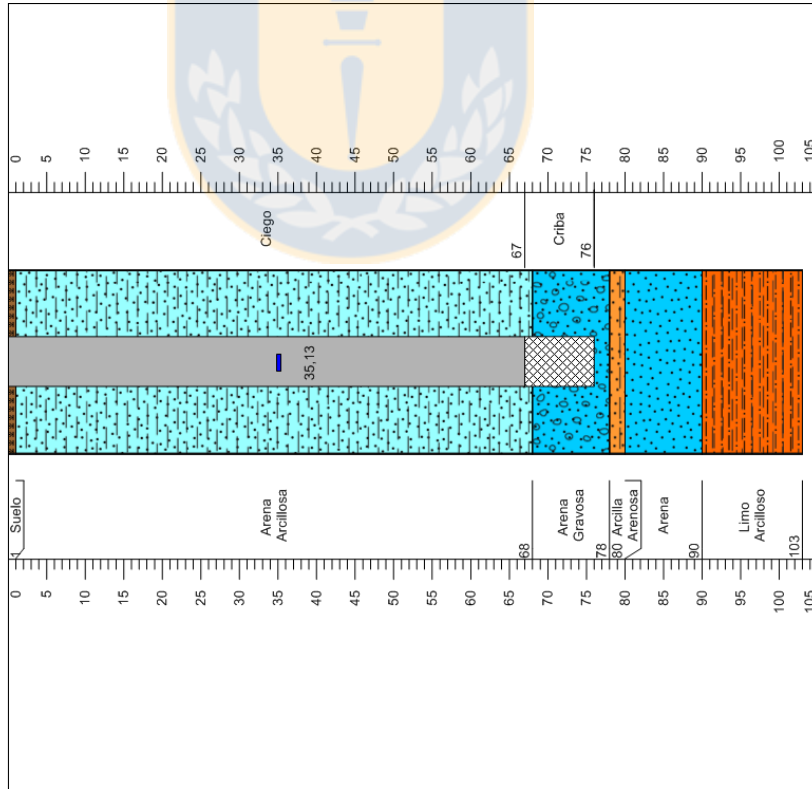
Prof. perforación (m): 45,1
Habilitación (m): SI
Nivel estático (m): 18,8
Altura brocal (m):
Fecha N.E.:



Código SNGM: SNGM-RMA-P052

Nombre pozo: ND-1003-680 / 619
Ubicación: Chinchin Allo, Pto Montt
UTM Norte: 5409828
UTM Este: 670510
Cota (m s.n.m.): 102,31

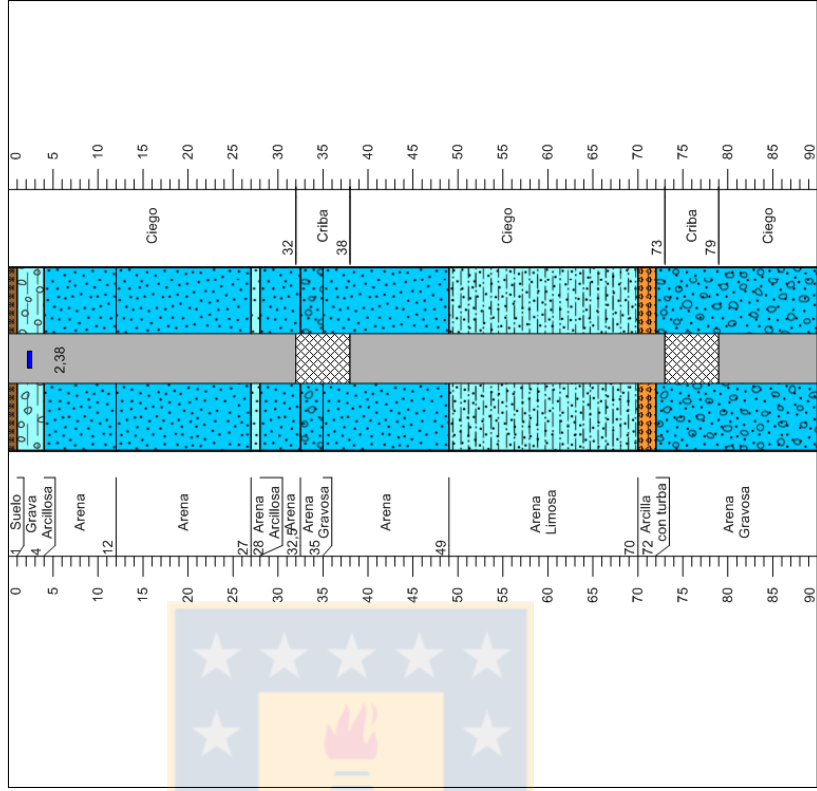
Prof. perforación (m): 103
Habilitación (m): SI
Nivel estático (m): 35,13
Altura brocal (m):
Fecha N.E.:



Código SNGM: SNGM-RMA-P063

Nombre pozo: ND-1003-1335
 Ubicación: Trapén
 UTM Norte: 5401224
 UTM Este: 658863
 Cota (m s.n.m.): 97,04

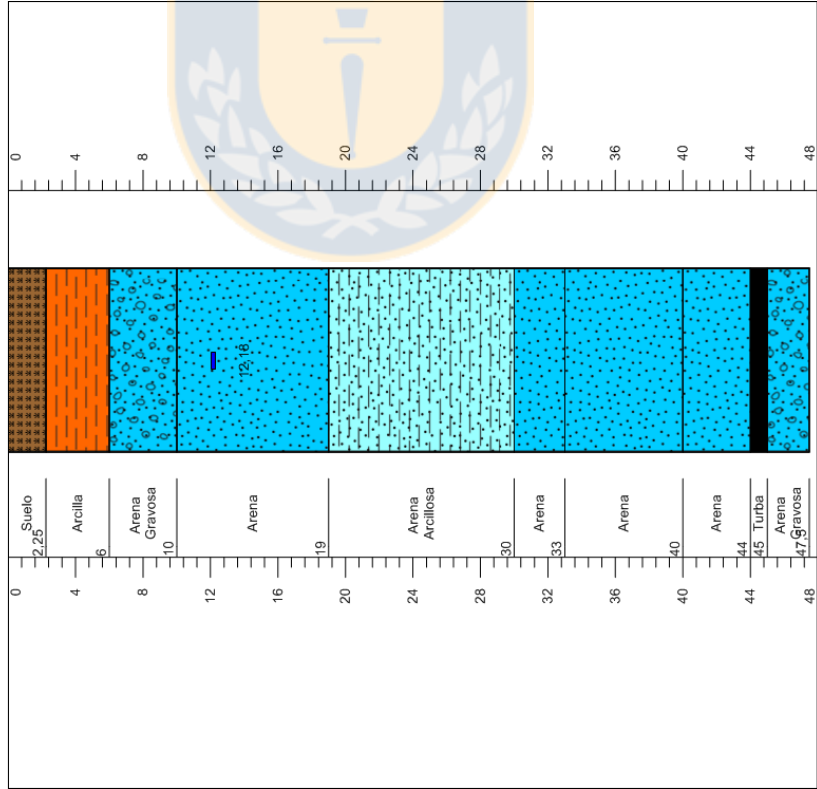
Prof. perforación (m): 90
 Habilitación (m): Si
 Nivel estático (m): 2,38
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:

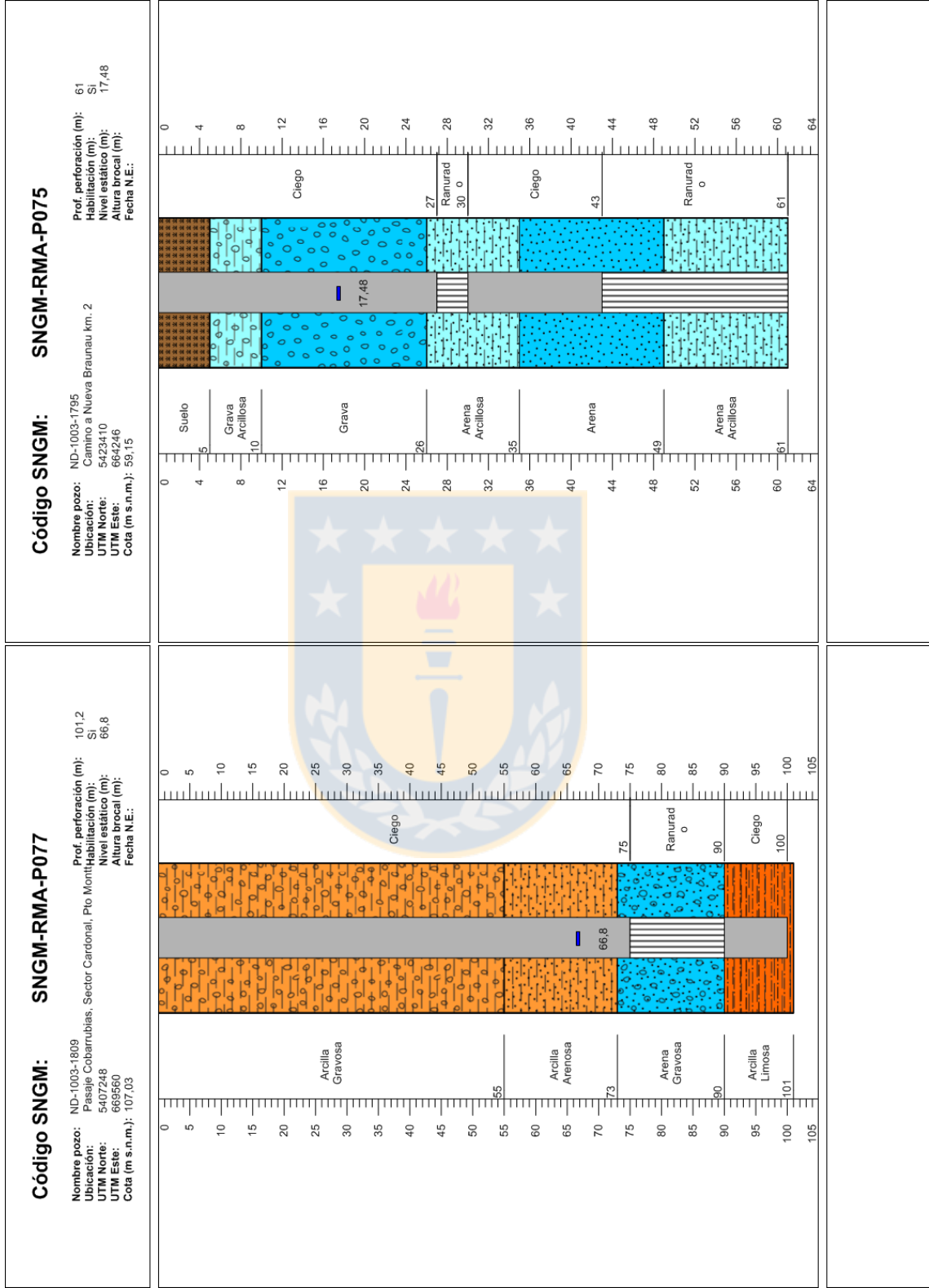


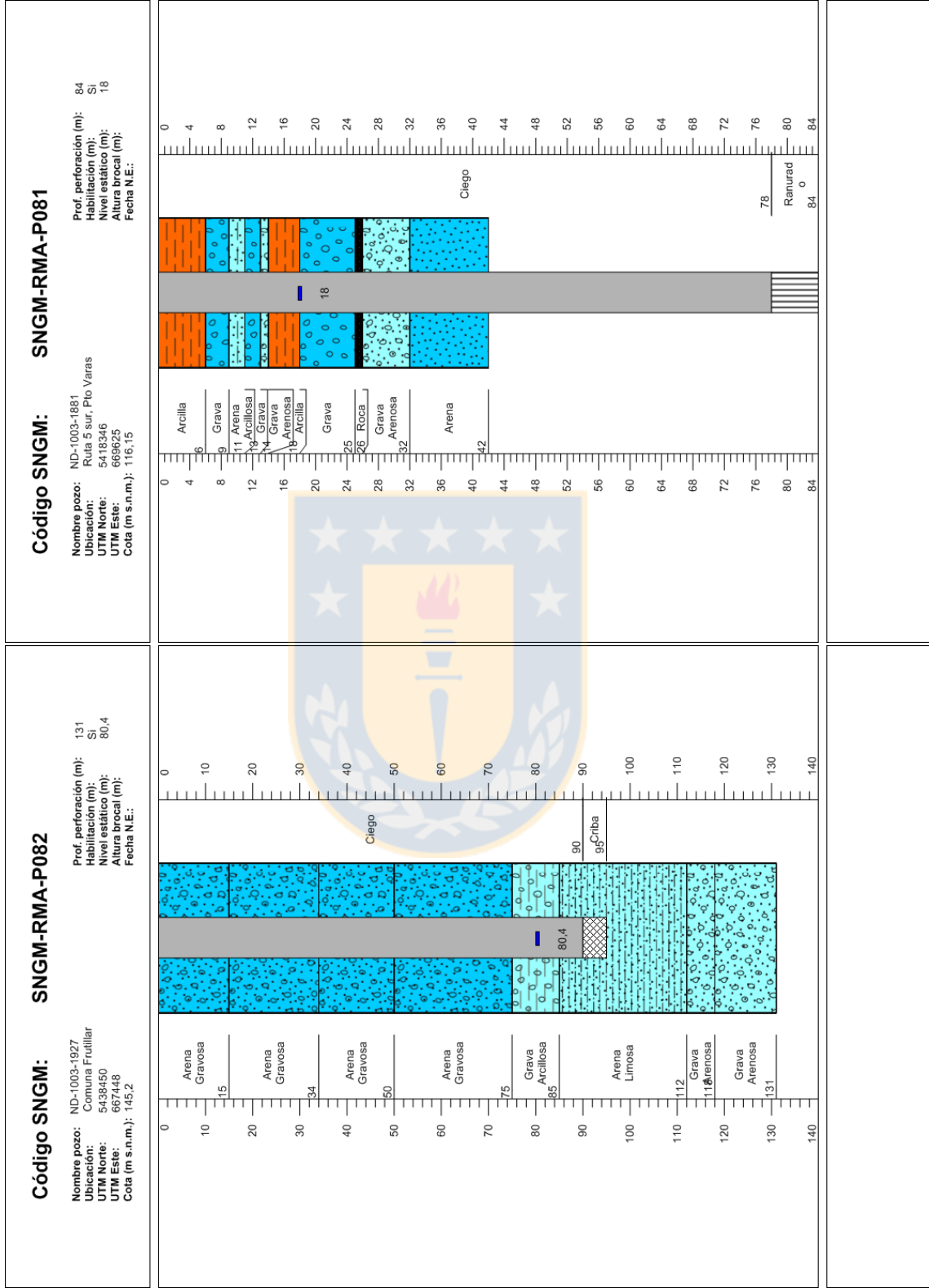
Código SNGM: SNGM-RMA-P065

Nombre pozo: ND-1003-1529
 Ubicación: Ecofeel, Paiguá, Calbuco
 UTM Norte: s/i
 UTM Este: s/i
 Cota (m s.n.m.): s/i

Prof. perforación (m): 47,5
 Habilitación (m): No
 Nivel estático (m): 12,18
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:



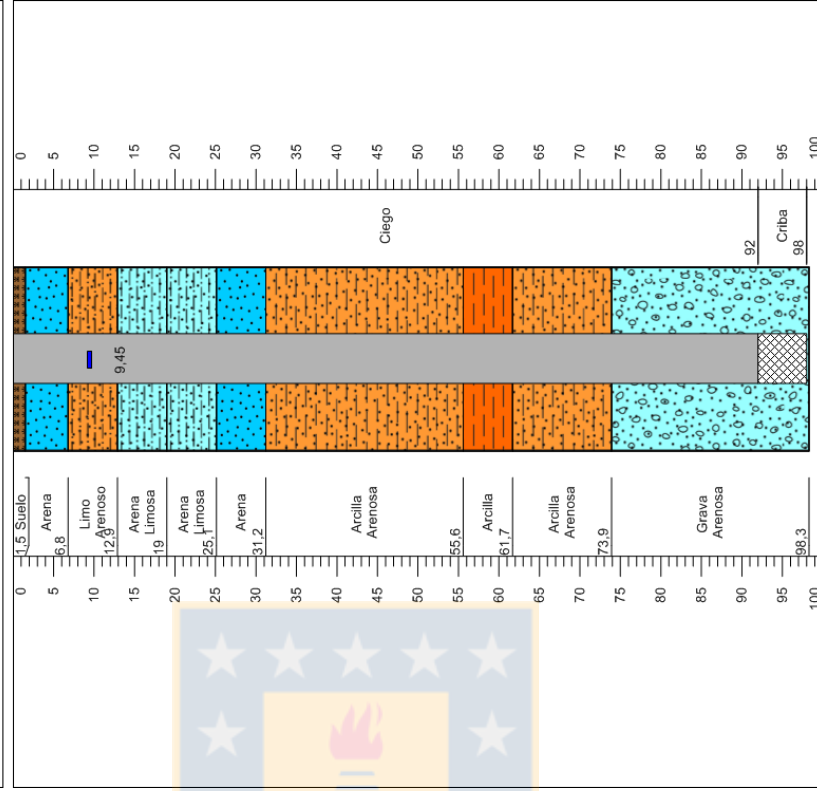




Código SNGM: SNGM-RMA-P094

Nombre pozo: ND-1003-2482 / 1549
 Ubicación: Regimiento Sangra, Puerto Varas
 UTM Norte: 5415293
 UTM Este: 670833
 Cota (m s.n.m.): 92.59

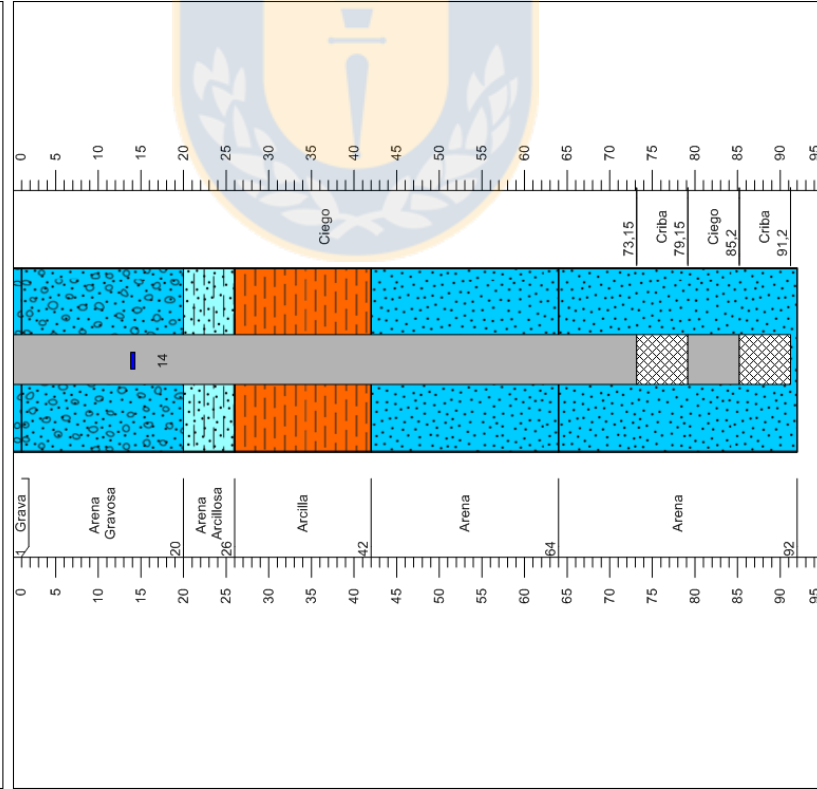
Prof. perforación (m): 98
 Habilitación (m): SI
 Nivel estático (m): 9.45
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:

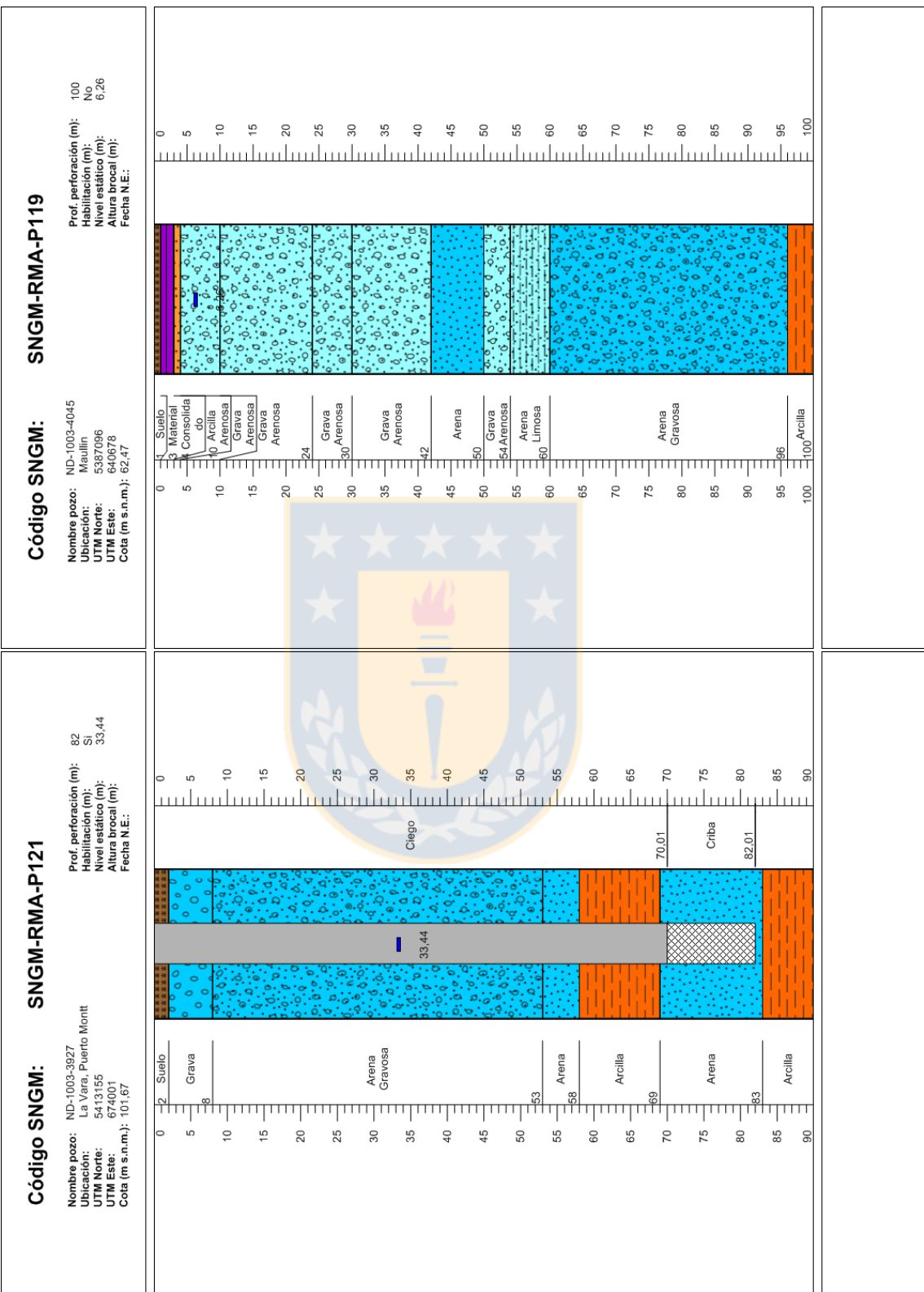


Código SNGM: SNGM-RMA-P112

Nombre pozo: ND-1003-4118
 Ubicación: Ruta 5 Sur, Km 1012, Puerto Montt
 UTM Norte: 5417492
 UTM Este: 669857
 Cota (m s.n.m.): 112.37

Prof. perforación (m): 91.2
 Habilitación (m): SI
 Nivel estático (m): 14
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:

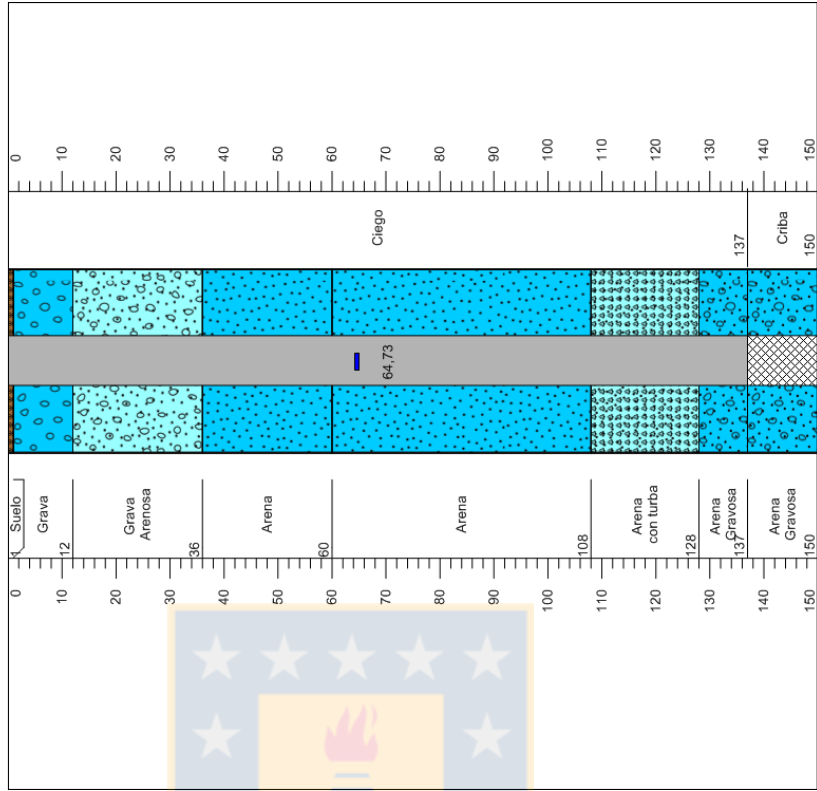




Código SNGM: SNGM-RMA-P131

Nombre pozo: ND-1003-3752
Ubicación: Cardonal Pio Montt
UTM Norte: 5407520
UTM Este: 669361
Cota (m s.n.m.): 105,21

