



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
REGIÓN DEL BIOBIO**

ACTUALIZACIÓN ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARQUE ESCUADRÓN

INFORME FINAL

**REALIZADO POR:
RHYMA INGENIERÍA SpA**

JUNIO, 2016

**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Comercial Sr. Alberto Undurraga Vicuña**

**Director General de Aguas
Abogado Sr. Carlos Estévez Valencia**

**Director Regional de Aguas. Región del Biobío
Ingeniero Civil Sr. Cesar Saavedra Segura**

**Inspector Fiscal
Sr. Luis Díaz Caamaño**

RHYMA INGENIERÍA SpA

**Jefa de Proyecto
Geóloga Sra. Carmen Copier Mella.**

**Profesionales
Ingeniero Civil Sr. Maximiliano Arriagada U.
Ingeniero Civil Sr. Daniel Valdés P.
Geógrafo Sr. Javier Fuentes T.
Ingeniero Civil Sr. Carlos Toledo Ll.**

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.	7
2. ANTECEDENTES.	8
2.1. Contexto regional.	9
2.2. Antecedentes hidrometeorológicos.	10
3. OBJETIVOS.	18
3.1. Objetivo general.	18
3.2. Objetivos específicos.	18
4. RECOPIACIÓN DE DATOS Y TRABAJOS DE TERRENO.	19
4.1. Recopilación y análisis de antecedentes.	19
4.2. Catastro de captaciones subterráneas.	22
4.2.1. Trabajos de terreno.	22
4.2.2. Georreferenciación.	24
4.2.3. Mediciones de aguas subterráneas y llenado de fichas.	33
4.3. Participación Ciudadana (PAC).	40
5. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN.	48
5.1. Caracterización hidrológica.	48
5.1.1. Antecedentes previos.	48
<input type="checkbox"/> Caracterización hidrográfica.	48
<input type="checkbox"/> Régimen de Precipitaciones y Variación Estacional.	49
<input type="checkbox"/> Uso de las aguas superficiales.	51
<input type="checkbox"/> Evaporación.	52
5.1.2. Selección de Cuencas.	53
5.1.3. Parámetros morfométricos.	57

5.1.4.	Unifilares.	72
5.1.5.	Análisis hidrológico.	79
5.2.	Geofísica.	104
5.2.1.	Método Transiente Electromagnético.	104
<input type="checkbox"/>	Descripción del Método.	104
<input type="checkbox"/>	Instrumentación.	108
5.2.2.	Metodología Gravimetría.	109
<input type="checkbox"/>	Descripción del método.	109
<input type="checkbox"/>	Instrumentación.	112
5.2.1.	Campaña de terreno.	112
<input type="checkbox"/>	Transiente Electromagnético TEM.	112
<input type="checkbox"/>	Gravimetría.	118
5.3.	Caracterización hidrogeológica.	120
5.3.1.	Caracterización Geomorfológica.	120
5.3.2.	Caracterización Geológica.	122
5.3.3.	Unidades Hidrogeológicas.	126
5.3.4.	Geometría Acuífera.	126
<input type="checkbox"/>	Gravimetría.	126
<input type="checkbox"/>	Transiente Electromagnético TEM.	128
5.3.5.	Parámetros Acuíferos.	134
<input type="checkbox"/>	Permeabilidad k.	135
<input type="checkbox"/>	Coeficiente de Almacenamiento.	136

<input type="checkbox"/>	Transmisividad T.....	137
5.3.6.	Piezometría.....	137
5.4.	Intrusión salina.	138
5.4.1.	Caracterización de acuíferos costeros.....	139
5.4.2.	Caracterización de la cuña de intrusión marina.....	140
5.4.3.	Métodos para caracterizar la cuña de intrusión marina.....	144
<input type="checkbox"/>	Modelos Matemáticos.....	145
<input type="checkbox"/>	Métodos indirectos.....	147
<input type="checkbox"/>	Métodos directos.....	148
5.4.4.	Resultados.	150
5.4.5.	Análisis Intrusión Salina	153
<input type="checkbox"/>	Metodología	153
<input type="checkbox"/>	Aplicaciones.....	154
6.	MODELO HIDROGEOLÓGICO.	166
6.1.	Modelo SIMED.....	173
7.	PROYECTO SIG.....	174
8.	CONCLUSIONES.	182

ANEXOS.

ANEXO 1. FICHAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXO 2. INFORME POST PROCESO.

ANEXO 3. DIFUSIÓN.

ANEXO 4. PAC.

ANEXO 5. FICHAS CAPTACIONES SUBTERRÁNEAS.

ANEXO 6. DIAGRAMA DE ARBOL.

ANEXO 7. BASE DE DATOS CBR.

ANEXO 8. SIG.

ANEXO 9. EXPEDIENTES.

ANEXO 10. GEOFÍSICA.

ANEXO 11. CALCULOS GENERALES.

1. INTRODUCCIÓN.

El presente informe corresponde a la entrega final del estudio encargado por la Dirección General de Aguas, región del Biobío, denominado “**Actualización Modelo Hidrogeológico Parque Escuadrón**”, en cumplimiento con lo exigido en las Bases Técnicas y propuesta metodológica de la Consultora.

La primera etapa consideró la recopilación de antecedentes tales como: estudios relacionados, el catastro físico de captaciones de aguas subterráneas de la zona de estudio, la difusión del proyecto mediante la ejecución de talleres de participación ciudadana, la determinación de la demanda de aguas subterráneas y el avance preliminar del proyecto SIG.

En la segunda etapa, se incluyó la caracterización hidrológica e hidrogeológica, además de definir zonas de intrusión salina.

La tercera etapa, incluirá la modelación hidrogeológica conceptual, la cuantificación estimativa de los volúmenes almacenados, flujos existentes, la determinación de las posibles interrelaciones entre acuíferos, el balance hídrico general y la estimación de la recarga neta para cada acuífero.

La cuarta etapa, corresponderá al informe final, resumen ejecutivo y las conclusiones del estudio.

2. ANTECEDENTES.

La Dirección General de Aguas (DGA o el Servicio) es el organismo del Estado encargado de los recursos hídricos, tiene como misión el promover la **gestión y administración** del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y **asignación eficiente**; proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas, con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas.

Considerando este aspecto, es que dentro de sus funciones se encuentran las siguientes:

- i. **Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.**
- ii. **Constituir derechos de aprovechamiento de aguas.**
- iii. **Investigar y medir el recurso hídrico.**
- iv. Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente.
- v. Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.
- vi. Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.
- vii. Supervigilar el funcionamiento de las Organizaciones de Usuarios, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas.

Es en el contexto de los puntos i, ii y ii, y con el fin de que los recursos hídricos sean aprovechados de manera eficiente y sustentable, tanto en el presente como en el futuro, y considerando la creciente demanda de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, en la zona en que se enmarca el estudio, junto con las variaciones climáticas que se estiman para el mediano y largo plazo, se producirá un estrés en las cuencas y la disponibilidad de los recursos, esto será particularmente notorio en las cuencas costeras, que tienen como única **fuentes de recarga, las precipitaciones**. Esto, se estima, generará un aumento en la cantidad de solicitudes de derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas. Es por esta razón que se hace necesario contar con información actualizada de la zona de estudio, en particular, existe un estudio hidrológico e hidrogeológico, elaborado el año 1992, por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., es por esta razón que la DGA ha estimado pertinente elaborar un estudio en el cual se actualice el anterior estudio, agregando y complementando la información y elaborando un modelo actualizado, que incluya el balance hídrico actual.

La zona de interés, cuenta con control meteorológico cercano, no cuenta con control fluviométrico y cuenta con control de nivel de aguas subterráneas en la zona norte del sector de interés. Por otro lado, cuenta con un uso intensivo de recursos de aguas subterráneas en el sector costero y en la zona cercana al río Biobío.

