



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

INFORME TÉCNICO

**“SECTORIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL
ACUÍFERO DEL RÍO LAJA, REGIÓN DEL BIOBIO”**

**REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 414**

Santiago, Noviembre 2018

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo general.....	6
2.2 Objetivos específicos	6
3. ANTECEDENTES DISPONIBLES	7
4. SECTORIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO LAJA.....	8
4.1 Identificación de la zona de estudio	8
4.2 Caracterización hidrológica	9
4.3 Caracterización hidrogeológica	12
4.3.1 Marco geomorfológico	12
4.3.2 Marco geológico	13
4.3.3 Definición de acuíferos	14
4.3.4 Unidades Hidrogeológicas	15
4.3.5 Niveles freáticos.....	16
4.3.6 Parámetros hidráulicos.....	21
4.4 Caracterización hidrogeoquímica	22
4.5 Definición de la geometría del acuífero	22
4.6 Balance hídrico	24
□ Entradas y salidas del sistema	24
□ Estimación del balance hídrico del sistema acuífero.....	24
4.7 Propuesta de sectorización	26
4.7.1 Unidades del SHAC.....	27
5. DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA (RECARGA)	29
5.1 Recarga estimada de las unidades del acuífero.....	31
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
6.1 Conclusiones.....	33
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
8. ANEXOS	38
8.1 Referencias Bibliográficas	38
8.2 Caracterización hidrológica	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. SHAC del río Laja y colindantes.....	9
Figura 2. Curvas isoyetas media anual SHAC del río Laja.....	11
Figura 3. Unidades Geomorfológicas SHAC del río Laja.....	12
Figura 4. Formaciones Geológicas SHAC río Laja.....	13
Figura 5. Sub-acuíferos presentes en el SHAC del río Laja.....	15
Figura 6. Pozos catastrados y equipotenciales en SHAC del río Laja, año 2012.....	17
Figura 7. Curvas equipotenciales y sentido de escurrimiento del SHAC del río Laja....	19
Figura 8. Perfiles gravimétricos y TEM analizados.....	23
Figura 6. Propuesta de sectorización del SHAC del río Laja.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Listado de antecedentes consultados.....	7
Cuadro 2. Profundidades del nivel estático de los pozos.....	18
Cuadro 3. Tipología de las captaciones con medición de nivel.....	19
Cuadro 4. Balance hídrico del acuífero del río Laja en condiciones naturales.....	25
Cuadro 5. Balance hídrico del acuífero del río Laja con extracciones.....	25
Cuadro 6. Recarga por infiltración del acuífero del río Laja.....	29
Cuadro 7. Estimación del 10% del Q_{85} en estación Río Laja en Puente Perales (08383001-8).....	30
Cuadro 8. Estimación de recarga en las Unidades del SHAC del río Laja.....	32

1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas, aprobado en el Decreto Supremo N° 203 de 2013, en su artículo 54 define Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC, en adelante) como **“acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente” (DGA, 2014b)**. Para determinar la disponibilidad de aguas subterráneas susceptibles de explotar a nivel de SHAC, la Dirección General de Aguas (DGA) se ha enfocado en realizar un análisis de la realidad de los acuíferos a lo largo del territorio nacional.

Además, el conocimiento detallado de los acuíferos y/o SHAC y sus características permitiría resolver las solicitudes de derechos de aprovechamiento que se presentan, atendiendo a la disponibilidad hídrica subterránea de cada uno. De la lectura de los artículos 20 y 27 del DS N° 203 de 2013, se concluye que el concepto de disponibilidad tiene relación con la posibilidad de aprovechar y explotar aguas subterráneas, recurso de por sí limitado, sin perjuicio ni menoscabo de otros titulares de derechos, y no está referido a la mera existencia de dicho recurso.

En especial, cabe mencionar el concepto “volumen sustentable”, entendido como la cantidad de agua anual asociada a la recarga del acuífero, es decir, al flujo de agua que lo alimenta naturalmente que proviene de precipitaciones, embalsamientos y escurrimientos superficiales y subterráneos (DGA, 2014b). El volumen sustentable es aquel susceptible de constituirse como derecho de aprovechamiento de aguas con carácter de definitivo.

En esta línea, el volumen de explotación sustentable a nivel de SHAC es aquel que permite un equilibrio de largo plazo del sistema, otorgando respaldo físico a los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos, no generando afección a derechos de terceros, tanto, derechos superficiales como subterráneos, y no produciendo impactos no deseados a la fuente y al medio ambiente.

En algunos SHAC el Servicio se ha visto imposibilitado de resolver el creciente número de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, debido a que en la actualidad no se dispone para aquellos, información con un nivel de incertidumbre aceptable, sobre su volumen sustentable y las características geológicas, geofísicas, hidrometeorológicas, entre otras.

Se hace indispensable, entonces, definir el sector acuífero asociado al acuífero del valle del río Laja, desde una perspectiva hidrogeológica coherente con la administración de los recursos hídricos. En este Informe Técnico se propone **una sectorización basada en la “Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional”, publicada por la División de**

Estudios y Planificación (DEP) en octubre de 2014, cuyo objetivo fue elaborar una metodología objetiva, científica y de aplicación institucional, desde la perspectiva de administración de los recursos hídricos. Además, se propone una estimación preliminar de la recarga asociada. Las conclusiones de este Informe serán empleadas por el DARH para la delimitación definitiva del SHAC.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general del Informe Técnico es definir una propuesta de sectorización hidrogeológica asociada al valle del río Laja y una estimación de la recarga.

2.2 Objetivos específicos

- Revisión de antecedentes disponibles en la zona de estudio.
- Elaborar una propuesta de sectorización del acuífero del valle del río Laja.
- Estimación preliminar de la recarga.

3. ANTECEDENTES DISPONIBLES

La recopilación de antecedentes se enfocó en la caracterización hidrológica, hidrogeológica e hidrogeoquímica de la cuenca del río Laja y en particular, del sector comprendido por el SHAC del Laja.

Los antecedentes revisados y que han sido consultados en el desarrollo del presente informe técnico son aquellos presentados en el Cuadro 1. A cada uno de ellos se le ha realizado una ficha resumen con los principales resultados referentes al objetivo del informe, estas fichas se ubican al final del informe en la sección de anexos.

Cuadro 1. Listado de antecedentes consultados

Documento	Año	Elaborado	Autor
Estudio de disponibilidad cuenca del río Laja. SIT N° 70.	2000	Unidad Técnica DGA VIII Región	DGA
Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Bío Bío. SDT N° 183.	2004	DARH	DGA
Estudio Hidrogeológico cuencas Bío Bío e Itata. SIT N° 258.	2011	Aquaterra Ingenieros Ltda	DGA
Estudio Hidrogeológico cuenca Bío Bío. SIT N° 297.	2012	Aquaterra Ingenieros Ltda	DGA
Modelación hidrogeológica cuenca Itata-Bajo, Región del Biobío. SIT N° 320.	2013	Aqualogy Medioambiente Chile SA	DGA
Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea y determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. SDT N° 359.	2014	DARH	DGA
Sistematización de información hidrogeológica para un futuro plan de gestión de recursos hídricos en cuencas de la región del Biobío. SDT N° 391.	2016	DEP	DGA
Estudio de disponibilidad de la cuenca del río Laja. Desde sus nacientes hasta la estación DGA "Río Laja en Puente Perales"	2017	DARH	DGA
Derechos de aguas registrados en DGA. Región del Biobío.	2018	DGA	DGA

4. SECTORIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO LAJA

4.1 Identificación de la zona de estudio

El río Laja es el principal afluente del río Biobío, situándose su cuenca en la zona norte de la cuenca del río Biobío.

La cuenca del río Laja se encuentra ubicada principalmente en el centro y centro-orientado de la región del Biobío, con una superficie total de 4.667 km², está dividida en 2 subcuencas. Según DGA (2014), en la cuenca del río Laja existen 2 Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC), el de la Laguna del Laja y el del río Laja.

El SHAC del río Laja se ubica en la subcuenca del Laja bajo, en el valle central (ver Figura 1). Cabe destacar que, alrededor de éste, existen otros SHAC colindantes correspondientes a las subcuencas limítrofes.



Figura 1. SHAC del río Laja y colindantes.

4.2 Caracterización hidrológica

Se consideraron las estaciones meteorológicas que posee la DGA en la zona¹ y que de acuerdo a DGA (2016) presentan, para la cuenca del río Biobío, la mejor disponibilidad y calidad de información para permitir el relleno de su registro. Adicionalmente, y puesto que el SHAC del río Laja se sitúa en el extremo norte de la cuenca del río Biobío, se consideraron estaciones situadas en la zona sur de la cuenca del río Itata, pertenecientes también a la Red

¹ Excepto la estación 370033 María Dolores, Los Ángeles Ad. que pertenece a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Hidrométrica de la DGA, para tener una mayor distribución de información pluviométrica.

El registro de las estaciones meteorológicas fue completado hasta el mes de marzo de 2017 desde lo presentado por DGA (2016), esto es, desde abril de 1960 hasta el año hidrológico 2016/17, mediante la actualización de los registros con información oficial de la DGA y por medio del relleno de acuerdo a los parámetros expuestos en DGA (2016), obteniendo un periodo de análisis de 57 años. Se procedió de igual forma para las estaciones de la cuenca del río Itata, tomando los valores históricos y rellenos hasta abril de 2011 de DGA (2012), completando el registro a marzo de 2017.

Con los registros actualizados y rellenos de las estaciones pluviométricas, se construyeron curvas isoyetas con la precipitación media anual para caracterizar la pluviometría del SHAC del río Laja.

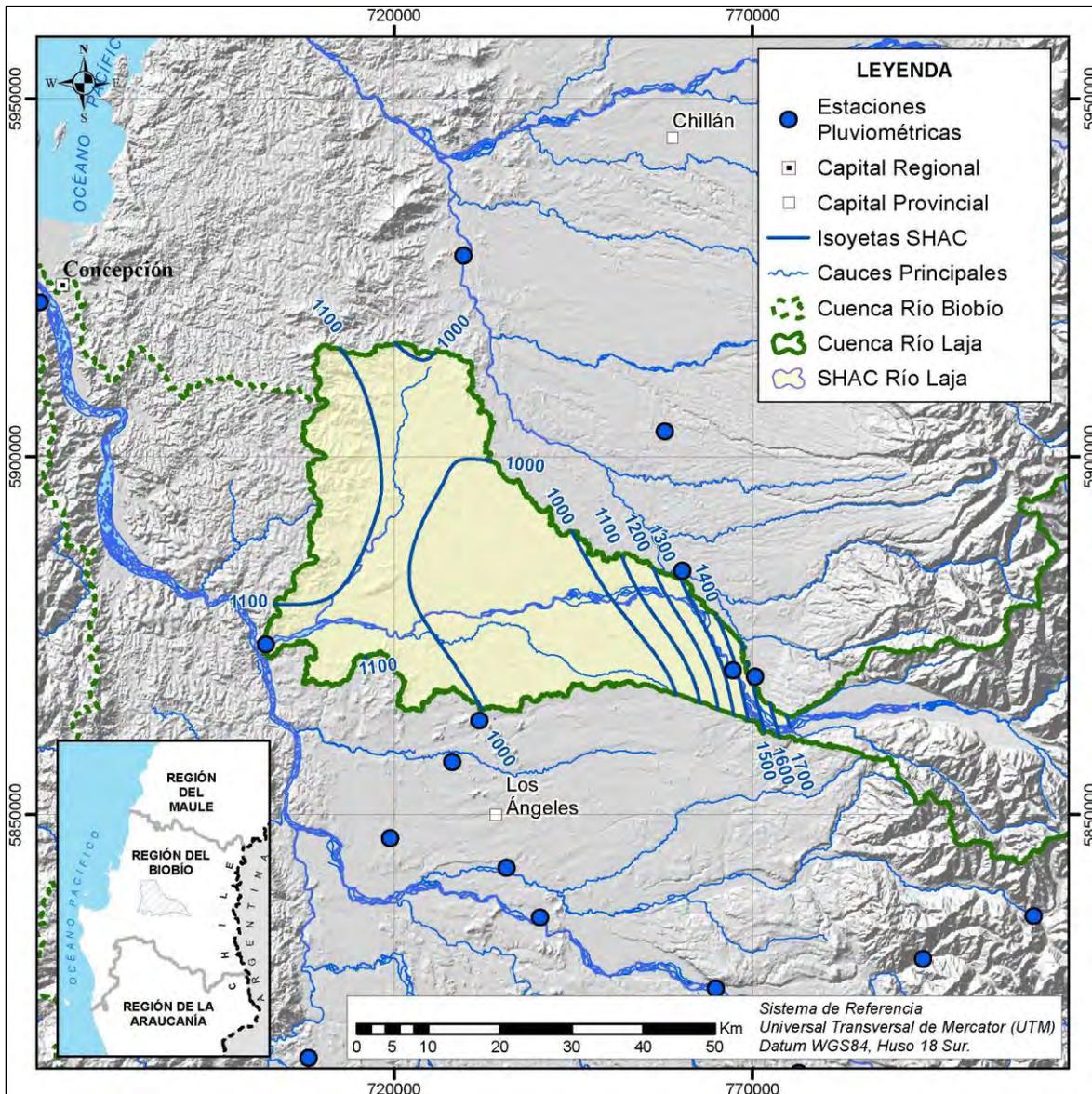


Figura 2. Curvas isoyetas media anual SHAC del río Laja.

La caracterización fluviométrica se realizó mediante la información disponible desde abril de 1960 al mes de marzo de 2017 (año hidrológico 2016/17) de las estaciones que posee la DGA en el curso del cauce del río Laja y sus afluentes.

La caracterización hidrológica permitió verificar que las precipitaciones se concentran entre los meses de mayo y agosto, asociados al periodo otoñal e invernial, las cuales se producen en la mayor parte del SHAC entorno a los 1.000 mm/año, siendo superiores a 1.300 mm/año en el extremo oriente por la influencia de la precordillera. De acuerdo a esto, se ha estimado que la recarga al sistema acuífero del SHAC del río Laja por precipitaciones corresponde a una variable de importancia en el sistema. Respecto al registro fluviométrico, se detecta una falta de información histórica válida sobre el río

Laja en la salida de la cuenca, que permita cuantificar un balance entre el flujo superficial entrante y saliente de la zona de estudio.

4.3 Caracterización hidrogeológica

4.3.1 Marco geomorfológico

De acuerdo a la caracterización geomorfológica realizada por Börgel (1983), citado en DGA (2012), se distinguen, como se presenta en la Figura 3, nueve unidades morfológicas para toda la región del Biobío.

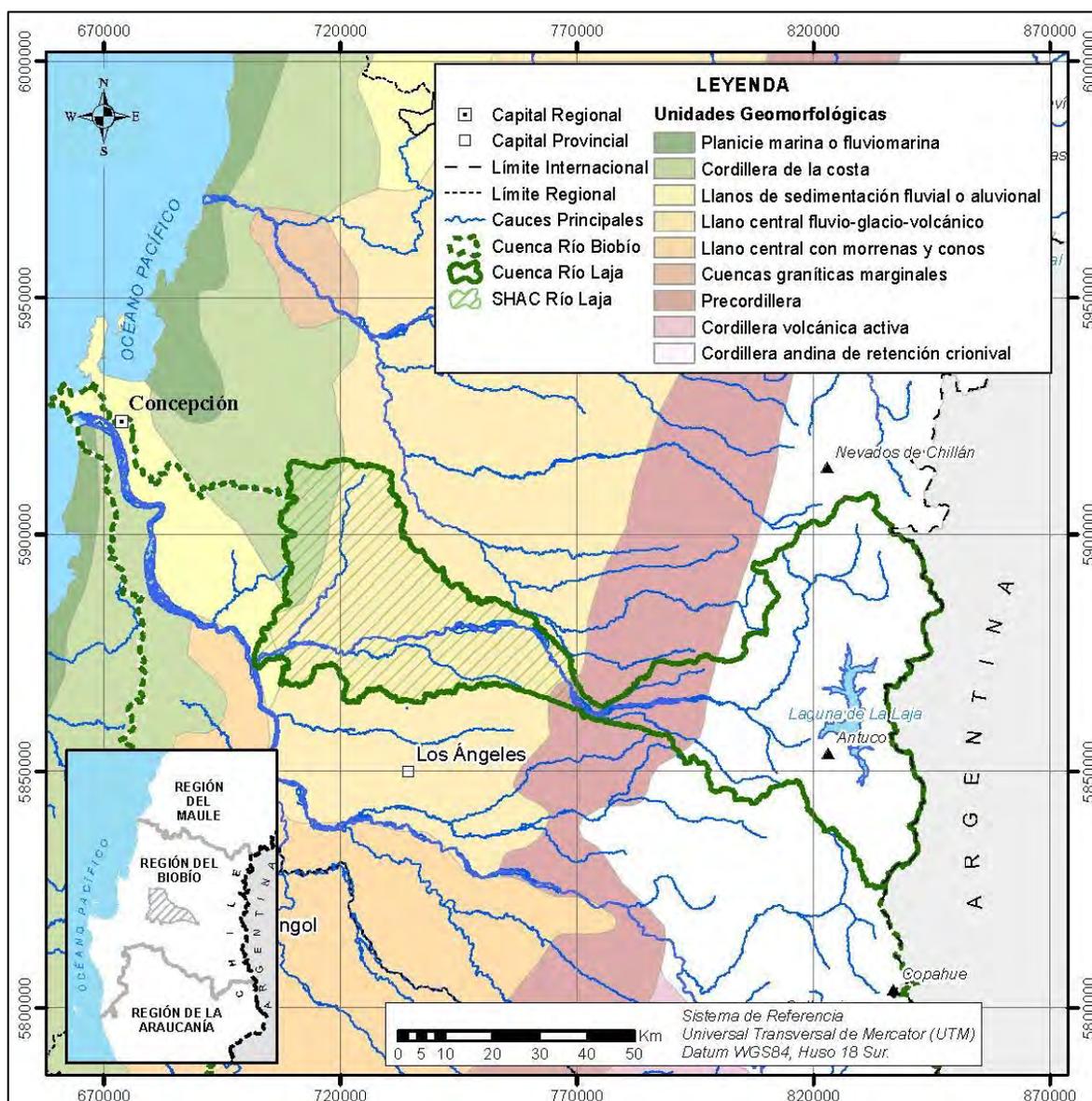


Figura 3. Unidades Geomorfológicas SHAC del río Laja.