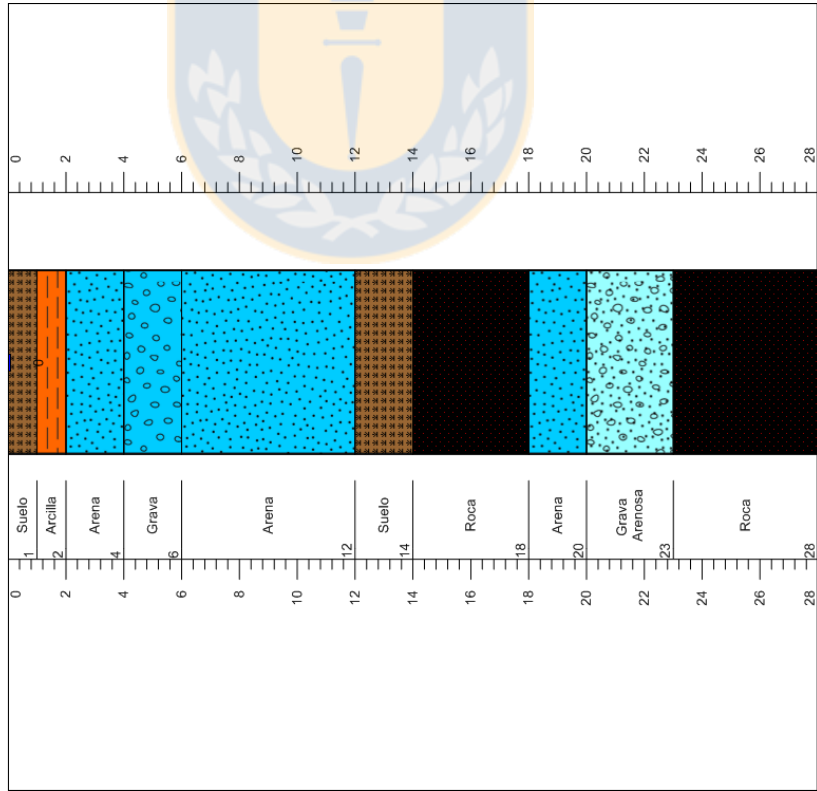
Prof. perforación (m): 150
Habilitación (m): Si
Nivel estático (m): 64,73
Altura brocal (m):
Fecha N.E.:



Código SNGM: SNGM-RMA-P136

Nombre pozo: ND-1003-3655
Ubicación: Camino Colonia 3 Puentes km 9, Puerto Varas
UTM Norte: 5423021
UTM Este: 685507
Cota (m s.n.m.): 211,51

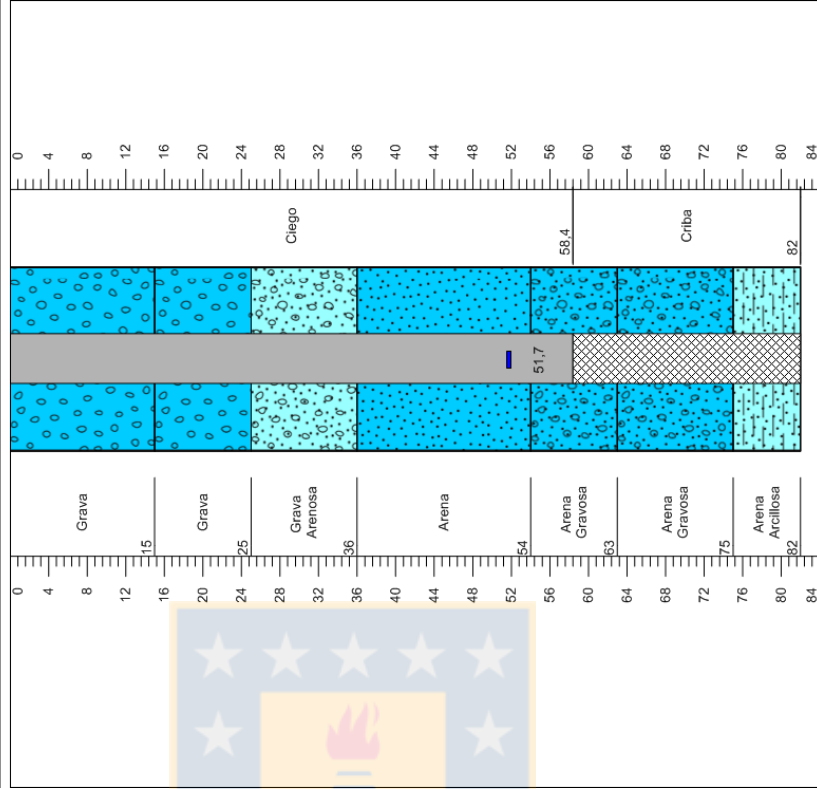
Prof. perforación (m): 28
Habilitación (m): No
Nivel estático (m): 0
Altura brocal (m):
Fecha N.E.:



Código SNGM: SNGM-RMA-P167

Nombre pozo: ND-1003-3188
 Ubicación: Pantao Alto, Puerto Montt
 UTM Norte: 5398673
 UTM Este: 662401
 Cota (m s.n.m.): 98.38

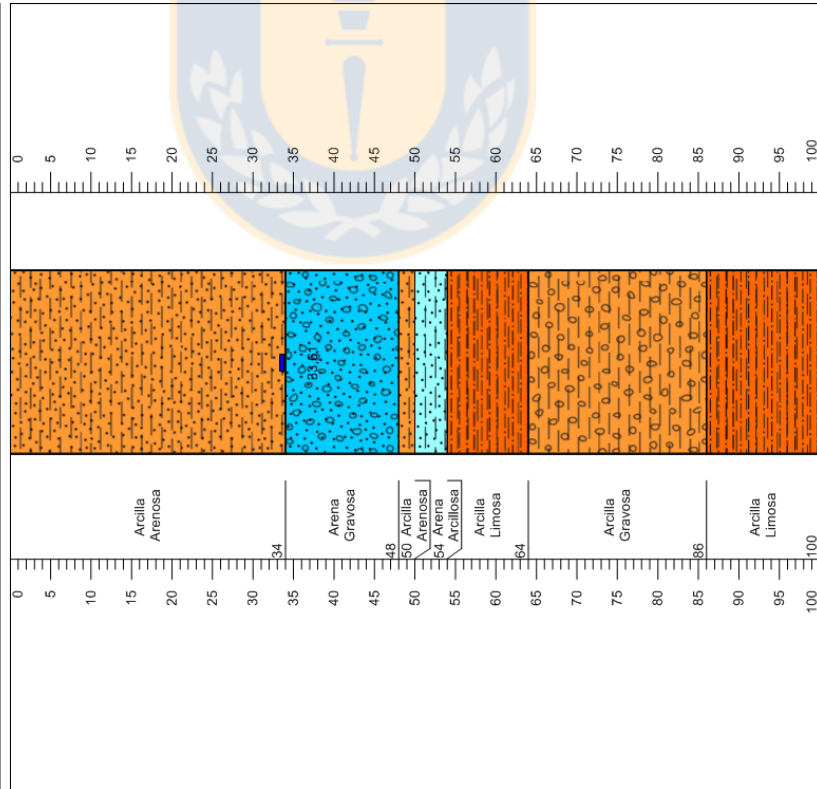
Prof. perforación (m): 82
 Habilitación (m): Si
 Nivel estático (m): 51,7
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:

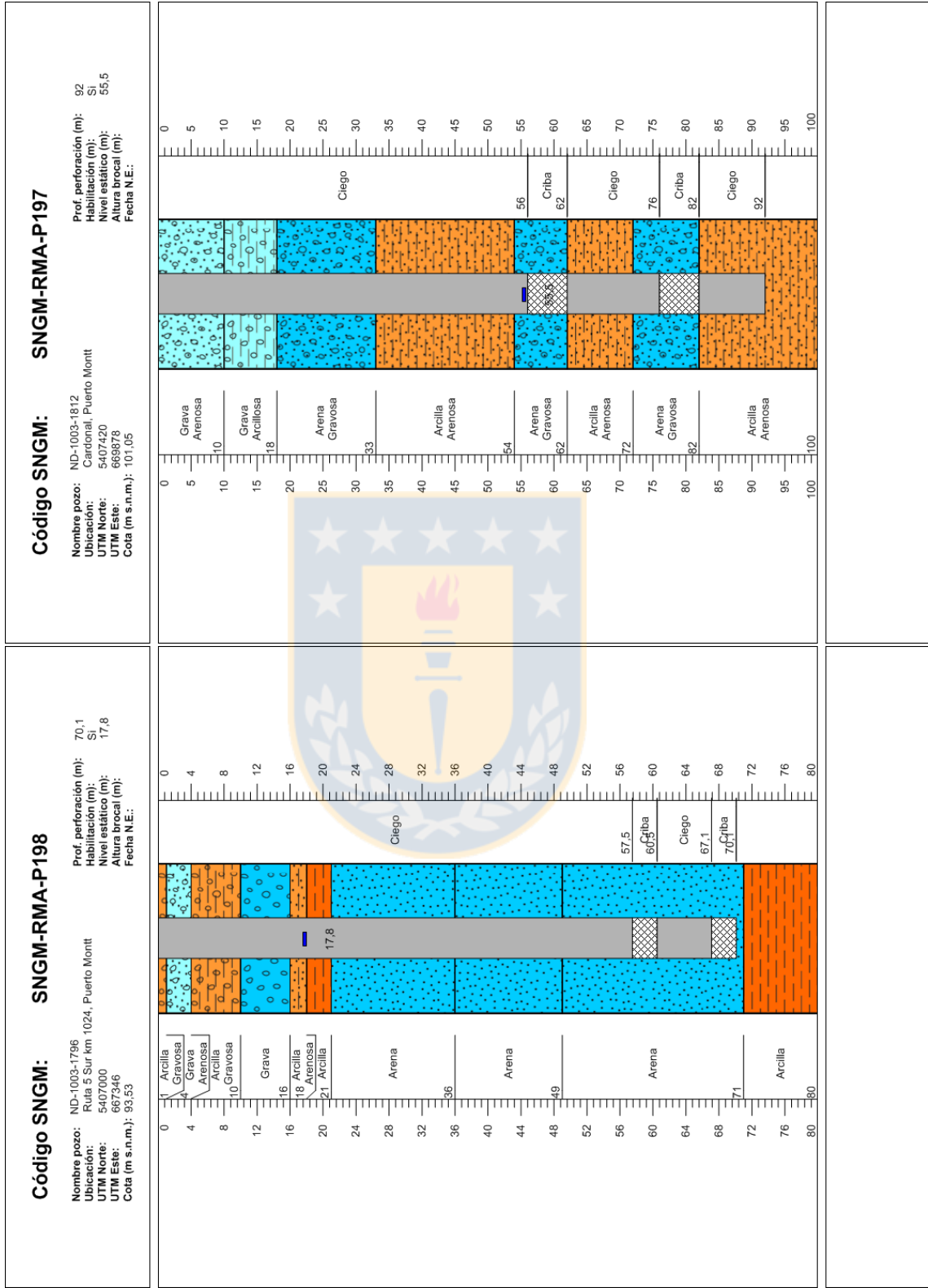


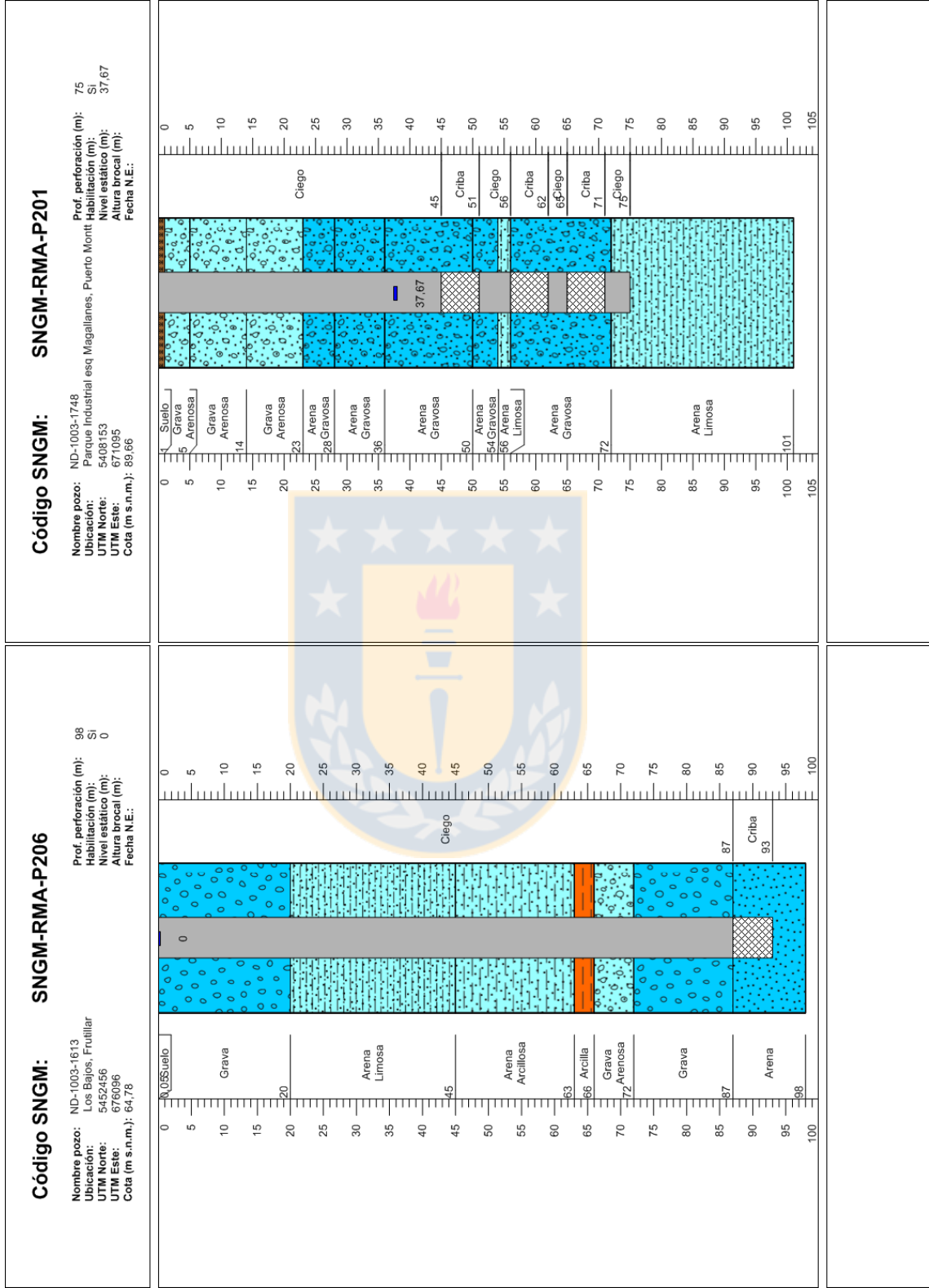
Código SNGM: SNGM-RMA-P188

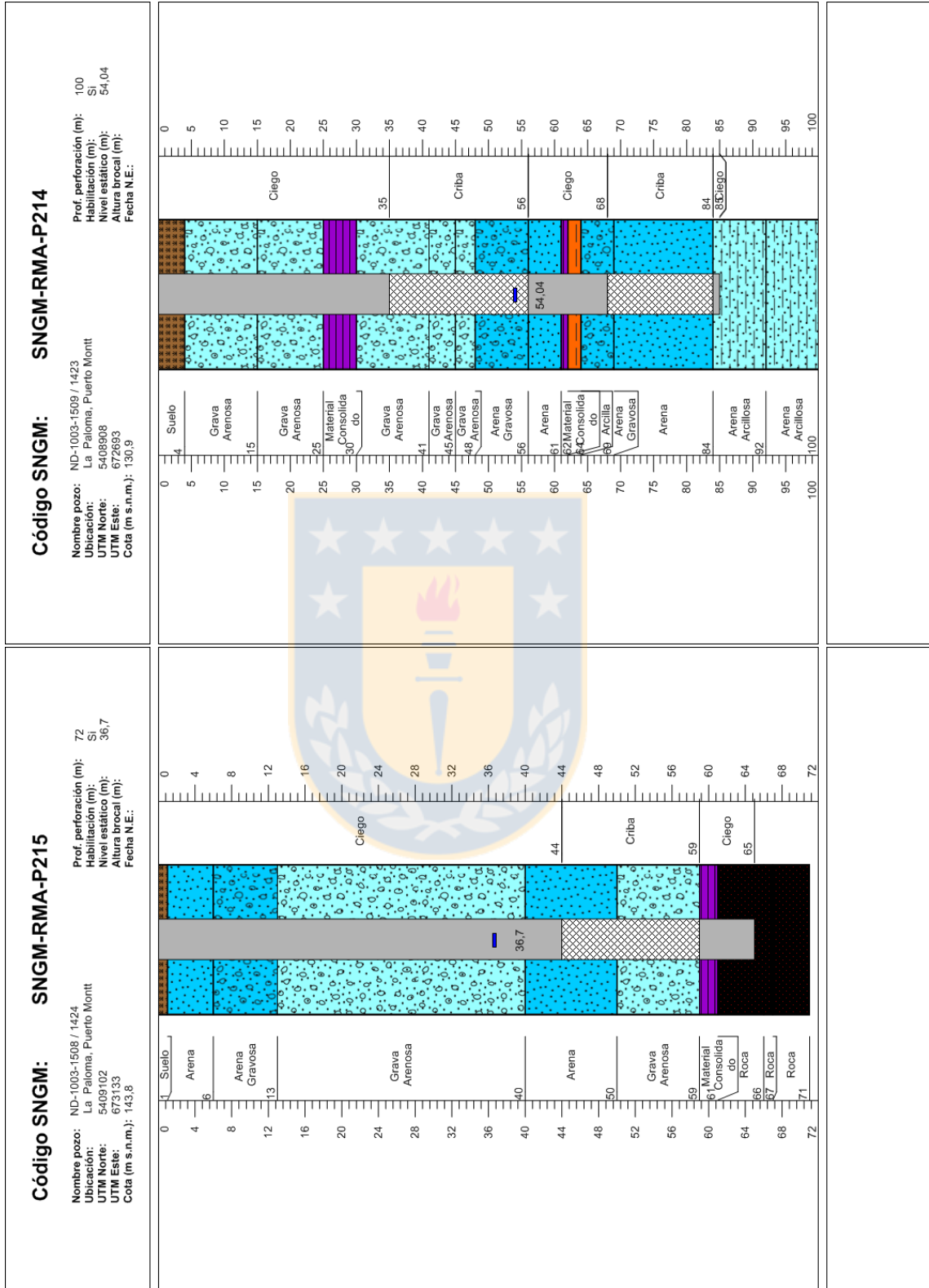
Nombre pozo: ND-1003-2135
 Ubicación: Puerto Montt
 UTM Norte: 5408937
 UTM Este: 670871
 Cota (m s.n.m.): 96.9

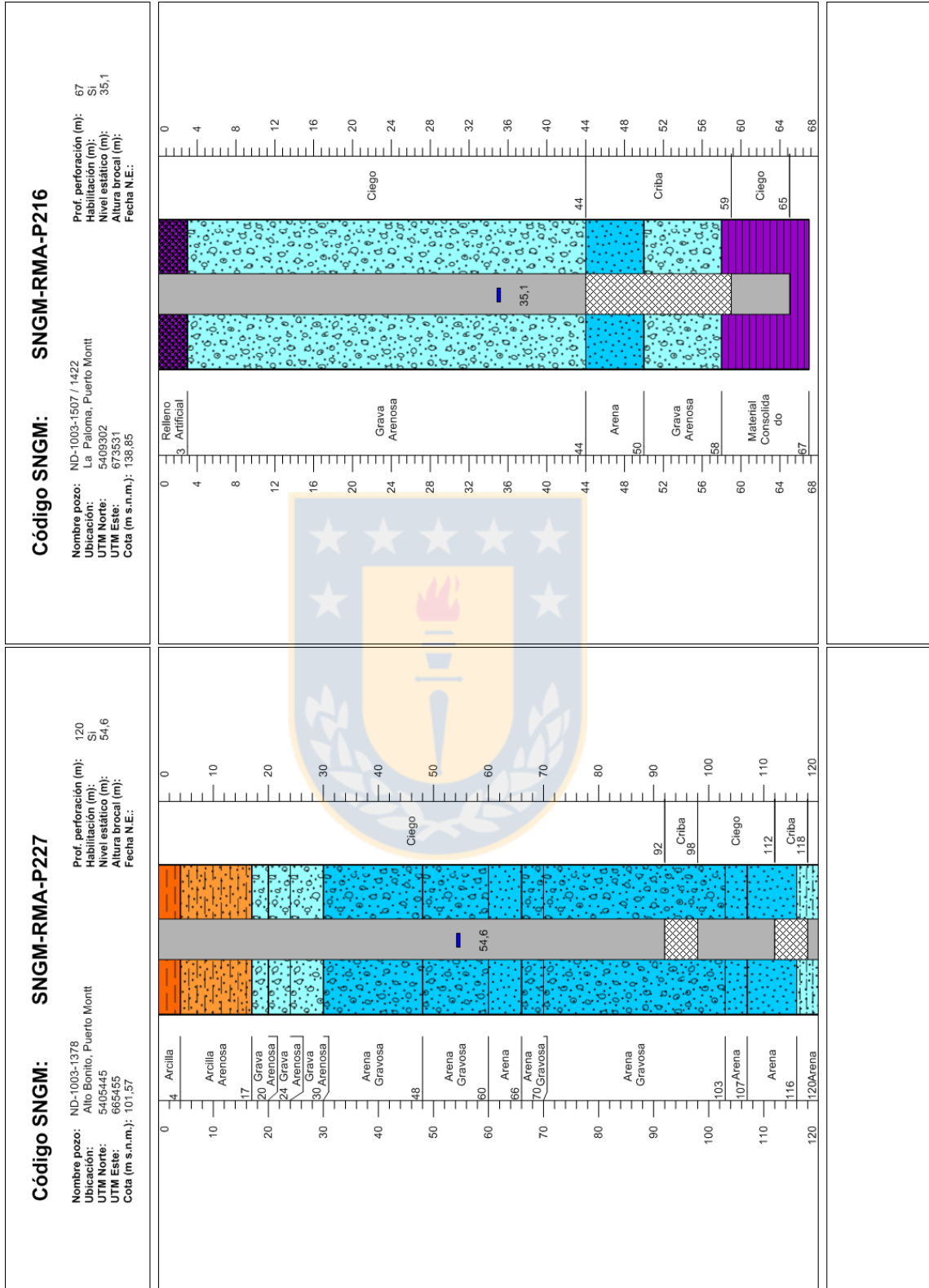
Prof. perforación (m): 100
 Habilitación (m): No
 Nivel estático (m): 33.61
 Altura brocal (m):
 Fecha N.E.:

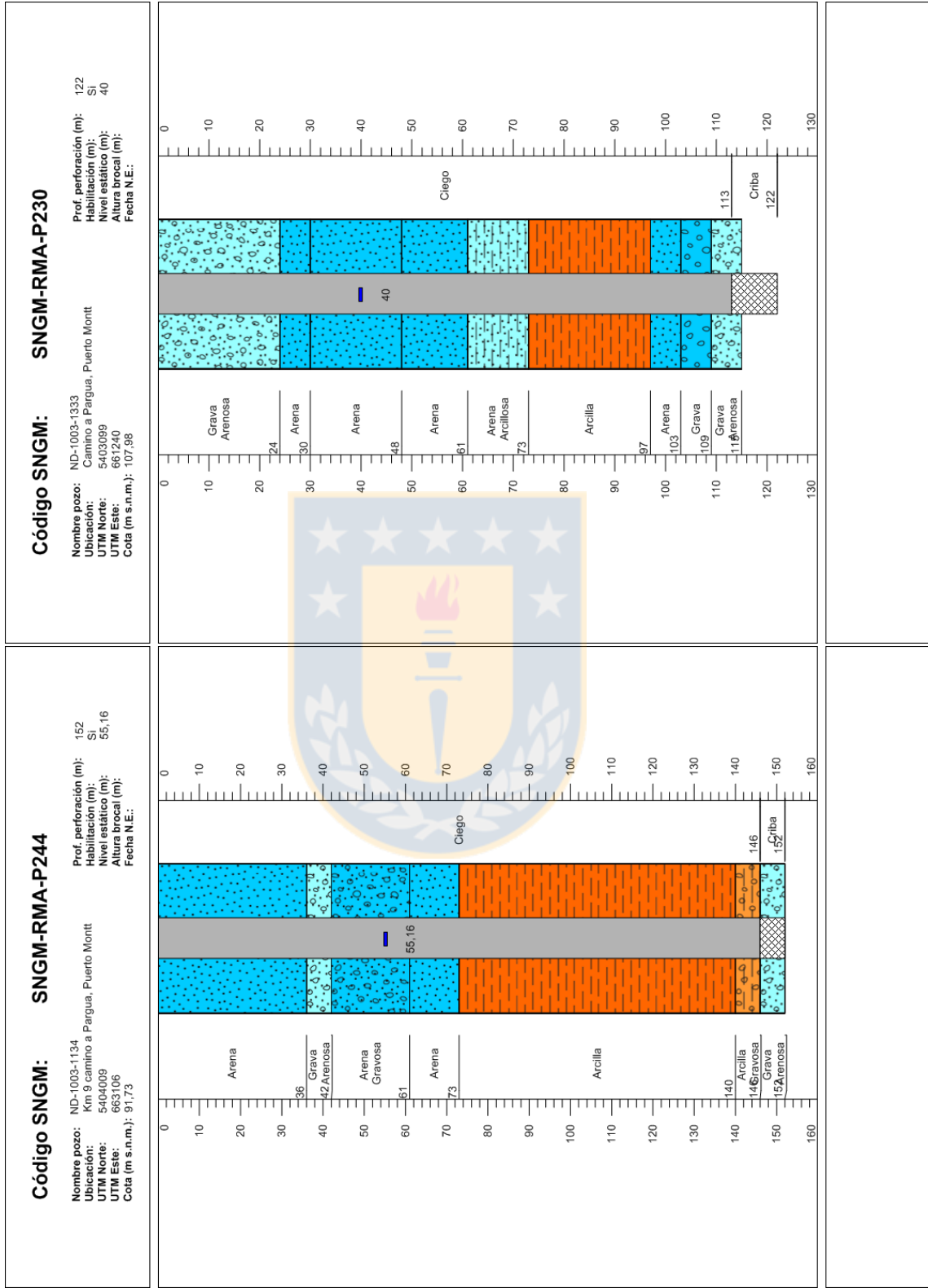


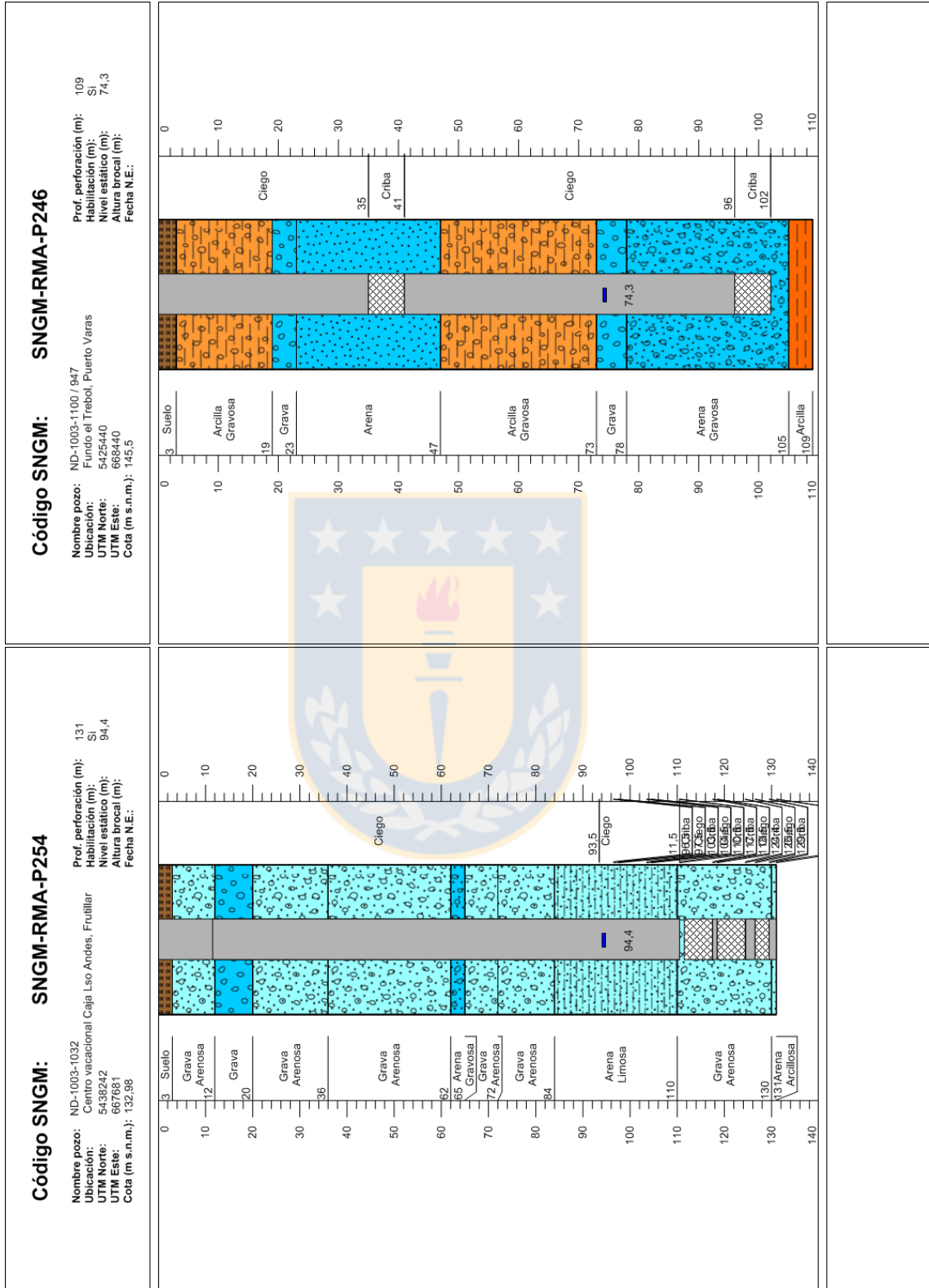


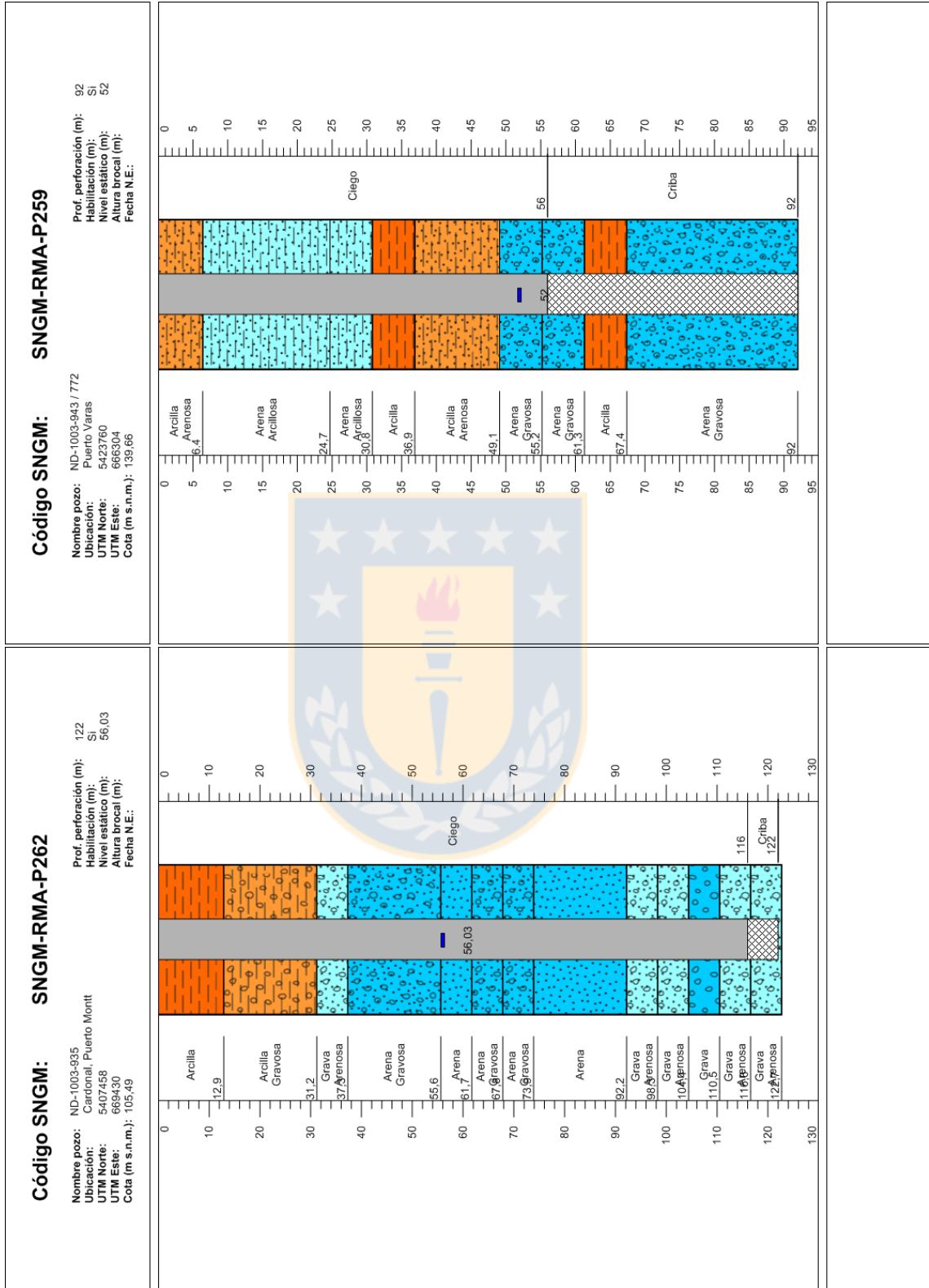


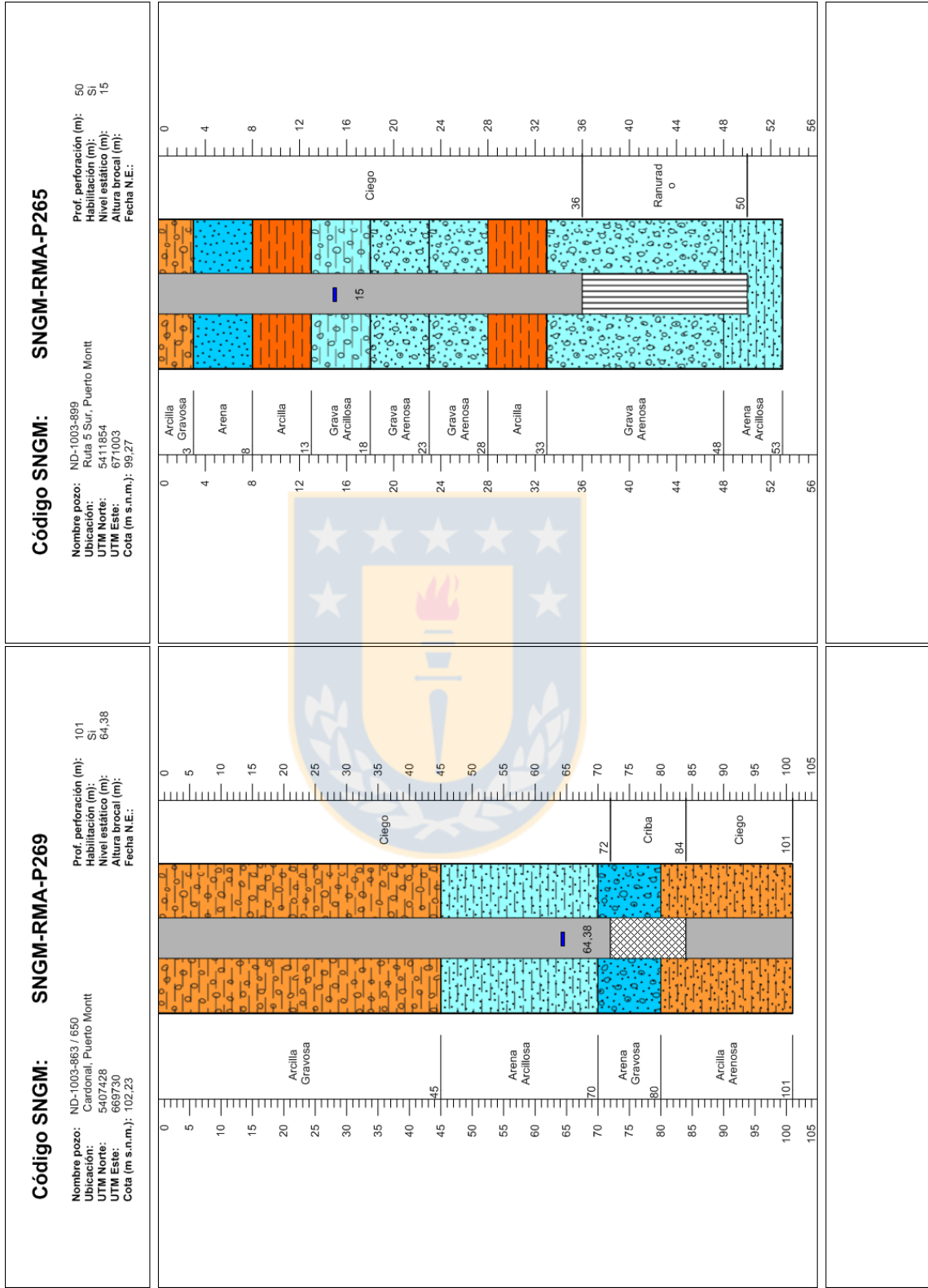


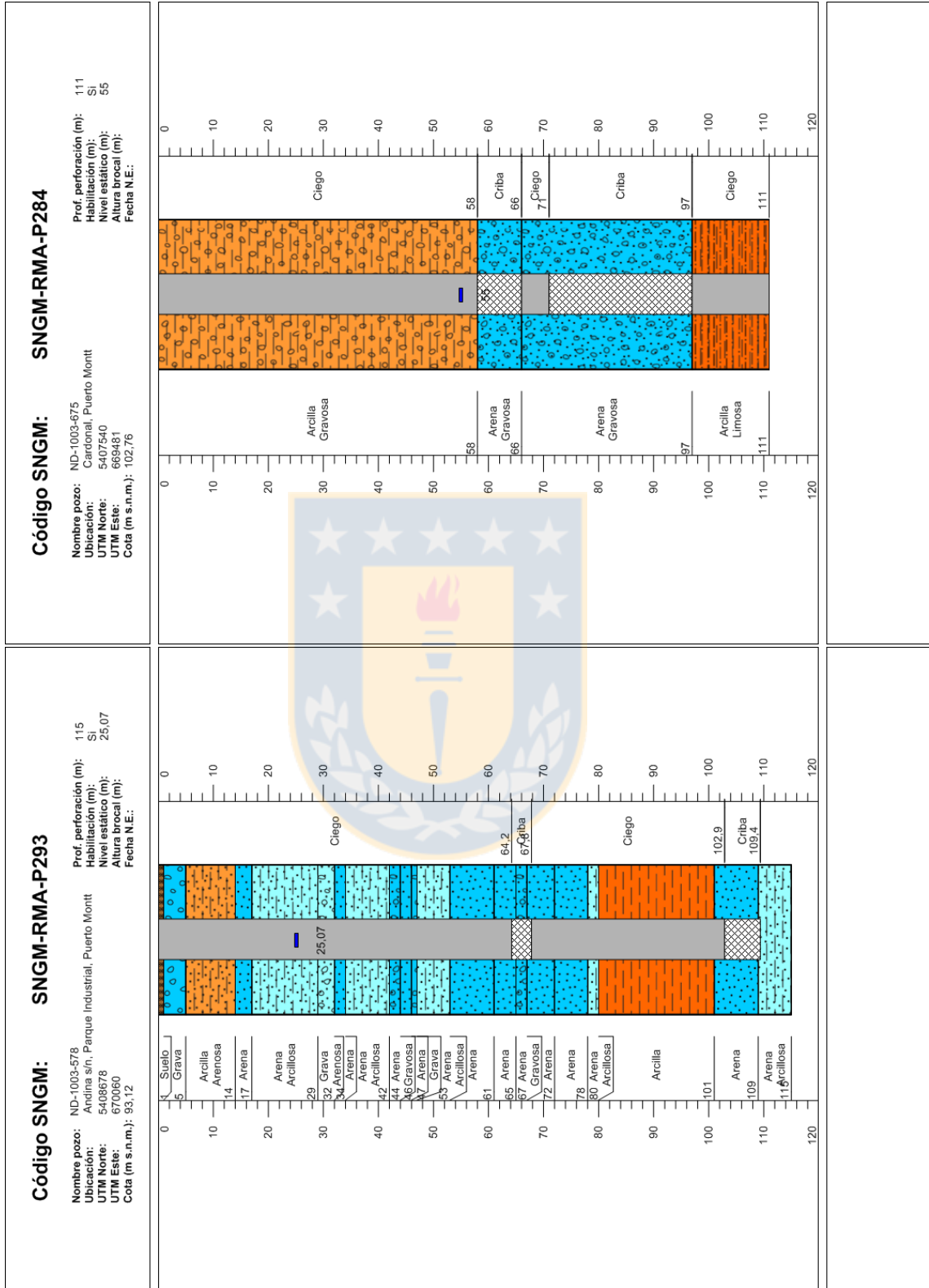


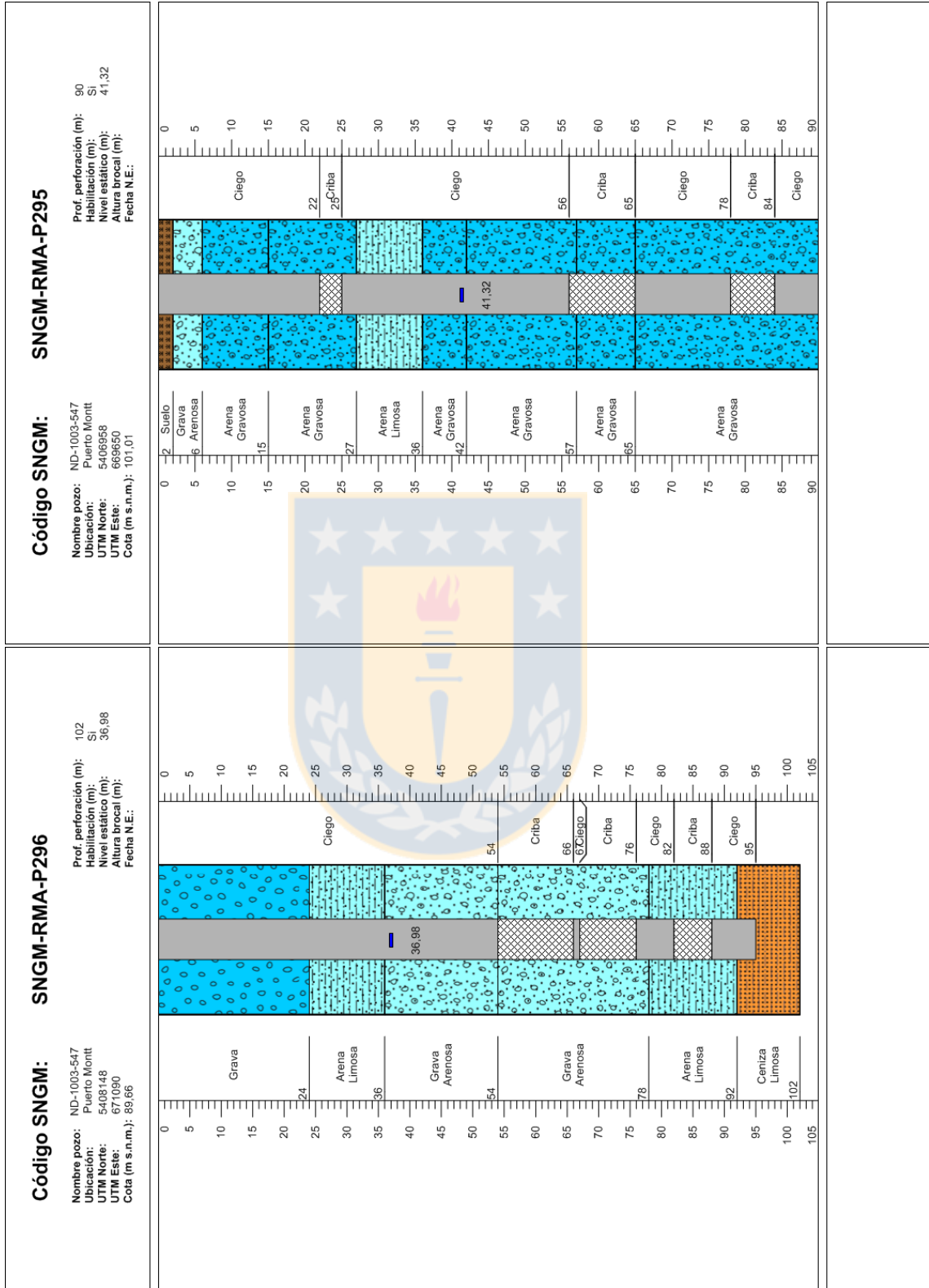


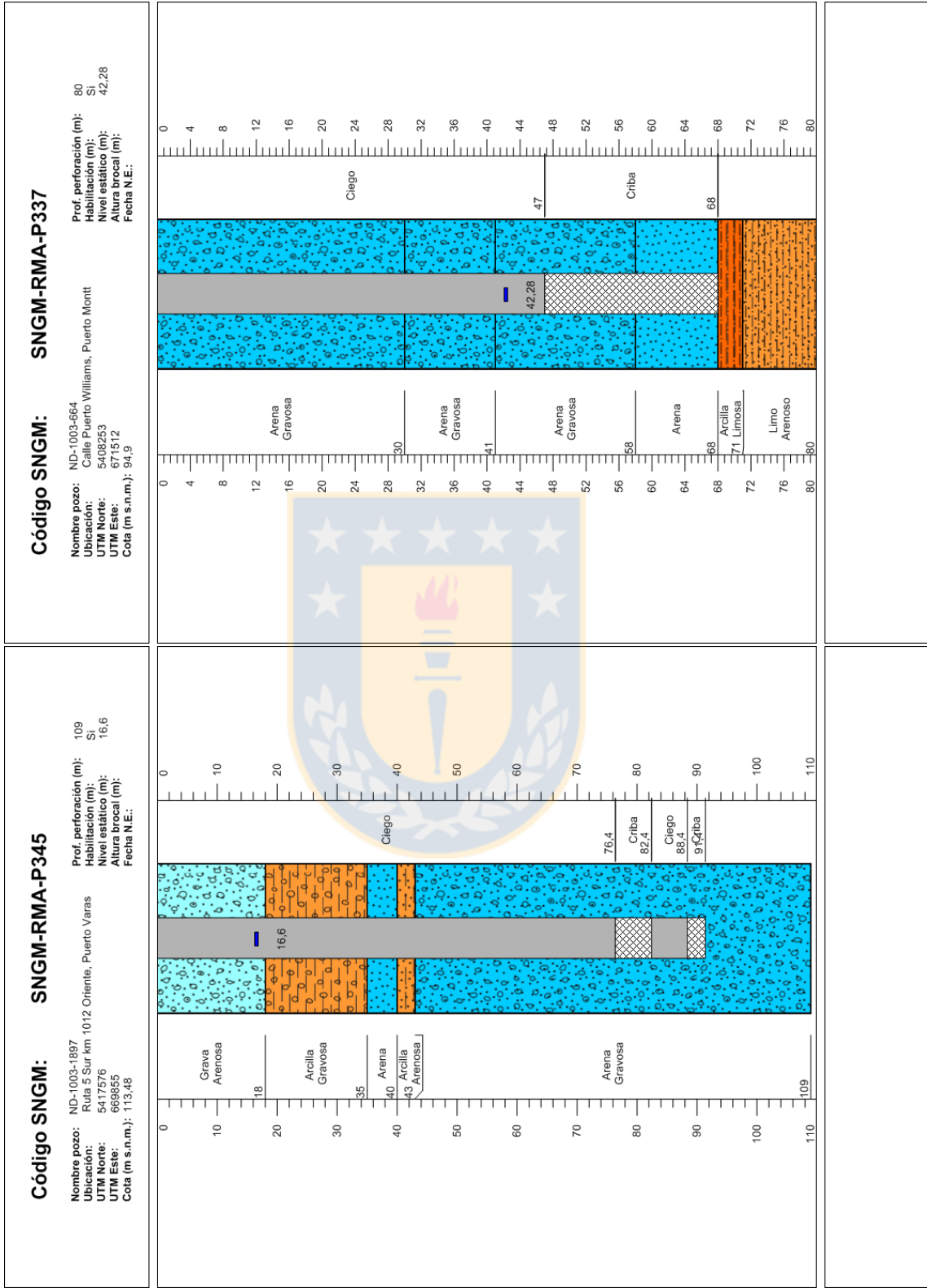


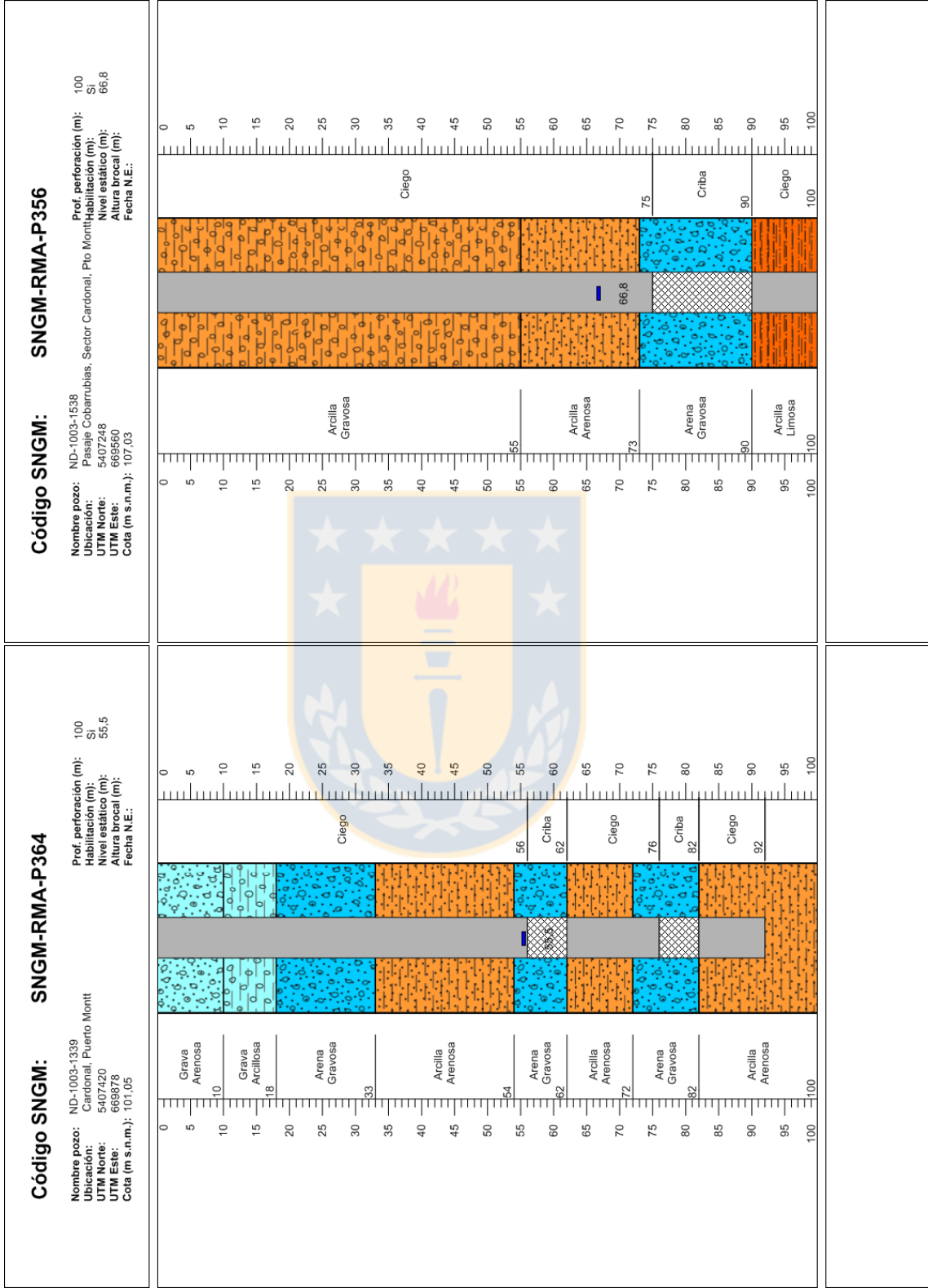


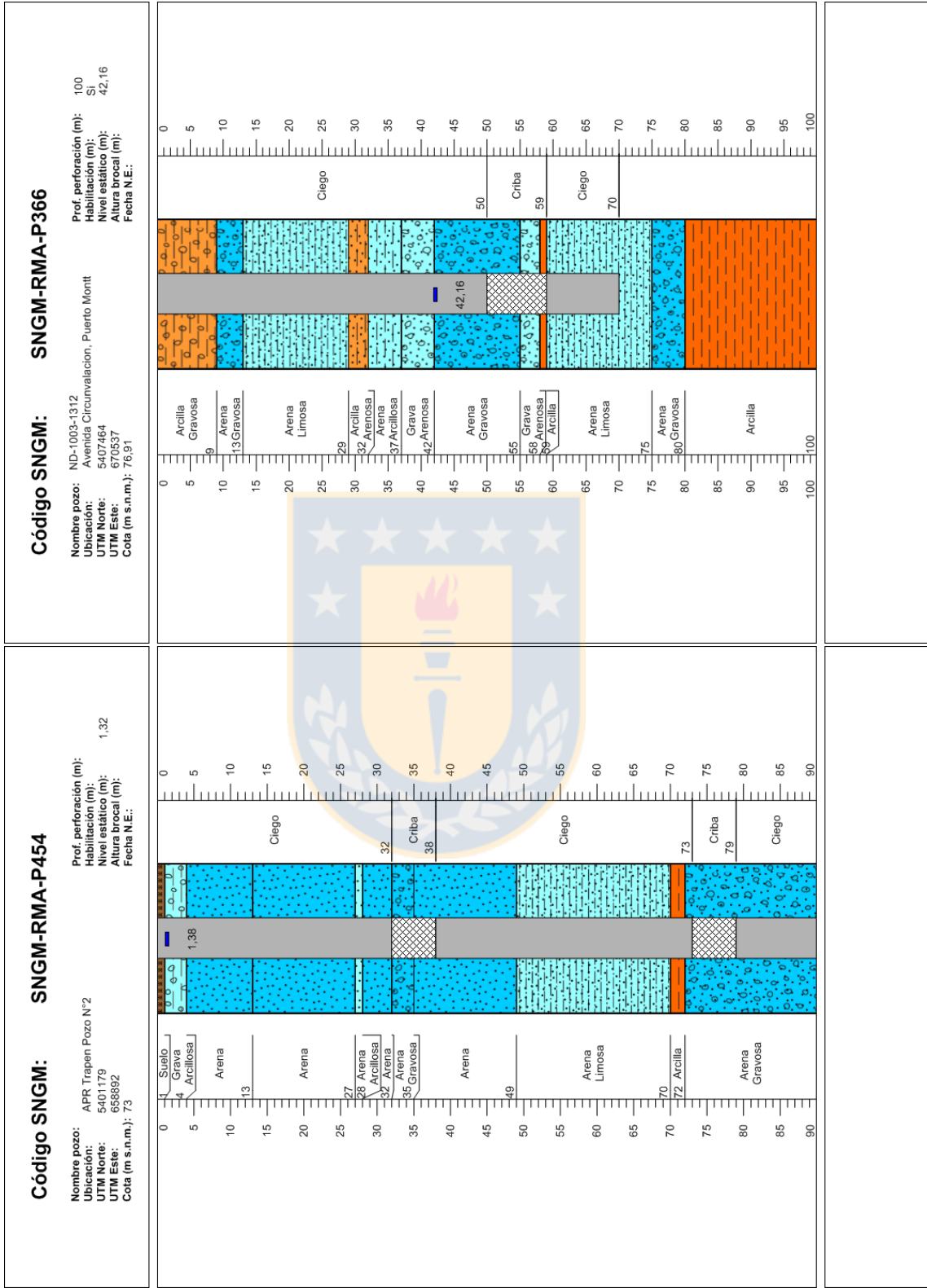












B. NIVELES PIEZOMÉTRICOS.

Tabla B.1: Niveles piezométricos.

 Pozo Surgente.

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P001	P001	622141,00	5398802,00	35822,00	19,80	31,00	11,20
SNGM-RMA-P001	P001	622141,00	5398802,00	41889,00	20,56	31,00	10,44
SNGM-RMA-P001	P001	622141,00	5398802,00	42051,00	20,51	31,00	10,49
SNGM-RMA-P049	P049	662294,00	5422678,00	35888,00	20,00	116,00	96,00
SNGM-RMA-P053	P053	668563,50	5408188,78	35943,00	30,50	101,35	70,85
SNGM-RMA-P053	P053	668563,50	5408188,78	42150,00	29,73	101,35	71,62
SNGM-RMA-P056	P056	668626,00	5422525,00	36482,00	45,00	112,00	67,00
SNGM-RMA-P063	P063	658863,19	5401132,17	36456,00	2,38	68,66	66,28
SNGM-RMA-P063	P063	658863,19	5401132,17	41704,00		68,66	
SNGM-RMA-P063	P063	658863,19	5401132,17	41887,00		68,66	
SNGM-RMA-P063	P063	658863,19	5401132,17	42152,00		68,66	
SNGM-RMA-P068	P068	663745,41	5404367,57	37600,00	29,00	91,37	62,37
SNGM-RMA-P068	P068	663745,41	5404367,57	41738,00	27,91	91,37	63,47
SNGM-RMA-P073	P073	656348,14	5400672,28	37721,00	14,50	84,87	70,37
SNGM-RMA-P073	P073	656348,14	5400672,28	42048,00	11,15	84,87	73,72
SNGM-RMA-P073	P073	656348,14	5400672,28	42152,00	11,65	84,87	73,23
SNGM-RMA-P075	P075	664257,82	5423321,57	37666,00	17,48	65,21	47,73
SNGM-RMA-P075	P075	664257,82	5423321,57	42060,00	15,51	65,21	49,70
SNGM-RMA-P075	P075	664257,82	5423321,57	42149,00	15,04	65,21	50,17
SNGM-RMA-P088	P088	634257,55	5423688,49	38048,00	3,50	99,09	95,59

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P088	P088	634257,55	5423688,49	42146,00	2,06	99,09	97,03
SNGM-RMA-P100	P100	632489,37	5413376,82	40868,00	3,13	104,20	101,07
SNGM-RMA-P101	P101	638584,60	5415966,40	40821,00	3,80	85,15	81,35
SNGM-RMA-P101	P101	638584,60	5415966,40	41739,00	7,09	85,15	78,06
SNGM-RMA-P101	P101	638584,60	5415966,40	42052,00	8,08	85,15	77,07
SNGM-RMA-P101	P101	638584,60	5415966,40	42148,00	6,50	85,15	78,65
SNGM-RMA-P108	P108	648205,68	5414582,25	39176,00	24,00	71,14	47,14
SNGM-RMA-P118	P118	642367,07	5402166,47	39854,00	29,21	65,14	35,93
SNGM-RMA-P119	P119	640676,48	5387093,75	40434,00	6,26	63,37	57,11
SNGM-RMA-P119	P119	640676,48	5387093,75	41309,00	5,35	63,37	58,02
SNGM-RMA-P128	P128	660480,21	5412180,44	39625,00	16,33	88,04	71,71
SNGM-RMA-P130	P130	644728,00	5397043,00	39923,00	2,70	25,00	22,30
SNGM-RMA-P134	P134	669118,00	5424539,00	39555,00	1,00	63,00	62,00
SNGM-RMA-P134	P134	669118,00	5424539,00	42060,00	12,72	63,00	50,28
SNGM-RMA-P137	P137	661456,00	5401019,00	38807,00	25,35	79,00	53,65
SNGM-RMA-P139	P139	640855,06	5403382,76	39457,00	44,15	70,31	26,16
SNGM-RMA-P144	P144	665098,44	5433687,77	39023,00	60,27	130,00	69,73
SNGM-RMA-P144	P144	665098,44	5433687,77	41724,00	60,92	130,00	69,08
SNGM-RMA-P145	P145	668368,76	5421238,60	39007,00	47,23	126,93	79,70
SNGM-RMA-P147	P147	637062,00	5415378,00	39264,00	30,80	79,00	48,20
SNGM-RMA-P150	P150	660647,00	5400230,00	36164,00	23,95	77,00	53,05
SNGM-RMA-P152	P152	657161,00	5403946,00	38730,00	49,32	119,00	69,68

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P153	P153	664957,71	5431910,12	37908,00	15,00	98,56	83,56
SNGM-RMA-P162	P162	663665,45	5434300,61	39078,00	6,10	133,00	126,90
SNGM-RMA-P162	P162	663665,45	5434300,61	41724,00	33,02	133,00	99,98
SNGM-RMA-P163	P163	662703,00	5435201,00	39037,00	6,45	108,00	101,55
SNGM-RMA-P172	P172	641940,00	5422357,00	38775,00	3,00	89,00	86,00
SNGM-RMA-P173	P173	656348,14	5400672,28	39976,00	42,30	224,06	181,76
SNGM-RMA-P178	P178	664297,14	5445161,25	36598,00	37,47	152,20	114,73
SNGM-RMA-P179	P179	661046,93	5423381,96	41731,00	14,95	115,18	100,24
SNGM-RMA-P184	P184	656023,30	5400233,87	38602,00	13,05	92,06	79,01
SNGM-RMA-P184	P184	656023,30	5400233,87	42048,00	13,97	92,06	78,09
SNGM-RMA-P184	P184	656023,30	5400233,87	42152,00	12,96	92,06	79,10
SNGM-RMA-P188	P188	634257,55	5423688,49	38664,00	33,61	105,00	71,39
SNGM-RMA-P189	P189	667474,00	5425579,00	36091,00	31,00	125,00	94,00
SNGM-RMA-P192	P192	666544,00	5428395,00	37993,00	22,90	75,00	52,10
SNGM-RMA-P221	P221	664169,13	5431725,88	37286,00	22,40	123,56	101,16
SNGM-RMA-P221	P221	664169,13	5431725,88	41724,00	23,51	123,56	100,05
SNGM-RMA-P221	P221	664169,13	5431725,88	42111,00	23,39	123,56	100,17
SNGM-RMA-P222	P222	666216,56	5432198,22	37292,00	31,00	99,29	68,29
SNGM-RMA-P230	P230	661257,00	5403006,00	37118,00	40,00	77,00	37,00
SNGM-RMA-P231	P231	667464,11	5408553,93	37140,00	21,60	95,63	74,03
SNGM-RMA-P231	P231	667464,11	5408553,93	41738,00	20,54	95,63	75,09
SNGM-RMA-P231	P231	667464,11	5408553,93	42150,00	20,89	95,63	74,74

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P235	P235	664335,00	5404927,00	37054,00	34,30	93,00	58,70
SNGM-RMA-P238	P238	660552,00	5411977,00	36934,00	19,05	90,00	70,95
SNGM-RMA-P238	P238	660552,00	5411977,00	42051,00	16,93	90,00	73,07
SNGM-RMA-P239	P239	669331,06	5418996,12	37033,00	25,15	114,00	88,85
SNGM-RMA-P248	P248	671615,17	5411583,00	36068,00	18,00	99,87	81,87
SNGM-RMA-P253	P253	649923,87	5389034,40	35782,00	52,00	116,47	64,47
SNGM-RMA-P253	P253	649923,87	5389034,40	42147,00	46,69	116,47	69,78
SNGM-RMA-P273	P273	656348,14	5400672,28	36277,00	6,56	61,00	54,44
SNGM-RMA-P273	P273	656348,14	5400672,28	35887,00	8,60	61,00	52,40
SNGM-RMA-P288	P288	634257,55	5423688,49	35627,00	1,17	8,00	6,83
SNGM-RMA-P289	P289	666156,45	5425751,27	36111,00	41,00	132,00	91,00
SNGM-RMA-P292	P292	628276,00	5383826,00	35453,00	6,60	57,00	50,40
SNGM-RMA-P298	P298	657117,00	5412893,00	35083,00	5,50	69,00	63,50
SNGM-RMA-P298	P298	657117,00	5412893,00	41704,00	5,48	69,00	63,52
SNGM-RMA-P305	P305	667313,15	5429493,43	34024,00	11,00	62,88	51,88
SNGM-RMA-P305	P305	667313,15	5429493,43	42111,00	6,66	62,88	56,22
SNGM-RMA-P308	P308	667335,92	5429552,83	35341,00	12,00	62,57	50,57
SNGM-RMA-P308	P308	667335,92	5429552,83	42111,00	4,75	62,57	57,82
SNGM-RMA-P309	P309	641098,00	5420955,00	41739,00	17,73	86,00	68,27
SNGM-RMA-P315	P315	664451,17	5410219,56	35346,00	17,53	92,18	74,65
SNGM-RMA-P315	P315	664451,17	5410219,56	35819,00	22,70	92,18	69,48
SNGM-RMA-P320	P320	660321,11	5423262,31	34703,00	52,16	110,35	58,19

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P320	P320	660321,11	5423262,31	41740,00	8,65	110,35	101,70
SNGM-RMA-P320	P320	660321,11	5423262,31	42060,00	8,51	110,35	101,84
SNGM-RMA-P320	P320	660321,11	5423262,31	42149,00	8,91	110,35	101,44
SNGM-RMA-P321	P321	662242,14	5411405,91	34794,00	28,40	100,82	72,42