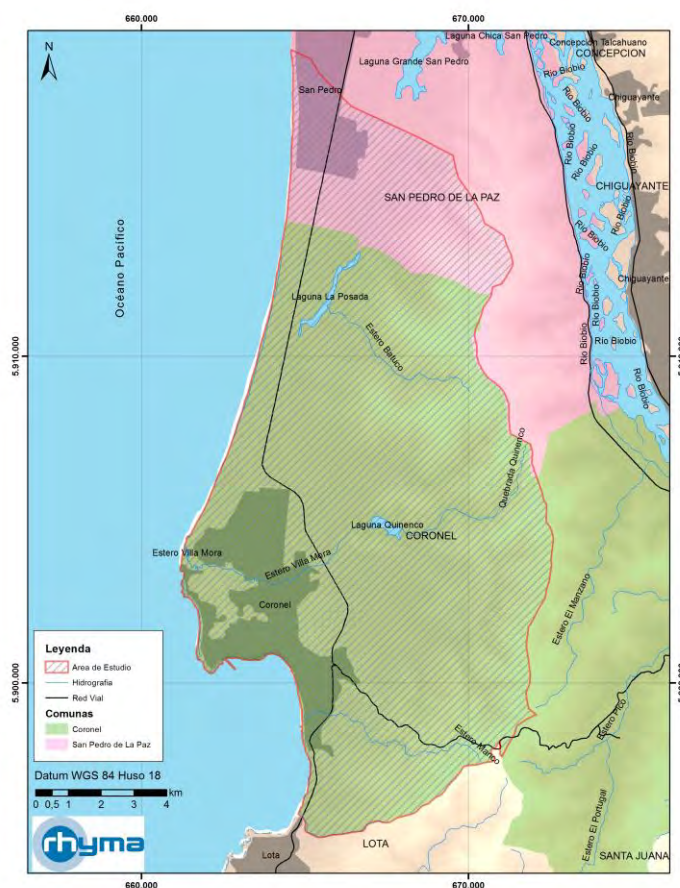
2.1.Contexto regional.

El proyecto se enmarca geográficamente en la región del Bío Bío, en particular en la zona costera, incluye las comunas de San Pedro de la Paz y Coronel, que se enmarcan en las subsubcuencas costeras “entre río Biobío y río Manco” y “entre río Manco (incluido) y río Laraquete”.

Además, en caso de ser procedente, se incluirán los afluentes o aportes laterales existentes en esta zona para los efectos de la hidrología, así como también, las zonas de relleno sedimentario relevantes ubicados dentro de cada área de estudio.

En la figura N° 1 se presenta la zona de estudio, que incluye las comunas y subsubcuencas.

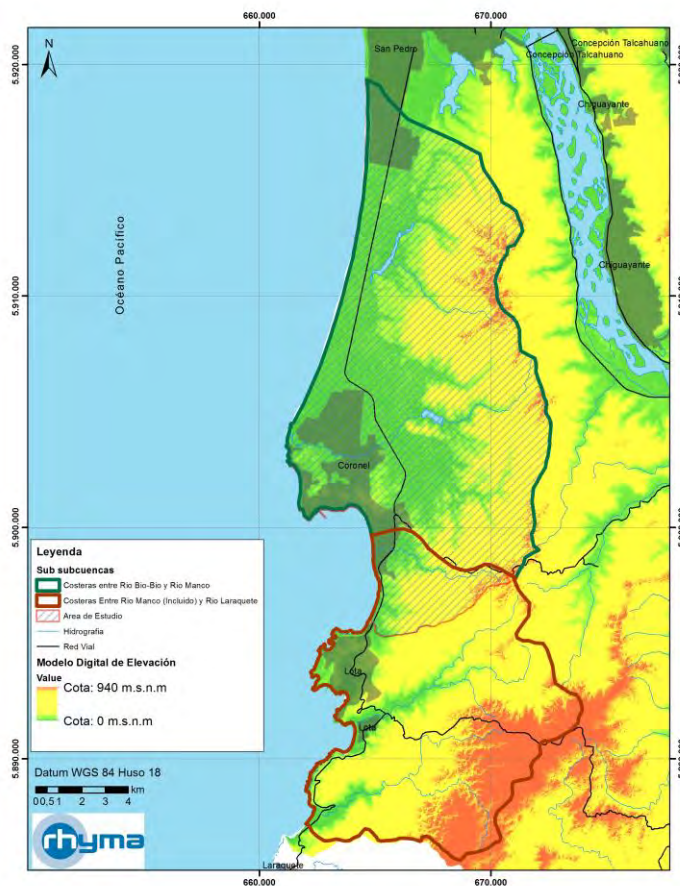
Figura N° 1. Ubicación general de zona de estudio.



Fuente. Elaboración propia

En la figura N° 2 se presenta el área hidrológica de interés, según las subsubcuencas definidas por la DGA, la hidrografía y el modelo de elevación digital.

Figura N° 2. Subsubcuencas de interés.



Fuente. Elaboración propia

2.2. Antecedentes hidrometeorológicos.

En la región del Biobío, la DGA cuenta con una red de monitoreo de aguas subterráneas, de 23 pozos, los que se presentan en la tabla N° 1, y se ven distribuidos espacialmente en la figura N° 3.

De esta red de pozos, tan solo uno, se encuentra inserto en la zona de estudio, "Escuela Galvarino San Pedro de la Paz". Esta estación cuenta con registros desde el año 2013, sin embargo, en el sitio web de la DGA, en la sección "Estadística hidrológica en línea" no se puede descargar la información, lo mismo ocurre con el resto de las estaciones de aguas subterráneas de la región.

Por otro lado, la zona de interés no presenta control fluviométrico, tal y como se observa en la figura N° 5. Sin embargo, existen cuencas costeras, al sur de la zona de estudio que si cuenta con control fluviométrico, lo que puede ser de utilidad para generar estadísticas sintéticas,

utilizando técnicas convencionales de transposición, para esto antes revisaremos las propiedades de las cuencas y las distribuciones de precipitación.

La zona de estudio presenta una interesante densidad de estaciones meteorológicas, que priorizan la medición de las precipitaciones. En la tabla N° 2 se presentan las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio.

Tabla N° 1. Red Hidrométrica Nacional. Red subterránea. Región del Bio Bio.

Código BNA	Nombre
8106004-5	CAMINO TRES ESQUINAS S/N
8110002-0	ESCUELA G-150 SAN CARLOS
8114002-2	INTERNADO MUNICIPAL CLAUDIO ARRAU
8115003-6	COCHARCAS
8117010-K	COLONIA BERNARDO O'HIGGINS LOTE 14
8117011-8	JARDINES DE LAUTARO, PINTO
8131003-3	ANIBAL PINTO 426
8134004-8	ARTURO PRAT 634
8134005-6	SECTOR LAS CRUCES
8140006-7	ESCUELA LOS OLIVOS BATUCO RANQUIL
8140007-5	CEMENTERIO EN RANQUIL
8143000-4	SEDE COMUNITARIA PORTEZUELO RINCOMAVIDA
8144003-4	COYANCO
8318003-K	LICEO CARDENAL ANTONIO SAMORE
8322000-7	ESTADIO MUNICIPAL
8330004-3	PARCELA N°2
8358006-2	ASOC. CANALISTAS BIOBIO SUR
8362002-1	PISCINA MUNICIPAL
8366003-1	LOS CHONOS 1275
8381012-2	CONSULTORIO EN CAMPANARIO
8384000-5	MUNICIPALIDAD
8385005-1	ESTADIO MUNICIPAL YUMBEL
8410004-8	ESCUELA GALVARINO SAN PEDRO DE LA PAZ

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 2. Red Hidrométrica Nacional. Red meteorológica. Zona de interés.