4.3.2 Marco geológico

La descripción geológica del SHAC del río Laja se desarrolla en base a los principales levantamientos realizados para la elaboración de las hojas Concepción-Chillán (1981) y Los Ángeles-Angol (1981), a escala 1:250.000 para la región del Biobío. Estas cartas fueron digitalizadas dentro de los trabajos realizados en el "Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Biobío" (DGA, 2012).

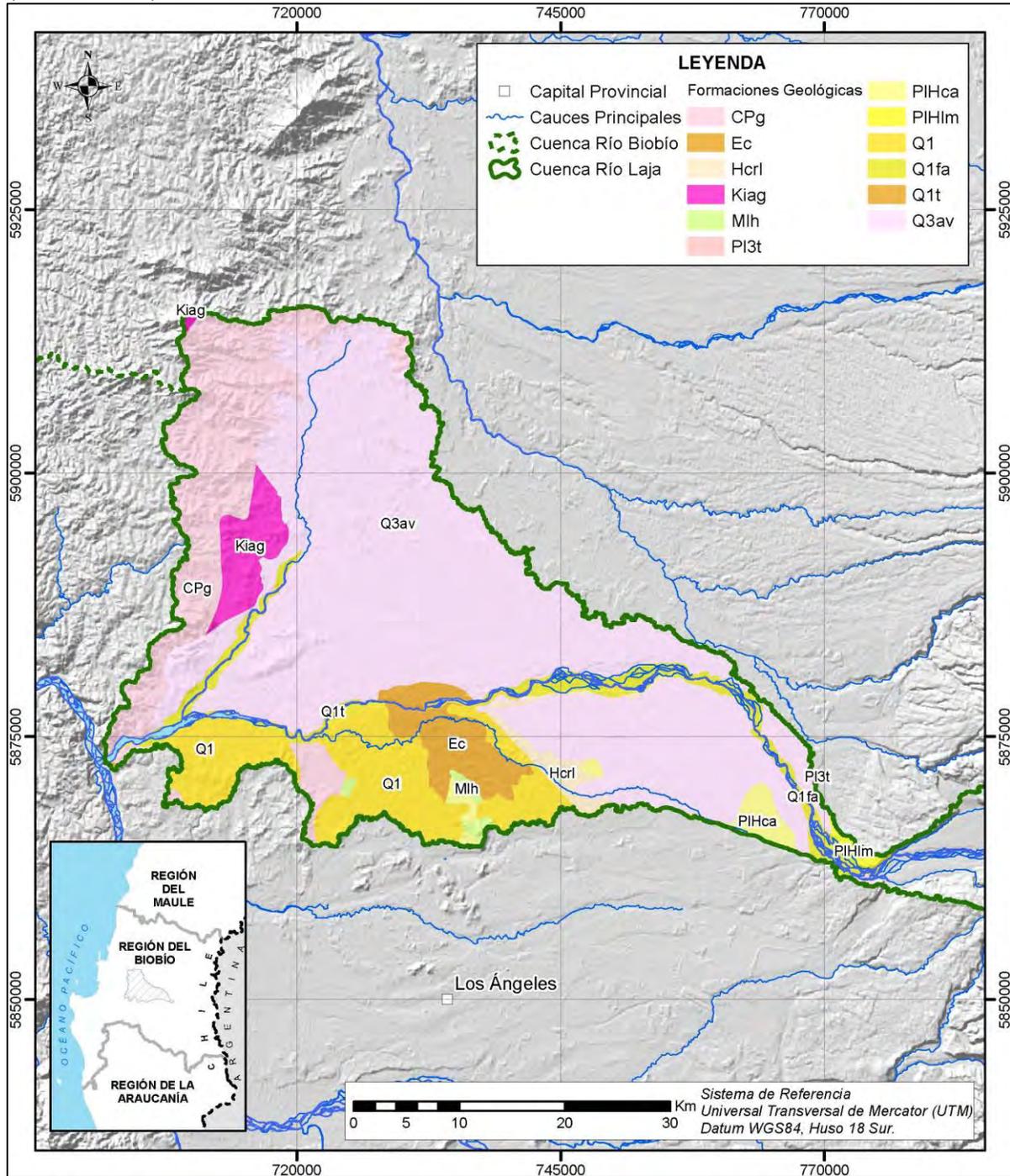


Figura 4. Formaciones Geológicas SHAC río Laja.

4.3.3 Definición de acuíferos

A lo largo de toda la cuenca del río Biobío, donde afloran las unidades geológicas terciarias superiores y cuaternarias, se reconoce la existencia de un solo acuífero de carácter freático. Esta gran unidad hidrogeológica, sin embargo, exhibe variaciones tanto laterales como en profundidad de la permeabilidad lo que permitió, según DGA (2012), reconocer en ella tres subunidades o sub acuíferos diferenciados entre sí por su composición y características permeables:

- Sub-acuífero 1: Unidad Q3av, depósitos de avalancha volcánica.
- Sub-acuífero 2: Unidades Q1, depósitos fluvio-aluviales y sedimentos de valles recientes; Q1fa, depósitos fluvio-aluviales antiguos; Q1t, sedimentos de terrazas fluviales y Hcrl, depósitos de conos fluviales.
- Sub-acuífero 3: Unidad PIHca, sedimentos glacio-lacustres.

Espacialmente, el sub acuífero 1 presenta mayor extensión dentro de la zona de interés, abarcando gran parte del SHAC del río Laja, limitando al oeste con el borde oriental de la cordillera de la costa, representando una barrera natural para el flujo local de aguas subterráneas.

El sub acuífero 2 se ubica paralelamente al cauce principal de los ríos Laja y río Claro, ocupando solo una porción al extremo suroeste de la cuenca entera.

El sub acuífero 3 es el menos representativo dentro del SHAC. Se ubica al sur de la zona de estudio en pequeños sectores aislados y hacia el sureste, limitando al este con la precordillera.

En la Figura 5 se detalla la configuración espacial de estos sub acuíferos. Cabe mencionar que, según se aprecia en la imagen, para el sector del Salto del Laja, se presentan unidades de roca consolidada, representada por areniscas pertenecientes a la Fm. Curanilahue, y que no se tomaron en cuenta para la configuración acuífera.

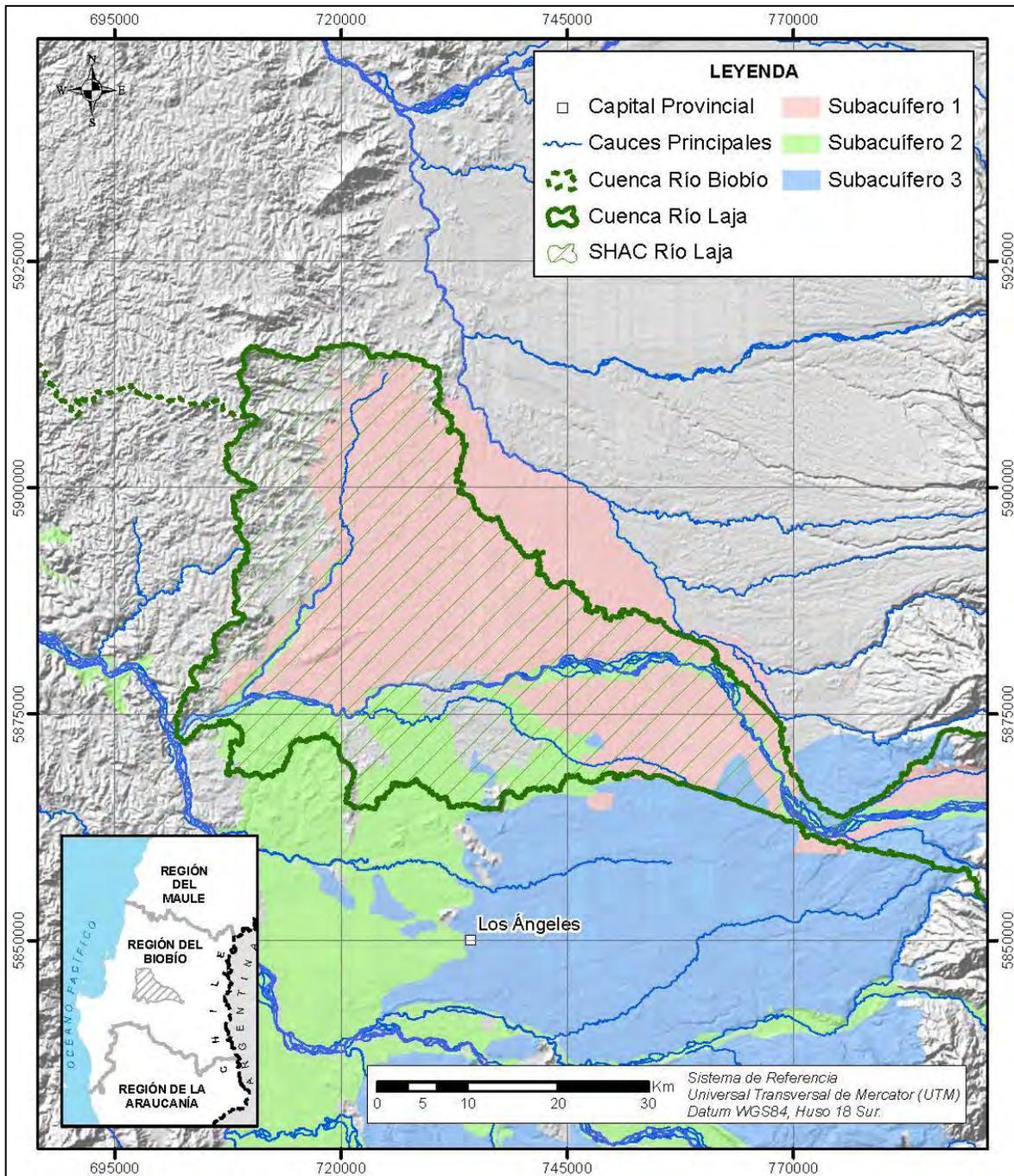


Figura 5. Sub-acuíferos presentes en el SHAC del río Laja.

4.3.4 Unidades Hidrogeológicas

En el área de estudio correspondiente al SHAC de río Laja se definen tres unidades hidrogeológicas descritas en DGA (2012), según su potencial para transmitir agua.

- **Unidad de alta importancia hidrogeológica**

Estas unidades corresponden a los depósitos no consolidados del cuaternario tales como depósitos fluviales y fluvio-aluviales, actuales y antiguos, depósitos coluviales, sedimentos de terrazas fluviales y terrazas marinas. Litológicamente está conformada por gravas y arenas polimícticas negras, de origen principalmente volcánico, en una matriz de arenas finas y escasos limos de espesor variable entre 4 y 25 m, que presentan una baja compactación. La importancia hidrogeológica radica en que tiene la habilidad de conducir las aguas provenientes de la recarga hacia niveles inferiores saturados.

- **Unidad de media a baja importancia hidrogeológica**

En esta categoría se han agrupado sedimentos que por su origen glacio-lacustre poseen porcentajes de finos superiores a 30%. Están genéticamente relacionados con procesos de glaciación y desglaciación de masas de hielo ubicadas a mayores elevaciones. Se reconocen en las riberas de los principales cauces, formando terrazas o lomajes suaves, que permiten un buen desarrollo de suelo y vegetación. Litológicamente consiste en depósitos estratificados, conformados por clastos angulosos, predominantemente volcánicos, de tamaño bloque a arena en una matriz arenosa-arcillosa.

- **Acuícludos de nula importancia hidrogeológica**

Esta unidad lo constituyen los intrusivos ígneos y rocas metamórficas que se reconocen en el área de estudio.

De lo anterior se deduce una relación entre la anterior clasificación y los sub-acuíferos mencionados en el acápite 4.3.3:

- Unidad de alta importancia hidrogeológica: se relaciona con el sub-acuífero 1, caracterizado por depósitos de avalancha volcánica; tiene la mayor extensión dentro del SHAC del río Laja.
- Unidad de media a baja importancia hidrogeológica: se incluye en esta categoría los sub-acuíferos 2 y 3, siendo estos depósitos fluvio-aluviales y sedimentos de valles, terrazas y glacio-lacustres.
- Acuícludos de nula importancia hidrogeológica: corresponde a las áreas no incluidas como sub-acuífero 1, 2 o 3, y que se presentan principalmente al poniente del área definida como SHAC del Laja.

4.3.5 Niveles freáticos

El registro de antecedentes de niveles freáticos en el valle del río Laja se obtuvo desde la información del catastro de pozos realizado durante la campaña de terreno realizada en DGA (2012), durante los meses de agosto y septiembre del mismo año. Se tomaron en consideración las captaciones

ubicadas en el SHAC del río Laja, de las cuales se recopiló información de nivel estático en 49 pozos.

El patrón general de flujo subterráneo (Figura 6) mostró una tendencia E-O, siguiendo la dirección de flujo de las aguas superficiales pertenecientes al río Laja. El rango de profundidades de niveles estáticos se maneja principalmente entre los primeros 5 m bajo el nivel de terreno (más del 60% de estos casos).

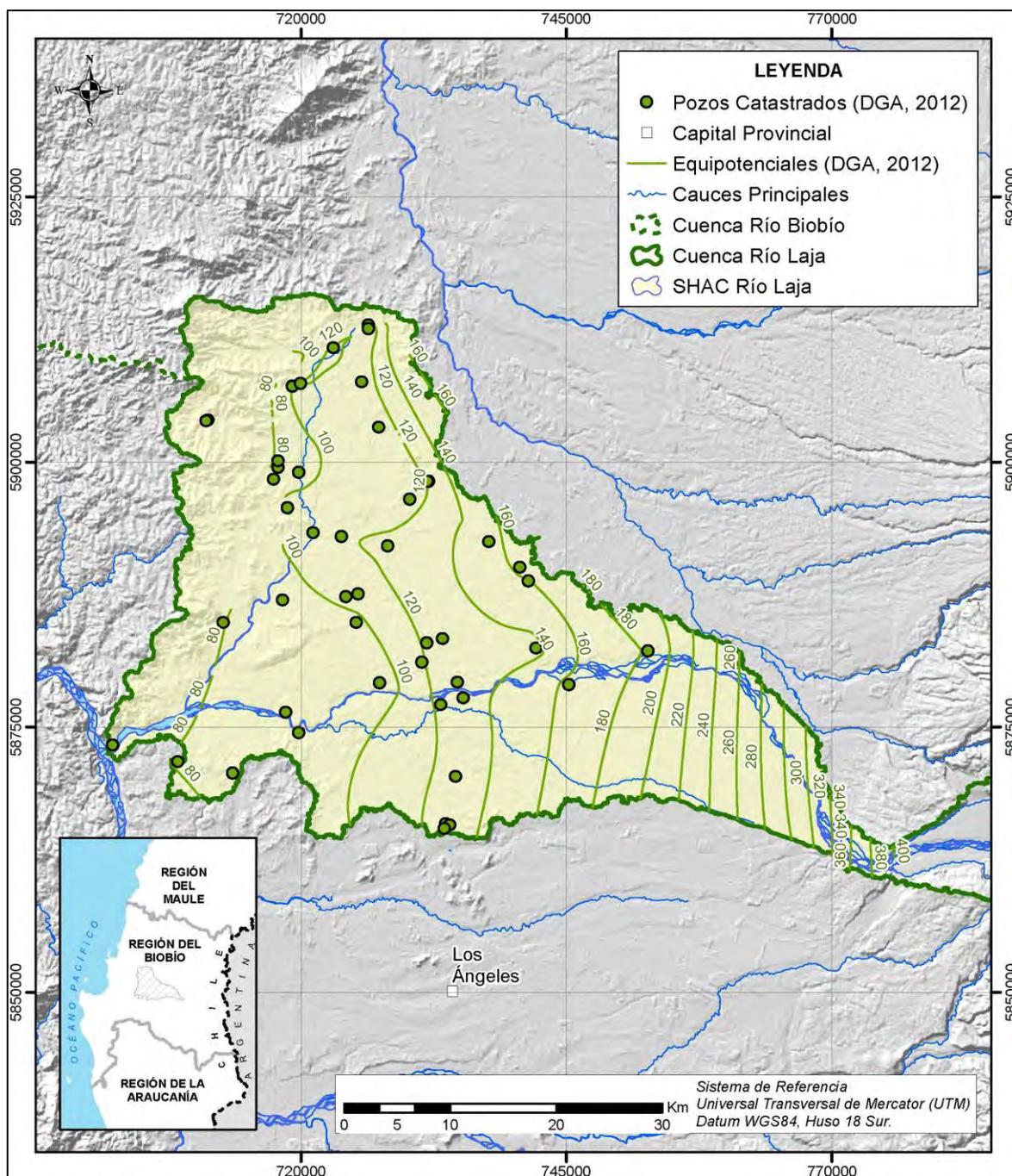


Figura 6. Pozos catastrados y equipotenciales en SHAC del río Laja, año 2012.