SNGM-RMA-P321	P321	662242,14	5411405,91	41738,00	26,05	100,82	74,77
SNGM-RMA-P322	P322	660420,75	5423151,57	33253,00	31,63	110,00	78,37
SNGM-RMA-P322	P322	660420,75	5423151,57	41740,00	10,34	110,00	99,67
SNGM-RMA-P322	P322	660420,75	5423151,57	42060,00	9,86	110,00	100,15
SNGM-RMA-P373	P373	656348,14	5400672,28	36714,00	31,50	127,00	95,50
SNGM-RMA-P418	P418	643025,20	5411237,79	41739,00	60,50	93,31	32,81
SNGM-RMA-P418	P418	643025,20	5411237,79	42148,00	60,70	93,31	32,61
SNGM-RMA-P419	P419	659652,76	5401713,08	41725,00		69,41	
SNGM-RMA-P419	P419	659652,76	5401713,08	42048,00		69,41	
SNGM-RMA-P419	P419	659652,76	5401713,08	42152,00		69,41	
SNGM-RMA-P422	P422	649731,31	5427373,80	35882,00	13,00	136,07	123,07
SNGM-RMA-P422	P422	649731,31	5427373,80	42145,00	9,46	136,07	126,61
SNGM-RMA-P444	P444	621256,54	5395423,05	42052,00	12,41	29,52	17,10
SNGM-RMA-P444	P444	621256,54	5395423,05	42151,00	11,84	29,52	17,68
SNGM-RMA-P446	P446	631328,44	5399701,94	42050,00	3,89	22,57	18,68
SNGM-RMA-P450	P450	664383,00	5445713,00	41655,00	2,83	145,00	142,17
SNGM-RMA-P451	P451	661968,46	5438594,34	41733,00	8,34	139,17	130,83
SNGM-RMA-P451	P451	661968,46	5438594,34	42145,00	8,65	139,17	130,52

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P452	P452	664278,00	5445448,00	41655,00	11,14	152,00	140,86
SNGM-RMA-P454	P454	658891,59	5401175,47	41725,00		69,79	
SNGM-RMA-P454	P454	658891,59	5401175,47	41887,00		69,79	
SNGM-RMA-P454	P454	658891,59	5401175,47	42048,00	0,01	69,79	69,78
SNGM-RMA-P458	P458	666807,98	5428460,86	42111,00	17,98	73,16	55,18
SNGM-RMA-P467	P467	656234,40	5435052,34	41753,00		155,25	
SNGM-RMA-P467	P467	656234,40	5435052,34	42053,00		155,25	
SNGM-RMA-P467	P467	656234,40	5435052,34	42145,00		155,25	
SNGM-RMA-P473	P473	656348,14	5400672,28	41666,00	6,64	235,61	228,97
SNGM-RMA-P473	P473	656348,14	5400672,28	42108,00	6,83	235,61	228,78
SNGM-RMA-P498	P498	652047,09	5414824,36	41887,00	32,69	70,67	37,98
SNGM-RMA-P498	P498	652047,09	5414824,36	42051,00	26,26	70,67	44,41
SNGM-RMA-P499	P499	652044,86	5414837,84	41704,00	27,03	71,29	44,27
SNGM-RMA-P500	P500	627512,84	5414383,70	42151,00	12,79	166,73	153,94
SNGM-RMA-P508	P508	639872,00	5423309,00	41711,00	4,45	93,00	88,55
SNGM-RMA-P513	P513	658947,00	5411063,00	41736,00	9,56	85,00	75,44
SNGM-RMA-P514	P514	658947,00	5411060,00	41736,00	11,47	85,00	73,54
SNGM-RMA-P515	P515	659616,45	5407610,33	41737,00	31,18	109,26	78,08
SNGM-RMA-P515	P515	659616,45	5407610,33	42153,00	31,49	109,26	77,77
SNGM-RMA-P516	P516	662228,00	5411329,00	41738,00	26,33	103,00	76,68
SNGM-RMA-P518	P518	663754,87	5411021,48	41738,00	15,56	90,29	74,74
SNGM-RMA-P531	N531	646578,00	5406550,00	42051,00	7,83	39,00	31,17

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P535	P535	618004,64	5398538,93	42052,00	12,01	39,80	27,79
SNGM-RMA-P535	P535	618004,64	5398538,93	42151,00	8,71	39,80	31,09
SNGM-RMA-P536	P536	619085,24	5397208,52	42151,00	6,46	23,32	16,87
SNGM-RMA-P537	P537	654708,34	5438088,82	42053,00	16,92	152,82	135,90
SNGM-RMA-P537	P537	654708,34	5438088,82	42145,00	17,95	152,82	134,87
SNGM-RMA-P543	P543	668239,87	5421439,40	42060,00	50,22	128,43	78,21
SNGM-RMA-P543	P543	668239,87	5421439,40	42149,00	50,53	128,43	77,90
SNGM-RMA-P546	P546	660333,66	5423305,63	42060,00	8,70	110,18	101,48
SNGM-RMA-P546	P546	660333,66	5423305,63	42149,00	9,12	110,18	101,06
SNGM-RMA-P548	P548	662814,82	5423044,89	42060,00	14,99	118,54	103,56
SNGM-RMA-P548	P548	662814,82	5423044,89	42149,00	17,38	118,54	101,16
SNGM-RMA-P550	P550	667253,60	5429393,19	42111,00	12,20	68,01	55,81
SNGM-RMA-P551	P551	667176,74	5429447,12	42111,00	11,63	67,30	55,67
SNGM-RMA-P552	P552	682981,76	5423402,51	42113,00	15,09	181,67	166,58
SNGM-RMA-P554	P554	667323,92	5429552,04	42111,00		61,79	
SNGM-RMA-P555	P555	667336,01	5429543,76	42111,00		63,03	
SNGM-RMA-P556	P556	669371,00	5418886,00	42150,00	29,70	114,00	84,30
SNGM-RMA-P558	P558	664168,45	5404596,51	41738,00	31,64	95,12	63,48
SNGM-RMA-P558	P558	664168,45	5404596,51	42152,00	32,35	95,12	62,77
SNGM-RMA-P559	P559	632947,16	5394088,99	42203,00	4,95	21,80	16,85
SNGM-RMA-P560	P560	632959,00	5397096,00	42203,00	6,92	30,00	23,08
SNGM-RMA-P606	N606	635235,00	5398629,00	42203,00	2,89	87,00	84,11

Tabla B.1: Niveles piezométricos (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Mapa	UTM Este (WSG84)	UTM Norte (WSG84)	Fecha medición	NE (m b.s.t.)	Cota Catastro (m s.n.m.)	Cota Piezométrica (m s.n.m)
SNGM-RMA-P607	N607	635221,00	5398864,00	42203,00	0,45	76,00	75,55
SNGM-RMA-P608	N608	638063,00	5398226,00	42203,00	1,14	93,00	91,87
SNGM-RMA-P609	N609	631607,00	5385919,00	42204,00	0,40	68,00	67,60
SNGM-RMA-P610	N610	624748,00	5383029,00	42204,00	0,30	26,00	25,70



C. MUESTREO DE AGUAS.

Durante los meses de enero a septiembre del año 2015, se realizaron las campañas de terreno 1,2 y 3. En donde se obtuvieron las muestras de aguas utilizadas para este estudio (precipitación, superficiales y subterráneas).

En cada pozo de captación de agua subterránea y estación de precipitación, se tomaron muestras para análisis de elementos mayores, elementos trazas e isótopos, con énfasis en obtener la muestra lo más fresca posible.

Las muestras de aguas subterráneas se tomaron desde las llaves más cercanas al pozo y antes de ser tratadas y/o almacenadas en algún estanque (Fotografía C.1). En pozos que no contaban con una llave previa al estanque, se obtuvo la muestra posterior al vacío de su estanque, para que así la muestra fuese lo más representativa de la subterránea sin afectación del estanque (Fotografía C.1).



Fotografía C.1: Extracción de agua recién bombeada. A) Pozo con llave previa a estanque. B) Pozo con llave en estanque.

Para las muestras superficiales (ríos, lago y lagunas del sector) se procedió a extraer agua directamente del caudal y de no ser posible, mediante un *bailer* (ambos enjuagados previamente con el agua a extraer).

Mientras que para las muestras de precipitación, son extraídas de su estación de muestreo. Mediante una jeringa y cuidando extraer agua que no presente residuos sólidos o biológicos (Fotografía C.2).



Fotografía C.2: Extracción de agua superficial (A) desde el Río Maullin. Extracción de agua de precipitación (B).

Previo a la toma de muestra, se miden parámetros fisicoquímicos del agua, con la mayor velocidad posible. Evitando que varíe la características químicas iniciales por diferencias ambientales (O_2 y T, principalmente). Para ello se cuenta con el laboratorio portátil *WTW Multi 340i*, propiedad de la Unidad de Hidrogeología SERNAGEOMIN – Puerto Varas), que dispone de sondas para medir el O_2 disuelto (mg/l y %) – temperatura ($^{\circ}C$), conductividad eléctrica ($\mu S/cm$), salinidad y pH, en el agua (Fotografía C.3).