Código BNA	Nombre
08520000-3	Carampangue
08367001-0	Laja
08393002-0	Estero Hualqui en desembocadura
08410001-3	Concepción DGA.
08394001-8	Río Biobio en desembocadura
08220008-8	Estero Nonguen frente u. del Bio bio
08220006-1	Andalien
08220005-3	Las Pataguas

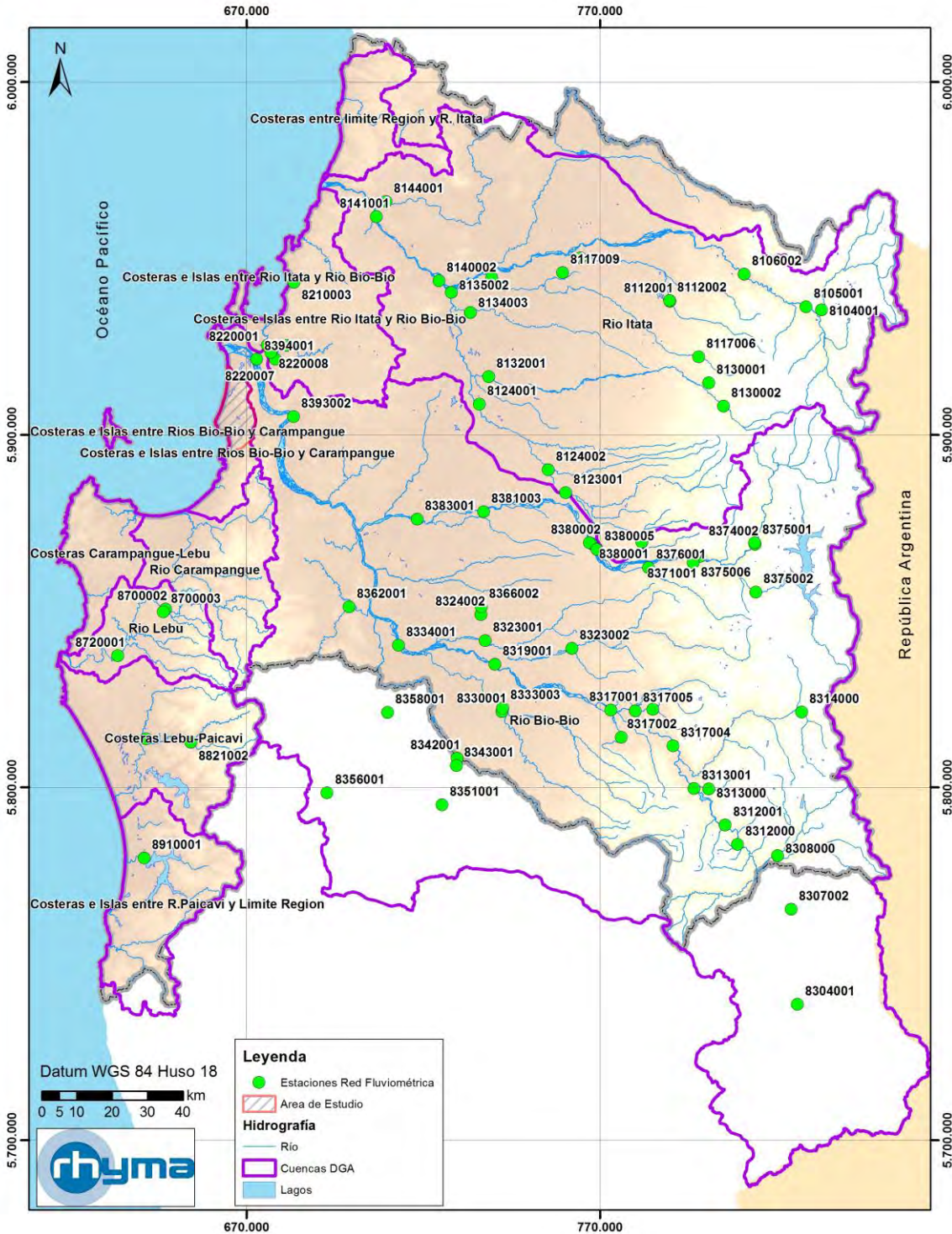
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 3. Red Hidrométrica Nacional. Red subterránea. Región del Bio Bio.



Fuente. Análisis Crítico Red Hidrométrica Nacional. Zona Sur. 2014

Figura N° 4. Red Hidrométrica Nacional. Red fluviométrica. Región del Bio Bio.



Fuente. Análisis Crítico Red Hidrométrica Nacional. Zona Sur. 2014

Figura N° 5. Red Hidrométrica Nacional. Red meteorológica. Región del Bio Bio.



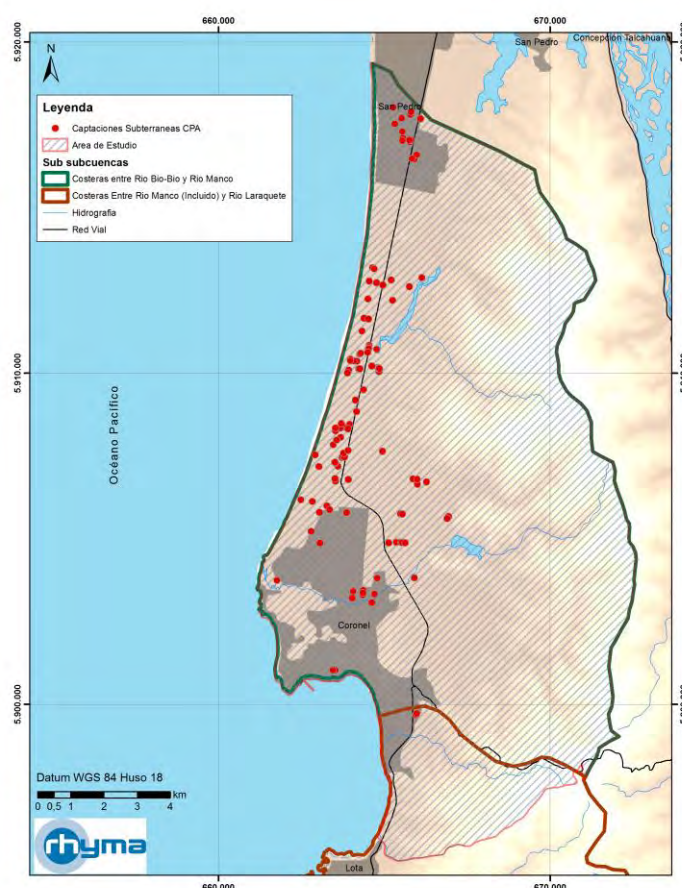
Fuente. Análisis Crítico Red Hidrométrica Nacional. Zona Sur. 2014

En las comunas de San Pedro de la Paz y de Coronel, además de encontrar los centros urbanos de San Pedro y Coronel, podemos observar otras localidades menores, como son el caso de Estación Escuadrón, Quiñenco, El Patagual, Santa Rosa, Colcura, El Manzano y San José de Palco, entre otras.

En esta zona existe una gran cantidad de usuarios de aguas subterráneas, considerando los usuarios con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, en las comunas de San Pedro de la Paz y Coronel, se cuentan 147 captaciones, de las cuales 139 se encuentran en el sector costero. Estos usuarios se pueden observar en la figura N° 6.

Dado que se trata de un acuífero costero, y considerando la existencia de una gran cantidad de usuarios de aguas subterráneas, la cual se estima aumentará en el tiempo, lo que podría generar una sobreexplotación del acuífero, nos lleva a clasificar al acuífero como de **alto riesgo de ocurrencia del fenómeno de intrusión salina**.