Como parte del estudio que respalda el presente informe técnico se realizó una campaña de terreno durante tres semanas, se visitaron un total de 166 pozos; de éstos, se logró medir el nivel de agua en 103 pozos². El inventario consistió en verificar la identificación del pozo visitado, por entrevistado y propietario del mismo. Se validó la ubicación de la captación, detallando sus coordenadas tanto Norte como Este referenciadas en WGS84, huso 18S. Luego, se procedió a realizar la medición del nivel freático mediante pozómetro. Se consideró medición de nivel estático en aquellos casos sin operación de bombeo en el último día; dadas las permeabilidades de la zona, los tiempos de recuperación de la napa no son especialmente altos.

A partir de la información de los pozos que sí se logró la medición de nivel de agua, se presentan los siguientes análisis:

- **Nivel Estático:** Del total de 103 pozos medidos, se midieron niveles estáticos excepto en 11 casos en que los pozos se encontraron en funcionamiento en el momento de la visita, por lo cual se midió su nivel dinámico. De los pozos que se encontraron en reposo y se obtuvo su nivel estático, la profundidad varió dependiendo de su ubicación, mostrando generalmente niveles someros.

En el Cuadro 2 se observa un resumen de la distribución de niveles de agua de los pozos.

Cuadro 2. Profundidades del nivel estático de los pozos

Rango de profundidad del Nivel Estático	Nº pozos
< 2 m	49
≥ 2 m y < 5 m	30
≥ 5 m y < 10 m	8
≥ 10 m	5
Total	92

- **Tipología del pozo:** Según la profundidad y/o tipología de construcción del pozo de extracción de agua subterránea, estos se han clasificado, para la zona del SHAC del río Laja, como pozo profundo, puntera, noria o zanja. En el Cuadro 3 se muestra su cuantificación.

² Cabe señalar que 6 mediciones de nivel corresponden a pozos no inscritos en el CPA, y que se llegaron a éstos en el transcurso de la campaña por sugerencia de propietarios que espontáneamente facilitaban el acceso hasta éstos.

Cuadro 3. Tipología de las captaciones con medición de nivel

Tipo de captación	Nº pozos
Pozo profundo	44
Puntera	34
Noria	17
Pozo zanja	8
Total	103

A partir de la información de nivel estático de los pozos procedentes de la campaña de terreno, se estiman las curvas equipotenciales del acuífero (Figura 7).

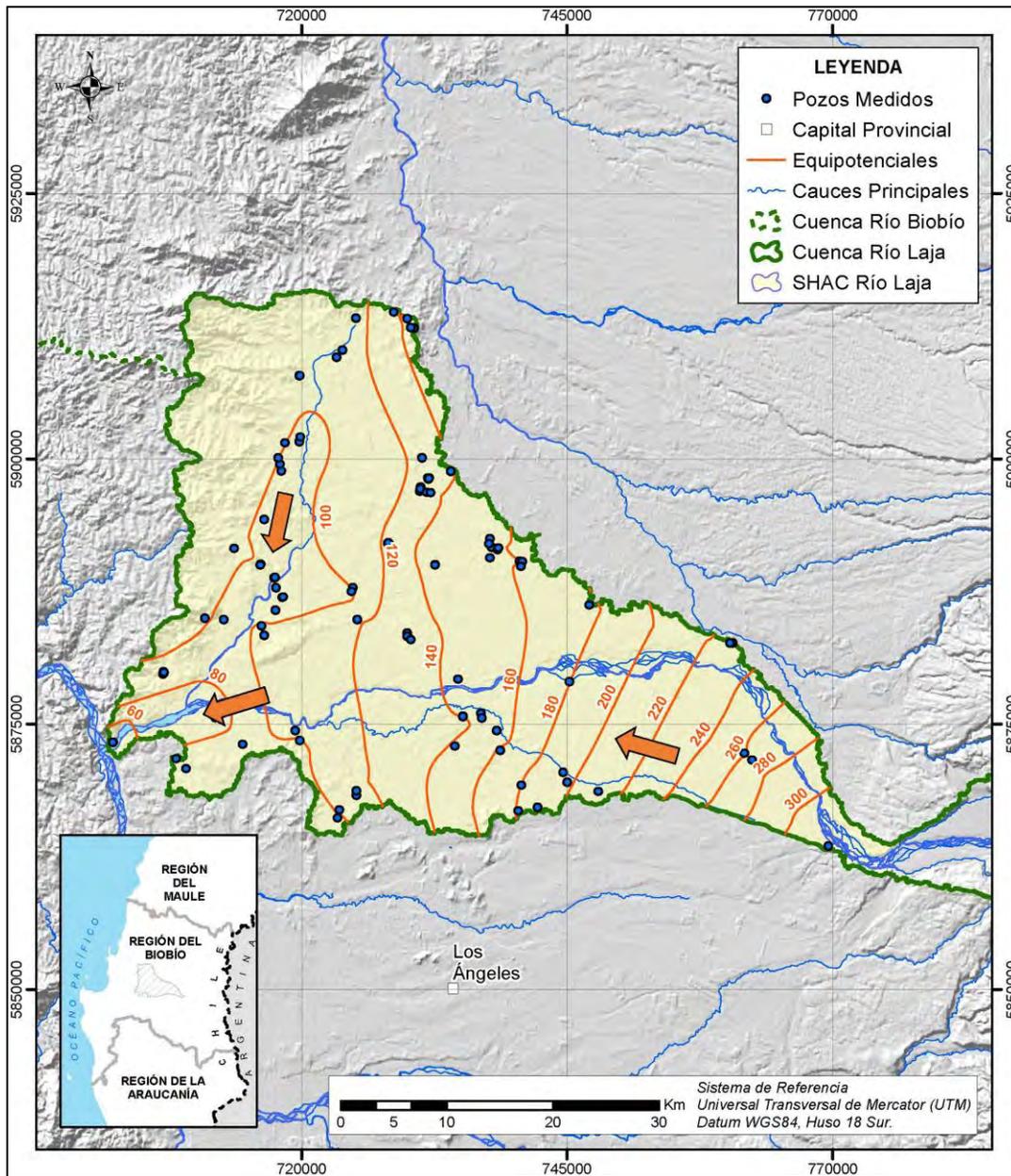


Figura 7. Curvas equipotenciales y sentido de escurrimiento del SHAC del río Laja

El flujo subterráneo transcurre de forma similar a la dirección y sentido de escurrimiento de los cauces superficiales de la subcuenca. Así pues, se observa que el sentido de escurrimiento avanza en sentido E-O, como el río Laja, hasta el sector del río Claro, en que las aguas subterráneas se mueven de norte a sur. La salida del acuífero se presenta en el extremo SO del área de estudio, coincidente con la zona de confluencia del río Laja en el río Biobío.

Comparando los resultados obtenidos de la campaña de monitoreo de niveles estáticos en pozos durante el estudio (Julio - Agosto 2018) con la campaña realizada durante los trabajos asociados al estudio DGA (2012) en la misma área (Agosto - Septiembre 2012), se observan las siguientes consideraciones:

- i. Se identifica una diferencia del valor del nivel freático en algunos sectores entre curvas equipotenciales de ambas campañas. Cabe señalar al respecto la diferencia temporal de la medida (2012 vs 2018), la diferencia en la cantidad y distribución de puntos medidos (49 vs 92 pozos), el error propio asociado a los instrumentos de medición (principalmente el GPS en la determinación de la Cota de Terreno) y la propia interpolación de los resultados que permiten generar las curvas isofreáticas.
- ii. Sin embargo, la dirección y sentido del flujo es similar en ambos casos (E-SO), salvo en la zona del río Claro en que las equipotenciales quedan mejor definidas en el presente estudio (sentido N-S del flujo claramente identificado).
- iii. Los niveles de agua en el presente estudio se detectaron en los primeros 5 m de profundidad (86% de los pozos), mientras que en el estudio DGA (2012) se obtuvieron profundidades de entre 0 y 5 m en el 61% de los casos; en cualquier caso, es la franja mayoritaria de ubicación de la napa.

4.3.6 Parámetros hidráulicos

Con el fin de obtener una representación espacial de los parámetros elásticos en el área completa del SHAC, se seleccionaron expedientes de DAA subterráneos ubicados fuera de los límites de la zona de estudio y cercanos a ésta, que detallaran cálculos de las constantes elásticas.

- **Permeabilidad**

Se utilizaron los rangos permeables establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 1971).

Gran parte de los valores resultantes se ubican por encima de los 14 m/día, clasificándose como permeabilidades muy altas, características de suelos arenosos, lo cual se corresponde con las litologías revisadas para el sector. En menor proporción aparecen zonas con valores ubicados entre el rango "moderada" a "moderadamente alta" (0,384 – 3,84 m/día), coincidiendo con zonas donde se reconoce la existencia de cambios litológicos y acortamiento de espesores sedimentarios. Esta situación se aprecia hacia el límite occidental y hacia la zona de salida del SHAC.

- **Transmisividad**

Se tomó como referencia la clasificación establecida por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (Villanueva e Iglesias, 1984).

Los valores obtenidos en la modelación son concordantes a las permeabilidades observadas. Si bien dentro de la zona de interés se tienen por lo general de medias a altas transmisividades (mayores a 100 m²/día), es posible definir zonas con mayores potenciales acuíferos hacia la entrada y centro del SHAC, donde se alcanzan máximos de hasta 11.450 m²/día. Ésta decrece de manera progresiva en sentido O, observándose bajas transmisividades hacia la salida de la zona de estudio y aún menores fuera de las áreas correspondientes a los sub-acuíferos, esto es, hacia la cordillera de la costa, lo cual es esperable.

- **Almacenamiento**

El coeficiente de almacenamiento representa el volumen de agua que podría extraerse de un acuífero. Para el análisis de este parámetro se tomó igualmente como referencia la clasificación definida por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en Villanueva e Iglesias (1984) para materiales permeables de origen granular.

El SHAC presenta en toda su extensión valores asociados principalmente a acuíferos libres, excepto por un pequeño sector anexo al cauce del río Claro que muestra una condición más cercana a tipo semi-confinado. Sin embargo, el comportamiento general observado presenta una tendencia similar a los

anteriores parámetros antes analizados; mejores potenciales acuíferos hacia el este y centro del SHAC, con notable decaída hacia el límite occidental.

4.4 Caracterización hidrogeoquímica

Se recopiló información de la calidad del agua superficial del río Laja y sus afluentes en base a las estaciones de control DGA.

Por medio de la caracterización hidroquímica, se determinó la composición del cauce principal de la cuenca del río Laja, además de su cauce afluente principal en el sector del SHAC, el río Claro. De esta forma, se constató que la calidad de agua superficial del río Laja es del tipo carbonatada cálcica sin mayor presencia de sulfatos y sodio/potasio. Se extrae también del análisis que el aporte del afluente del río Claro no tiene un efecto mayor en las aguas provenientes del río Laja debido a que su composición química no presenta grandes variaciones. Lo anterior se observa en la estación río Laja en San Rosendo, situada aguas abajo de la confluencia, donde la composición química permanece del tipo carbonatada cálcica.

Al no tener información acerca del agua subterránea en la zona debido a la inexistencia de estaciones de medición de esta naturaleza, se deben considerar los pozos cercanos al acuífero. De los dos que se encontraron cercanos a la zona de estudio se infiere que la calidad de agua subterránea presente en el SHAC del Laja tendrá una composición similar a la del pozo Chillán en Fundo Cato, debido a que las concentraciones de químicos en este punto son similares a las del agua superficial que cruzan la zona. Esto también se correlaciona con lo indicado por González *et al* (2003), en donde se define que la composición química del agua del acuífero del Laja es bicarbonatada cálcica con un cambio de tipo cálcico por un tipo mixto cálcico-magnésico hacia el sector poniente.

4.5 Definición de la geometría del acuífero

Del análisis de columnas estratigráficas procedentes de la revisión de los expedientes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas se concluye que los suelos son de carácter arenoso en los primeros 80 metros de profundidad, con presencia puntual de lentes de arcilla.

En base a los ensayos geofísicos ejecutados en la zona de estudio (55 estaciones TEM y 50 puntos gravimétricos, Figura 8), se define que el acuífero del río Laja se emplaza en una depresión sedimentaria que mantiene una marcada tendencia de profundización hacia el este. Se identificaron rellenos saturados de hasta 400 m de espesor, donde el basamento se ubica de manera más somera al oeste y flancos del área de estudio. Asimismo, se distingue gran variedad granulométrica en la composición de las unidades que conforman el subsuelo, desde bolones y ripios húmedos que presentan

medianas a altas resistividades, hasta materiales más arcillosos que arrojan menores resistividades y representan las zonas menos permeables dentro del sistema acuífero.

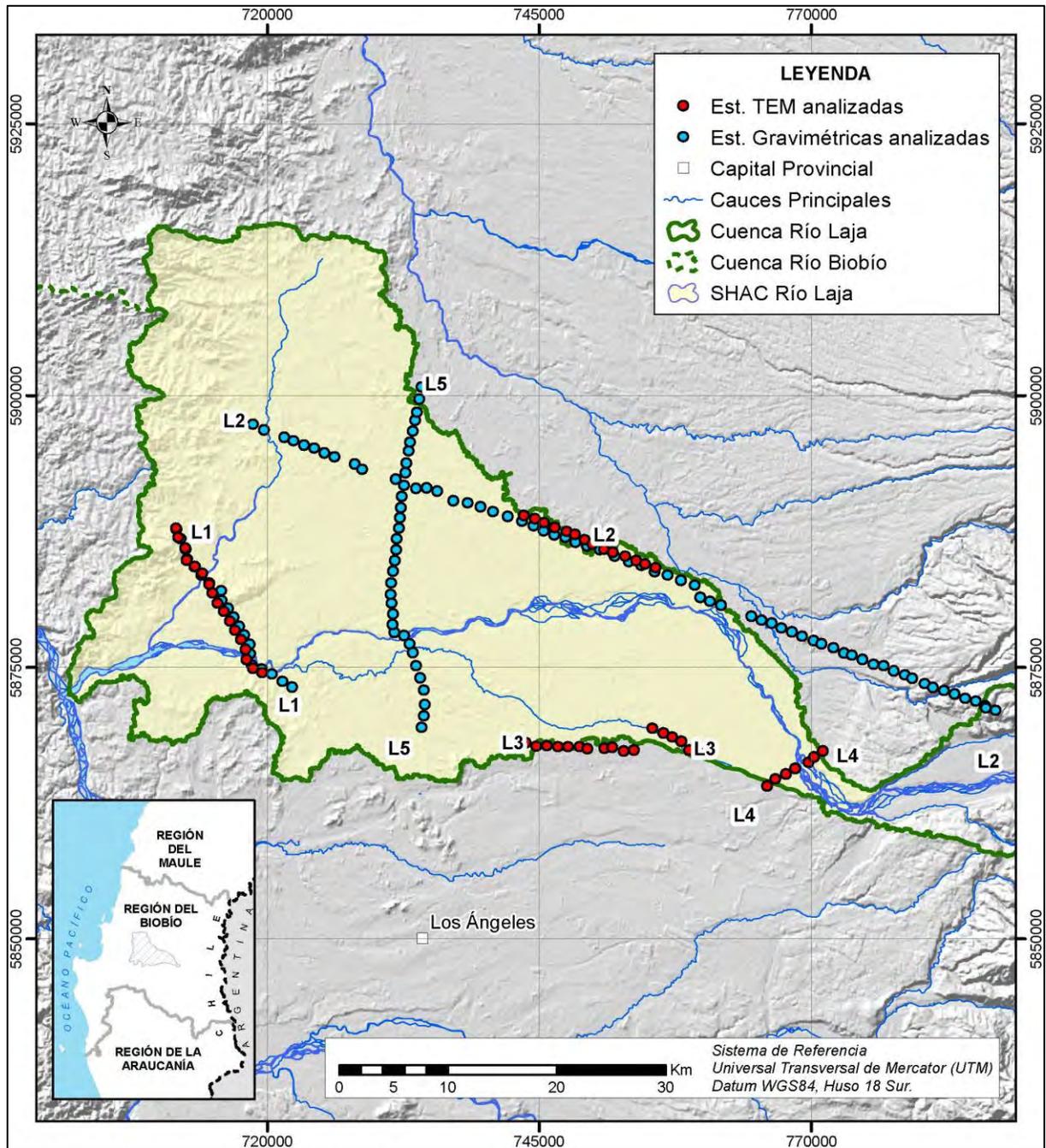


Figura 8. Perfiles gravimétricos y TEM analizados

En resumen, los resultados geofísicos confirman de esta manera la existencia de una formación acuífera de gran continuidad tanto vertical como horizontal, de importante espesor, donde el basamento se hallaría por lo menos a 1 km de profundidad desde la cota de terreno.