Antes de realizar la medición de los parámetros fisicoquímicos, se debe enjuagar con la misma agua a muestrear todos los instrumentos a utilizar (jarros plástico, *bailers* la jeringa, vasos), como también, cada sonda del equipo. Para que todos se adecuen a las características medioambientales dl agua a muestrear.

Finalmente y luego de la medición de los parámetros fisicoquímicos y antes de guardar todos los instrumentos el jarro plástico o el *bailer*, la jeringa y las sondas, deben ser lavadas con agua destilada y secadas con papel absorbente para impedir su contaminación.



Fotografía C.3 Medición parámetros fisicoquímicos en terreno (A). Sonda WTW Multi 340i (B).

Para cada punto de agua subterránea, superficial y precipitación se recolectan 3 botellas de muestra: dos de un litro, una para elementos mayores y otra para isotopos de ^{18}O y ^2H . Mientras la de 125 ml, se utiliza para elementos trazas (Fotografía C.4).

Cada botella debe contar con su respectiva tapa y contratapa. Donde todas y sin excepción, botella, tapas y contratapas, deben ser previamente (antes de terreno) lavadas con agua y ácido nítrico (HNO_3), trabajo realizado en el laboratorio de SERNAGEOMIN en Puerto Varas.

Los materiales que se utilizan para la toma de muestra en cada punto son:

- Jarro plástico de 2 litros, previamente lavado con agua destilada y secado con toalla de papel.
- Jeringa plástica de 100 ml, previamente lavada con agua destilada y secado con toalla de papel.
- Botellas plásticas para cada captación muestreada (2 de un litro y 1 de 125 ml).



Fotografía C.4: Botellas de muestreo.

- Cada botella debe tener su respectiva tapa y contratapa y previamente es enviada al laboratorio de SERNAGEOMIN en Puerto Varas, para su lavado con agua destilada y ácido nítrico (HNO_3).
- Plumón permanente.
- Cinta adhesiva transparente.
- Filtro de $45 \mu\text{m}$ para jeringa de 25 mm de diámetro.
- HNO_3 al 50%.
- Gotario.
- Guantes quirúrgicos.
- Bolsas herméticas.

El procedimiento para la toma de cada muestra para elementos mayores y de isótopos $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ se describe a continuación:

- a. Se enjuaga las dos botellas de litro (para elementos mayores y para isótopos), tapa y contratapa a lo menos 3 veces con el agua a muestrear, con agua que salga directamente de la llave del pozo o con la ayuda del jarro plástico (previamente enjuagado).

- b. La botella se llena con agua de muestra, tratando de que en su interior no queden burbujas de aire. Al ser una etapa de sumo cuidado e importante para el análisis de la muestra, se recomienda la utilización de jarro plástico para el llenado de las botellas.
- c. Se tapa con la contratapa y nuevamente se revisa que no queden burbujas en el interior de la botella, de lo contrario se repite el procedimiento ya descrito hasta que no queden burbujas.
- d. Finalmente, si no presenta la botella burbujas en su interior, se procede a tapar y se rotula con plumón su código respectivo (Tabla C.1). Se cubre el rótulo con cinta adhesiva para evitar que borre con el agua.

Tabla C.1: Rotulo de muestra.

Código correlativo	RMA-RM-013
RMA	Indica nombre del proyecto al que pertenece la muestra. En este estudio Rio Maullín.
RM	Iniciales de la persona que toma la muestra
13	Numero correlativo
Nombre de pozo y ubicación	Pozo Fundo Redoles
Fecha y hora	27-04-2015

El muestreo de elementos traza es detallado a continuación.

- a. Se enjuaga el jarro plástico y la jeringa.
- b. Se extrae agua de muestra desde el jarro plástico con la jeringa.
- c. En la jeringa se inserta el filtro de 45 μm .
- d. Con la ayuda de la jeringa se enjuaga al menos 3 veces la botella de 125 ml, sólo con agua filtrada. El paso 1, 2 y 3 se repite hasta que la botella se encuentre bien enjuagada.
- e. Terminado el paso de enjuague de la botella, tapa y contratapa. Se dispone la utilización del HNO_3 , antes de manejar este químico, se deben utilizar guantes quirúrgicos para evitar la corrosión de la piel.
- f. En la botella se ponen 2 ml de HNO_3 , con la ayuda de un gotario.

- g. Luego se llena cuidadosamente la botella, tratando de no dejar burbujas en su interior y se observa que no exista ningún material particulado en su interior. De lo contrario se debe repetir el proceso con una botella nueva, hasta que no exista ningún resto de material contaminante. La muestra descartada no puede ser desechada, ya que contiene HNO_3 . Se debe tener especial cuidado, ya que repetir este procedimiento implica un gasto de recursos, los que siempre son escasos en terreno.
- h. Finalmente, de no quedar burbujas en el interior, se tapa y se rotula con plumón. El rótulo (Tabla C.1) se cubre con cinta adhesiva para evitar que se corra con el agua.

Terminado el proceso de toma de muestra (mayores, traza e isótopos), se lava el jarro y la jeringa con agua destilada y se guardan los materiales en bolsas herméticas, para que no se contaminen con el agua de lluvia que cae en la zona, como también entre ellos.

Las muestras ya embotelladas, deben mantenerse frías hasta llegar al laboratorio, para esto se cuenta con *cooler* en terreno y se almacenan en el reformador del laboratorio.

Las muestras son enviadas, por encomienda, en *cooler* de plumavit con bolsas de hielo, para mantener la temperatura, al laboratorio de SERNAGEOMIN en Santiago, lugar donde son analizadas.

D. ANÁLISIS QUÍMICO.

Tabla D.1: Ubicación de muestras de agua superficiales.

Código SERNAGEOMIN	UTM Este (WGS84)	UTM Norte (WGS84)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Grupo	Código Mapa	Lugar muestreo
SNGM-RMA-P569	659431	5435111	108	Río Tributario	P569	río Colegual
SNGM-RMA-P570	662097	5429199	111	Laguna	P570	laguna Pichilaguna
SNGM-RMA-P571	657993	5403386	109	Laguna	P571	laguna Trapén
SNGM-RMA-P572	663996	5410588	93	Laguna	P572	laguna Lagunitas
SNGM-RMA-P574	624723	5399775	5	Río Maullín	P574	río Maullín
SNGM-RMA-P575	645421	5418055	30	Río Tributario	P575	río Oscuro
SNGM-RMA-P579	627508	5389499	8	Río Tributario	P579	río El Peñol
SNGM-RMA-P580	624190	5394457	8	Río Maullín	P580	río Maullín
SNGM-RMA-P581	639313	5403518	4	Río Tributario	P581	río Toledo
SNGM-RMA-P582	641114	5406982	10	Río Maullín	P582	río Maullín
SNGM-RMA-P583	644847	5406978	12	Río Tributario	P583	río Chinchiguapi
SNGM-RMA-P584	644810	5407056	11	Río Maullín	P584	río Maullín
SNGM-RMA-P585	646365	5408466	25	Río Tributario	P585	río El Gato
SNGM-RMA-P586	666859	5429598	53	Río Maullín	P586	río Maullín
SNGM-RMA-P587	667321	5430442	54	Río Maullín	P587	río Maullín
SNGM-RMA-P589	635359	5404036	12	Río Maullín	P589	río Maullín
SNGM-RMA-P590	635808	5404197	7	Río Tributario	P590	río Ostiones
SNGM-RMA-P592	638370	5407933	13	Río Tributario	P592	río Oscuro del Salto
SNGM-RMA-P593	669297	5424701	57	Lago	P593	río Llanquihue
SNGM-RMA-P594	664690	5423315	45	Río Maullín	P594	río Maullín

Tabla D.2: Ubicación de muestras de agua subterránea.

Código SERNAGEOMIN	UTM Este (WGS84)	UTM Norte (WGS84)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Tipo	Código Mapa	USHG
SNGM-RMA-P001	622141	5398802	31	Pozo	P001	//A2
SNGM-RMA-P007	662962,907	5446056,803	150,61	Pozo	P007	A3//A2
SNGM-RMA-P049	662294	5422678	116	Pozo	P049	//A2
SNGM-RMA-P053	668563,496	5408188,781	101,346	Pozo	P053	A1//A2
SNGM-RMA-P056	668626	5422525	112	Pozo	P056	//A1//A2
SNGM-RMA-P063	658863,189	5401132,168	68,66	Pozo	P063	A1//A2
SNGM-RMA-P068	663745,413	5404367,566	91,373	Pozo	P068	A1//A2
SNGM-RMA-P073	656348,142	5400672,281	84,872	Pozo	P073	//A1//A2
SNGM-RMA-P075	664257,824	5423321,567	65,213	Pozo	P075	A3//A2
SNGM-RMA-P085	666720,571	5442204,431	88,426	Pozo	P085	/A3//A2

Tabla D.2: Ubicación de muestras de agua subterránea (continuación).

Código SERNAGEOMIN	UTM Este (WGS84)	UTM Norte (WGS84)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Tipo	Código Mapa	USHG
SNGM-RMA-P088	634257,547	5423688,491	99,091	Pozo	P088	//A2
SNGM-RMA-P100	632489,373	5413376,824	104,2	Pozo	P100	//A2
SNGM-RMA-P101	638584,599	5415966,395	85,149	Pozo	P101	//A2
SNGM-RMA-P109	677289	5422860	138	Pozo	P109	//A1//A2
SNGM-RMA-P130	644728	5397043	25	Pozo	P130	A3//A2
SNGM-RMA-P134	669118	5424539	63	Pozo	P134	/A3//A2
SNGM-RMA-P137	661456	5401019	79	Pozo	P137	A1//A2
SNGM-RMA-P139	640855,061	5403382,756	70,312	Pozo	P139	//A2
SNGM-RMA-P144	665098	5433688	130	Pozo	P144	//A1//A2
SNGM-RMA-P147	637062	5415378	79	Pozo	P147	//A2
SNGM-RMA-P152	657161	5403946	119	Pozo	P152	A3//A2
SNGM-RMA-P170	665755,47	5437820,515	60,21	Pozo	P170	/A3//A2
SNGM-RMA-P171	661055	5445489	139	Pozo	P171	A3//A2
SNGM-RMA-P172	641940	5422357	89	Pozo	P172	//A2
SNGM-RMA-P176	664916	5436148	61	Pozo	P176	/A3//A2
SNGM-RMA-P178	664297,142	5445161,246	152,197	Pozo	P178	//A1//A2
SNGM-RMA-P253	649923,868	5389034,402	116,466	Pozo	P253	//A1//A2
SNGM-RMA-P292	628276	5383826	57	Pozo	P292	//A2
SNGM-RMA-P298	657117	5412893	69	Pozo	P298	A3//A2
SNGM-RMA-P308	667335,923	5429552,829	62,567	Pozo	P308	/A3//A2
SNGM-RMA-P321	662242,144	5411405,912	100,82	Pozo	P321	A3//A2
SNGM-RMA-P418	643025,2	5411237,785	93,308	Pozo	P418	//A2
SNGM-RMA-P419	659652,764	5401713,083	69,412	Pozo	P419	A1//A2
SNGM-RMA-P422	649731,31	5427373,801	136,071	Pozo	P422	//A2
SNGM-RMA-P443	620793	5385390	21	Pozo	P443	//A2
SNGM-RMA-P453	663086,8188	5433754,529	143	Pozo	P453	//A1//A2
SNGM-RMA-P454	658891,587	5401175,472	69,787	Pozo	P454	A1//A2
SNGM-RMA-P467	656234,396	5435052,34	155,25	Pozo	P467	//A2
SNGM-RMA-P498	652047,086	5414824,355	70,669	Pozo	P498	//A2
SNGM-RMA-P500	627512,842	5414383,697	166,731	Pozo	P500	//A2
SNGM-RMA-P501	644197	5423241	88	Pozo	P501	//A2
SNGM-RMA-P502	662824	5445891	148	Pozo	P502	//A2
SNGM-RMA-P503	662497	5446158	145	Pozo	P503	A3//A2
SNGM-RMA-P508	639872	5423309	93	Pozo	P508	//A2
SNGM-RMA-P509	644739	5397355	27	Pozo	P509	A3//A2
SNGM-RMA-P511	654968	5413772	61	Pozo	P511	//A2
SNGM-RMA-P512	656558	5413055	65	Pozo	P512	A3//A2

Tabla D.2: Ubicación de muestras de agua subterránea (continuación).

Código SERNAGEOMIN	UTM Este (WGS84)	UTM Norte (WGS84)	Cota Terreno (m s.n.m.)	Tipo	Código Mapa	USHG
SNGM-RMA-P515	659616,446	5407610,333	109,264	Pozo	P515	//A1//A2
SNGM-RMA-P517	665745	5409699	90	Pozo	P517	//A1//A2
SNGM-RMA-P518	663754,866	5411021,476	90,294	Pozo	P518	//A1//A2
SNGM-RMA-P541	637765	5411140	84	Pozo	P541	//A2
SNGM-RMA-P548	662814,815	5423044,889	118,541	Pozo	P548	//A2
SNGM-RMA-P554	667323,923	5429552,036	61,791	Pozo	P554	/A3//A2
SNGM-RMA-P555	667336,005	5429543,756	63,033	Pozo	P555	/A3//A2
SNGM-RMA-P557	633768,702	5398432,886	91,91	Pozo	P557	//A2
SNGM-RMA-P559	632947,16	5394088,987	21,804	Pozo	P559	//A2
SNGM-RMA-P560	632959	5397096	30	Pozo	P560	//A2

Tabla D.3: Parámetros fisicoquímicos aguas superficiales.

Sin información.
 Valor Máximo
 Valor Mínimo

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	T (°C)	O ₂ (mg/l)	pH (lab)	C.E. (µS/cm)	TSD (mg/l)
SNGM-RMA-P569	RMA-DP-008	25-03-2014	14,5		7,43	125,5	66
SNGM-RMA-P570	RMA-DP-011	26-03-2014	21,5		7,16	73,6	36
SNGM-RMA-P571	RMA-DP-015	27-03-2014	16,4		5,88	19,8	9
SNGM-RMA-P572	RMA-DP-016	27-03-2014	19,1		5,93	23,9	10
SNGM-RMA-P574	RMA-DP-021	03-04-2014	14,5		7,66	11,3	5947
SNGM-RMA-P575	RMA-DP-025	10-04-2014	12,4		7,34	82,6	41
SNGM-RMA-P579	MAU-RT-143	15-02-2015	19,1	6,49	7,42	12590,0	7512
SNGM-RMA-P580	MAU-RT-144	15-02-2015	18,5	6,61	7,68	19460,0	11884
SNGM-RMA-P581	MAU-RT-147	15-02-2015	18,8	6,62	6,94	207,0	106
SNGM-RMA-P582	MAU-RT-150	15-02-2015	19,3	7,00	7,26	98,3	49
SNGM-RMA-P583	MAU-RT-153	16-02-2015	13,8	5,43	7,25	100,9	53
SNGM-RMA-P584	MAU-RT-154	16-02-2015	18,2	6,17	7,21	96,9	49
SNGM-RMA-P585	MAU-RT-156	16-02-2015	17,1	5,79	7,55	39,9	75
SNGM-RMA-P586	MAU-RT-167	18-02-2015	16,7	6,71	6,74	97,2	54
SNGM-RMA-P587	MAU-RT-168	18-02-2015	17,0	6,83	7,13	89,0	48
SNGM-RMA-P589	MAU-RT-181	19-02-2015	17,8	7,37	7,16	812,0	435
SNGM-RMA-P590	MAU-RT-182	19-02-2015	16,8	7,72	7,37	1454,0	766
SNGM-RMA-P592	MAU-RT-185	19-02-2015	13,0	5,77	7,12	98,0	54
SNGM-RMA-P593	MAU-RT-188	25-02-2015	18,6	6,87	7,39	92,0	50
SNGM-RMA-P594	MAU-RT-192	25-02-2015	19,3	5,47	7,02	98,0	54
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-047	06-03-2014	14,5	1,22	8,27	224,0	116

Tabla D.3: Parámetros fisicoquímicos aguas superficiales (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	T (°C)	O ₂ (mg/l)	pH (lab)	C.E. (µS/cm)	TSD (mg/l)
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-115	06-09-2014	13,6	3,01	7,97	223,0	115
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-160	16-02-2015	14,7	0,77	8,01	224,0	117
SNGM-RMA-P007	MAU-RT-174	18-02-2015	16,1	5,06	7,27	276,0	164
SNGM-RMA-P049	RMA-DP-012	26-03-2014			7,65	94,6	48
SNGM-RMA-P053	MAU-FA-031	26-05-2015	12,1	3,83	7,59	227,0	127
SNGM-RMA-P056	MAU-RT-190	25-02-2015	14,7	5,59	7,51	133,0	75
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-044	06-03-2014	12,9	6,90	8,04	177,3	97
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-100	05-09-2014	12,6	2,33	7,67	168,4	89
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-134	13-02-2015	13,1	1,41	7,64	168,2	89
SNGM-RMA-P068	MAU-RT-090	09-04-2014	12,0	6,05	7,52	472,0	262
SNGM-RMA-P073	MAU-RT-135	13-02-2015	13,4	1,34	7,25	163,0	81
SNGM-RMA-P075	MAU-RT-193	25-02-2015	16,4	1,42	7,75	181,0	103
SNGM-RMA-P085	MAU-FA-023	21-05-2015	13,6	7,53	7,6	137,0	78
SNGM-RMA-P088	MAU-FA-026	22-05-2015	12,1	10,02	7,4	116,0	65
SNGM-RMA-P088	RMA-DP-024	10-04-2014	13,2		7,59	118,8	62
SNGM-RMA-P100	MAU-FA-029	24-05-2015	12,8		6,84	81,0	43
SNGM-RMA-P101	MAU-RT-166	17-02-2015	16,9	7,10	7,1	133,5	73
SNGM-RMA-P101	RMA-DP-027	10-04-2014	12,6		7,18	137,2	68
SNGM-RMA-P109	MAU-RT-061	11-03-2014	15,4	6,56	8,11	183,2	100
SNGM-RMA-P128	MAU-RT-080	07-04-2014	12,3	4,34	7,78	205,0	109
SNGM-RMA-P130	MAU-RT-076	24-03-2014	13,6	4,40	7,88	289,0	149
SNGM-RMA-P134	MAU-RT-187	25-02-2015	15,5	5,31	7,16	147,0	82
SNGM-RMA-P137	MAU-RT-132	13-02-2015	13,3	4,86	7,74	205,0	108
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-042	05-03-2014	15,4	5,56	8,07	133,0	71
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-148	15-02-2015	15,8	5,43	7,85	133,5	72
SNGM-RMA-P144	RMA-DP-009	26-03-2014	14,1		7,65	157,0	79
SNGM-RMA-P147	MAU-RT-164	17-02-2015		3,46	7,44	156,7	86
SNGM-RMA-P152	MAU-RT-084	08-04-2014	12,3	2,98	7,58	178,7	94
SNGM-RMA-P170	MAU-FA-022	20-05-2015	13,0	9,24	7,77	154,0	86
SNGM-RMA-P171	MAU-RT-056	10-03-2014	12,4	1,58	8,01	161,7	86
SNGM-RMA-P172	MAU-RT-179	19-02-2015	17,0	5,38	7,17	135,5	76
SNGM-RMA-P176	RMA-DP-018	02-04-2014	13,0		7,97	130,9	70
SNGM-RMA-P178	MAU-FA-021	20-05-2015	13,1	10,07	7,25	133,0	75
SNGM-RMA-P179	RMA-DP-017	02-04-2014	11,7		7,48	156,5	83
SNGM-RMA-P182	MAU-RT-161	17-02-2015	15,0	7,64	7,19	204,0	123
SNGM-RMA-P184	MAU-RT-129	13-02-2015	16,1	4,65	7,82	223,0	118
SNGM-RMA-P189	MAU-RT-189	25-02-2015	14,0	6,51	7,32	135,0	79
SNGM-RMA-P221	RMA-DP-010	26-03-2014	16,8		7,62	132,0	70


Tabla D.3: Parámetros fisicoquímicos aguas superficiales (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	T (°C)	O ₂ (mg/l)	pH (lab)	C.E. (µS/cm)	TSD (mg/l)
SNGM-RMA-P230	MAU-RT-082	08-04-2014	13,1	2,46	7,64	162,6	85
SNGM-RMA-P231	MAU-RT-087	09-04-2014	14,0	5,09	7,42	291,0	163
SNGM-RMA-P235	MAU-RT-081	08-04-2014	13,9	5,46	7,83	191,0	103
SNGM-RMA-P238	MAU-RT-152	16-02-2015	13,8		7,2	108,5	56
SNGM-RMA-P253	MAU-RT-136	14-02-2015	13,6	7,21	7,62	118,3	61
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-041	05-03-2014	13,2	6,82	7,95	148,0	81
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-102	05-09-2014	12,6	6,81	7,51	147,0	78
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-141	14-02-2015	14,9	6,76	7,47	146,8	77
SNGM-RMA-P298	MAU-RT-046	06-03-2014	12,7	0,76	8,16	182,2	98
SNGM-RMA-P308	MAU-RT-201	17-04-2015	15,5	1,47	7,96	241,0	135
SNGM-RMA-P321	MAU-RT-085	09-04-2014	11,2	5,31	7,42	210,0	112
SNGM-RMA-P418	MAU-FA-035	30-05-2015	11,5		7,75	157,0	86
SNGM-RMA-P418	RMA-DP-026	10-04-2014	12,1		7,71	158,5	80
SNGM-RMA-P419	MAU-RT-133	13-02-2015	12,6	1,64	7,72	162,9	87
SNGM-RMA-P419	RMA-DP-014	27-03-2014	12,8		7,75	161,8	75
SNGM-RMA-P422	MAU-FA-024	21-05-2015	10,7	9,73	7,26	92,0	53
SNGM-RMA-P443	MAU-RT-142	14-02-2015	16,8	4,96	7,81	132,0	125
SNGM-RMA-P453	RMA-DP-007	25-03-2014	14,1		7,73	118,6	63
SNGM-RMA-P454	MAU-RT-131	13-02-2015	13,7	1,17	7,64	170,4	92
SNGM-RMA-P454	RMA-DP-013	27-03-2014	11,7		7,15	107,3	56
SNGM-RMA-P467	MAU-RT-176	18-02-2015	12,7	7,46	7,36	121,7	70
SNGM-RMA-P467	RMA-DP-033	24-04-2014	11,1		7,63	122,4	62
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-045	06-03-2014	13,9	6,05	7,86	129,4	71
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-157	16-02-2015	13,0	7,68	7,52	121,8	66
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-048	07-03-2014	14,0	6,72	7,2	203,0	112
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-112	06-09-2014	12,4	7,44	6,76	168,3	92
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-180	19-02-2015	13,5	6,85	6,45	176,6	102
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-049	07-03-2014	15,4	6,01	7,61	78,6	45
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-110	06-09-2014	12,0	7,02	7,17	74,5	41
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-178	19-02-2015	12,5	7,23	6,89	77,7	42
SNGM-RMA-P502	MAU-RT-051	07-03-2014	15,5	4,87	8,22	513,0	276
SNGM-RMA-P503	MAU-RT-055	10-03-2014	13,3	56,50	8,39	366,0	207
SNGM-RMA-P508	MAU-RT-073	13-03-2014	14,2	6,98	7,5	126,4	69
SNGM-RMA-P509	MAU-RT-077	24-03-2014	12,8	5,72	7,71	243,0	126
SNGM-RMA-P511	MAU-RT-078	07-04-2014	12,9	7,22	7,14	95,0	52
SNGM-RMA-P512	MAU-RT-079	07-04-2014	11,8	4,17	6,79	117,7	62
SNGM-RMA-P515	MAU-RT-083	08-04-2014	13,0	6,13	7,26	114,7	62
SNGM-RMA-P517	MAU-RT-086	09-04-2014	14,3	3,49	7,7	274,0	142

Tabla D.3: Parámetros fisicoquímicos aguas superficiales (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	T (°C)	O ₂ (mg/l)	pH (lab)	C.E. (µS/cm)	TSD (mg/l)
SNGM-RMA-P518	MAU-RT-088	09-04-2014	13,1	4,24	7,82	243,0	129
SNGM-RMA-P541	MAU-RT-183	19-02-2015	15,1	1,82	7,42	147,0	83
SNGM-RMA-P548	MAU-FA-030	25-05-2015	12,5	6,05	6,96	81,0	45
SNGM-RMA-P551	MAU-RT-200	17-04-2015	14,3	5,76	7,72	130,9	69
SNGM-RMA-P554	MAU-RT-199	17-04-2015	15,9	1,62	8,14	199,2	112
SNGM-RMA-P555	MAU-RT-198	17-04-2015	13,8	5,47	7,64	270,0	132
SNGM-RMA-P557	MAU-FA-056	18-07-2015			7,38	134,0	66
SNGM-RMA-P559	MAU-FA-057	18-07-2015			7,56	223,0	85
SNGM-RMA-P560	MAU-FA-058	18-07-2015			8,31	320,0	131

Tabla D.4: Elementos mayoritarios.

 Bajo el límite de detección.