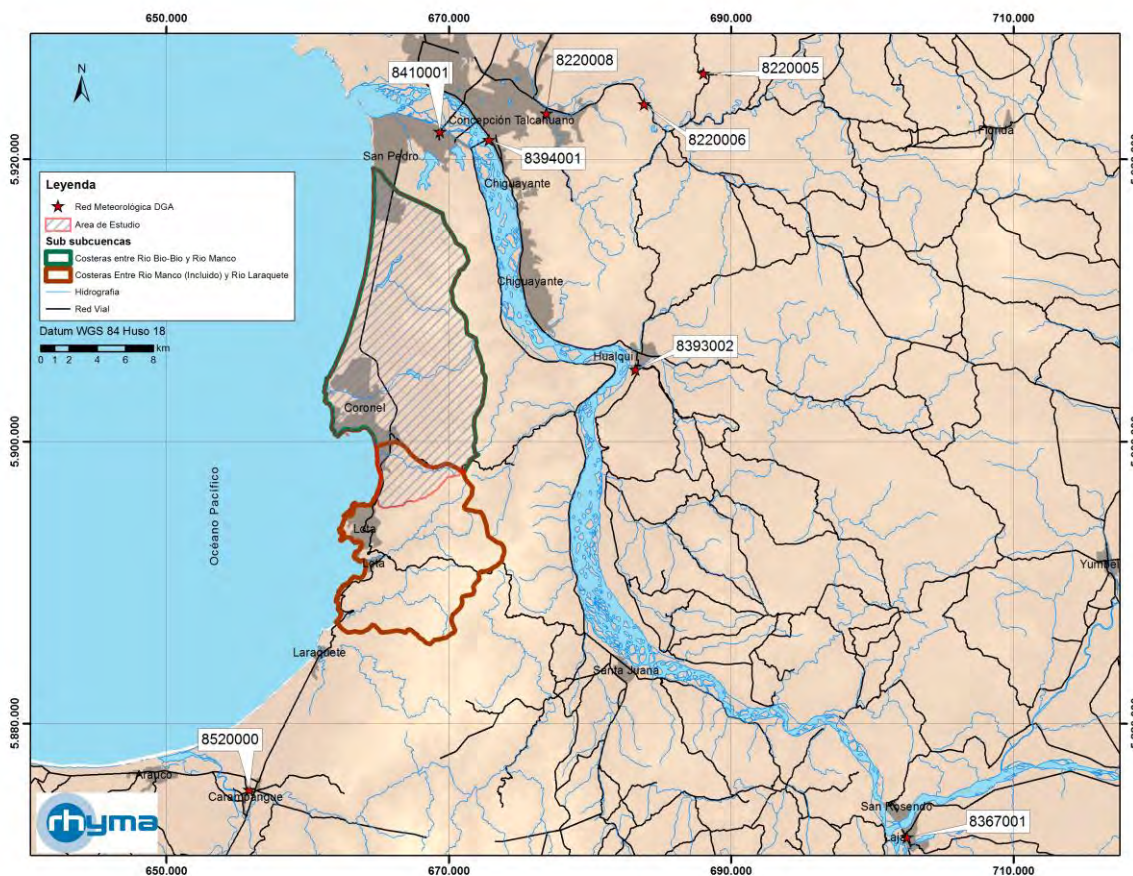
Figura N° 6. Usuarios de aguas subterráneas.



Fuente. Elaboración propia

Tal y como se mencionó anteriormente, en la zona de estudio existen 8 estaciones meteorológicas, que controlan precipitación, en la figura N° 7 se presentan dichas estaciones. Estas estaciones, en general registran información entre el año 1993 y 2009, con excepción de la estación Laja, que presenta registros desde el año 1962, en la tabla N° 3, se presentan los años con información de las estaciones aledañas a la zona de estudio. En la figura N° 8 se presentan las precipitaciones medias mensuales de las estaciones de interés, de estos datos podemos ver que las precipitaciones máximas se dan en los meses de mayo, junio, julio y agosto, que debiese corresponder al período de crecidas de la zona.

Figura N° 7. Red Hidrométrica Nacional. Red meteorológica. Zona de interés.

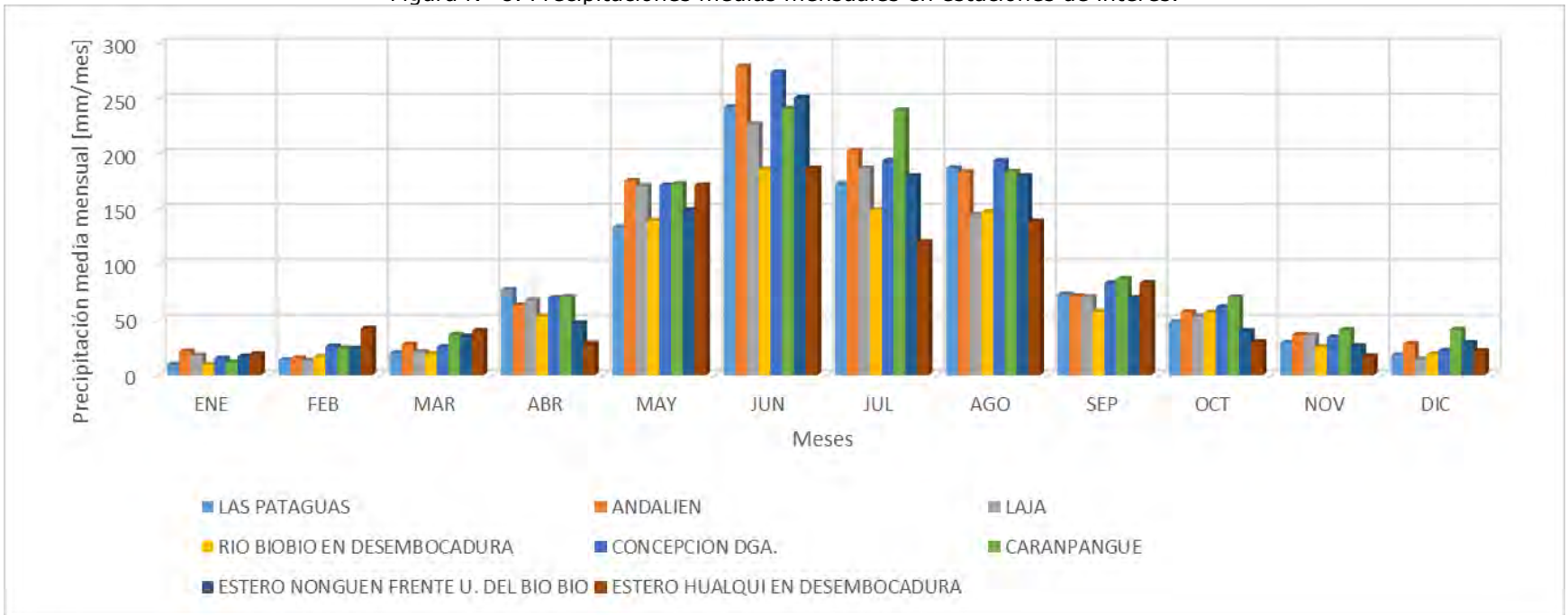


Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 3. Extensión de información de estaciones meteorológicas de interés.

[illegible]

Figura N° 8. Precipitaciones medias mensuales en estaciones de interés.



3. OBJETIVOS.

3.1.Objetivo general.

El objetivo general del estudio es **cuantificar la oferta hídrica subterránea del sistema o sistemas acuíferos que conforman el área de influencia del parque Escudrón**. Para cumplir con el objetivo general del estudio, se deben cumplir con una serie de objetivos específicos, los que se detallan en el punto siguiente.

3.2.Objetivos específicos.