4.6 Balance hídrico

El balance hídrico comprende la sumatoria de los flujos de entrada y salida que influyen e interactúan con la dinámica de un acuífero.

- **Entradas y salidas del sistema**

Respecto de las entradas al SHAC, existe un flujo subterráneo de entrada por el extremo E del acuífero; según Arumí *et al.* (2012a), la parte superior del río Laja corresponde a un río que infiltra agua hacia los sistemas de aguas subterráneas, debido a que, en su curso superior, el río posee un cauce ancho con predominio de material gravo-arenoso.

Además, existe un componente de recarga por infiltración debido a las precipitaciones; lo anterior fue cuantificado preliminarmente en el estudio DGA (2014). Igualmente, y dada la red de canales y de acuerdo a los comentarios recogidos en el terreno, existe una recarga de agua desde éstos durante la temporada de riego³.

En base a la información geofísica obtenida de los perfiles TEM, cabe señalar la factibilidad de flujo subterráneo desde acuíferos adyacentes (SHAC Itata Superior en el N y del SHAC del Río Biobío en el S).

En cuanto a las salidas, cabría señalar los afloramientos en el río Laja y en el río Claro; recordar que el río Claro actúa como eje de afloramiento de las aguas de las Arenas del Laja al encontrarse con el sistema de rocas intrusivas del O del sector.

Otro componente de salida del sistema acuífero corresponde a las extracciones por DAA subterráneas otorgados.

Según la interpretación de los TEM, se podría considerar que el flujo de agua subterráneo en la salida del acuífero es mínimo. La salida, en el SO, coincide con un estrechamiento con afloramientos rocosos a ambos lados, y por tanto la sección acuífera potencial de conducir flujo subterráneo sería mucho menor (se considera que el flujo subterráneo aflora).

- **Estimación del balance hídrico del sistema acuífero**

El estudio DGA (2012) realizó, para la cuenca del río Biobío, un modelo hidrogeológico desarrollado mediante el software Visual Modflow 4.2. A partir del mismo, se acotó el modelo a la zona de estudio del SHAC, sin considerar en él las áreas de rocas intrusivas. De los valores obtenidos entre la comparación de un escenario en condiciones naturales versus situación con bombes, se desprende que la componente extractiva de agua tiene

³ Ciertos propietarios comentaron que, durante la temporada de riego, observaban un incremento del nivel freático de sus pozos.

relación directa con los afloramientos resultantes; es decir, al incorporar la acción de los pozos sobre el sistema, el afloramiento disminuye un 7,6%.

Los resultados obtenidos, considerando un escenario "natural", esto es, sin intervención antropogénica por las extracciones del acuífero se presentan en el Cuadro 6; así mismo, teniendo en cuenta los bombeos en el balance, los datos resultantes se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 4. Balance hídrico del acuífero del río Laja en condiciones naturales

Flujo	Concepto	Caudal (m³/s)	Balance Parcial (m³/s)	Balance Total (m³/s)
Entradas	Desde límite E	2,43	8,77	-0,01
	Recarga superficial	5,11		
	Desde SHAC Itata	0,85		
	Desde SHAC Biobío	0,38		
Salidas	Afloramientos	8,14	8,78	
	Hacia SHAC Biobío	0,64		
	Pozos de bombeo	-		

Cuadro 5. Balance hídrico del acuífero del río Laja con extracciones

Flujo	Concepto	Caudal (m³/s)	Balance Parcial (m³/s)	Balance Total (m³/s)
Entradas	Desde límite E	2,41	8,68	0,01
	Recarga superficial	5,11		
	Desde SHAC Itata	0,84		
	Desde SHAC Biobío	0,32		
Salidas	Afloramientos	7,52	8,67	
	Hacia SHAC Biobío	0,71		
	Pozos de bombeo	0,44		

Hay que tener en cuenta que elementos como el caudal de afloramiento o infiltración siempre presentan un grado de incertidumbre en su determinación.

Por otra parte, de los valores obtenidos, se desprende que la componente extractiva de agua por bombeos tiene relación directa con los afloramientos resultantes; es decir, al incorporar la acción de los pozos sobre el sistema (0,44 m³/s), el afloramiento pasa de 8,14 m³/s a 7,52 m³/s (0,62 m³/s de diferencia), disminuyendo el caudal aflorado correspondiente un 7,6% entre los dos escenarios considerados.

4.7 Propuesta de sectorización

En vista de las características hidrogeológicas analizadas es posible concluir que, dentro de la zona identificada preliminarmente como "SHAC río Laja" en el estudio DGA (2014), se presentan tanto áreas de relleno (que conforman las unidades acuíferas) como zonas de rocas intrusivas.

Respecto de las zonas de relleno sedimentario, se presentan propiedades hidráulicas muy similares entre los sub-acuíferos definidos en DGA (2012), con permeabilidades y transmisividades que se manejan entre medias a altas en toda su extensión. Asimismo, el patrón de movimiento del agua subterránea observado no representa interrupciones o cambios abruptos en su dirección de flujo, manteniendo una dirección continua a lo largo de su paso por la zona de estudio. Por otro lado, el área comprendida por las rocas intrusivas del extremo oeste tiene, según su propia litología, un potencial hidrogeológico bajo o nulo.

Además, y en vista de las relaciones con SHAC colindantes (Itata, Biobío) presentados y los resultados de la interpretación geofísica de los perfiles TEM, tanto por el límite norte como por el sur del área de estudio existen intercambios de flujo de agua.

Cabe recordar que se define Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC), según el Art. 54 del Reglamento de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas, como *"acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente"*.

Atendiendo a todo lo anterior, la delimitación del SHAC en este caso viene definida por las siguientes consideraciones:

- i. No se puede fijar un límite o contorno cerrado del acuífero del valle del río Laja, entendiendo como tal que éste quede circunscrito o rodeado en su totalidad de material impermeable, puesto que existen intercambios de flujo de agua con áreas adyacentes. Como referencia, el estudio DGA (2012) comprende un gran acuífero del Biobío en el valle central.
- ii. Existe una vasta zona de relleno sedimentario que conforma el acuífero del valle del río Laja, que parte desde el extremo oriental y ocupa gran parte del área de estudio.
- iii. Se identifica un límite rocoso en la zona oeste, caracterizado por rocas intrusivas, las cuales sí limitan el flujo de agua subterránea. En esta zona, si bien se no constituye como acuífero en términos hidrogeológicos, presenta extracciones existentes de carácter

superficial (norias), las cuales se deben gestionar, pero de forma particular y/o local.

4.7.1 Unidades del SHAC

A través de la integración de los resultados obtenidos, fue posible establecer que, para la zona de relleno del SHAC del río Laja, los sub-acuíferos 1 y sub-acuífero 3 del estudio DGA (2012) presentan un comportamiento hidráulico muy similar, por lo que se considera factible unificar dichas secciones en un solo subconjunto que representa las zonas de alto potenciales acuíferos, en comparación a la conducta vista para el sub-acuífero 2, donde se manifiesta potenciales hidrogeológicos más bien medios. Esto no implica que la diferencia entre ambas zonas sea muy marcada, si no que se plantea como un criterio para la propuesta de sectorización del acuífero.

En la Figura 9 se muestra la propuesta de sectorización del acuífero asociado al SHAC del río Laja en base a los antecedentes recabados y análisis realizados, **dividiéndolo en 2 unidades acuíferas, además de la zona de rocas intrusivas del O de la zona estudiada.**

Un sector del acuífero asociado al SHAC del río Laja, nombrado como "Unidad Acuífera Norte", abarca la mayor parte y se extiende del E hacia el NO, y tiene una superficie de 1.182,66 km². Por su parte, la "Unidad Acuífera Sur" está situada en el S como indica su nombre, y se extiende en 362,05 km², hasta la salida de la subcuenca. La "Unidad Intrusivos" comprende principalmente el sector poniente del SHAC, con un área total de 379,42 km², y caracterizada por un potencial hidrogeológico bajo y sólo a nivel superficial.

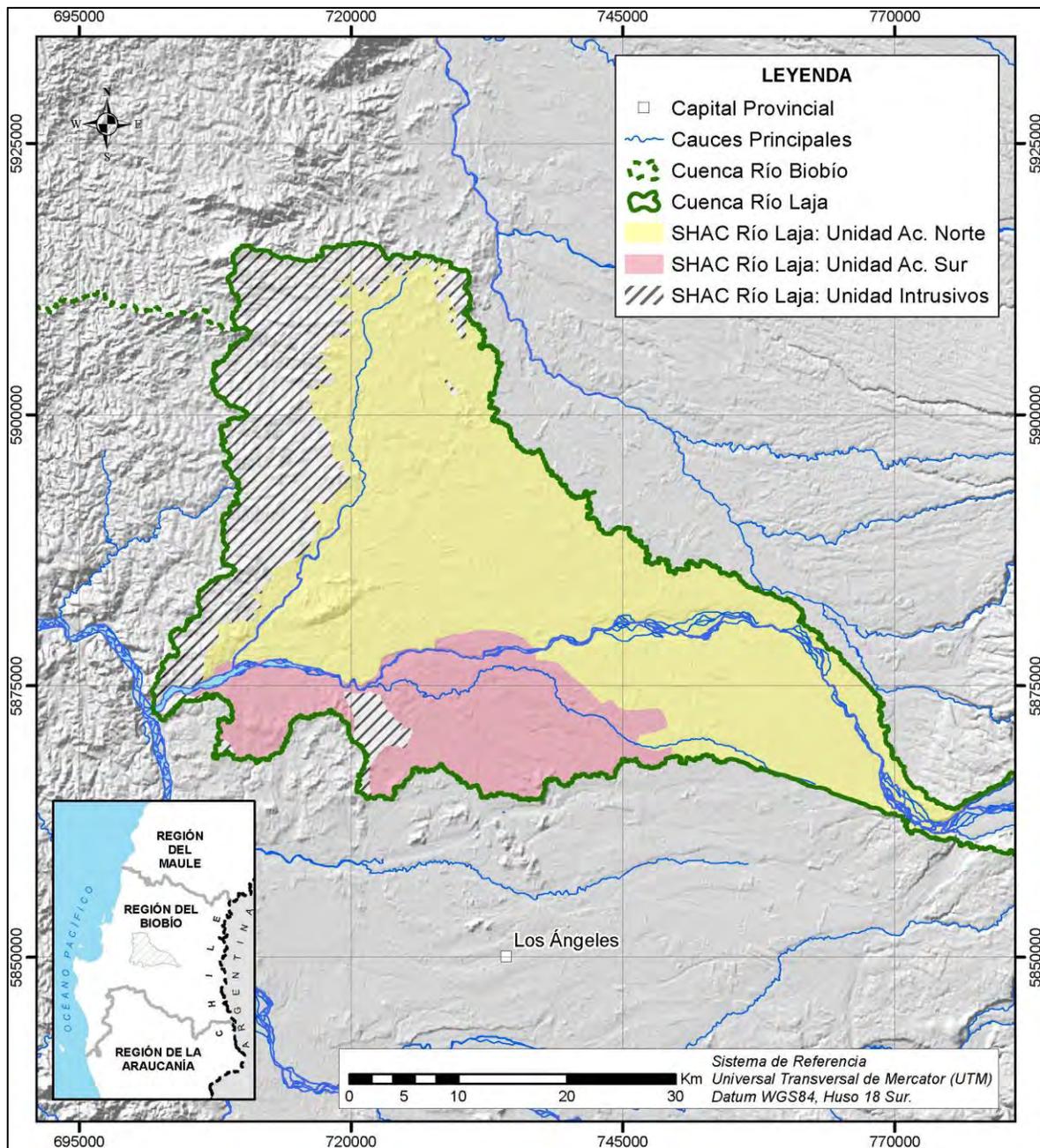


Figura 9. Propuesta de sectorización del SHAC del río Laja.

5. DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA (RECARGA)

La recarga anual por precipitación ha sido estudiada por DGA (2014) mediante el análisis de infiltración de precipitación media directa sobre la subcuenca del río Laja.

La precipitación media se estimó, en dicho estudio, a partir de los datos obtenidos de las isoyetas del "Balance Hídrico de Chile" (DGA, 1987), ocupando la extensión *Spatial Analyst* de ArcGIS 10.1. Para el factor de infiltración aplicado a la precipitación media se consideraron estudios de análisis de recargas realizados por la Dirección General de Aguas, en los cuales se diferencian tres zonas geográficas: Cordillera de los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de la Costa. Para el SHAC del Laja, se consideró en el mencionado estudio el factor de infiltración correspondiente a la zona de depresión intermedia, igual al 5%.

El cálculo de la recarga se determinó según la expresión:

$$R = A \cdot P_p \cdot C_i$$

donde:

R: Recarga del acuífero (m³/año)

A: Área de la cuenca (m²)

P_p: Precipitación media (m/año)

C_i: Coeficiente de infiltración (adimensional)

En el Cuadro 6 se señalan los datos ocupados para la zona del SHAC del Laja.

Cuadro 6. Recarga por infiltración del acuífero del río Laja

Subcuenca	Área (km ²)	Pp (m/año)	C _i	Recarga (m ³ /año)
Río Laja	1.837,84	1,10	0,05	101.151.038

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2014).

De esta forma, ocupando los valores y método del estudio ya mencionado, se obtiene que la recarga anual del acuífero en la zona del SHAC del Laja de 101.151.038 m³/año, que corresponde a 3.207 l/s.

Cabe destacar que este valor de recarga anual es el considerado como volumen sustentable en el Atlas del Agua (DGA, 2016). El volumen sustentable se define en este documento como *"la cantidad de agua anual asociada a la recarga del acuífero, es decir, al flujo de agua que lo alimenta naturalmente que proviene de precipitaciones, embalsamientos y escurrimientos superficiales y subterráneos (DGA, 2013). El volumen sustentable es aquel susceptible de constituir como derecho de aprovechamiento de aguas con carácter de definitivo"*.

En segundo término, el estudio DGA (2012) realizó una estimación de la recarga para toda la cuenca del río Biobío mediante un modelo de simulación hidrológico simplificado, el cual considera la interacción de sectores de riego, cauces superficiales, embalses y pozos de bombeo. De este modo, los valores de recarga superficial aplicados al modelo hidrogeológico corresponden a un valor estimado de 161.316.860 m³/año.

Por otro lado, bajo el supuesto que las extracciones subterráneas afectan directamente el caudal de afloramientos (como es reflejado en el modelo numérico del estudio DGA (2012) y observado en los balances hídricos resultantes para el SHAC del río Laja), se estima para cada mes el caudal correspondiente al 10% del caudal medio de 85% de probabilidad de excedencia para la estación Río Laja en Puente Perales⁴, tal como se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Estimación del 10% del Q₈₅ en estación Río Laja en Puente Perales (08383001-8).

Mes	Caudal 85% (m ³ /s)	10% Q ₈₅	
		(m ³ /s)	(m ³ /año)
Ene	23,98	2,40	75.630.652
Feb	23,51	2,35	74.126.241
Mar	31,62	3,16	99.704.629
Abr	48,88	4,89	154.155.973
May	86,33	8,63	272.262.948
Jun	143,99	14,40	454.092.064
Jul	158,90	15,89	501.112.618
Ago	156,80	15,68	494.490.664
Sep	137,61	13,76	433.971.899
Oct	89,00	8,90	280.661.620
Nov	60,74	6,07	191.552.413
Dic	31,65	3,17	99.819.712

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo mostrado, la oferta hídrica para los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se encontraría limitada por el grado de interferencia superficial-subterránea; esto sucede cuando el 10% del Q_{85%} es inferior al valor de descarga estimado en 101.151.038 m³/año. También se encontraría afecto el sistema superficial/subterráneo en el mes de abril tomando la referencia del valor de la recarga de DGA (2012), cuantificado en 161.316.860 m³/año. Sin embargo, esto no ocurre durante 6 meses consecutivos en ningún caso, por lo que se concluye que la oferta hídrica, en el caso del SHAC del río Laja, queda definida por la recarga al sistema.