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	Calcio (Ca ²⁺)	Magnesio (Mg ²⁺)	Sodio (Na ⁺)	Potasio (K ⁺)	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Cloruros (Cl ⁻)	Nitratos (NO ₃ ⁻)
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-047	06-03-2014	18,50	14,00	3,60	2,60	119,0	3,97	6,70	< 3,0
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-115	06-09-2014	12,00	12,00	10,20	2,60	128,0	2,50	6,45	< 3,0
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-160	16-02-2015	12,00	12,00	11,00	2,80	128,0	3,50	6,68	< 3,0
SNGM-RMA-P007	MAU-RT-174	18-02-2015	25,00	9,50	14,00	3,60	147,6	7,14	7,82	15,50
SNGM-RMA-P049	RMA-DP-012	26-03-2014	7,00	1,80	6,50	1,20	46,2	2,08	3,06	< 3,0
SNGM-RMA-P053	MAU-FA-031	26-05-2015	20,30	8,80	11,30	2,50	146,9	1,13	3,62	< 3,0
SNGM-RMA-P056	MAU-RT-190	25-02-2015	9,00	5,30	8,50	2,20	79,2	1,96	3,37	< 3,0
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-044	06-03-2014	18,50	7,50	7,00	2,20	94,7	2,82	3,71	3,06
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-100	05-09-2014	13,00	6,20	9,00	2,04	96,4	2,00	3,67	< 3,0
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-134	13-02-2015	13,00	6,30	9,00	1,98	95,9	2,68	3,66	< 3,0
SNGM-RMA-P068	MAU-RT-090	09-04-2014	26,00	15,00	30,00	1,90	80,0	6,20	60,70	68,60
SNGM-RMA-P073	MAU-RT-135	13-02-2015	8,00	9,00	8,00	1,86	90,7	< 1,0	4,79	< 3,0
SNGM-RMA-P075	MAU-RT-193	25-02-2015	11,50	8,50	12,50	2,00	121,0	< 1,0	3,22	< 3,0
SNGM-RMA-P085	MAU-FA-023	21-05-2015	6,80	6,50	10,30	2,60	89,3	< 1,0	3,41	< 3,0
SNGM-RMA-P088	RMA-DP-024	10-04-2014	9,00	1,90	9,50	1,00	56,9	< 1,0	5,91	3,00
SNGM-RMA-P100	MAU-FA-029	24-05-2015	2,50	3,50	7,80	0,80	34,3	< 1,0	8,96	< 3,0
SNGM-RMA-P101	MAU-RT-166	17-02-2015	9,80	4,50	8,80	1,40	72,0	< 1,0	8,20	< 3,0
SNGM-RMA-P101	RMA-DP-027	10-04-2014	12,00	2,20	8,00	1,40	62,4	< 1,0	8,50	< 3,0
SNGM-RMA-P109	MAU-RT-061	11-03-2014	23,50	7,00	5,10	0,62	96,0	3,38	4,22	3,79
SNGM-RMA-P128	MAU-RT-080	07-04-2014	15,00	10,00	11,00	2,00	113,0	3,40	4,10	< 3,0
SNGM-RMA-P130	MAU-RT-076	24-03-2014	23,00	16,50	10,00	2,60	125,0	3,31	24,20	< 3,0

Tabla D.4: Elementos mayoritarios (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	Calcio (Ca ²⁺)	Magnesio (Mg ²⁺)	Sodio (Na ⁺)	Potasio (K ⁺)	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Cloruros (Cl ⁻)	Nitratos (NO ₃ ⁻)
SNGM-RMA-P134	MAU-RT-187	25-02-2015	11,50	4,80	9,50	1,60	76,9	3,31	7,82	< 3,0
SNGM-RMA-P137	MAU-RT-132	13-02-2015	16,00	9,00	9,00	2,60	117,3	2,64	3,80	< 3,0
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-042	05-03-2014	11,50	6,50	6,00	1,08	69,3	3,06	4,64	< 3,0
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-148	15-02-2015	6,50	6,20	10,00	1,80	75,0	2,11	4,42	< 3,0
SNGM-RMA-P144	RMA-DP-009	26-03-2014	12,00	3,00	10,50	2,20	87,7	< 1,0	3,53	< 3,0
SNGM-RMA-P147	MAU-RT-164	17-02-2015	9,50	7,00	9,90	1,80	97,3	1,07	4,27	< 3,0
SNGM-RMA-P152	MAU-RT-084	08-04-2014	13,00	6,90	12,00	4,20	98,1	< 1,0	3,60	< 3,0
SNGM-RMA-P170	MAU-FA-022	20-05-2015	9,00	7,00	9,50	2,40	92,2	2,93	4,09	< 3,0
SNGM-RMA-P171	MAU-RT-056	10-03-2014	15,00	7,50	6,50	2,60	87,7	< 1,0	3,02	3,41
SNGM-RMA-P172	MAU-RT-179	19-02-2015	9,00	5,00	10,00	1,00	81,2	< 1,0	4,59	< 3,0
SNGM-RMA-P176	RMA-DP-018	02-04-2014	9,00	3,00	10,00	2,00	70,8	2,04	3,87	< 3,0
SNGM-RMA-P178	MAU-FA-021	20-05-2015	10,50	5,00	8,00	2,20	77,8	3,20	3,20	< 3,0
SNGM-RMA-P179	RMA-DP-017	02-04-2014	13,00	3,20	8,50	1,30	62,1	1,65	6,97	13,80
SNGM-RMA-P182	MAU-RT-161	17-02-2015	25,00	4,00	11,00	0,38	66,0	3,34	34,60	6,02
SNGM-RMA-P184	MAU-RT-129	13-02-2015	13,00	12,00	10,00	2,20	111,6	8,53	11,00	< 3,0
SNGM-RMA-P189	MAU-RT-189	25-02-2015	12,50	4,50	7,00	1,60	74,9	2,04	4,30	5,50
SNGM-RMA-P221	RMA-DP-010	26-03-2014	12,00	1,80	7,50	1,96	62,9	3,22	4,13	4,49
SNGM-RMA-P230	MAU-RT-082	08-04-2014	13,00	4,20	14,00	2,80	87,0	< 1,0	3,50	< 3,0
SNGM-RMA-P231	MAU-RT-087	09-04-2014	21,00	7,20	24,00	4,60	149,0	8,60	5,00	10,40
SNGM-RMA-P235	MAU-RT-081	08-04-2014	15,00	6,80	11,00	2,20	109,0	2,00	4,60	< 3,0
SNGM-RMA-P238	MAU-RT-152	16-02-2015	5,00	5,10	7,00	1,66	60,4	< 1,0	2,57	< 3,0
SNGM-RMA-P253	MAU-RT-136	14-02-2015	7,00	5,00	7,00	2,20	59,1	1,74	3,36	< 3,0
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-041	05-03-2014	14,80	5,50	6,00	1,52	66,1	1,98	7,45	6,93
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-102	05-09-2014	10,00	5,20	8,20	2,02	69,3	< 1,0	7,40	6,10
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-141	14-02-2015	9,50	6,00	8,00	1,92	68,8	< 1,0	7,09	5,98
SNGM-RMA-P298	MAU-RT-046	06-03-2014	19,50	8,00	6,50	2,40	102,0	2,24	3,70	< 3,0
SNGM-RMA-P308	MAU-RT-201	17-04-2015	18,00	8,00	19,00	2,80	149,6	< 1,0	6,34	< 3,0
SNGM-RMA-P321	MAU-RT-085	09-04-2014	12,00	6,40	20,00	1,88	89,7	3,80	14,90	< 3,0
SNGM-RMA-P418	MAU-FA-035	30-05-2015	8,00	9,00	9,30	1,80	99,4	< 1,0	4,04	< 3,0
SNGM-RMA-P418	RMA-DP-026	10-04-2014	12,50	4,00	8,00	1,64	87,5	1,80	3,85	< 3,0
SNGM-RMA-P419	MAU-RT-133	13-02-2015	13,00	6,50	9,00	1,98	95,4	1,26	3,46	< 3,0
SNGM-RMA-P419	RMA-DP-014	27-03-2014	13,00	3,20	8,00	1,92	90,4	< 1,0	< 1,0	< 3,0
SNGM-RMA-P422	MAU-FA-024	21-05-2015	3,50	5,00	7,50	0,80	55,9	< 1,0	5,22	< 3,0
SNGM-RMA-P443	MAU-RT-142	14-02-2015	12,00	9,00	19,00	3,00	134,2	1,88	7,54	< 3,0
SNGM-RMA-P453	RMA-DP-007	25-03-2014	11,50	1,50	7,00	1,40	58,9	4,31	2,78	< 3,0

Tabla D.4: Elementos mayoritarios (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	Calcio (Ca ²⁺)	Magnesio (Mg ²⁺)	Sodio (Na ⁺)	Potasio (K ⁺)	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Cloruros (Cl ⁻)	Nitratos (NO ₃ ⁻)
SNGM-RMA-P454	MAU-RT-131	13-02-2015	12,50	7,00	9,00	2,60	98,6	2,90	3,60	< 3,0
SNGM-RMA-P454	RMA-DP-013	27-03-2014	9,00	1,80	6,50	1,48	49,4	2,88	3,66	3,70
SNGM-RMA-P467	MAU-RT-176	18-02-2015	9,00	5,00	7,70	1,40	77,2	< 1,0	3,31	< 3,0
SNGM-RMA-P467	RMA-DP-033	24-04-2014	11,00	2,00	6,50	1,60	62,4	1,30	3,32	< 3,0
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-045	06-03-2014	13,00	6,00	4,80	0,62	60,4	1,40	3,96	7,34
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-157	16-02-2015	7,40	6,00	7,00	1,40	57,4	< 1,0	4,20	8,10
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-048	07-03-2014	16,60	7,00	9,00	0,38	31,6	1,17	25,70	30,30
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-112	06-09-2014	10,00	6,00	10,00	1,12	37,8	< 1,0	19,80	21,00
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-180	19-02-2015	10,50	5,50	13,00	1,20	37,7	< 1,0	21,35	25,60
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-049	07-03-2014	5,80	2,80	9,50	0,18	37,5	< 1,0	3,80	< 3,0
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-110	06-09-2014	5,50	2,60	5,90	0,52	36,0	< 1,0	4,00	< 3,0
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-178	19-02-2015	3,70	3,00	6,00	0,60	44,9	< 1,0	3,96	< 3,0
SNGM-RMA-P502	MAU-RT-051	07-03-2014	44,00	20,00	23,00	4,40	161,0	13,80	59,80	15,70
SNGM-RMA-P503	MAU-RT-055	10-03-2014	42,00	18,00	8,00	3,40	184,0	6,59	10,60	12,60
SNGM-RMA-P508	MAU-RT-073	13-03-2014	13,50	4,50	5,30	0,32	50,9	1,10	7,14	8,36
SNGM-RMA-P509	MAU-RT-077	24-03-2014	21,00	14,00	7,00	2,80	126,0	2,63	10,00	< 3,0
SNGM-RMA-P511	MAU-RT-078	07-04-2014	7,70	3,80	6,00	0,66	38,0	1,80	3,60	6,70
SNGM-RMA-P512	MAU-RT-079	07-04-2014	9,80	4,40	6,00	1,62	54,9	2,50	4,40	< 3,0
SNGM-RMA-P515	MAU-RT-083	08-04-2014	9,70	3,20	6,60	1,84	47,7	2,30	4,60	6,80
SNGM-RMA-P517	MAU-RT-086	09-04-2014	19,00	13,00	12,00	3,60	147,0	7,70	5,20	< 3,0
SNGM-RMA-P518	MAU-RT-088	09-04-2014	18,00	12,00	10,00	2,80	138,0	3,30	3,40	4,60
SNGM-RMA-P541	MAU-RT-183	19-02-2015	10,50	6,50	8,50	1,60	95,0	< 1,0	4,25	< 3,0
SNGM-RMA-P548	MAU-FA-030	25-05-2015	2,50	4,00	7,50	0,80	43,2	< 1,0	4,50	< 3,0
SNGM-RMA-P551	MAU-RT-200	17-04-2015	9,50	4,80	7,00	1,76	71,8	1,70	3,27	< 3,0
SNGM-RMA-P554	MAU-RT-199	17-04-2015	7,50	4,60	27,00	2,40	121,7	< 1,0	4,08	< 3,0
SNGM-RMA-P555	MAU-RT-198	17-04-2015	22,50	8,00	13,00	2,80	70,8	1,64	36,20	6,22
SNGM-RMA-P557	MAU-FA-056	18-07-2015	10,80	5,00	9,10	1,48	56,2	1,00	6,60	< 3,0
SNGM-RMA-P559	MAU-FA-057	18-07-2015	17,80	11,30	10,00	3,41	65,4	< 1,0	5,80	< 3,0
SNGM-RMA-P560	MAU-FA-058	18-07-2015	23,00	19,00	17,00	2,60	115,8	< 1,0	4,99	< 3,0
SNGM-RMA-P569	RMA-DP-008	25-03-2014	10,50	2,20	7,50	2,20	59,4	2,73	5,68	< 3,0
SNGM-RMA-P570	RMA-DP-011	26-03-2014	6,50	1,00	4,00	0,96	30,1	2,24	4,49	< 3,0
SNGM-RMA-P571	RMA-DP-015	27-03-2014	1,00	0,10	2,00	0,34	3,0	< 1,0	3,12	< 3,0
SNGM-RMA-P572	RMA-DP-016	27-03-2014	1,50	0,10	2,00	0,24	4,2	< 1,0	3,23	< 3,0
SNGM-RMA-P574	RMA-DP-021	03-04-2014	95,00	5,00	1900,00	110,00	54,9	< 1,0	3494,00	< 3,0
SNGM-RMA-P575	RMA-DP-025	10-04-2014	6,50	1,50	6,00	1,14	38,0	< 1,0	4,73	< 3,0

Tabla D.4: Elementos mayoritarios (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	Calcio (Ca ²⁺)	Magnesio (Mg ²⁺)	Sodio (Na ⁺)	Potasio (K ⁺)	Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Cloruros (Cl ⁻)	Nitratos (NO ₃ ⁻)
SNGM-RMA-P579	MAU-RT-143	15-02-2015	95,00	300,00	2000,00	50,00	74,3	532,00	4100,00	< 3,0
SNGM-RMA-P580	MAU-RT-144	15-02-2015	135,00	390,00	3300,00	85,00	76,0	866,00	6440,00	< 3,0
SNGM-RMA-P581	MAU-RT-147	15-02-2015	8,50	6,00	14,00	9,00	70,1	4,91	23,00	< 3,0
SNGM-RMA-P582	MAU-RT-150	15-02-2015	3,90	3,20	8,00	1,18	37,3	2,41	8,85	< 3,0
SNGM-RMA-P583	MAU-RT-153	16-02-2015	6,00	4,20	6,00	1,30	55,2	< 1,0	4,19	< 3,0
SNGM-RMA-P584	MAU-RT-154	16-02-2015	4,00	4,00	8,00	1,14	38,0	2,08	8,72	< 3,0
SNGM-RMA-P585	MAU-RT-156	16-02-2015	10,40	6,00	8,40	1,70	82,0	< 1,0	3,76	< 3,0
SNGM-RMA-P586	MAU-RT-167	18-02-2015	3,70	3,00	10,00	1,20	40,3	2,50	10,62	< 3,0
SNGM-RMA-P586	RMA-DP-042	26-04-2014	6,00	1,10	8,50	1,20	31,6	2,50	9,29	< 3,0
SNGM-RMA-P587	MAU-RT-168	18-02-2015	3,60	2,50	8,00	1,00	38,6	2,02	9,02	< 3,0
SNGM-RMA-P589	MAU-RT-181	19-02-2015	9,80	13,00	125,00	5,40	46,7	28,00	208,00	< 3,0
SNGM-RMA-P590	MAU-RT-182	19-02-2015	13,90	25,00	205,00	9,40	48,1	54,00	394,00	< 3,0
SNGM-RMA-P592	MAU-RT-185	19-02-2015	4,50	4,50	7,50	1,00	57,6	< 1,0	4,90	< 3,0
SNGM-RMA-P593	MAU-RT-188	25-02-2015	4,00	3,00	8,50	1,20	39,7	2,17	8,99	< 3,0
SNGM-RMA-P594	MAU-RT-192	25-02-2015	3,50	3,00	10,50	1,40	40,0	2,68	9,87	< 3,0

Tabla D.5: Elementos traza.

Bajo el límite de detección.

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	F (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Ba (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Sn (mg/l)	P (mg/l)	Fe (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mn (mg/l)	Se (mg/l)	V (mg/l)	Zn (mg/l)
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-047	06-03-2014	0,140	<0,020	0,012	0,008	<0,010	<0,001	<0,003	0,228	0,423	<0,02	0,093	<0,005	<0,003	0,011
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-115	06-09-2014	0,220	<0,020	0,010	0,007	<0,010	<0,001	<0,003	0,133	0,293	<0,02	0,084	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-160	16-02-2015	0,200	0,047	0,014	0,010	<0,010	<0,001	<0,003	0,403	0,374	0,020	0,138	<0,005	<0,003	0,017
SNGM-RMA-P007	MAU-RT-174	18-02-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	<0,050	0,057	<0,02	0,020	<0,005	0,014	0,021
SNGM-RMA-P049	RMA-DP-012	26-03-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,235	0,116	<0,02	<0,003	<0,005	0,039	0,022
SNGM-RMA-P053	MAU-FA-031	26-05-2015	0,110	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,211	0,046	<0,02	0,071	<0,005	0,026	0,080
SNGM-RMA-P056	MAU-RT-190	25-02-2015	0,110	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,213	<0,02	0,323	<0,005	0,026	0,027
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-044	06-03-2014	0,110	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,295	0,992	<0,02	0,100	<0,005	<0,003	0,012
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-100	05-09-2014	0,240	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,290	0,498	<0,02	0,077	<0,005	<0,003	0,108
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-134	13-02-2015	0,210	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,174	0,596	<0,02	0,075	<0,005	<0,003	0,072
SNGM-RMA-P068	MAU-RT-090	09-04-2014	0,100	<0,020	<0,005	0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,123	<0,02	0,703	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P073	MAU-RT-135	13-02-2015	0,200	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,132	7,031	<0,02	0,194	<0,005	<0,003	0,001
SNGM-RMA-P075	MAU-RT-193	25-02-2015	0,100	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,003	<0,003	<0,050	0,133	<0,02	0,009	<0,005	0,018	0,048
SNGM-RMA-P085	MAU-FA-023	21-05-2015	0,140	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,379	0,113	<0,02	0,087	<0,005	0,017	0,139
SNGM-RMA-P088	MAU-FA-026	22-05-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,064	0,039	<0,02	<0,003	<0,005	0,009	0,022
SNGM-RMA-P088	RMA-DP-024	10-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,081	0,028	0,020	<0,003	<0,005	0,008	<0,010
SNGM-RMA-P100	MAU-FA-029	24-05-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,012	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	0,031

Tabla D.5: Elementos traza (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	F (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Ba (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Sn (mg/l)	P (mg/l)	Fe (mg/l)	Li** (mg/l)	Mn (mg/l)	Se (mg/l)	V (mg/l)	Zn (mg/l)
SNGM-RMA-P101	MAU-RT-166	17-02-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,137	<0,02	<0,003	<0,005	0,015	0,198
SNGM-RMA-P101	RMA-DP-027	10-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,005	<0,003	0,126	0,024	0,020	<0,003	<0,005	0,015	0,134
SNGM-RMA-P109	MAU-RT-061	11-03-2014	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,079	0,093	<0,02	<0,003	<0,005	0,007	0,054
SNGM-RMA-P128	MAU-RT-080	07-04-2014	0,140	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,257	0,058	<0,02	<0,003	<0,005	0,030	0,013
SNGM-RMA-P130	MAU-RT-076	24-03-2014	0,140	<0,020	<0,005	0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,480	0,812	<0,02	0,554	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P134	MAU-RT-187	25-02-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	0,007	<0,005	0,009	0,010
SNGM-RMA-P137	MAU-RT-132	13-02-2015	0,090	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,091	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,021	0,019
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-042	05-03-2014	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,336	0,154	<0,02	0,060	<0,005	<0,003	0,018
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-148	15-02-2015	0,240	0,016	0,003	0,001	<0,010	<0,001	<0,003	0,575	0,169	<0,02	0,157	<0,005	0,003	<0,010
SNGM-RMA-P144	RMA-DP-009	26-03-2014	0,160	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,544	0,676	<0,02	0,132	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P147	MAU-RT-164	17-02-2015	0,090	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,315	0,312	<0,02	0,486	<0,005	0,005	0,048
SNGM-RMA-P152	MAU-RT-084	08-04-2014	0,200	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,275	1,343	<0,02	0,212	<0,005	<0,003	0,026
SNGM-RMA-P170	MAU-FA-022	20-05-2015	0,100	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,263	0,003	<0,02	0,015	<0,005	0,026	0,037
SNGM-RMA-P171	MAU-RT-056	10-03-2014	0,120	<0,020	<0,005	0,007	<0,010	<0,001	<0,003	0,256	0,906	<0,02	0,730	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P172	MAU-RT-179	19-02-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,002	<0,003	<0,050	0,085	<0,02	<0,003	<0,005	0,010	0,132
SNGM-RMA-P176	RMA-DP-018	02-04-2014	0,140	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,621	0,064	<0,02	0,113	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P178	MAU-FA-021	20-05-2015	0,030	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,025	<0,02	<0,003	<0,005	0,009	0,293
SNGM-RMA-P179	RMA-DP-017	02-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	0,010	<0,001	<0,003	0,130	0,040	<0,02	<0,003	<0,005	0,016	<0,010
SNGM-RMA-P182	MAU-RT-161	17-02-2015	0,160	0,032	0,000	0,003	0,103	<0,001	<0,003	<0,050	0,016	0,020	0,004	<0,005	<0,003	0,104
SNGM-RMA-P184	MAU-RT-129	13-02-2015	0,080	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	0,004	<0,050	0,191	<0,02	0,173	<0,005	<0,003	0,113
SNGM-RMA-P189	MAU-RT-189	25-02-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,252	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,009	0,032
SNGM-RMA-P221	RMA-DP-010	26-03-2014	<0,1	0,025	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,115	0,053	<0,02	<0,003	<0,005	0,020	<0,010
SNGM-RMA-P230	MAU-RT-082	08-04-2014	0,240	<0,020	0,008	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,871	0,100	<0,02	0,066	<0,005	<0,003	0,017
SNGM-RMA-P231	MAU-RT-087	09-04-2014	0,190	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,087	<0,02	0,004	<0,005	0,010	<0,010
SNGM-RMA-P235	MAU-RT-081	08-04-2014	0,130	<0,020	0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,227	0,061	<0,02	0,177	<0,005	<0,003	0,020
SNGM-RMA-P238	MAU-RT-152	16-02-2015	0,220	0,028	0,002	0,001	<0,010	<0,001	<0,003	0,300	0,027	<0,02	<0,003	<0,005	0,028	<0,010
SNGM-RMA-P253	MAU-RT-136	14-02-2015	0,200	0,067	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,091	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,023	0,019
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-041	05-03-2014	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,115	0,054	<0,02	<0,003	<0,005	0,018	0,014
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-102	05-09-2014	0,200	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,066	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,016	0,011
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-141	14-02-2015	0,200	<0,020	0,001	0,002	<0,010	0,001	<0,003	0,102	0,015	<0,02	<0,003	<0,005	0,017	0,030
SNGM-RMA-P298	MAU-RT-046	06-03-2014	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,269	0,927	<0,02	0,209	<0,005	<0,003	0,017
SNGM-RMA-P308	MAU-RT-201	17-04-2015	0,140	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,096	0,030	<0,02	0,163	<0,005	0,007	0,024
SNGM-RMA-P321	MAU-RT-085	09-04-2014	0,140	<0,020	<0,005	<0,005	0,091	<0,001	<0,003	0,160	0,067	<0,02	<0,003	<0,005	0,020	<0,010
SNGM-RMA-P418	MAU-FA-035	30-05-2015	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,125	0,011	<0,02	<0,003	0,006	0,020	0,040
SNGM-RMA-P418	RMA-DP-026	10-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,146	0,059	<0,02	<0,003	<0,005	0,017	0,039
SNGM-RMA-P419	MAU-RT-133	13-02-2015	0,220	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,240	0,166	<0,02	0,046	<0,005	0,013	0,621
SNGM-RMA-P419	RMA-DP-014	27-03-2014	0,100	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,316	0,788	<0,02	0,081	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P422	MAU-FA-024	21-05-2015	0,120	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,038	0,015	<0,02	<0,003	<0,005	0,004	0,019