Los objetivos específicos del estudio, son los siguientes:

- Definir y caracterizar los acuíferos del sistema.
 - Recopilación de antecedentes.
 - Parámetros del acuífero.
 - Geometría.
- Identificar y sistematizar la demanda de los recursos hídricos.
 - Captaciones con derechos de aguas.
 - Otras captaciones subterráneas.
 - Usos.
- Desarrollar un modelo conceptual y balance hídrico, que permita establecer las relaciones que definen el funcionamiento del acuífero.
- Determinar el fenómeno de intrusión salina, identificando la geometría de la interfaz agua dulce – agua salada.
- Generar un proyecto SIG, el cual permita representar espacialmente los resultados del estudio.
- Desarrollar un análisis integral de toda la información generada, levantada y analizada en el estudio.
- Evaluar la **disponibilidad y el uso** del recurso hídrico subterráneo, en distintos escenarios, actual y futuros.

- Que el estudio sea una herramienta para la gestión de los recursos hídricos, que permita planificar la materialización de obras hidráulicas, tales como pozos de monitoreo de niveles de aguas subterráneas y calidad de agua, fuentes de abastos de APR, etc., de tal modo de generar un **uso sustentable** de acuífero.

4. RECOPIACIÓN DE DATOS Y TRABAJOS DE TERRENO.

En este capítulo se presentan los trabajos de: recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos y referenciales, el catastro físico de captaciones de aguas subterráneas de la zona de estudio, la difusión del proyecto mediante la elaboración de talleres de participación ciudadana la determinación de la demanda de aguas subterráneas y la presentación preliminar del proyecto SIG.

4.1.Recopilación y análisis de antecedentes.

Para el desarrollo de esta consultoría se ha efectuado una completa recopilación de antecedentes, necesarios para el desarrollo y actualización del presente trabajo. La institución que más trabajos relacionados posee es el Ministerio de Obras Públicas, especialmente en la Dirección General de Aguas.

Por otra parte, de acuerdo a lo señalado en las Bases, se efectuó una revisión bibliográfica en los siguientes organismos:

- Dirección General de Aguas (DGA)
- Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)
- Comisión Nacional de Riego (CNR)
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)
- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)
- Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP)
- Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

- Conservador de Bienes Raíces (CBR)
- Instituto Geográfico militar (IGM)
- Servicio Nacional de Geología y Minería SERNAGEOMIN
- Empresas de Servicios Sanitarios en la Región
- Universidades
- Instituto Nacional de Hidráulica (INH)
- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)
- Corporación Nacional Forestal (CONAF)
- Instituto Nacional de Estadística (INE)
- Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA)
- Planes reguladores comunales.
- Planes de desarrollo comunales, etc.

Si bien cada una de estas instituciones cuenta con bibliotecas virtuales y físicas completas, no se ha encontrado textos que traten directa y específicamente sobre las características hidrológicas e hidrogeología de la zona de estudio, a excepción de los documentos propios de la DGA, e información de las comunas. Sin embargo, existe una gran cantidad de información de las otras instituciones que pueden ser de utilidad para enriquecer el análisis.

Se revisaron y analizaron una serie de estudios y antecedentes, los que se presentan en la tabla N° 4. En esta tabla se categoriza el tema de relevancia para el estudio.

Tabla N° 4. Estudio y antecedentes revisados.

Num	Título	Tema
0	Estadísticas Red Hidrométrica Nacional	Información hidrometeorológica
0	Cartas IGM	Información geográfica
0	Modelos Digitales de Elevación. Aster	Información geográfica
0	Expedientes Digitalizados	Información general
1	Hoyas Hidrográficas de Chile, 8° Región del Bio Bío, 9 Región de la Araucanía, 10° Región de los Lagos.	Calidad de aguas, análisis químico. Usos del agua, cuencas hidrográficas.
2	Caracterización de suelos en las localidades de Arauco, Colcura, San Pedro de la Paz y Concepción, mediante Prospección Eléctrica	Geofísica
3	Anexo Estudio de Riesgos Naturales y Antrópicos	Geomorfología, riesgos
4	Mapa Hidrogeológico de Chile. Escala 1:2.500.000.	Mapa Hidrogeológico
5	Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón - Coronel	Hidrología
6	Levantamiento Hidrogeológico en cuencas pluviales costeras en la Región del Libertador General Bernardo O'higgins y Región del Biobío. Resumen Ejecutivo.	Hidrogeología e Hidrología.
7	Mejoramiento y ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X, Informe Final.	Hidrogeología.
8	Aplicación de modelación superficial en cuencas pluviales de las Regiones del Maule, Biobío y La Araucanía.	Hidrología, modelación
9	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA BÍO BÍO, TOMO I	Hidrología, hidrogeología
10	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCAS BIOBÍO E ITATA. INFORME FINAL, TOMO I	Hidrología, hidrogeología
11	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCAS BIOBÍO E ITATA. CUENCA BIO-BIO, TOMO III. INFORME FINAL Y ANEXOS.	Hidrología, hidrogeología
12	Modelación Hidrogeológica Cuenca Itata-Bajo, Región del Bio bío. Informe Final	Hidrogeología
13	Intrusión Salina en Acuíferos Costeros	Hidrogeología
14	La Cuenca del Río Biobío: Historia Natural de un Ecosistema de Uso Múltiple.	Gestión RH, Impacto ambiental
15	Estudio Intrusión Salina en Acuíferos Costeros: Sector Costa Quebrada Los Choros, IV Región	Hidrogeología, hidroquímica y Geología.
16	Diagnóstico de recursos hídricos en secano interior y costero VI A VIII Región. Informe final, Resumen y conclusiones.	Gestión de riego, hidrología
17	Modelación de Evaluación de la Vulnerabilidad del Recurso Hídrico Subterráneo para uso Agropecuario. Acuífero Zona de San Carlos.	Hidrogeología, modelación.
18	Modelación de Evaluación de la Vulnerabilidad del Recurso Hídrico Subterráneo para uso Agropecuario. Acuífero Río Changaral.	Hidráulica
19	Declaración de Impacto Ambiental Proyecto de Plan Regulador Comunal de San Pedro de la Paz	Impacto ambiental, Planificación Urbana
20	Estudio Plan Regulador Comunal de Coronel.	Planificación Territorial comunal de Coronel

Para cada estudio revisado, **se realizó un informe tipo ficha, en el cual se sintetiza la información relevante**, estas fichas se encuentran impresas en el anexo respectivo. Además, en anexos digitales se entregan los documentos revisados, en formato PDF. Los expedientes

digitalizados no se presentarán impresos, dado el volumen de papel que implicaría la impresión de estos.

4.2.Catastro de captaciones subterráneas.

Con la finalidad de definir la mejor estrategia para realizar los trabajos de terreno, se analizó toda la información existente relativa a la ubicación y características de las captaciones de aguas subterráneas e información general de la zona de estudio, tales como: red de drenaje, infraestructura de riego, asociaciones de canalistas, juntas de vigilancia, comités de APR y otra información adicional relevante para el desarrollo de los trabajos.

4.2.1. Trabajos de terreno.

Los trabajos de terreno realizados correspondieron a la visita a las captaciones de aguas subterráneas, encontradas en los sectores de interés, donde se ejecutaron las siguientes actividades:





- ✓ Llenado de la ficha-encuesta.
- ✓ Levantamiento de información de terreno.
 - Coordenadas planimétricas.
 - Cota de elevación desde donde se mide el nivel piezométrico
- ✓ Medición de nivel de aguas subterráneas.

Estas actividades fueron ejecutadas por un equipo de trabajo. Este equipo estuvo integrado por dos especialistas de terreno en este tipo de labores y un alarife quien tuvo el rol de resguardar el equipo base GPS.

Para el llenado de la ficha de trabajo en terreno RHYMA Ltda., dispuso de un equipo Galaxy Tablet PRO SM-T320. Equipo que nos da autonomía para digitalizar fichas, agregando directamente fotografías y videos que complementan y enriquecen la información generada.

En la figura N° 9, se presenta una ficha tipo utilizada en terreno.

Figura N° 9. Ficha de Terreno.