⁴ Caudal determinado previamente en el acápite 3.4 Fluviometría, valores recogidos en el Cuadro 3.4-3.

5.1 Recarga estimada de las unidades del acuífero

Se estima la recarga asociada a las unidades definidas tras el análisis de sectorización del área de estudio, a partir del valor estimado de recarga del SHAC del río Laja, valorada en 101.151.038 m³/año (DGA, 2014; DGA, 2016c). Se selecciona esta fuente ya que es la más conservadora entre las referencias de recarga al acuífero recopiladas en la revisión de antecedentes (DGA (2012) y DGA (2014)).

Se reproduce brevemente a continuación la metodología establecida en el **“Estudio Preliminar de las Recargas de agua subterránea y Determinación de los Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos” (DGA, 2014)**, así como el proceso de determinación de la recarga en cada unidad del SHAC del río Laja seguido.

- i. La ecuación para estimar la recarga al acuífero se define según la expresión:

$$R = A \cdot Pp \cdot C_i$$

donde:

- R: Recarga del acuífero (m³/año)
A: Área de la cuenca (m²)
Pp: Precipitación media (m/año)
C_i: Coeficiente de infiltración (adimensional)

- ii. Los datos de superficie se han calculado a partir de las unidades establecidas en el presente documento: Unidad Acuifera Norte, Unidad Acuifera Sur y Unidad Intrusivos.
- iii. Los datos de precipitación media anual se han obtenido, para cada unidad, a partir de las isoyetas generadas en el presente estudio, de forma ponderada mediante el cálculo de las áreas y precipitaciones promedio anuales resultantes en cada caso.
- iv. El valor de coeficiente de infiltración para las Unidades Acuíferas Norte y Sur se ha mantenido en 5%, igual a lo considerado en el estudio DGA (2014) y atendiendo al hecho que se encuentran en el Valle Central y tienen carácter sedimentario. En el caso de la unidad identificada como **“Intrusivos”**, no se cree oportuno aplicar tal valor de infiltración, ya que el material rocoso presente no dispone de la capacidad infiltradora considerada en las otras unidades. Si bien puede presentar un potencial hidrogeológico bajo (justificado por la presencia de norias en ciertos

puntos de la unidad), se estima apropiado asignar en esta unidad un coeficiente de infiltración del 1%⁵.

- v. Podría pensarse que el volumen de agua no infiltrada en la Unidad Intrusivos y generada como escorrentía superficial actuara como recarga sobre la napa de la Unidad Acuífera Norte, de acuerdo al sentido del flujo de agua; sin embargo, dicho supuesto no aplicaría, debido a la proximidad con el cauce del río Claro, el cual interceptaría cualquier escurrimiento superficial o subsuperficial proveniente de la unidad de intrusivos. Además, la consideración anterior corresponde a una definición conservadora.

En base a las consideraciones anteriores, los valores resultantes de estimación de recarga se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Estimación de recarga en las Unidades del SHAC del río Laja.

SHAC Río Laja	Área (km²)	Precip. Media (m/año)	Coef. Infiltración (%)	Recarga estimada (m³/año)
Ud. Ac. Norte	1.182,66	1,07	5%	63.418.377
Ud. Ac. Sur	362,05	1,02	5%	18.448.790
Ud. Intrusivos	379,42	1,08	1%	4.108.563
	1.924,13			85.975.730

⁵ En DGA (2014), los valores de infiltración considerados fueron: 5% en subcuencas del Valle Central, 2% en subcuencas de la Cordillera de la Costa y 1% en subcuencas de la Cordillera de los Andes. En la Unidad Intrusivos del SHAC del río Laja, dada la ausencia de zonas de relleno y siendo mayoritariamente terreno rocoso, éste se asemejaría al comportamiento de las subcuencas de Los Andes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De la revisión de antecedentes realizada, se concluye que, además de los registros históricos de la red hidrométrica de la DGA y de los expedientes de Derechos de Aprovechamiento de Agua subterráneos del CPA, el antecedente **principal al presente estudio corresponde al "Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Biobío" (DGA, 2012), en el cual se realizó un levantamiento de la información hidrogeológica y un modelo conceptual del acuífero de la cuenca del río Biobío.**

La caracterización hidrológica ha permitido verificar que las precipitaciones (con un valor promedio de 1.064 mm/año, calculado a partir de la generación de las isoyetas) se concentran entre los meses de mayo y agosto, asociados al periodo otoñal e invernal. La temperatura promedio anual es de 13,4°C, correspondiente a la estación Las Achiras. El caudal con probabilidad de excedencia del 85% en la Estación Río Laja en Tucapel es de 99,7 m³/s, mientras que en la estación Río Laja en Puente Perales asciende a 106,9 m³/s.

Respecto de la caracterización hidrogeológica, del análisis de antecedentes se desprende que el área del SHAC del río Laja se encuentra casi en su totalidad dentro de la depresión central, lo cual es coherente con sus características litológicas. Del estudio DGA (2012) se extrae la identificación de tres sub acuíferos: el primer sub acuífero representa el de mayor extensión y potencial hidrogeológico, en base a los valores de parámetros hidráulicos calculados; de manera secundaria, los sub acuíferos 2 y 3 aparecen en los extremos opuestos de la cuenca del río Biobío, siendo característicos en la zona de entrada y salida del SHAC. Los niveles freáticos varían, de acuerdo a antecedentes, dentro de los primeros 20 m bajo el nivel de terreno, principalmente entre los 5 y 10 m.

Sobre la caracterización hidrogeoquímica, se determinó la composición del cauce principal de la cuenca del río Laja y de su afluente principal en el sector del SHAC. Se constató que la calidad de agua superficial del río Laja es del tipo carbonatada cálcica sin mayor presencia de sulfatos y sodio/potasio. Del análisis se extrae que el aporte del afluente del río Claro no tiene un efecto mayor en las aguas del río Laja debido a que su composición química no presenta grandes variaciones. Cabe mencionar que no existe información de calidad de aguas subterráneas en la zona del SHAC. Sin embargo, su composición sería similar a la de las aguas superficiales, siendo la composición química del agua del acuífero del Laja bicarbonatada cálcica con un cambio de tipo cálcico por un tipo mixto cálcico-magnésico hacia el sector poniente (González *et al.*, 2003).

Respecto de la definición de la geometría del acuífero, cabe mencionar las siguientes consideraciones:

- De la revisión de columnas estratigráficas de los expedientes de DAA subterráneos se concluye que los suelos son de carácter arenoso en los primeros 80 metros de profundidad, con presencia puntual de lentes de arcilla.
- En base a los ensayos geofísicos ejecutados (55 estaciones TEM y 50 puntos gravimétricos) se define que el acuífero del río Laja se emplaza en una depresión sedimentaria con una marcada tendencia de profundización hacia el E. Se identificaron rellenos saturados de hasta 400 m de espesor. Se distingue gran variedad granulométrica en la composición de las unidades que conforman el subsuelo, desde bolones y ripios húmedos que presentan medianas a altas resistividades, hasta materiales más arcillosos que arrojan menores resistividades y representan las zonas menos permeables dentro del sistema acuífero. En resumen, los resultados geofísicos confirman de esta manera la existencia de una formación acuífera de gran continuidad tanto vertical como horizontal, de importante espesor, donde el basamento se hallaría por lo menos a 1 km de profundidad desde la cota de terreno.

La campaña de terreno de monitoreo de niveles de agua en 103 pozos realizada entre Julio y Agosto de 2018 permitió recopilar los niveles freáticos en la mayor parte de la zona de estudio, de los cuales se observó que los niveles generalmente se presentan entre los 0-5 metros. Con las medidas tomadas en terreno se generaron las curvas equipotenciales, mostrándose un flujo subterráneo en sentido E a SO, excepto en el sector del río Claro, el flujo en el cual avanza de N a S.

Las conclusiones obtenidas del desarrollo del modelo conceptual del acuífero son las siguientes:

- Teniendo en consideración la subdivisión de acuíferos del estudio DGA (2012), se delimitaron zonas con mayor o menor potencial hidrogeológico dentro del SHAC del Laja. Se presentan permeabilidades y transmisividades altas a muy altas principalmente en la zona central del SHAC del río Laja, típicas de suelos arenosos cuyos valores descienden ligeramente hacia el poniente. La profundidad de los niveles de agua se mantiene dentro de los primeros 5 m bajo la superficie.

- Se considera dar un tratamiento particular, debido a su comportamiento hidrogeológico con bajo potencial, a los cuerpos intrusivos ígneos que afloran al oeste del área de estudio.

Respecto a la propuesta de sectorización, cabe señalar:

- La delimitación del SHAC del río Laja, no puede fijarse un límite o contorno cerrado del acuífero asociado al SHAC, entendiéndose como tal que éste quede circunscrito o rodeado en su totalidad de material impermeable, puesto que forma parte del gran acuífero del Biobío; así mismo, también se observan intercambios de flujo por el límite norte, desde la cuenca del río Itata. Sin embargo, se identifica una clara y vasta zona de relleno sedimentario que conforma el acuífero del valle del río Laja.
- El SHAC del río Laja, entendido tal como el área analizada en el presente **estudio y que parte de la delimitación de la subcuenca "Río Laja bajo", se ha dividido en 3 unidades.** Las Unidades Acuíferas Norte y Sur poseen potencial hidrogeológico alto y medio, respectivamente. La Unidad Intrusivos tiene un potencial hidrogeológico bajo o nulo, debido a su composición litológica.
- Se analizaron los vínculos y relaciones de las unidades entre sí y con los acuíferos adyacentes, identificando intercambio de flujo en los límites norte y sur de las Unidades Acuíferas con los SHAC del Itata y del Biobío, así como flujo entre estas 2 unidades propiamente. Se observa que la Unidad Intrusivos se comporta como una barrera en el flujo subterráneo, por lo que esta unidad debe enmarcarse en una explotación particular, mientras que las Unidades Acuíferas Norte y Sur están influenciadas entre ellas.
- A partir del modelo numérico realizado en el estudio DGA (2012), las extracciones (bombeos) en las Unidades Acuíferas afectan claramente sobre los afloramientos generados. Lo anterior se debe a que la zona de estudio posee niveles someros de aguas subterráneas (menores a 5 m de profundidad), los cuales se conectan de manera directa a los cauces superficiales, generando afloramientos en todo el tramo del río Laja y principalmente en la zona baja. De cualquier modo, actualmente no es posible evaluar con certeza la magnitud y distribución de los afloramientos, por lo que las modelaciones numéricas existentes son las que proporcionan la hipótesis actual, la cual puede ser corroborada con trabajos de terreno.

En relación con la definición de los SHAC, es importante recordar que actualmente existe una metodología de definición de los mismos aprobada por

la DGA el año 2014 y recogida en el estudio (DGA, 2014c). Esta metodología toma como punto de partida la información más básica de una subcuenca y avanza en la delimitación del SHAC adicionando información relevante por etapas, siendo la componente hidrogeológica la más relevante de ellas. De este modo, la definición de los SHAC debe considerar sólo aquellos sectores con un real potencial hidrogeológico para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, siendo los sectores rocosos, cerros o zonas de bajo o nulo potencial zonas excluidas del SHAC, cuya administración de recursos hídricos debe ser evaluada de manera separada, dada su condición particular, y en general, más compleja de evaluar.

Se comprueba que, en base a lo establecido en los artículos 20 e) y 30 d) del Reglamento sobre normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas (DGA, 2014b), la oferta hídrica del acuífero del río Laja no está limitada por la afectación a cauces superficiales. Debido a lo anterior, se considera que la oferta hídrica corresponde a la propia recarga. Se obtiene una recarga estimada de 85.975.730 m³/año para el área de estudio del SHAC del río Laja.

Las principales brechas de información identificadas son las relativas al control de nivel freático (por escasos registros históricos) y de calidad de aguas subterráneas (debido a la ausencia de estaciones de esta tipología en el área de estudio).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arumí, J. L., Rivera, D., Muñoz, E. y Billib, M. (2012a) - Interacciones entre el agua superficial y subterránea en la región del Bío Bío de Chile. Obras y Proyectos 12, 4-13.

Arumí, J. L., Rivera, D. A., Rougier, A. y Díaz, R. (2012) - Estimación de pérdidas de agua en tramos de ríos del sistema Laja-Diguillín en la zona central de Chile. Tecnología y Ciencias del Agua, vol. III, núm. 3, pp. 135-141.

Börgel, R. (1983) - Geomorfología. Colección Geografía de Chile, Tomo II. IGM, Santiago.

DGA (2012) - Estudio hidrogeológico cuenca Bío Bío / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Realizado por: Aquaterra Ingenieros Limitada.

DGA (2014) - Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea y determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, BíoBío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Administración y Recursos Hídricos, Santiago, Chile.

DGA (2014b) - Manual Decreto Supremo N° 203, de 2013, del Ministerio de Obras Públicas, aprueba reglamento sobre normas de exploración y explotación de aguas subterráneas (publicado en Diario Oficial 07/03/14), Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile.

DGA (2014c) - Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional / Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación; Realizado por GCF Ingenieros Ltda.

DGA (2016) - Atlas del Agua. Chile 2016. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, Chile.

González, L., González, A. y Mardones M. (2003) - Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 30, N° 1, pp 3-22.

United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service. (1971). Guide for interpreting engineering uses of soils. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.

Villanueva, M., e Iglesias, A. (1984) Pozos y acuíferos. Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto Geológico y Minero Español (IGME). Madrid, 426 pp.

8. ANEXOS

8.1 Referencias Bibliográficas

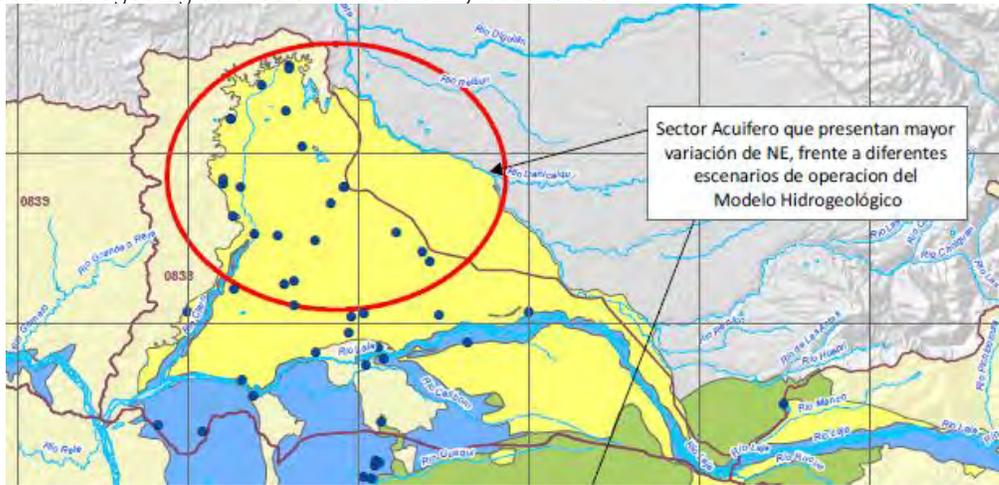
TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio			
TÍTULO	Estudio de disponibilidad cuenca del río Laja. SIT N° 70			
AÑO	2000			
ELABORADO POR	Unidad Técnica DGA VIII Región			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío	Biobío	Río Laja	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•			Derechos de agua
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Evaluar el recurso hídrico disponible en el río Laja para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas sobre los que la DGA debe pronunciarse.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
<p>Información hidrológica del río Laja separado en tres sectores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sector 1: Desagüe Laguna Laja hasta estación DGA Río Laja en Tucapel; donde se destaca la alta pendiente de este sector lo que ha generado una fuerte evolución de usos de agua para generación eléctrica. - Sector 2: Estación Laja en Tucapel a Estación DGA Río Laja en el Salto; esta zona se caracteriza por su alta solicitud de caudales de uso consuntivo (canales de riego). - Sector 3: Estación DGA Río Laja en el Salto a Estación DGA Río Laja en Puente Perales; en esta zona se presentan derechos de agua de uso no consuntivo, que no están en ejercicio aún. <p>Datos de caudales comprometidos en los tres sectores. Análisis de disponibilidad de caudal para constituir nuevos derechos en los sectores ya mencionados.</p>				

TIPO DE INFORMACIÓN	Informe técnico			
TÍTULO	Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Bío Bío. SDT N° 183.			
AÑO	2004			
ELABORADO POR	Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH)			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
			•	
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío y La Araucanía	Todas las comprendidas en dichas regiones	Río Biobío	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•			
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Determinar en forma global y detallada, a nivel de cuenca y subcuencas, la situación en que se encuentra la disponibilidad de recursos hídricos en la cuenca del río Biobío, entregando los caudales máximos a constituir.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
Levantamiento de derechos constituidos en Río Laja desde sus nacientes hasta Puente Perales, Río Claro desde sus nacientes hasta junta Laja, y Río Laja desde Puente Perales hasta San Rosendo.				
Estimación de caudal ecológico río Claro (0,90 m ³ /s en Yumbel, 1,30 m ³ /s en Desembocadura) y río Laja (5 m ³ /s en Perales, 5,40 m ³ /s en San Rosendo sin Claro, 6,7 m ³ /s de San Rosendo a Biobío).				
Información de caudales medios mensuales y probabilidad de excedencia para estaciones pluviométricas:				
<ul style="list-style-type: none"> • Río Laja en Puente Perales (años 1941/42-1972/73) • Río Claro en Camino Yumbel Estación (años 1985-2002) 				
Estadística generada por transposición de distribución de caudales medios con probabilidad de excedencia en estaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> • Río Claro en junta Laja • Río Laja en San Rosendo 				