Tabla D.5: Elementos traza (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	F (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Ba (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Sn (mg/l)	P (mg/l)	Fe (mg/l)	Li** (mg/l)	Mn (mg/l)	Se (mg/l)	V (mg/l)	Zn (mg/l)
SNGM-RMA-P443	MAU-RT-142	14-02-2015	0,230	<0,020	0,002	0,002	<0,010	<0,001	<0,003	0,261	0,108	<0,02	0,213	<0,005	<0,003	0,064
SNGM-RMA-P453	RMA-DP-007	25-03-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,083	0,049	<0,02	0,003	<0,005	0,019	0,092
SNGM-RMA-P454	MAU-RT-131	13-02-2015	0,100	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	0,005	0,190	0,282	<0,02	0,059	<0,005	0,006	0,017
SNGM-RMA-P454	RMA-DP-013	27-03-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,149	0,101	<0,02	<0,003	<0,005	0,019	<0,010
SNGM-RMA-P467	MAU-RT-176	18-02-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,080	<0,02	<0,003	<0,005	0,012	<0,010
SNGM-RMA-P467	RMA-DP-033	24-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,106	0,020	0,020	<0,003	<0,005	0,013	<0,010
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-045	06-03-2014	0,090	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,002	<0,003	0,109	0,047	<0,02	<0,003	<0,005	0,016	0,010
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-157	16-02-2015	0,180	0,062	0,001	0,002	<0,010	0,003	<0,003	0,213	0,015	<0,02	0,003	<0,005	0,021	<0,010
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-048	07-03-2014	<0,1	<0,020	<0,005	0,007	0,018	<0,001	<0,003	<0,050	0,059	<0,02	0,005	<0,005	<0,003	0,094
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-112	06-09-2014	0,180	<0,020	<0,005	<0,005	0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	<0,003	0,099
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-180	19-02-2015	<0,1	<0,020	<0,005	0,005	<0,010	0,005	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	0,003	<0,005	<0,003	0,014
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-049	07-03-2014	0,030	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,052	0,031	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	0,231
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-110	06-09-2014	0,180	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,017	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,003	0,191
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-178	19-02-2015	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	0,061
SNGM-RMA-P502	MAU-RT-051	07-03-2014	0,030	<0,020	<0,005	0,006	<0,010	0,001	<0,003	0,069	0,190	<0,02	0,021	<0,005	0,012	1,642
SNGM-RMA-P503	MAU-RT-055	10-03-2014	0,040	<0,020	<0,005	<0,005	0,052	<0,001	<0,003	0,087	0,166	<0,02	<0,003	<0,005	0,015	0,481
SNGM-RMA-P508	MAU-RT-073	13-03-2014	0,040	0,042	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,082	0,049	<0,02	<0,003	<0,005	0,011	0,021
SNGM-RMA-P509	MAU-RT-077	24-03-2014	0,110	<0,020	<0,005	0,006	<0,010	<0,001	<0,003	0,434	1,946	<0,02	0,733	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P511	MAU-RT-078	07-04-2014	0,080	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,058	0,018	<0,02	<0,003	<0,005	0,006	0,202
SNGM-RMA-P512	MAU-RT-079	07-04-2014	0,080	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,033	<0,02	<0,003	<0,005	0,004	0,015
SNGM-RMA-P515	MAU-RT-083	08-04-2014	0,090	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,111	0,032	<0,02	<0,003	<0,005	0,015	0,059
SNGM-RMA-P517	MAU-RT-086	09-04-2014	0,100	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,077	<0,02	0,415	<0,005	0,007	0,436
SNGM-RMA-P518	MAU-RT-088	09-04-2014	0,120	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,113	0,100	<0,02	0,039	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P541	MAU-RT-183	19-02-2015	0,040	<0,020	<0,005	0,145	<0,010	<0,001	<0,003	1,219	0,052	<0,02	0,300	<0,005	0,002	0,157
SNGM-RMA-P548	MAU-FA-030	25-05-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,070	<0,02	0,117	<0,005	<0,003	1,459
SNGM-RMA-P551	MAU-RT-200	17-04-2015	0,130	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,087	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,033	0,063
SNGM-RMA-P554	MAU-RT-199	17-04-2015	0,190	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,026	<0,02	0,016	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P555	MAU-RT-198	17-04-2015	0,110	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	0,001	<0,003	0,077	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,020	<0,010
SNGM-RMA-P557	MAU-FA-056	18-07-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,066	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,008	0,155
SNGM-RMA-P559	MAU-FA-057	18-07-2015	0,080	<0,020	<0,005	0,006	<0,010	<0,001	<0,003	0,098	1,659	<0,02	0,272	<0,005	<0,003	0,459
SNGM-RMA-P560	MAU-FA-058	18-07-2015	0,140	<0,020	<0,005	0,009	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,070	<0,02	0,197	<0,005	<0,003	0,345
SNGM-RMA-P569	RMA-DP-008	25-03-2014	<0,1	0,039	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,467	<0,02	0,042	<0,005	0,004	<0,010
SNGM-RMA-P570	RMA-DP-011	26-03-2014	<0,1	0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,054	<0,02	<0,003	<0,005	<0,003	0,032
SNGM-RMA-P571	RMA-DP-015	27-03-2014	<0,1	0,068	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,063	<0,02	0,008	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P572	RMA-DP-016	27-03-2014	<0,1	0,138	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,414	<0,02	0,018	<0,005	<0,003	0,017
SNGM-RMA-P574	RMA-DP-021	03-04-2014	0,200	<0,020	0,011	<0,005	<0,010	0,025	<0,003	<0,050	0,461	0,080	0,012	0,031	0,011	<0,010
SNGM-RMA-P575	RMA-DP-025	10-04-2014	<0,1	0,075	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,422	<0,02	0,006	<0,005	0,005	0,029
SNGM-RMA-P579	MAU-RT-143	15-02-2015	0,350	0,020	0,001	0,008	<0,010	0,001	<0,003	<0,050	0,067	1,000	0,035	<0,005	<0,003	<0,010

Tabla D.5: Elementos traza (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	Fecha Muestreo	F (mg/l)	Al (mg/l)	As (mg/l)	Ba (mg/l)	Cu (mg/l)	Cr (mg/l)	Sn (mg/l)	P (mg/l)	Fe (mg/l)	Li** (mg/l)	Mn (mg/l)	Se (mg/l)	V (mg/l)	Zn (mg/l)
SNGM-RMA-P580	MAU-RT-144	15-02-2015	0,490	0,040	0,001	0,004	<0,010	0,001	<0,003	0,095	0,020	0,300	0,011	<0,005	<0,003	<0,010
SNGM-RMA-P581	MAU-RT-147	15-02-2015	0,220	0,094	0,001	0,004	<0,010	0,001	<0,003	0,111	0,196	<0,02	0,019	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P582	MAU-RT-150	15-02-2015	0,200	0,042	0,001	0,001	<0,010	<0,001	<0,003	0,085	0,067	<0,02	0,006	<0,005	0,007	<0,010
SNGM-RMA-P583	MAU-RT-153	16-02-2015	0,180	0,131	0,000	0,003	<0,010	<0,001	<0,003	0,104	1,247	<0,02	0,077	<0,005	0,003	<0,010
SNGM-RMA-P584	MAU-RT-154	16-02-2015	0,180	0,011	0,001	0,001	<0,010	<0,001	<0,003	0,084	0,061	<0,02	0,004	<0,005	0,007	<0,010
SNGM-RMA-P585	MAU-RT-156	16-02-2015	0,190	0,161	0,001	0,004	<0,010	0,001	<0,003	0,111	0,790	<0,02	0,061	<0,005	<0,003	0,010
SNGM-RMA-P586	MAU-RT-167	18-02-2015	0,050	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P586	RMA-DP-042	26-04-2014	<0,1	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	0,022	0,020	0,004	<0,005	0,004	<0,010
SNGM-RMA-P587	MAU-RT-168	18-02-2015	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P589	MAU-RT-181	19-02-2015	0,070	0,024	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,056	<0,050	<0,02	0,005	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P590	MAU-RT-182	19-02-2015	0,080	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	0,103	<0,050	0,020	0,011	<0,005	0,004	<0,010
SNGM-RMA-P592	MAU-RT-185	19-02-2015	0,040	0,044	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	1,034	<0,050	<0,02	0,024	<0,005	0,003	<0,010
SNGM-RMA-P593	MAU-RT-188	25-02-2015	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	<0,010
SNGM-RMA-P594	MAU-RT-192	25-02-2015	0,060	<0,020	<0,005	<0,005	<0,010	<0,001	<0,003	<0,050	<0,050	<0,02	<0,003	<0,005	0,005	<0,010

Tabla D.6: Relaciones iónicas.

Sin información.
 Valor Máximo
 Valor Mínimo

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	ICB	rMg/rCa	rK/rNa	rNa/rCa	rSO4/rCl	rCl/rHCO3
SNGM-RMA-P569	RMA-DP-008	-1,39	0,35	0,17	0,62	0,35	0,16
SNGM-RMA-P570	RMA-DP-011	-0,57	0,25	0,14	0,54	0,37	0,26
SNGM-RMA-P571	RMA-DP-015	-0,09	0,16	0,10	1,74		1,80
SNGM-RMA-P572	RMA-DP-016	-0,02	0,11	0,07	1,16		1,32
SNGM-RMA-P574	RMA-DP-021	0,13	0,09	0,03	17,43		109,53
SNGM-RMA-P575	RMA-DP-025	-1,17	0,38	0,11	0,80		0,21
SNGM-RMA-P579	MAU-RT-143	0,24	5,21	0,01	18,35	0,10	95,00
SNGM-RMA-P580	MAU-RT-144	0,20	4,76	0,02	21,31	0,10	145,80
SNGM-RMA-P581	MAU-RT-147	-0,29	1,16	0,38	1,44	0,16	0,57
SNGM-RMA-P582	MAU-RT-150	-0,51	1,35	0,09	1,79	0,20	0,41
SNGM-RMA-P583	MAU-RT-153	-1,49	1,15	0,13	0,87		0,13
SNGM-RMA-P584	MAU-RT-154	-0,53	1,65	0,08	1,74	0,18	0,39
SNGM-RMA-P585	MAU-RT-156	-2,86	0,95	0,12	0,70		0,08
SNGM-RMA-P586	MAU-RT-167	-0,55	1,34	0,07	2,36	0,17	0,45
SNGM-RMA-P587	MAU-RT-168	-0,47	1,15	0,07	1,94	0,17	0,40
SNGM-RMA-P589	MAU-RT-181	0,05	2,19	0,03	11,12	0,10	7,67
SNGM-RMA-P590	MAU-RT-182	0,18	2,97	0,03	12,86	0,10	14,10
SNGM-RMA-P592	MAU-RT-185	-1,55	1,65	0,08	1,45		0,15
SNGM-RMA-P593	MAU-RT-188	-0,58	1,24	0,08	1,85	0,18	0,39

Tabla D.6: Relaciones iónicas (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	ICB	rMg/rCa	rK/rNa	rNa/rCa	rSO4/rCl	rCl/rHCO3
SNGM-RMA-P594	MAU-RT-192	-0,77	1,41	0,08	2,62	0,20	0,42
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-047	-0,18	1,25	0,42	0,17	0,44	0,10
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-115	-1,80	1,65	0,15	0,74	0,29	0,09
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-160	-1,92	1,65	0,15	0,80	0,39	0,09
SNGM-RMA-P007	MAU-RT-174	-2,18	0,63	0,15	0,49	0,67	0,09
SNGM-RMA-P049	RMA-DP-012	-2,63	0,42	0,11	0,81	0,50	0,11
SNGM-RMA-P053	MAU-FA-031	-4,44	0,72	0,13	0,49	0,23	0,04
SNGM-RMA-P056	MAU-RT-190	-3,48	0,97	0,15	0,82	0,43	0,07
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-044	-2,45	0,67	0,18	0,33	0,56	0,07
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-100	-3,29	0,79	0,13	0,60	0,40	0,07
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-134	-3,28	0,80	0,13	0,60	0,54	0,07
SNGM-RMA-P068	MAU-RT-090	0,21	0,95	0,04	1,01	0,08	1,31
SNGM-RMA-P073	MAU-RT-135	-1,93	1,86	0,14	0,87		0,09
SNGM-RMA-P075	MAU-RT-193	-5,55	1,22	0,09	0,95		0,05
SNGM-RMA-P085	MAU-FA-023	-4,35	1,58	0,15	1,32		0,07
SNGM-RMA-P088	MAU-FA-026	-1,96	1,37	0,09	1,31	0,14	0,14
SNGM-RMA-P088	RMA-DP-024	-1,63	0,35	0,06	0,92		0,18
SNGM-RMA-P100	MAU-FA-029	-0,42	2,31	0,06	2,72		0,45
SNGM-RMA-P101	MAU-RT-166	-0,81	0,76	0,09	0,78		0,20
SNGM-RMA-P101	RMA-DP-027	-0,60	0,30	0,10	0,58		0,23
SNGM-RMA-P109	MAU-RT-061	-1,00	0,49	0,07	0,19	0,59	0,08
SNGM-RMA-P128	MAU-RT-080	-3,58	1,10	0,11	0,64	0,61	0,06
SNGM-RMA-P130	MAU-RT-076	0,27	1,18	0,15	0,38	0,10	0,33
SNGM-RMA-P134	MAU-RT-187	-1,06	0,69	0,10	0,72	0,31	0,18
SNGM-RMA-P137	MAU-RT-132	-3,27	0,93	0,17	0,49	0,51	0,06
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-042	-1,21	0,93	0,11	0,45	0,49	0,12
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-148	-2,86	1,57	0,11	1,34	0,35	0,10
SNGM-RMA-P144	RMA-DP-009	-4,15	0,41	0,12	0,76		0,07
SNGM-RMA-P147	MAU-RT-164	-2,96	1,22	0,11	0,91	0,18	0,08
SNGM-RMA-P152	MAU-RT-084	-5,20	0,88	0,21	0,80		0,06
SNGM-RMA-P170	MAU-FA-022	-3,11	1,28	0,15	0,92	0,53	0,08
SNGM-RMA-P171	MAU-RT-056	-3,10	0,82	0,24	0,38		0,06
SNGM-RMA-P172	MAU-RT-179	-2,56	0,92	0,06	0,97		0,10
SNGM-RMA-P176	RMA-DP-018	-3,45	0,55	0,12	0,97	0,39	0,09
SNGM-RMA-P178	MAU-FA-021	-3,48	0,79	0,16	0,66	0,74	0,07
SNGM-RMA-P179	RMA-DP-017	-1,05	0,41	0,09	0,57	0,17	0,19
SNGM-RMA-P182	MAU-RT-161	0,50	0,26	0,02	0,38	0,07	0,90
SNGM-RMA-P184	MAU-RT-129	-0,58	1,52	0,13	0,67	0,57	0,17

Tabla D.6: Relaciones iónicas (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	ICB	rMg/rCa	rK/rNa	rNa/rCa	rSO4/rCl	rCl/rHCO3
SNGM-RMA-P189	MAU-RT-189	-1,85	0,59	0,13	0,49	0,35	0,10
SNGM-RMA-P221	RMA-DP-010	-2,23	0,25	0,15	0,54	0,58	0,11
SNGM-RMA-P230	MAU-RT-082	-5,89	0,53	0,12	0,94		0,07
SNGM-RMA-P231	MAU-RT-087	-7,24	0,57	0,11	1,00	1,27	0,06
SNGM-RMA-P235	MAU-RT-081	-3,12	0,75	0,12	0,64	0,32	0,07
SNGM-RMA-P238	MAU-RT-152	-3,79	1,68	0,14	1,22		0,07
SNGM-RMA-P253	MAU-RT-136	-2,81	1,18	0,18	0,87	0,38	0,10
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-041	-0,43	0,61	0,15	0,35	0,20	0,19
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-102	-0,96	0,86	0,14	0,71		0,18
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-141	-0,99	1,04	0,14	0,73		0,18
SNGM-RMA-P298	MAU-RT-046	-2,30	0,68	0,22	0,29	0,45	0,06
SNGM-RMA-P308	MAU-RT-201	-4,02	0,73	0,09	0,92		0,07
SNGM-RMA-P321	MAU-RT-085	-1,18	0,88	0,06	1,45	0,19	0,29
SNGM-RMA-P418	MAU-FA-035	-2,95	1,86	0,11	1,01		0,07
SNGM-RMA-P418	RMA-DP-026	-2,59	0,53	0,12	0,56	0,35	0,08
SNGM-RMA-P419	MAU-RT-133	-3,53	0,82	0,13	0,60	0,27	0,06
SNGM-RMA-P419	RMA-DP-014		0,41	0,14	0,54		
SNGM-RMA-P422	MAU-FA-024	-1,35	2,36	0,06	1,87		0,16
SNGM-RMA-P443	MAU-RT-142	-3,25	1,24	0,09	1,38	0,18	0,10
SNGM-RMA-P453	RMA-DP-007	-3,34	0,22	0,12	0,53	1,14	0,08
SNGM-RMA-P454	MAU-RT-131	-3,51	0,92	0,17	0,63	0,59	0,06
SNGM-RMA-P454	RMA-DP-013	-2,11	0,33	0,13	0,63	0,58	0,13
SNGM-RMA-P467	MAU-RT-176	-2,97	0,92	0,11	0,75		0,07
SNGM-RMA-P467	RMA-DP-033	-2,46	0,30	0,14	0,52	0,29	0,09
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-045	-1,01	0,76	0,08	0,32	0,26	0,11
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-157	-1,87	1,34	0,12	0,82		0,13
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-048	0,45	0,70	0,02	0,47	0,03	1,40
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-112	0,17	0,99	0,07	0,87		0,90
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-180	0,01	0,86	0,05	1,08		0,97
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-049	-2,90	0,80	0,01	1,43		0,17
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-110	-1,39	0,78	0,05	0,94		0,19
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-178	-1,47	1,34	0,06	1,41		0,15
SNGM-RMA-P502	MAU-RT-051	0,34	0,75	0,11	0,46	0,17	0,64
SNGM-RMA-P503	MAU-RT-055	-0,45	0,71	0,25	0,17	0,46	0,10
SNGM-RMA-P508	MAU-RT-073	-0,19	0,55	0,04	0,34	0,11	0,24
SNGM-RMA-P509	MAU-RT-077	-0,33	1,10	0,24	0,29	0,19	0,14
SNGM-RMA-P511	MAU-RT-078	-1,74	0,81	0,06	0,68	0,37	0,16
SNGM-RMA-P512	MAU-RT-079	-1,44	0,74	0,16	0,53	0,42	0,14

Tabla D.6: Relaciones iónicas (continuación).

Código SERNAGEOMIN	Código Muestra	ICB	rMg/rCa	rK/rNa	rNa/rCa	rSO₄/rC I	rCl/rHCO 3
SNGM-RMA-P515	MAU-RT-083	-1,58	0,54	0,16	0,59	0,37	0,17
SNGM-RMA-P517	MAU-RT-086	-3,19	1,13	0,18	0,55	1,09	0,06
SNGM-RMA-P518	MAU-RT-088	-4,28	1,10	0,16	0,48	0,72	0,04
SNGM-RMA-P531	MAU-RT-155	-0,47	0,29	0,06	0,78		0,37
SNGM-RMA-P541	MAU-RT-183	-2,43	1,02	0,11	0,71		0,08
SNGM-RMA-P543	MAU-RT-191	-1,67	0,86	0,16	0,62	0,44	0,12
SNGM-RMA-P548	MAU-FA-030	-1,73	2,64	0,06	2,62		0,18
SNGM-RMA-P551	MAU-RT-200	-2,79	0,83	0,15	0,64	0,38	0,08
SNGM-RMA-P554	MAU-RT-199	-9,74	1,01	0,05	3,14		0,06
SNGM-RMA-P555	MAU-RT-198	0,38	0,59	0,13	0,50	0,03	0,88
SNGM-RMA-P557	MAU-FA-056	-1,33	0,76	0,10	0,73	0,11	0,20
SNGM-RMA-P559	MAU-FA-057	-2,19	1,05	0,20	0,49		0,15
SNGM-RMA-P560	MAU-FA-058	-4,73	1,36	0,09	0,64		0,07



E. ANÁLISIS ISOTÓPICO.

Tabla E.1: Valores isotópicos aguas subterráneas SNGM.

Código SNGM	Código Muestra	Fecha	USHG	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ V-SMOW	$\delta^2\text{H}\text{‰}$ V-SMOW
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-047	06-03-2014	//A2	-6,63	-38,92
SNGM-RMA-P001	MAU-RT-160	16-02-2015	//A2	-6,26	-37,90
SNGM-RMA-P063	MAU-RT-044	06-03-2014	A1//A2	-7,23	-43,18
SNGM-RMA-P068	MAU-RT-090	09-04-2014	A1//A2	-6,56	-42,25
SNGM-RMA-P109	MAU-RT-061	11-03-2014	//A1//A2	-7,46	-48,41
SNGM-RMA-P128	MAU-RT-080	07-04-2014	A3//A2	-7,00	-45,40
SNGM-RMA-P130	MAU-RT-076	24-03-2014	A3//A2	-6,46	-41,82
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-042	05-03-2014	//A2	-7,37	-45,74
SNGM-RMA-P139	MAU-RT-148	15-02-2015	//A2	-7,19	-41,40
SNGM-RMA-P152	MAU-RT-084	08-04-2014	A3//A2	-7,22	-44,70
SNGM-RMA-P171	MAU-RT-056	10-03-2014	A3//A2	-7,45	-48,81
SNGM-RMA-P189	MAU-RT-189	25-02-2015	//A1//A2	-7,33	-42,00
SNGM-RMA-P230	MAU-RT-082	08-04-2014	A1//A2	-7,27	-45,70
SNGM-RMA-P231	MAU-RT-087	09-04-2014	A1//A2	-6,62	-41,51
SNGM-RMA-P232	MAU-RT-089	09-04-2014	A1//A2	-7,18	-47,67
SNGM-RMA-P235	MAU-RT-081	08-04-2014	A1//A2	-7,20	-44,38
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-041	05-03-2014	//A2	-6,91	-43,31
SNGM-RMA-P292	MAU-RT-141	14-02-2015	//A2	-6,86	-36,90
SNGM-RMA-P298	MAU-RT-046	06-03-2014	A3//A2	-7,03	-45,73
SNGM-RMA-P311	MAU-RT-043	05-03-2014	//A1//A2	-7,06	-42,41
SNGM-RMA-P311	MAU-RT-138	14-02-2015	//A1//A2	-6,33	-44,70
SNGM-RMA-P321	MAU-RT-085	09-04-2014	A3//A2	-6,76	-43,02
SNGM-RMA-P454	MAU-RT-131	13-02-2015	A1//A2	-6,63	-42,80
SNGM-RMA-P467	MAU-RT-176	18-02-2015	//A2	-7,50	-40,70
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-045	06-03-2014	//A2	-7,52	-45,26
SNGM-RMA-P498	MAU-RT-157	16-02-2015	//A2	-7,75	-48,00
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-048	07-03-2014	//A2	-7,35	-46,66
SNGM-RMA-P500	MAU-RT-180	19-02-2015	//A2	-7,19	-44,80
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-049	07-03-2014	//A2	-6,95	-44,61
SNGM-RMA-P501	MAU-RT-178	19-02-2015	//A2	-6,70	-45,70
SNGM-RMA-P502	MAU-RT-051	07-03-2014	A3//A2	-7,31	-48,39
SNGM-RMA-P503	MAU-RT-055	10-03-2014	A3//A2	-6,89	-44,64
SNGM-RMA-P508	MAU-RT-073	13-03-2014	//A2	-7,42	-49,07
SNGM-RMA-P509	MAU-RT-077	24-03-2014	A3//A2	-6,73	-42,13
SNGM-RMA-P511	MAU-RT-078	07-04-2014	//A2	-7,20	-49,40

Tabla E.1: Valores isotópicos aguas subterráneas SNGM (continuación).

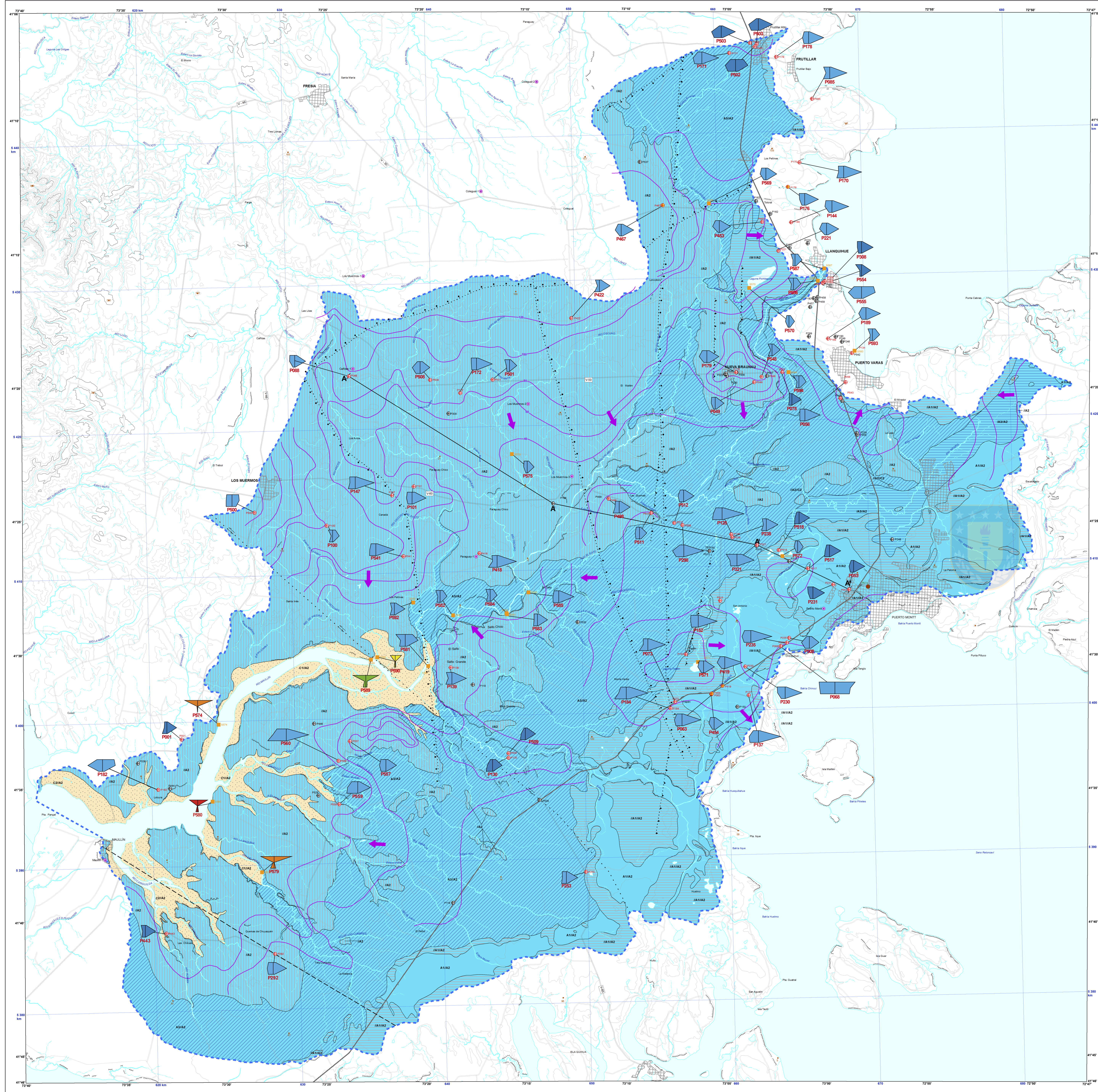
Código SNGM	Código Muestra	Fecha	USHG	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ V-SMOW	$\delta^2\text{H}\text{‰}$ V-SMOW
SNGM-RMA-P512	MAU-RT-079	07-04-2014	A3//A2	-6,68	-44,45
SNGM-RMA-P515	MAU-RT-083	08-04-2014	//A1//A2	-7,24	-48,08
SNGM-RMA-P517	MAU-RT-086	09-04-2014	//A1//A2	-6,71	-44,74
SNGM-RMA-P518	MAU-RT-088	09-04-2014	//A1//A2	-6,86	-43,16

Tabla E.2: Valores isotópicos aguas de precipitación y superficiales SNGM (continuación).