		CATASTRO DE CAPTACIONES SUBTERRÁNEAS ACTUALIZACIÓN ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO PARQUE ESCUADRÓN	
IDENTIFICACIÓN		Fecha: 21-10-15	
Nºpozo (ID)	j40	X UTM:	664657.152 Y UTM: 5911654.45 Cota: 5.538 DATUM-Huso
Entrevistado:	andres peralta		
Propietario:	vivero la posada		
Comuna:	coronel	Localidad:	la posada
Nombre del Predio:			
Expediente:		NºRol	
DATOS DE LA CAPTACIÓN			
Tipo	pozo	Explotación	si
(pozo, puntera, noria, pozo profundo)		(Si, No)	
Prof. Perforación (m):	40 mas mas	Prof. Habilitación (m.):	
Diam. Perf. (mm.)	260	Diam Impulsión (mm.)	
Diam. Entub (mm.)	100	Caudal Bomba(l/s)	55
Pot. Bomba (HP)	9,5	(rango de caudales)	
PIEZOMETRÍA			
Pro. Nivel Estático (m.)		Observaciones medida de nivel:	no se pudo tomar, pozo sellado
Prof. Nivel Dinámico(m.)		Referencia de medida:	
(nivel de suelo, o bien registrar medida desde suelo a medida)			
EXPLOTACIÓN			
Caudal medio (l/s)		Horas bombeo verano (h/día)	6 Meses verano:
Caudal máximo (l/s)		Horas bombeo invierno (h/d)	3 Meses invierno:
Volumen bombeo invierno (m3):		Volumen bombeo verano(m3):	
Volumen anual(m3):			
USO DEL AGUA			
Uso principal:	riego	Uso secundario:	potable
(Riego, Potable, Industrial, Otro)		(Riego, Potable, Industrial, Otro)	
Uso terciario:			
Área del predio [ha, m2]	60	Sup. De riego [ha, m2]	48 ha
Tipo de cultivo:			
(frutales, hortalizas, se puede detallar el cultivo tbn)			
OBSERVACIONES			
pozo sellado, no se pueden medir niveles.			
FOTOGRAFÍAS DE TERRENO			
			

Fuente. Elaboración propia

4.2.2. Georreferenciación.

- **Datum del Proyecto SIRGAS 2000**

El origen de las mediciones el sistema de coordenadas del catastro, pertenecen a la Red SIRGAS 2000, que en términos prácticos, posee los mismos valores en sus elementos geométricos que el elipsoide WGS-84.

- **Equipos GNSS**

Los equipos GNSS utilizados, en su modalidad Estático y en Tiempo real (RTK) son de la marca TRIMBLE, cuyos modelos son:

- ✓ Modelo R8, utilizado como base para mediciones estáticas y en RTK.
- ✓ Modelo R6, utilizados como base para mediciones estáticas y móviles para las mediciones en RTK.

En la figura N° 10, se presenta una foto de los equipos utilizados.

Figura N° 10. Equipos utilizados para georreferenciación.



Las precisiones del equipo R6 en Diferencial y Cinemático en Tiempo Real (RTK) son las que se presentan a continuación:

Posicionamiento GNSS de código diferencial

Horizontal. 0,25 m + 1 ppm RMS

Vertical. 0,50 m + 1 ppm RMS

Precisión de posicionamiento SBAS diferencial3. Típico <5 m 3DRMS

Medición Cinemática en Tiempo Real

Línea base individual <30 km

Horizontal. 8 mm + 1 ppm RMS

Vertical 15 mm + 1 ppm RMS

- **Software Postproceso**

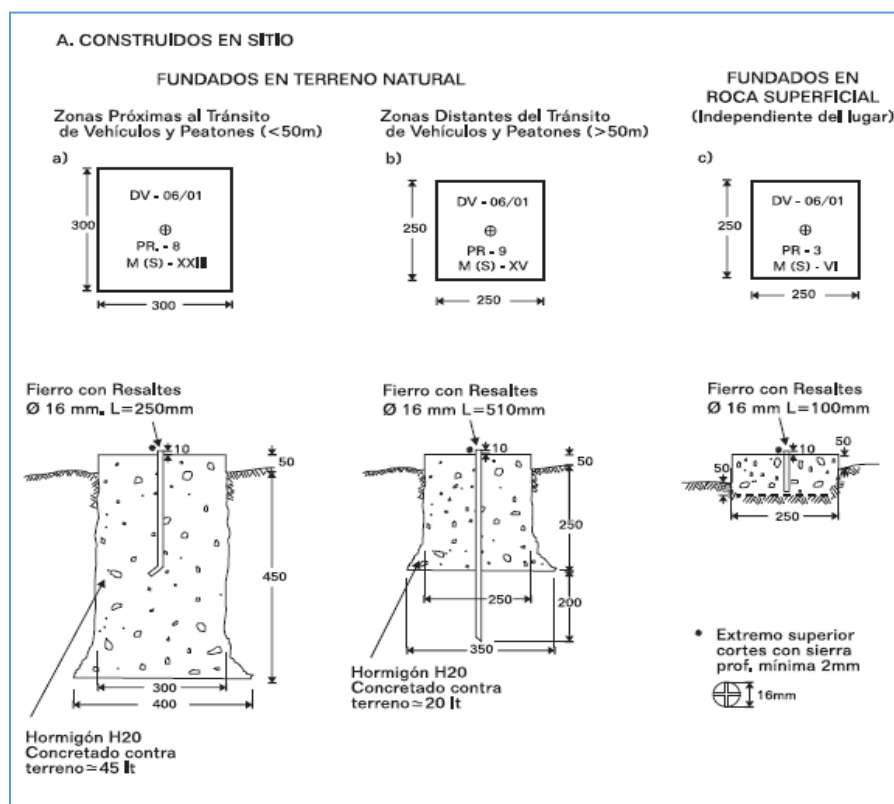
Trimble Business Center V-2.81 es un software de post-proceso, perteneciente a la nueva generación de programas de post proceso que viene en reemplazo del antiguo software de Trimble llamado TGO.

Esta última versión permite realizar un chequeo del comportamiento satelital, obviando satélites que perturban las mediciones, filtrando y dejando solo los datos de máxima calidad, permitiendo obtener resultados mucho más precisos. Y al igual que el resto de los software de post proceso, permite diseñar gráficamente una red propia e identificar los canales más adecuados para recepcionar los datos e importarlos desde diversos medios.

- **Monumentación Vértices Poligonales GPS**

La materialización de la red de puntos que conformaron la poligonal Geodésica fue realizada mediante la construcción en terreno de monolitos de hormigón con dimensiones de 30x30cm aproximadamente, con un fierro empotrado de 16 mm de espesor y una cruz que define la posición de las coordenadas, según se indica en el manual de carreteras Volumen 2, según se representa en la figura N° 11.

Figura N° 11. Características de los monolitos para puntos de referenciación, según se indica en Manual de Carreteras Volumen 2.