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado			
TÍTULO	Estudio Hidrogeológico cuencas Bío Bío e Itata. SIT N° 258			
AÑO	2011			
ELABORADO POR	Aquaterra Ingenieros Ltda			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
			•	
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío y La Araucanía	Las comprendidas en las regiones de estudio	Río Biobío y Río Itata	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•	•		Geológicos y geomorfológicos
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Levantamiento de información hidrogeológica para desarrollar un modelo conceptual del acuífero de las cuencas del río Itata y del Biobío, generando información hidrogeológica preliminar para este último.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
<u>Cuenca del Itata:</u> Estudio geofísico: <ul style="list-style-type: none"> Levantamiento gravimétrico en la cuenca del río Itata, en el que 2 perfiles son de interés para la zona de estudio. Plano isobático en el valle central de la cuenca del Itata con las profundidades del basamento, incluye parcialmente la zona de estudio. Caracterización hidrogeológica: <ul style="list-style-type: none"> Campaña de terreno de medición de nivel en 204 pozos de la cuenca del río Itata, plano de profundidad de nivel estático, limítrofe con zona de estudio. Plano de curvas isofreáticas y sentido de escurrimiento. Transmisibilidad en 204 pozos en la cuenca del río Itata y plano correspondiente. Estimación recarga acuífero de la cuenca (completa) del río Biobío. <u>Cuenca del Biobío:</u> Caracterización hidrogeológica: <ul style="list-style-type: none"> Campaña de terreno de medición de nivel en 200 pozos de la cuenca del río Biobío, plano de profundidad de nivel estático. Definición de 3 sub-acuíferos en la cuenca del río Biobío según la unidad geológica. Plano y descripción de las unidades hidrogeológicas según clase o categoría (desde alta a nula), de acuerdo a su potencial hidrogeológico; generación de 6 perfiles hidrogeológicos con información de los sondajes, tipo de roca y suelo. Plano de curvas isofreáticas y sentido de escurrimiento. Transmisibilidad en 192 pozos en la cuenca del río Biobío y plano correspondiente. 				

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado			
TÍTULO	Estudio Hidrogeológico cuenca Bío Bío. SIT N° 297			
AÑO	2012			
ELABORADO POR	Aquaterra Ingenieros Ltda			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío	Biobío	Río Biobío	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•	•		Geofísicos y geológicos
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Levantamiento de la información hidrogeológica para el desarrollo de un modelo conceptual del acuífero de la cuenca del río Biobío.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
<p>Estudio hidrológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de precipitaciones en la cuenca del río Biobío, con estadísticas mensuales y anuales entre los periodos 1961/62 – 2010/11 a partir de 24 estaciones pluviométricas, 3 de las cuales ubicadas en la zona de estudio. • Series de caudales medios mensuales para el mismo periodo mencionado anteriormente, con el análisis de frecuencia correspondiente a 19 estaciones fluviométricas de la cuenca del río Biobío, en las que se incluyeron las estaciones de Río Laja en Tucapel, Río Laja en Puente Perales y Río Claro Camino Yumbel Estación. <p>Geología y geomorfología:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción geológica y geomorfológica de la zona de estudio. <p>Estudio geofísico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento gravimétrico de 331 estaciones (cada 2 km aprox.) generando 15 perfiles en la cuenca del río Biobío, de los cuales se sitúan 6 total o parcialmente en la zona (perfiles n°2, 3, 6, 10, 16 y 20). • Plano isobático en el valle central de la cuenca del Biobío con las profundidades del basamento. <p>Caracterización hidrogeológica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Campaña de terreno de medición de nivel en 200 pozos de la cuenca del río Biobío, plano de profundidad de nivel estático. • Definición de 3 sub-acuíferos en la cuenca del río Biobío según la unidad geológica. • Plano y descripción de las unidades hidrogeológicas según clase o categoría (desde alta a nula), de acuerdo a su potencial hidrogeológico; generación de 6 perfiles hidrogeológicos con información de los sondajes, tipo de roca y suelo. • Plano de curvas isofreáticas y sentido de escurrimiento. • Permeabilidad en 185 pozos en la cuenca del río Biobío y plano correspondiente. <p>Estimación recarga acuífero de la cuenca (completa) del río Biobío.</p>				

Modelo hidrogeológico mediante Modflow y escenarios.



Soporte SIG.

TIPO DE INFORMACIÓN	Estudio Licitado			
TÍTULO	Modelación hidrogeológica cuenca Itata-Bajo, Región del Biobío. SIT N° 320.			
AÑO	2013			
ELABORADO POR	Aqualogy Medioambiente Chile SA			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío	Ñuble	Río Itata	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•	•	•	Geofísicos
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Conceptualizar y modelar matemáticamente el estado hidrogeológico del acuífero del Itata Bajo.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
El trabajo se sitúa fuera de la zona de estudio, por lo que no se observan resultados de interés, más allá del procedimiento de caracterización hidrogeológica llevada a cabo para la cuenca del Itata Bajo.				

TIPO DE INFORMACIÓN	Informe Técnico			
TÍTULO	Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea y determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. SDT N° 359.			
AÑO	2014			
ELABORADO POR	Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH)			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
			•	
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	De la región del Maule hasta la región de Los Lagos	Todas las presentes en las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•	•		
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Delimitar y definir sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
<p>Sectores Hidrogeológicos de la Región del Biobío (18), en los cuales se incluye el sector del Río Laja, la Laguna del Laja y alrededores.</p> <p>Para el sector hidrogeológico del Río Laja se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Área y precipitación media: 1.837,84 km² y 1,10 m/año. • Recarga media anual: 101.151.038 m³/año (3.207 l/s). • Derechos aprobados: 63.997.481 m³/año (2.208 l/s). • Solicitudes de derechos de agua: 3.653.453 m³/año (197 l/s). • Gráfico de oferta total anual (volumen sustentable) versus demanda comprometida. 				

TIPO DE INFORMACIÓN	Informe técnico			
TÍTULO	Sistematización de información hidrogeológica para un futuro plan de gestión de recursos hídricos en cuencas del Biobío. SDT N° 391.			
AÑO	2016			
ELABORADO POR	División de Estudios y Planificación (DEP)			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío	Todas las presentes en la región	Todas las presentes en la región	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•	•		
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Generar una síntesis de antecedentes generales hidrológicos e hidrogeológicos existentes en la región del Biobío.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
Recopilación y síntesis de estudios de la DGA relativos a los recursos hídricos de la cuenca del Biobío.				

TIPO DE INFORMACIÓN	Minuta
TÍTULO	Estudio de disponibilidad de la cuenca del río Laja. Desde sus nacientes hasta la estación DGA "Río Laja en Puente Perales"
AÑO	2017
ELABORADO POR	Dirección de Administración de Recursos Hídricos (DARH)
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)

ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•

ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Biobío	Biobío	Río Laja

TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
	•			

OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN

Objetivo general:

- Determinar la disponibilidad del recurso en el río Laja en distintos tramos del cauce.

Objetivos específicos:

- Generar la estadística de las filtraciones, en régimen natural, del Lago Laja.
- Generar la estadística en las estaciones Río Laja en Tucapel, Río Laja en Puente Perales y Río Laja en el Salto, en régimen natural.
- Establecer los recursos comprometidos en el río Laja en Tucapel.
- Determinar la disponibilidad en distintos puntos de cierre de subcuencas seleccionadas.

RESULTADOS DE INTERÉS

Antecedentes sobre el Lago Laja y la Ley de Filtraciones

Identificación del control hidrométrico en la zona de estudio (DGA-DOH-ENDESA)

Cotas y filtraciones en régimen natural y regulado:

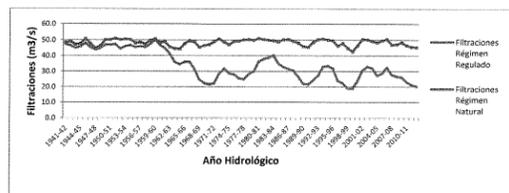


Gráfico 4.1 Filtraciones en régimen natural y régimen regulado

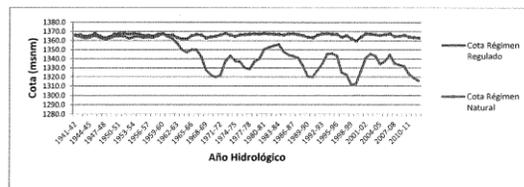


Gráfico 4.2 Cotas en régimen natural y régimen regulado

Estadística en régimen natural (a partir de las filtraciones del Lago Laja) del caudal medio mensual en:

- estación Río Laja en Tucapel (1982-2012)
- estación Río Laja en Puente Perales (1989-2010)

Disponibilidad de caudal en los puntos de cierre de cada subcuenca (SC1, SC2 y SC3), dado por el Q85 para derechos de ejercicio permanente y Q10 para derechos eventuales, menos los recursos comprometidos (consuntivos).

TIPO DE INFORMACIÓN	Base de datos (Excel)			
TÍTULO	Derechos de aguas registrados en DGA. Región del Biobío			
AÑO	2018			
ELABORADO POR	Dirección General de Aguas (DGA)			
AUTOR(ES)	Dirección General de Aguas (DGA)			
ALCANCE GEOGRÁFICO	Internacional	Nacional	Inter-Regional	Regional
				•
ÁMBITO GEOGRÁFICO	Región	Provincia	Cuenca(s)	
	Biobío	Ñuble, Concepción, Arauco, Biobío	Todas las incluidas en la región del Biobío	
TIPO DE ANTECEDENTES	Caracterización Hidrológica	Caracterización Hidrogeológica	Caracterización Hidrogeoquímica	Otros
				Derechos de aguas
OBJETIVO(S) DE LA INFORMACIÓN				
Derechos de aguas concedidos y en trámite de la región del Biobío.				
RESULTADOS DE INTERÉS				
<p>Derechos de aguas subterráneos concedidos y en trámite en la zona de estudio pertenecientes a la cuenca del río Laja. Fecha de actualización: 08/06/2018. La tabla incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • COD_EXP. Código de Expediente de cada solicitud. • N_SOL. Número de solicitud dentro de cada COD_EXP. • REGION/PROV/COM. Región, provincia y comuna. • NOM_SOL. Nombre del solicitante del derecho. • FECH_RES/N_RES/FECH_TOM. Fecha de la Resolución, número y fecha de la toma de razón. • TIPO. Consuntivo. • NAT_AGUA. Subterránea. • CLAS_AGUA. Acuífero. • USO. Riego, Uso Industrial, Bebida/Uso Doméstico/Saneamiento, Otros Usos. • CCA/SUCCA/SSUBCCA. Cuenca, subcuenca, subsubcuenca. • FUENTE. Pozo profundo, puntera, etc. • ENE/FEB/MAR/ABR/MAY/JUN/JUL/AGO/SEPT/OCT/NOV/DIC. Caudal mensual correspondiente. • EJERC_D. Ejercicio del derecho (permanente y continuo, permanente y discontinuo, eventual y continuo, eventual y discontinuo, etc.). • Q_ANUAL/Q_UNID. Caudal anual y unidad del caudal. • Huso/Datum. • UTM N/UTM E. Coordenadas UTM. 				