Código SNGM	Código Muestra	Fecha	Grupo	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ V-SMOW	$\delta^2\text{H}\text{‰}$ V-SMOW
SNGM-RMA-P677	MAU-RT-040	05-02-2014	Precipitación	-3,06	-10,42
SNGM-RMA-P677	MAU-RT-091	14-03-2014	Precipitación	-3,46	-13,74
SNGM-RMA-P677	MAU-RT-091	21-02-2015	Precipitación	-2,68	-12,50
SNGM-RMA-P680	MAU-RT-066	13-03-2014	Precipitación	-3,48	-16,47
SNGM-RMA-P680	MAU-RT-140	14-02-2015	Precipitación	-2,10	-5,60
SNGM-RMA-P681	MAU-RT-067	13-03-2014	Precipitación	-4,33	-21,04
SNGM-RMA-P681	MAU-RT-139	14-02-2015	Precipitación	-3,53	-20,00
SNGM-RMA-P682	MAU-RT-068	13-03-2014	Precipitación	-3,73	-18,13
SNGM-RMA-P682	MAU-RT-149	15-02-2015	Precipitación	-2,50	-11,70
SNGM-RMA-P683	MAU-RT-069	13-03-2014	Precipitación	-3,90	-19,09
SNGM-RMA-P683	MAU-RT-130	13-02-2015	Precipitación	-2,82	-10,20
SNGM-RMA-P684	MAU-RT-070	13-03-2014	Precipitación	-3,14	-13,12
SNGM-RMA-P684	MAU-RT-158	16-02-2015	Precipitación	-3,27	-12,10
SNGM-RMA-P685	MAU-RT-071	13-03-2014	Precipitación	-3,38	-16,79
SNGM-RMA-P685	MAU-RT-159	16-02-2015	Precipitación	-1,65	-4,30
SNGM-RMA-P686	MAU-RT-072	13-03-2014	Precipitación	-3,54	-17,55
SNGM-RMA-P687	MAU-RT-074	13-03-2014	Precipitación	-2,82	-13,09
SNGM-RMA-P687	MAU-RT-177	19-02-2015	Precipitación	-3,66	-20,50
SNGM-RMA-P688	MAU-RT-075	13-03-2014	Precipitación	-3,13	-14,75
SNGM-RMA-P689	MAU-RT-163	17-02-2015	Precipitación	-3,30	-16,60
SNGM-RMA-P690	MAU-RT-175	18-02-2015	Precipitación	-3,45	-15,40
SNGM-RMA-P582	MAU-RT-150	15-02-2015	Superficial	-4,21	-28,40
SNGM-RMA-P584	MAU-RT-154	16-02-2015	Superficial	-4,22	-27,90
SNGM-RMA-P587	MAU-RT-168	18-02-2015	Superficial	-3,83	-23,90
SNGM-RMA-P589	MAU-RT-181	19-02-2015	Superficial	-4,83	-30,50

F. MAPA Y PERFIL HIDROGEOLÓGICO.





Unidad Hidrogeológica	Columna esquemática
A1	Area Volcánica A1 A2 C2
IA1	Area Volcánica A1 A2 C2
IA2	Area Volcánica A2 A2 C2
A3	Area Volcánica A3 A2 C2
IA3	A3 A2
C1	C1 A2

Descripción litológica

Interstratificación de depósitos de gravas de origen glaciofluvial (Pg1) principalmente clasto-soportada, con matriz de arenas gruesas, no consolidadas, las que se intercalan con depósitos morrenéticos (Pm1) conformados por gravas mal seleccionadas, clasto a matriz soportada, con matriz arcillosa y bien compactadas que conforman la unidad hidrogeológica A1. Bajo dicha interstratificación se encuentra la unidad hidrogeológica A2 conformada por distintos niveles, de gravas con matriz de arcillas, limos y arenas finas, principalmente matriz soportada, que corresponden a depósitos de origen glacial y glaciofluvial (Pm2, Pm3, Pm4). En las proximidades al complejo volcánico la unidad IA2 comienza a desaparecer y se reemplaza parcialmente por la unidad IC2 caracterizada por secuencias de coladas de lavas de composición andesítica con depósitos proclásticos intercalados con brechas laháricas y proclásticas que se disponen en forma de abanico. Propiedades que otorgan confinamiento.

Depósitos glaciales generados durante las glaciaciones Santa María, Río Lico y Tegualda (Pm2, Pm3, Pm4, Pm5), los que se diferencian en: 1) Morrenas de distintos máximos, principalmente matriz soportada y de mala selección, con matriz de arcillas, limos y arenas finas, en la que se encuentran invertebrados clasto de gravas y bolsones; 2) Depósitos glaciofluviales controlados por grava y arena, de buena a moderada selección; 3) Depósitos glaciofluviales compuestos de limo, arcilla y arena fina; y 4) Depósitos fluviales antiguos dispuestos en terrazas de antiguos cursos fluviales, compuestos por gravas bien redondeadas, interstratificadas en una matriz de arenas gruesas y medias. En las proximidades al complejo volcánico bajo la unidad IA2 se aplica la unidad IC2 caracterizada por secuencias de coladas de lavas de composición andesítica con depósitos proclásticos intercalados con brechas laháricas y proclásticas que se disponen en forma de abanico. Propiedades que otorgan confinamiento.

La unidad A3 está constituida por depósitos de gravas, principalmente clasto-soportada, con matriz de arenas gruesas, no consolidadas, de origen glaciofluvial y edad Pleistoceno Superior (Pg1) que en esta área corresponden a los depósitos acumulados en la cuenca de "Lago" original de la Glaciación Lahárica. Bajo dicha interstratificación se encuentran diamictos masivos, principalmente matriz soportada, de gravas con matriz de arcillas, limos y arenas finas, que corresponden a depósitos de origen glacial y glaciofluvial (Pm2, Pm3, Pm4). En las proximidades al complejo volcánico la unidad IA2 comienza a desaparecer y se reemplaza parcialmente por la unidad IC2 caracterizada por secuencias de coladas de lavas de composición andesítica con depósitos proclásticos intercalados con brechas laháricas y proclásticas que se disponen en forma de abanico. Propiedades que otorgan confinamiento.

La unidad IA3 está constituida por depósitos de gravas, principalmente clasto-soportada, con matriz de arenas gruesas, no consolidadas, de origen glaciofluvial y edad Pleistoceno Superior (Pg1) que en esta área corresponden a los depósitos acumulados en la cuenca de "Lago" original de la Glaciación Lahárica. Bajo dicha interstratificación se encuentran diamictos masivos, principalmente matriz soportada, de gravas con matriz de arcillas, limos y arenas finas, que corresponden a depósitos de origen glacial y glaciofluvial (Pm2, Pm3, Pm4). En las proximidades al complejo volcánico la unidad IA2 comienza a desaparecer y se reemplaza parcialmente por la unidad IC2 caracterizada por secuencias de coladas de lavas de composición andesítica con depósitos proclásticos intercalados con brechas laháricas y proclásticas que se disponen en forma de abanico. Propiedades que otorgan confinamiento.

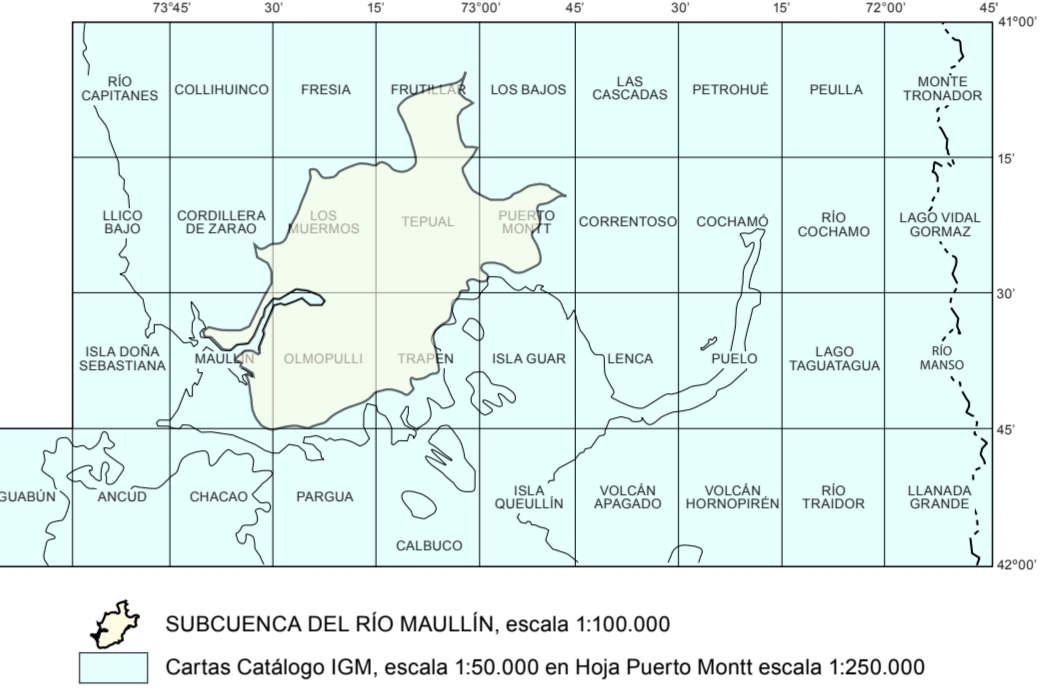
La unidad C1 está constituida por depósitos de estuarios, que corresponden a sedimentos de tamaño arena fina, limo y arcilla, únicamente en la desembocadura del río Maullín esta unidad se compone de gravas moderadas a bien seleccionadas, con matriz de arenas gruesas y medias. Bajo C2 se encuentran diamictos masivos (A2), principalmente matriz soportada, de gravas con matriz de arcillas, limos y arenas finas, que corresponden a depósitos de origen glacial y glaciofluvial (Pm2, Pm3, Pm4).

SIMBOLOGÍA

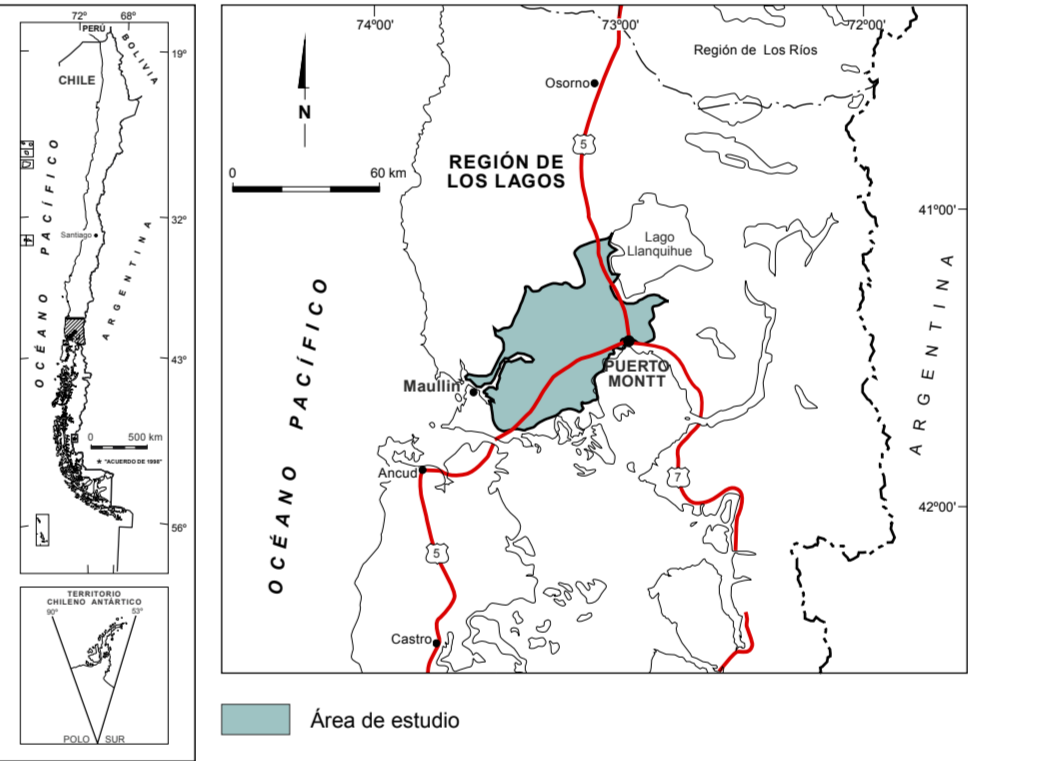
- HIDROGRAFÍA**
 - Lago o laguna
 - Río
 - Curso intermitente
- GEOGRAFÍA**
 - Calle Panamericana
 - Camino pavimentado
 - Camino sin pavimento
 - Curva de nivel índice
 - Curva de nivel secundaria
 - Cota (m s.n.m.)
 - Centro urbano
- ESTRUCTURAS**
 - Contacto de unidad hidrogeológica
 - Falla observada/inferida/cubierta
 - Falla normal cubierta
 - Falla inversa cubierta
 - Falla de rumbo dextral observada
 - Falla de rumbo sinistral observada/cubierta
 - Escarpe
 - Trazo de perfil hidrogeológico en figura anexa
- HIDROQUÍMICA**
 - Puntos de agua
 - Pozo, visitado en terreno con análisis químico
 - Pozo, visitado en terreno sin análisis químico
 - Pozo surgente sin muestra
 - Pozo surgente sin muestra
 - Pozo monitoreo
 - Puntos de agua superficial con análisis químico
- HIDROGEOLOGÍA**
 - Isopieza
 - Límite de cuenca
 - Dirección de flujo
- Diagrama de Siff**

Ca^{++} , Mg^{++} , $Na^{+}K^{+}$, Cl^{-} , $HCO_3^{-}CO_3^{--}$, SO_4^{--} , NO_3^{-}

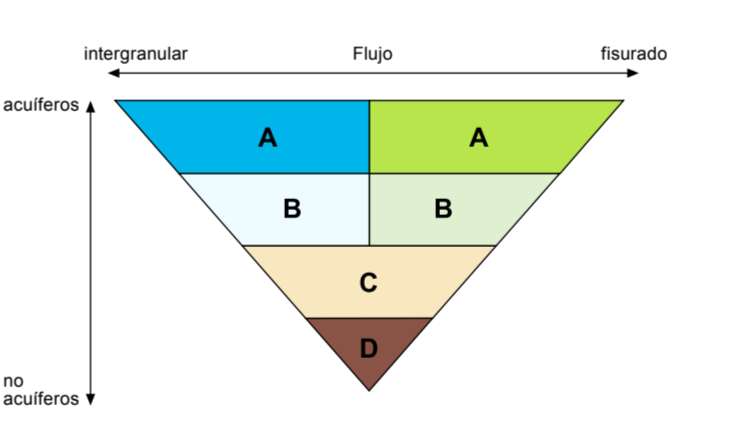
CUADRO DE SITUACIÓN EN HOJA PUERTO MONTT



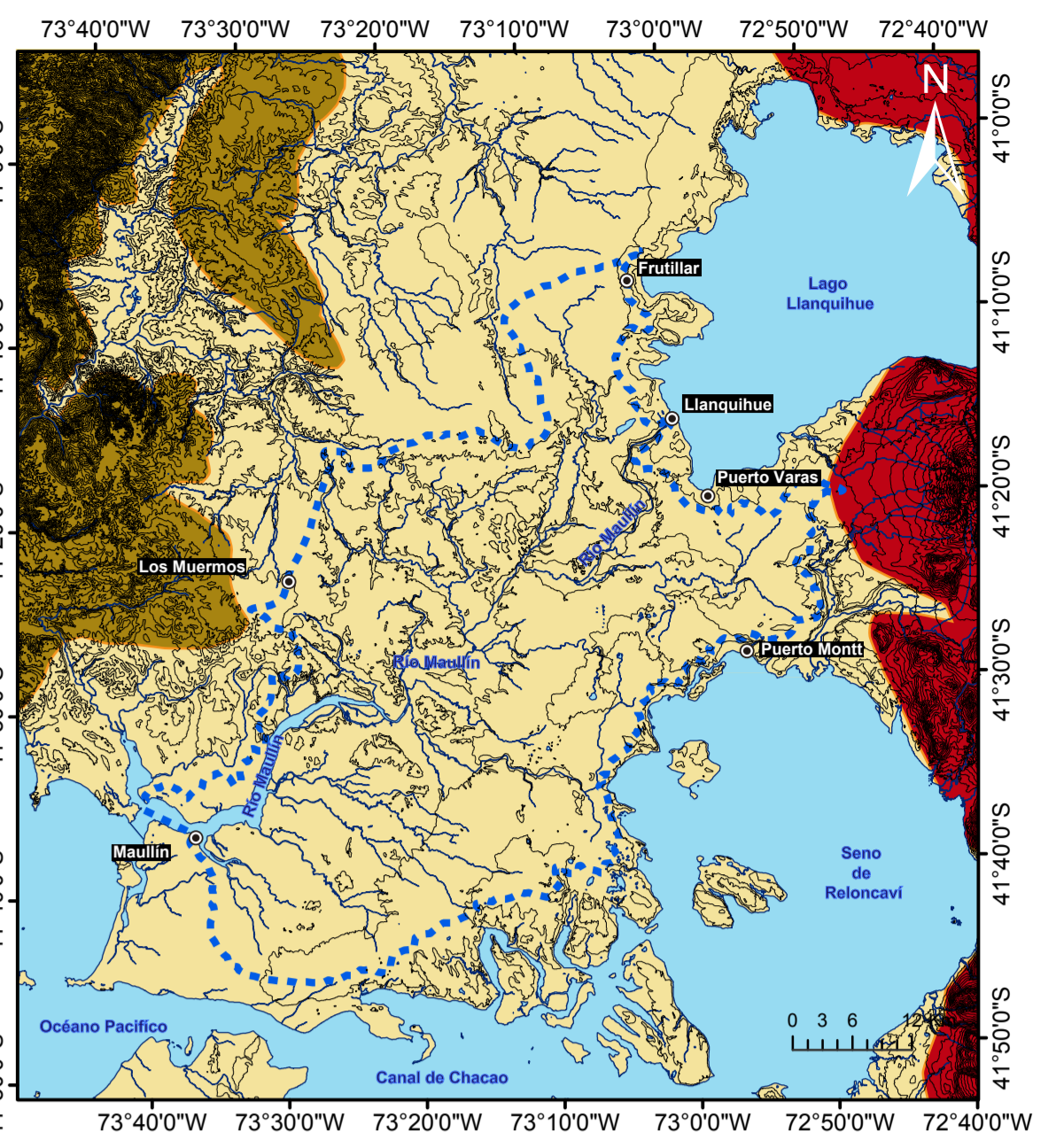
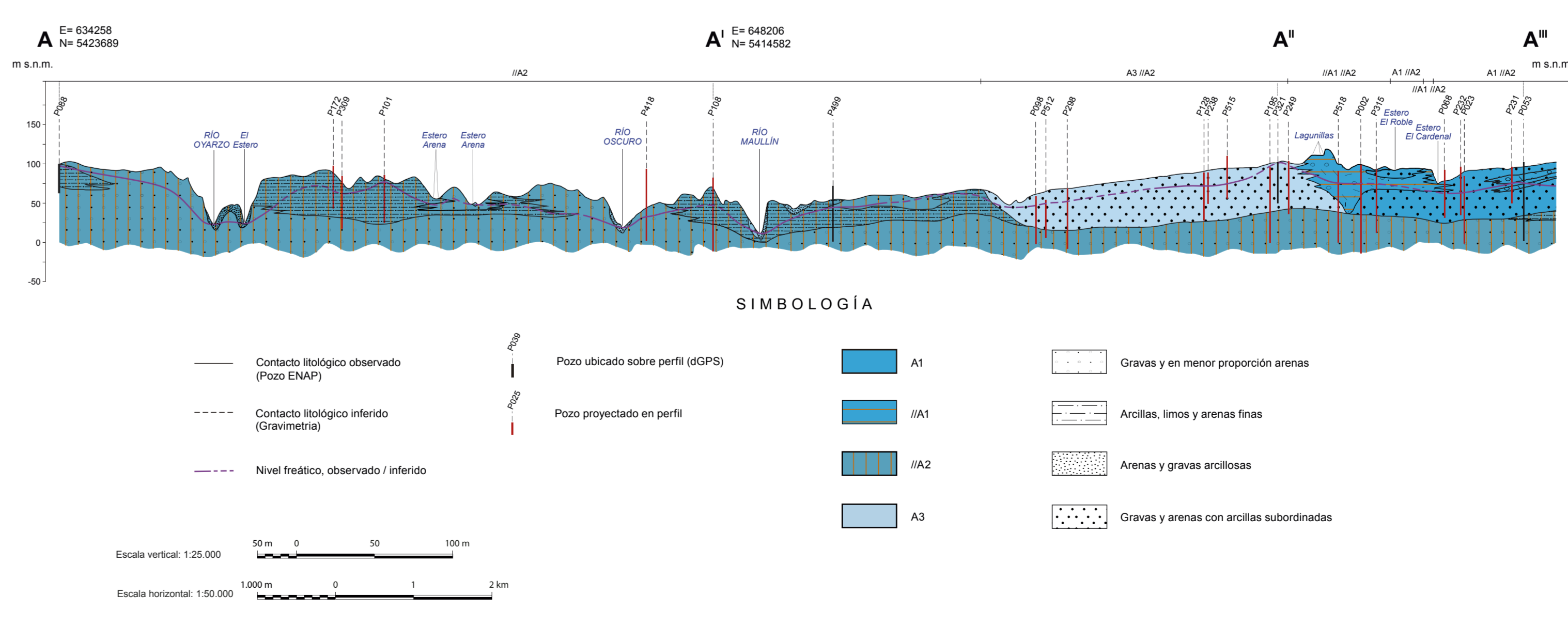
MAPA DE UBICACIÓN



CLASIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS (modificado de Struckmeier y Margat, 1995)



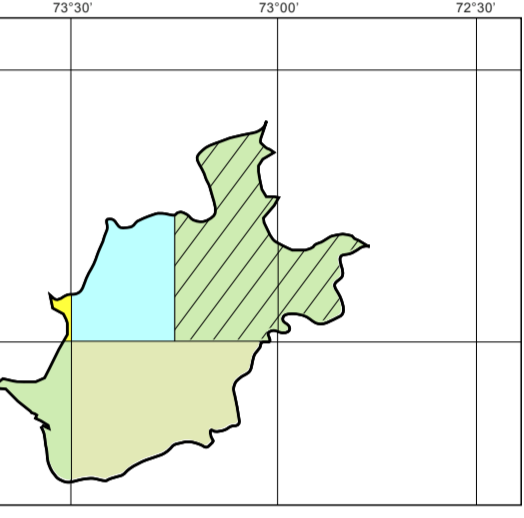
PERFIL HIDROGEOLOGICO ESQUEMATICO



LEYENDA

- Subcuenca del río Maullín
- Centros urbanos
- Cordillera de La Costa
- Depresión intermedia
- Cordillera de Los Andes

TRABAJOS ANTERIORES



GEOLOGÍA

- Clayton y Arriño, 1998, 2000 (1:100.000)
- Arriño et al., 1998, 2000 (1:100.000)
- Duhart et al., 1998 (1:100.000)
- Clayton y Arriño, 1998 (1:100.000)

HIDROGEOLOGÍA

- Arriño et al., 2000 (1:100.000)
- Clayton y Arriño, 1998, 2000 (1:100.000)

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO MAULLÍN

REGIÓN DE LOS LAGOS, CHILE

Samuel Antonio Pizarro Pavez

REGIÓN DE LOS LAGOS

Escala 1:100.000

2017