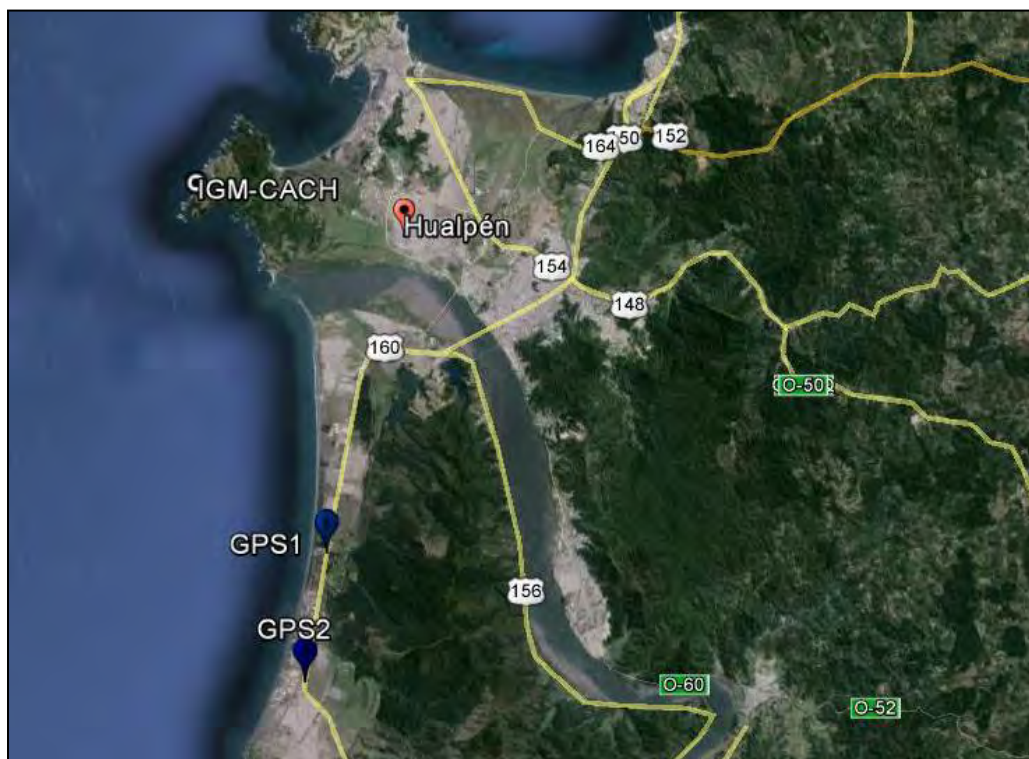


Fuente. Manual de Carreteras

- **Georreferenciación de Catastro Zona de Estudio**

En este punto se explica el proceso de vinculación desde el **vértice geodésico** del Instituto Geográfico Militar **CACH** a la línea base compuesta por los puntos GPS1 y GPS2 ubicados en la comuna de Coronel, Región del Biobío. Los puntos de referencia nombrados fueron utilizados para la georreferenciación de punteras, pozos o cualquier forma de contacto con la napa subterránea, por el método del postproceso o RTK, en el sector industrial del Parque Escuadrón; zona donde se está realizando un estudio hidrogeológico que busca cuantificar el acuífero de la cuenca. Las mediciones se realizaron el día 16 de octubre. En la figura N° 12 se presenta la ubicación espacial de los puntos.

Figura N° 12. Ubicación de IGM-CACH y monolitos GPS1 y GPS2, Comuna Hualpén y Coronel respectivamente, Región del Biobío.



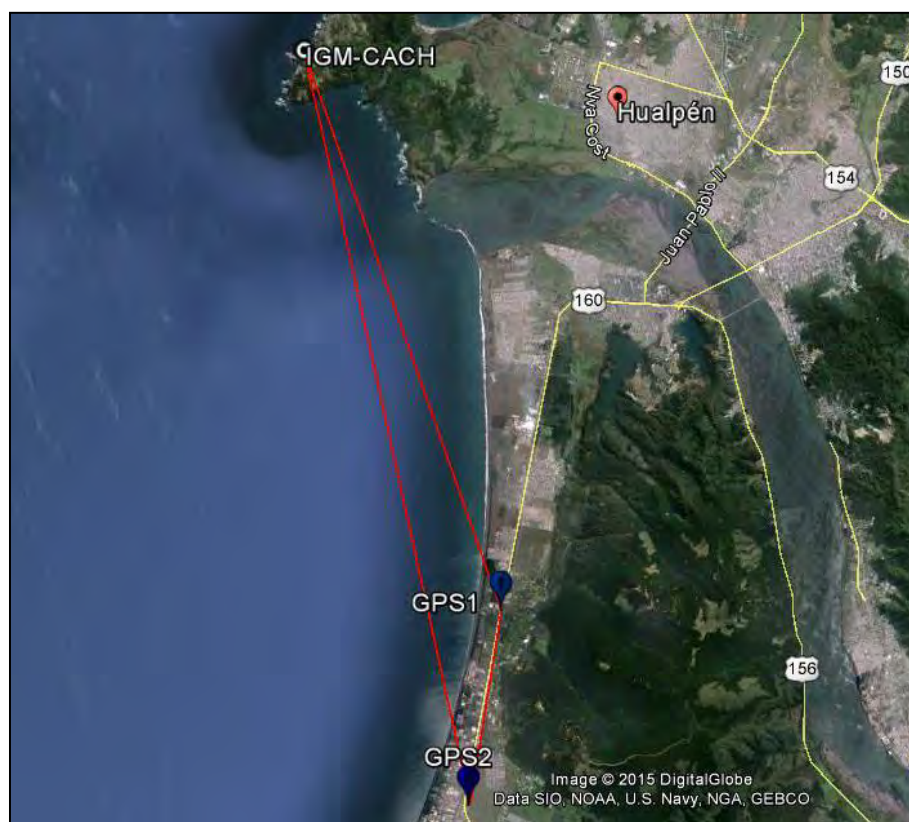
Fuente. Elaboración propia

Esta actividad tuvo por objetivo obtener las coordenadas UTM y geográficas en tolerancia según las Especificaciones Técnicas Topográficas de la Dirección de Obras Hidráulicas, para dos puntos de referencia ubicados en la comuna de Coronel por el método diferencial post-proceso.

Para el desarrollo del terreno, se realizó la georreferenciación de dos monolitos en el sector industrial de Coronel para un posterior levantamiento de cotas geoidales con sistema RTK o postproceso. La vinculación se realizó por el método diferencial postproceso, que consistió en la posición fija de una antena GNSS en un punto conocido y otra en uno por conocer, de manera simultánea; en este caso fueron los puntos IGM CACH y los monolitos identificados GPS1 Y GPS2.

Los vectores CACH-GPS1 y CACH-GPS2 tienen distancias de 17 km y 22 km respectivamente, por lo que se dio 40 minutos de medición a cada uno; mientras al vector GPS1-GPS2 con 6 km, se midió 24 minutos. Todas son mediciones holgadas para asegurar la calidad. En la figura N° 14 se muestran los vectores y distancias respectivas.

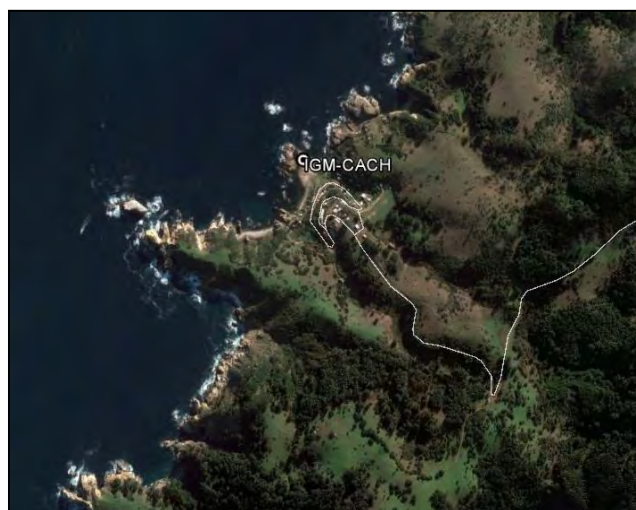
Figura N° 13. Vectores y distancias



Fuente. Elaboración propia

El vértice utilizado para la georreferenciación fue CACH de la red geodésica del Instituto Geográfico Militar, este consiste en un punto empotrado sobre una roca en la orilla de la playa en Caleta Chome, comuna de Hualpén. En las figuras siguientes se presenta la ubicación de dicho vértice.

Figura N° 14. Ubicación referencial vértice IGM.



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 15. Vértice IGM.



Fuente. Elaboración propia

Las coordenadas del IGM-CACH se muestran en la tabla N° 5.