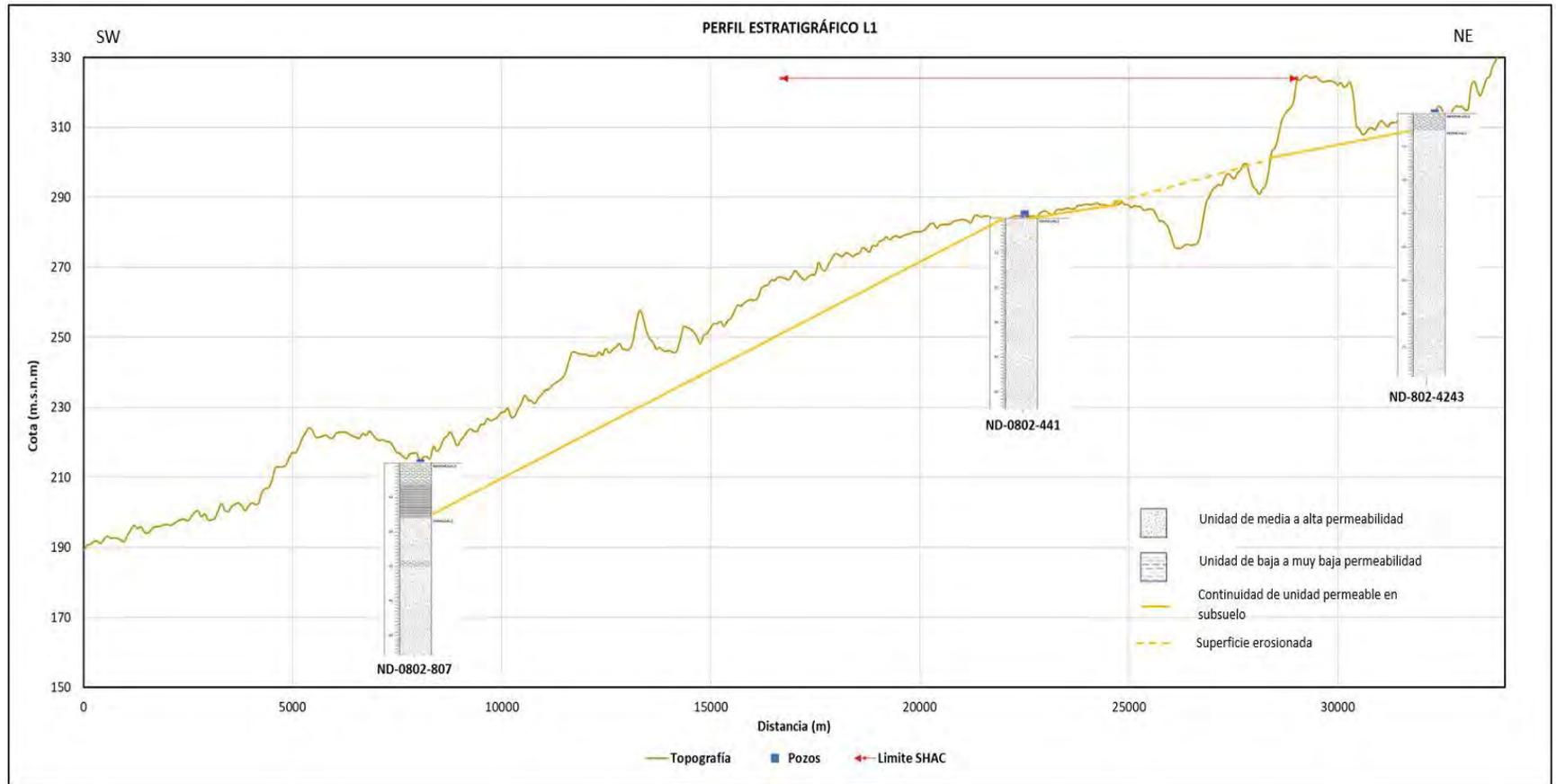
8.2 Caracterización hidrológica

Identificación			Precipitación (mm)												
N°	BNA	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1	08122003-4	Tucapel	27,6	32,0	41,3	107,1	238,5	306,0	251,5	204,6	124,2	101,4	60,5	40,9	1.535,8
2	08301001-0	Liucura	21,7	16,3	22,8	62,7	126,2	180,0	106,1	81,5	67,3	64,4	38,9	35,8	823,7
3	08304004-1	Lonquimay	31,0	31,3	42,9	93,3	196,2	289,6	229,8	187,4	116,0	113,8	71,8	54,1	1.457,2
4	08316001-2	Quillailleo	41,9	53,6	64,1	125,2	299,1	400,2	361,3	278,6	163,6	164,4	97,4	74,6	2.124,0
5	08317001-8	Río Biobío en Rucalhue	33,3	42,9	48,7	105,9	203,8	296,9	261,4	204,6	119,5	102,5	72,8	61,3	1.553,6
6	08317003-4	Cerro El Padre	46,3	48,9	57,2	132,3	304,0	389,1	327,4	265,4	161,0	140,2	89,9	81,2	2.043,0
7	08318002-1	Quilaco	31,6	33,2	40,4	95,8	225,7	281,8	241,3	200,2	123,4	103,7	64,7	59,4	1.501,2
8	08319002-7	San Carlos de Puren	19,3	22,6	30,5	73,4	182,3	221,6	184,1	152,7	86,5	72,0	44,4	40,2	1.129,6
9	08320001-4	San Lorenzo en Biobío	41,0	56,7	60,9	135,8	289,8	371,8	337,9	259,7	179,9	146,7	92,3	65,5	2.038,0
10	08324001-6	Duqueco	17,8	19,6	26,6	67,0	171,1	183,7	182,0	138,1	81,0	63,3	43,5	38,7	1.032,3
11	08330002-7	Pilquen	29,5	31,0	42,4	109,7	277,4	353,2	287,5	240,1	129,1	99,4	63,5	53,0	1.715,8
12	08332002-8	Mulchén	22,4	24,4	30,5	80,9	191,7	230,8	200,4	169,7	96,1	73,4	50,2	44,1	1.214,5
13	08334002-9	Los Ángeles	17,2	19,8	26,9	68,8	180,0	205,2	180,8	146,3	83,9	61,0	41,7	33,4	1.065,1
14	08343002-8	Encimar Malleco	41,9	40,4	64,9	131,1	287,4	350,4	329,4	277,6	155,1	138,3	90,1	77,7	1.984,3
15	08350002-6	Laguna Malleco	73,6	70,3	87,4	202,6	428,6	539,6	470,6	381,3	237,2	223,4	148,5	116,6	2.979,7
16	08351003-K	Collipulli	28,8	25,4	39,2	79,0	193,9	246,2	220,7	162,3	100,8	77,1	46,9	39,1	1.259,5
17	08353001-4	Ercilla (Vida Nueva)	25,2	26,1	36,1	86,1	202,0	238,4	231,7	192,5	100,5	86,8	64,1	47,0	1.336,4
18	08358002-K	Angol (La Mona)	14,4	14,6	23,1	57,3	194,6	222,9	225,4	159,1	79,5	53,2	31,8	21,3	1.097,3
19	08358003-8	El Vergel (Angol)	15,8	16,6	20,1	64,2	173,6	171,1	174,4	131,5	71,9	46,3	22,1	22,7	930,3
20	08358004-6	Poco A Poco	61,3	54,3	68,0	169,0	372,0	428,4	370,7	326,3	191,0	157,2	113,7	62,6	2.374,4
21	08358005-4	Parque Nahuelbuta	34,3	26,7	35,9	94,0	250,1	336,1	262,8	253,1	111,6	87,7	52,1	40,6	1.585,1
22	08364001-4	Las Achiras	16,4	21,4	28,8	64,5	167,4	206,1	173,1	132,0	80,2	63,1	41,8	35,1	1.029,9
23	08367001-0	Laja	16,8	11,6	20,2	65,2	172,4	221,3	182,4	142,0	70,2	55,1	33,9	14,7	1.005,7
24	08380001-1	Río Laja en Tucapel	25,7	36,9	30,5	99,1	203,1	263,8	214,0	204,5	101,6	90,2	47,5	52,4	1.369,3
25	08394001-8	Río Biobío en Desembocadura	11,9	13,5	15,0	60,5	154,3	197,6	178,8	141,2	66,8	42,7	24,1	24,1	930,6
26	08410001-3	Concepción DGA	19,7	19,8	22,9	74,4	206,6	253,5	232,5	182,4	87,9	69,7	36,9	24,5	1.230,7
27	370033	María Dolores Los Ángeles Ad.	24,2	21,1	34,1	71,6	169,9	249,1	210,3	148,3	97,5	66,4	40,8	28,3	1.161,6
28	08123004-8	Cholguán	25,2	26,1	35,5	86,8	199,9	261,2	234,1	178,8	111,2	81,5	49,4	35,6	1.325,1
29	08132002-0	Pemuco	20,9	24,2	27,8	74,6	195,9	231,9	202,4	157,3	97,1	78,5	42,2	34,0	1.186,8

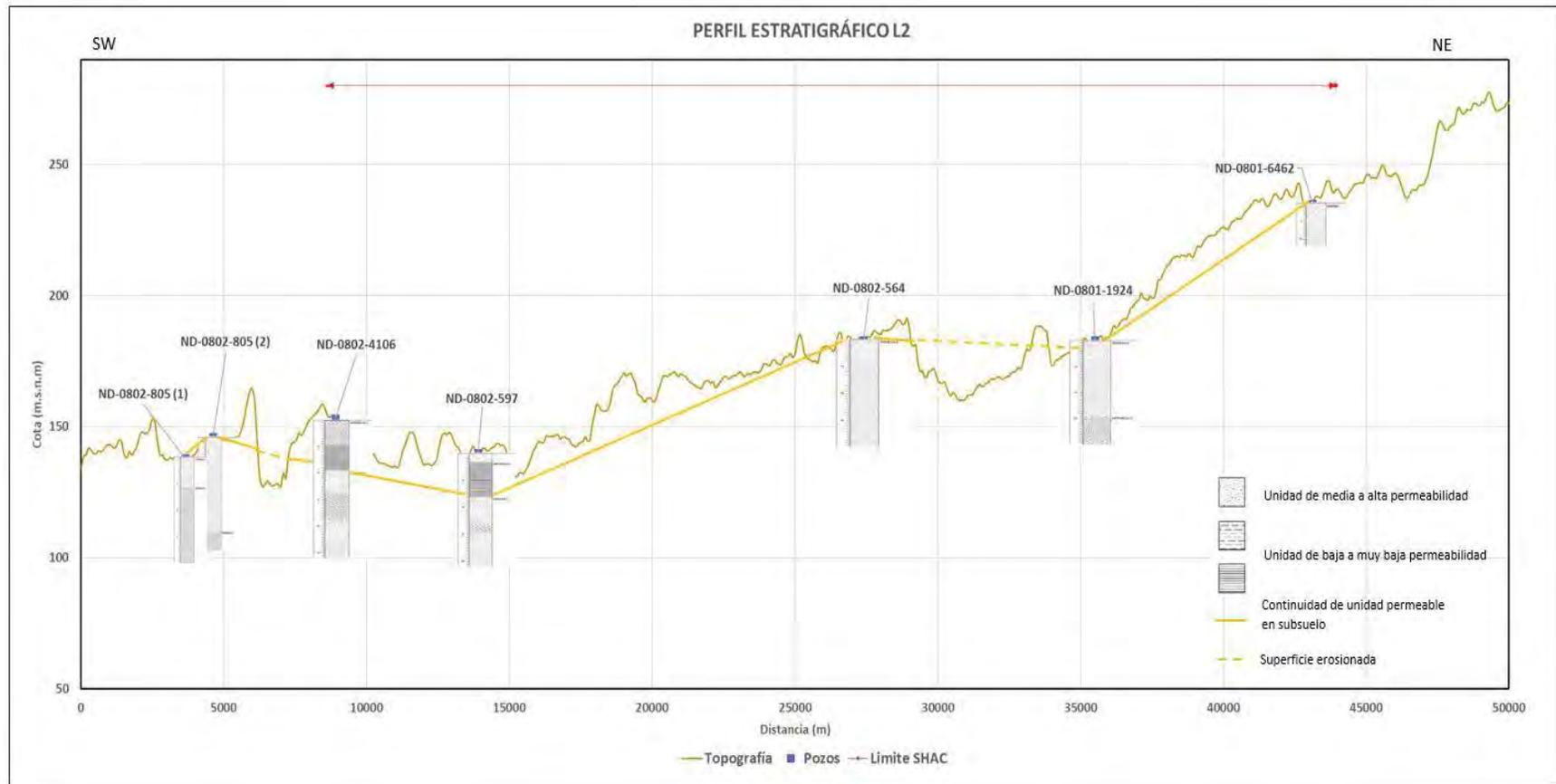
Identificación			Precipitación (mm)												
N°	BNA	Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
30	08133003-4	Chillancito	11,6	13,9	19,8	59,6	174,4	227,1	195,0	140,1	81,5	52,2	29,6	19,0	1.023,7

Fuente: Elaboración propia.

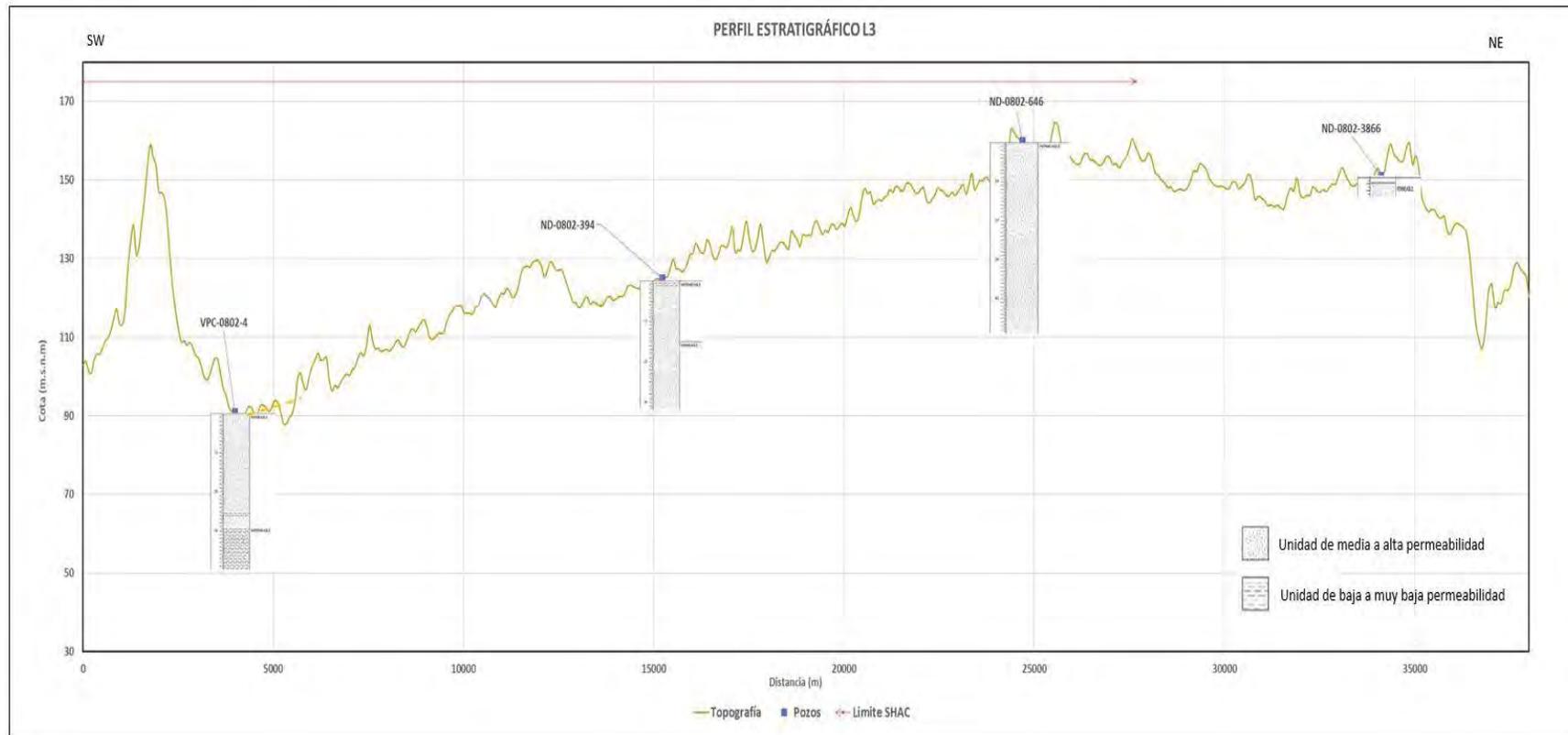
8.3 Perfiles estratigráficos



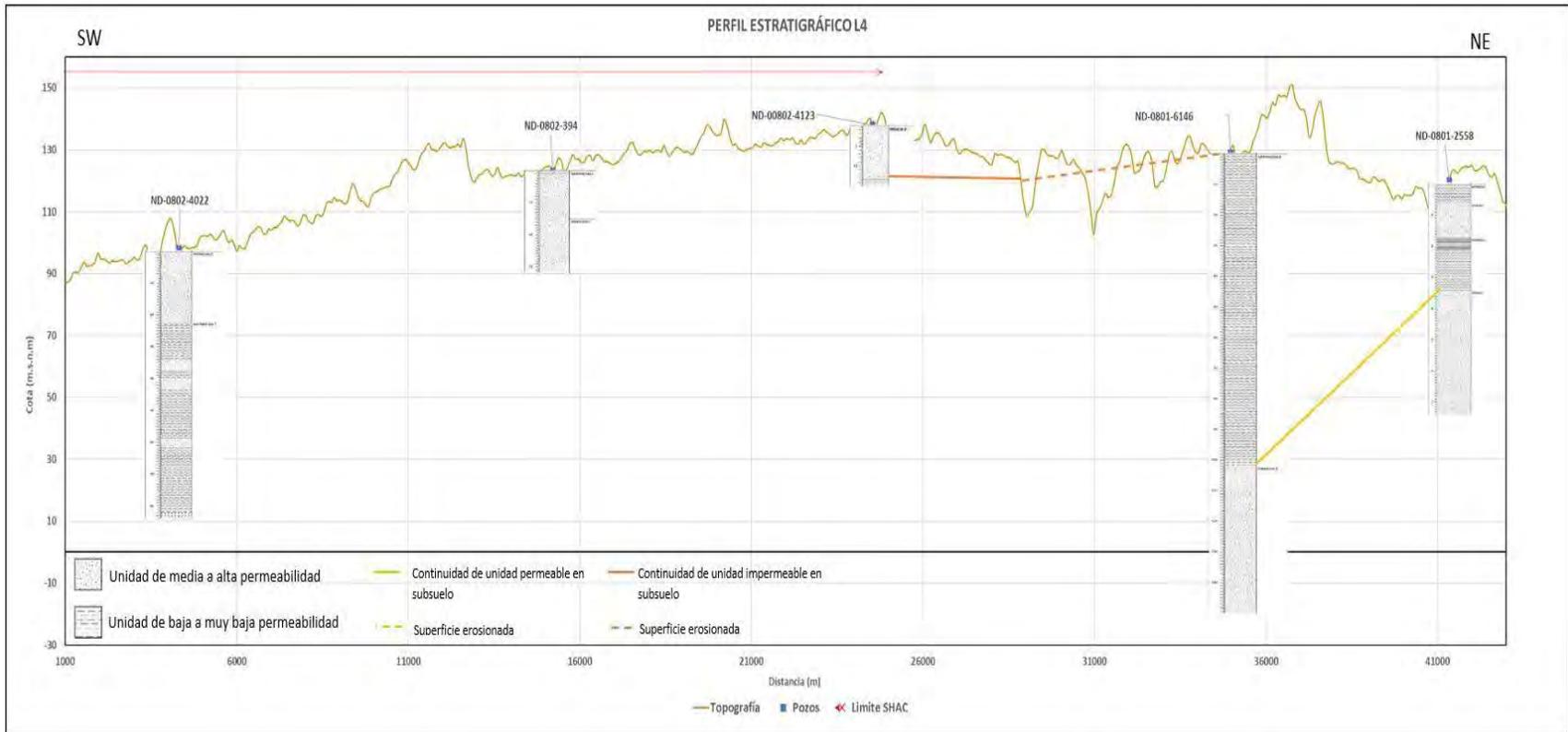
Sección estratigráfica L1



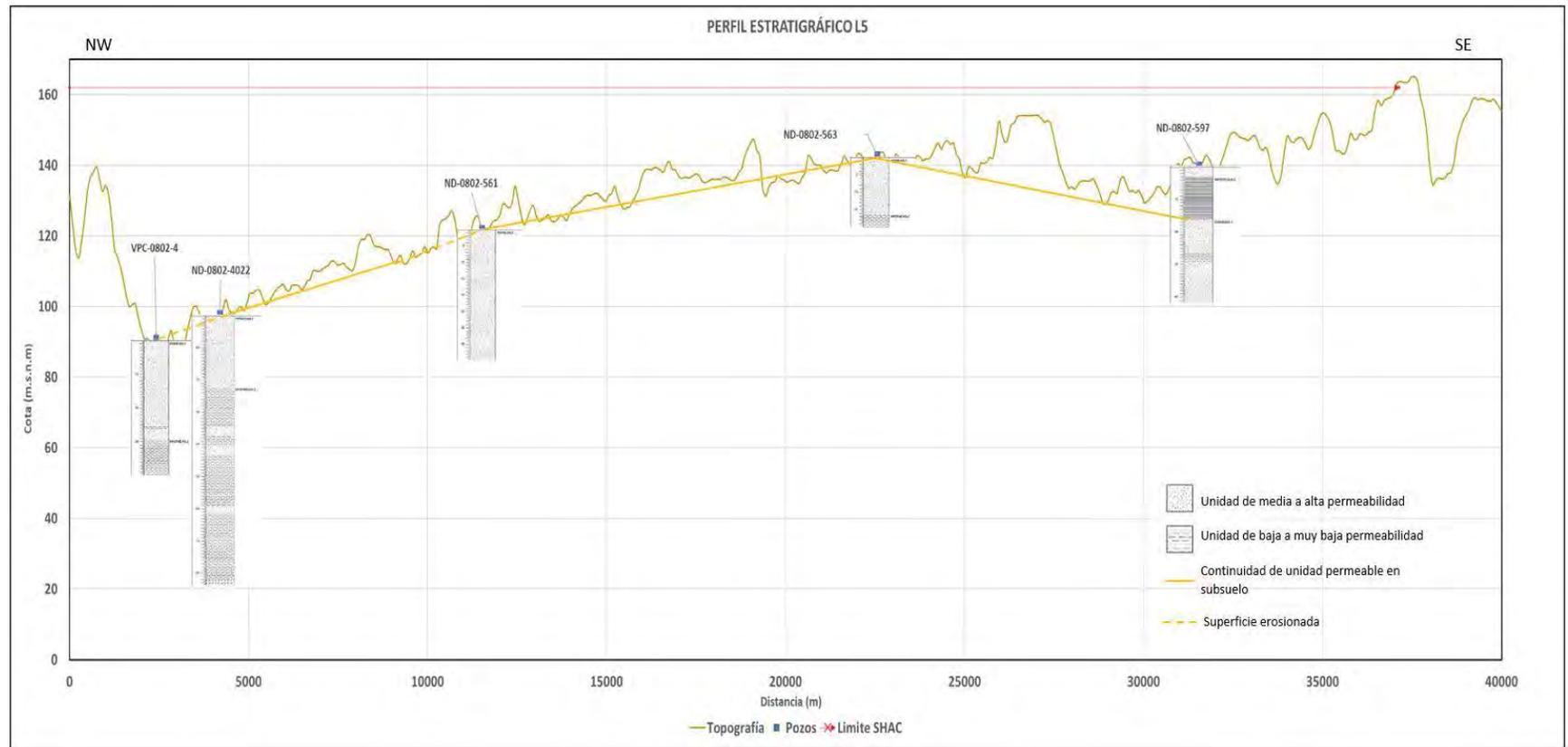
Sección estratigráfica L2



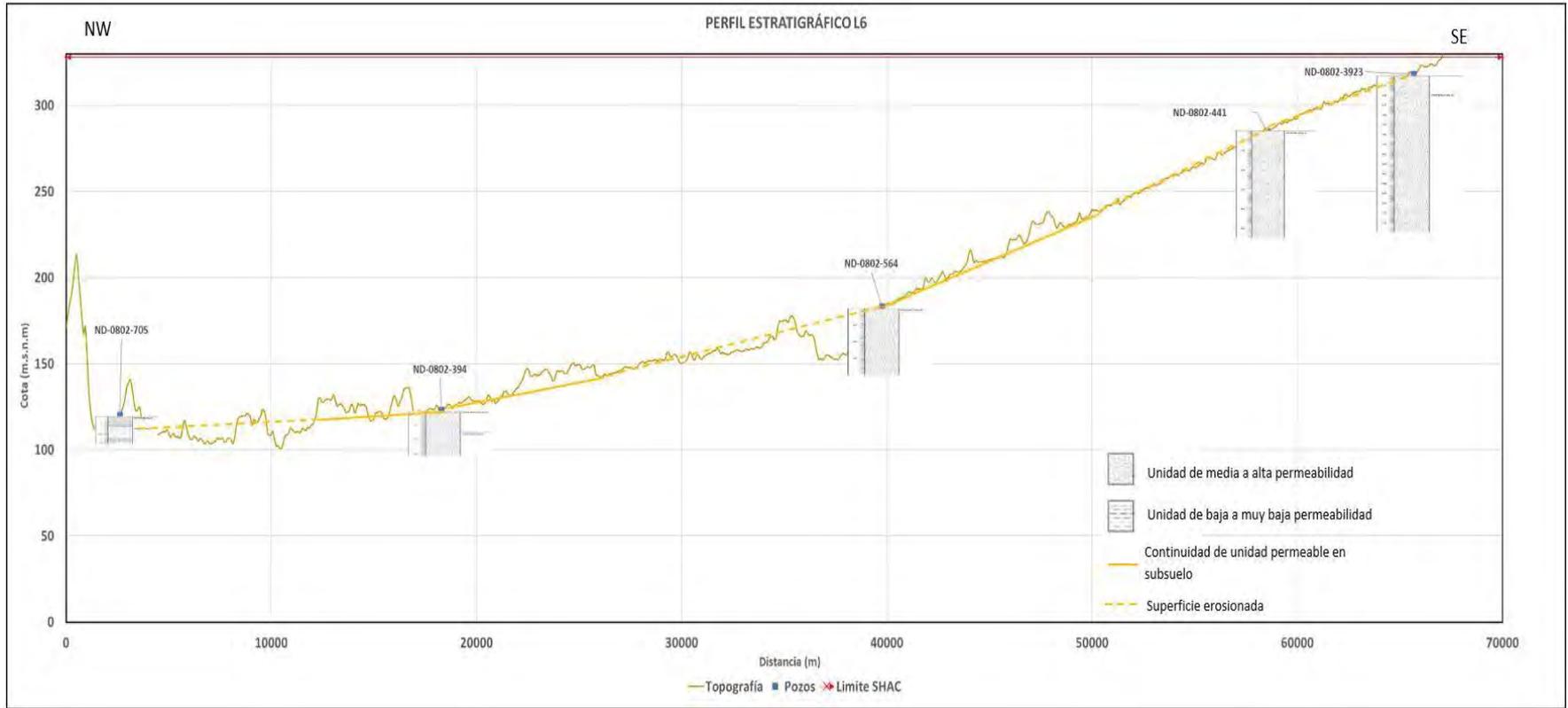
Sección estratigráfica L3



Sección estratigráfica L4

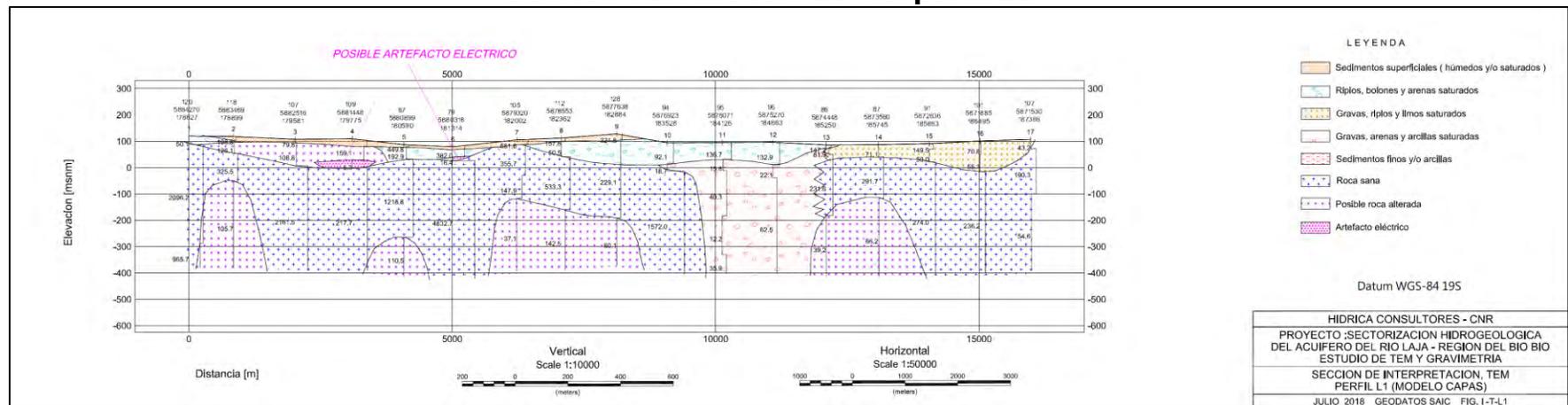
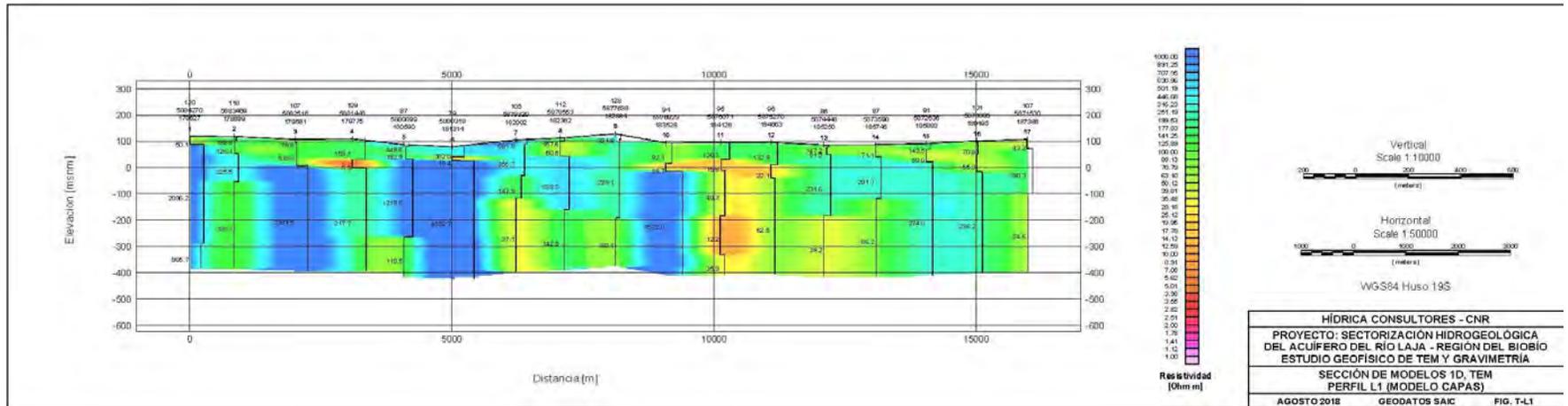


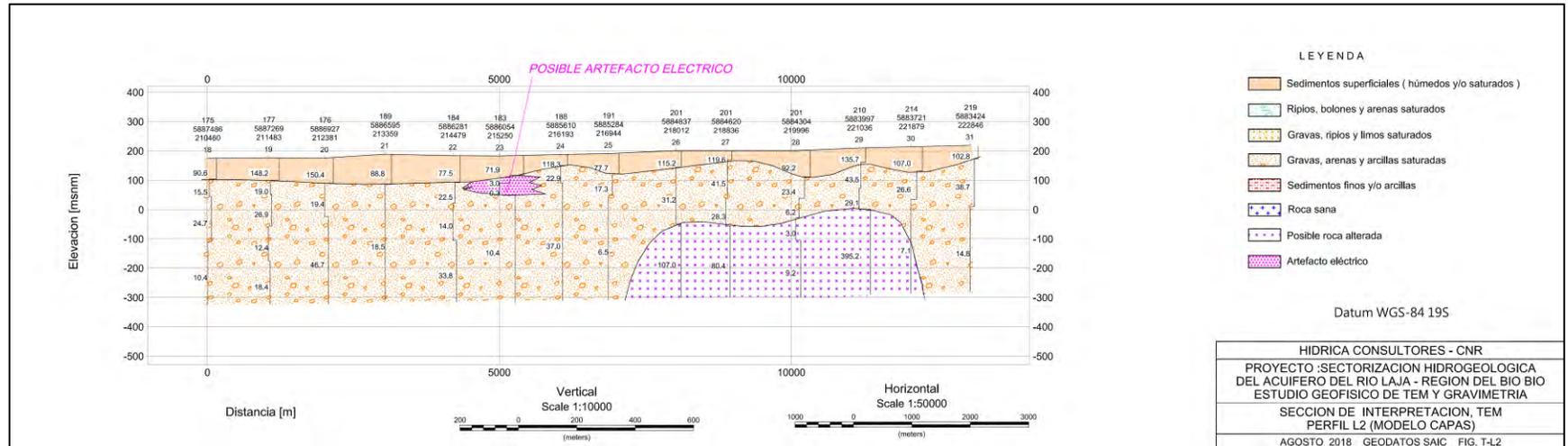
Sección estratigráfica L5



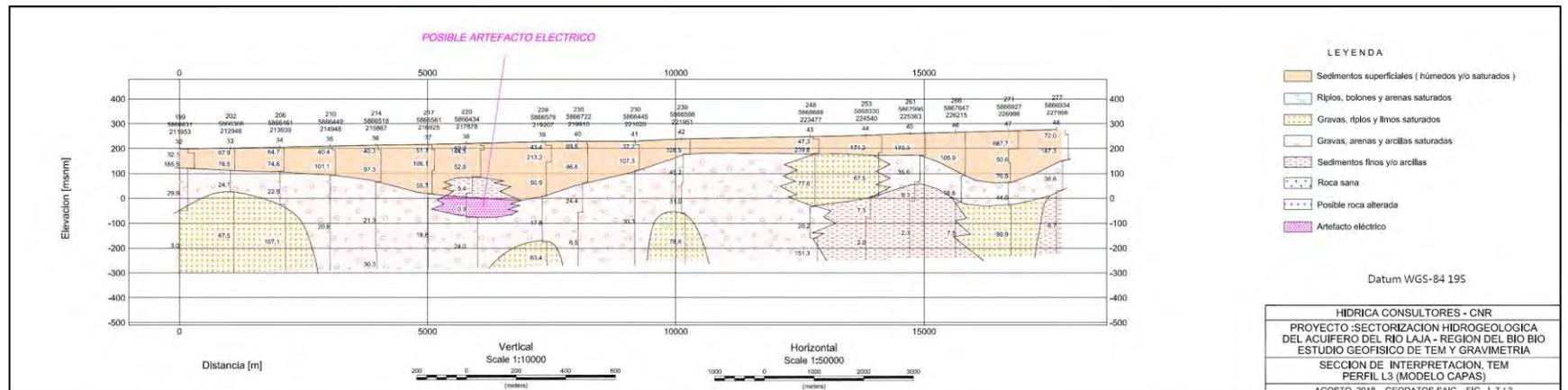
Sección estratigráfica L6

8.4 Interpretación TEM

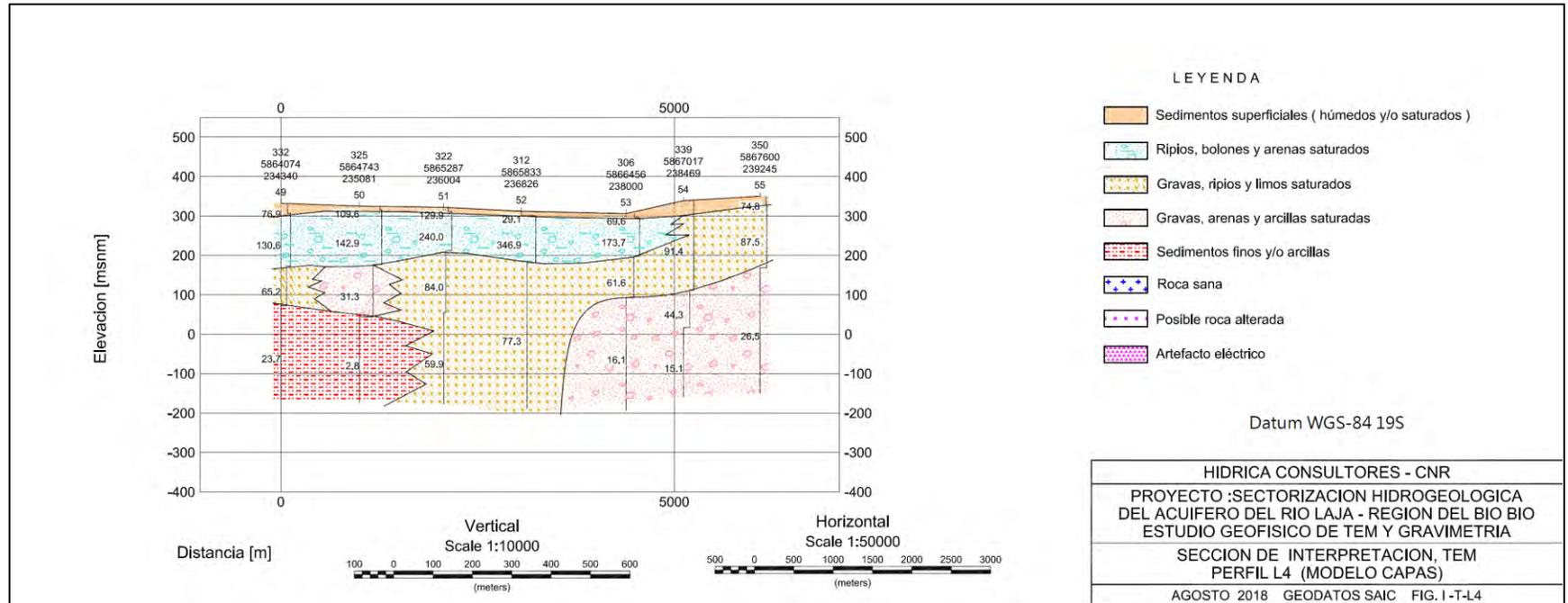




Sección de interpretación TEM del perfil L2



Sección de interpretación TEM del perfil L3



Sección de interpretación TEM del perfil L4