Tabla N° 5. Coordenadas IGM-CACH

Solicitadas por	: RHYMA LTDA.						
Datum	: SIRGAS						
Elipsoide	: GRS-80						
Unidad	: N, E y Altura en metros.						
Nombre de la Estación	Coordenadas Geográficas		Coordenadas Planas		Altura	Altura	Zona
	Latitud	Longitud	Norte	Este	Elipsoidal	NMM	
CALETA CHOME (CACH)	36° 46' 19.8128"	73° 12' 41.6561"	5,928,909.563	659,608.285	23.5181	----	18

Fuente. IGM

Con el vértice IGM, se levantaron los puntos de referencia que se presentan a continuación.

GPS1: El punto de referencia GPS1 está ubicado en el bandejón central de la Ruta 160 en el Dm 13.600 aprox. frente al acceso del centro de eventos Costamar. Este consiste en un monolito de concreto de 30 X 30 cm y de unos 40 cm de profundidad azul, con un fierro de construcción de 60 cm.

GPS2: El punto de referencia GPS2 está ubicado sobre el talud de la conexión entre la salida norte de Coronel en dirección norte y la Ruta 160 (Dm 19.000 aprox.), costado oriente. Este, igualmente, consiste en un monolito de concreto de 30 X 30 cm y de unos 40 cm de profundidad azul, con un fierro de construcción de 60 cm.

En las figuras siguientes se muestra la ubicación de ambos puntos de referencia.

Figura N° 16. Punto de referencia GPS1.



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 17. Punto de referencia GPS2.



Fuente. Elaboración propia

✓ **Postproceso y resultados**

Una vez obtenidos los datos de terreno se realizó el post-proceso con el software Trimble Business Center y se procesó las líneas base CACH-GPS1, CACH-GPS2 Y GPS1-GPS2. Se configuró el sistema de coordenadas con la información de la tabla siguiente.

Tabla N° 6. Configuración sistema de coordenadas

Grupo del sistema de coordenadas:	UTM
Zona:	18 South
Transformación del datum:	WGS 1984 (Ninguno/a)
Modelo de geoide:	EGM96 (Global)
Datum RTX:	No

Fuente. Elaboración propia

El resultado del procesamiento de las líneas base arrojó solución fija para los tres vectores. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos y los valores de confianza.

Tabla N° 7. Resultados procesamiento. Sesión 1

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS - DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS						
POST-PROCESO ESTÁTICO GPS						
Estudio	Estudio Hidrogeológico Parque Escuadrón de Coronel					
Región	Región del Biobío					
Consultor	RHYMA					
Tipo receptor GPS	Doble frecuencia					
Operador	Gonzalo Carvajal					
Día Juliano:	289					
Base:	CACH					
Archivo GPS:	96712891.T01		Altura instrumental:		0.080 m	
Coordenadas Base UTM	Norte: 5928909.563		Este: 659608.285		Elevación: 4.342 m	
Coordenadas Base WGS84	φ: S36°46'19.8128"		λ: O73°12'41.6561"		Alt. elip: 23.518 m	
Sesión 1	CACH-GPS1					
Móvil 1:	GPS1					
Archivo GPS:	83412890.T01		Altura instrumental:		1.381 m	
Coordenadas Móvil UTM	Norte: 5912582.098		Este: 664977.087		Elevación: 5.916 m	
Coordenadas Móvil WGS84	φ: S36°55'06.0978"		λ: O73°08'52.4229"		Alt. elip: 25.875 m	
Tipo Solución: Fija	RMS: 0.321		PDOP: 2.060		Nº Stls: 8	
Precisiones	Hz:	0.007	Vt:	0.012	Dist. Elip:	17.188,781

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 8. Resultados procesamiento. Sesión 2

Sesión 2	CACH-GPS2		
Móvil 2:	GPS2		
Archivo GPS:	83412892.T01	Altura instrumental:	1.370 m
Coordenadas Móvil UTM	Norte: 5906991.835	Este: 663920.472	Elevación: 5.787 m
Coordenadas Móvil WGS84	ϕ : S36°58'08.0841"	λ : O73°09'30.7423"	Alt. elip: 25.835 m
Tipo Solución: Fija	RMS: 0.330	PDOP: 1.652	N° Stls: 9
Precisiones	Hz: 0.007	Vt: 0.015	Dist. Elip: 22.339,649

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 9. Resultados procesamiento. Sesión 3

Sesión 3	GPS1-GPS2		
Día Juliano:	289		
Móvil 1:	GPS1		
Archivo GPS:	96712893.T01	Altura instrumental:	1.342 m
Móvil 2:	GPS2		
Archivo GPS:	83412894.T01	Altura instrumental:	1.345 m
Tipo Solución: Fija	RMS: 0.536	PDOP: 2.722	N° Stls: 7
Precisiones:	Hz: 0.007	Vt: 0.015	Dist. Elip: 5.689,606

Fuente. Elaboración propia

Como conclusión, para los valores de confianza mostrados en la tabla resumen, se agrega que se aplicó un ángulo de corte de 10° para los satélites y el intervalo de grabación fue de 5 segundos, todos estos datos se basan en las referencias indicadas en las Especificaciones Técnicas Topográficas de la DOH:

- PDOP máximo: < 5
- Número de satélites: ≥ 5
- Ángulo de corte: mínimo permitido 10°
- Intervalo de grabación: valores aceptados en el rango de 1 a 15 segundos

Debido al cielo sin obstrucciones por la ubicación de los puntos, La disponibilidad de satélites, tiempos de medición entre otros factores, las precisiones obtenidas son de alta calidad, por lo tanto la vinculación del punto CACH se encuentra en tolerancia.

4.2.3. Mediciones de aguas subterráneas y llenado de fichas.

Para obtener los datos de los niveles de agua y profundidad en las captaciones, se utilizaron, respectivamente, un pozómetro Modelo 101 y un equipo Tag Line, ambos de marca SOLINST. El

primero posee, en el extremo, un sensor que emite un sonido al momento de tocar el agua, mientras que el segundo tiene un peso de plomo, el que ayuda a mantener recta la huincha graduada sumergida en el agua.

Junto con las mediciones de nivel estático y profundidad de las captaciones, se realizó el llenado de las fichas de terreno

El catastro consistió en la visita de las captaciones de aguas subterráneas del área de estudio, en estas se realizaron mediciones de coordenadas geodésicas, mediciones de nivel de agua, profundidad de la captación, potencia de las bombas y algunos datos técnicos de los diámetros de las cañerías, horas de funcionamiento, entre otros, se llenó una ficha con estos antecedentes y se realizó un registro fotográfico de la captación.

Esta campaña se realizó entre el 17 y el 29 de Octubre, el área de estudio abarca parte de las comunas de San Pedro de La Paz y Coronel, desde el sector de Lomas Coloradas por el Norte en la comuna de San Pedro de La Paz, hasta el límite Sur de la comuna de Coronel, por el Este la divisoria de aguas de la cordillera de Nahuelbuta hasta el Océano Pacífico por el Oeste.

La zona presenta un sector urbano e industrial predominante, un sector de explotación forestal y un escaso sector agrícola.

Como inicio para la preparación del terreno, se descargaron las bases del catastro público de aguas, con estas se filtraron y separaron los derechos de aguas subterráneos de las comunas de Coronel y San Pedro de La Paz, para luego sobreponer el área de estudio, con estos filtros se pudieron encontrar 122 derechos de aguas subterráneas identificados con la información del Catastro público de aguas en el área de estudio.

Con esta información se pudieron identificar a los titulares de los derechos de aguas subterráneas. Con esta se ubicaron y realizaron coordinaciones vía correo electrónico y telefónica, para poder coordinar y agendar las visitas de terreno.

Para la realización de este proyecto se dividió el área de estudio en 8 zonas para la búsqueda de captaciones de aguas subterráneas, estas áreas se desarrollaron por las concentraciones existentes de derechos subterráneos ya constituido, con el objetivo de tener la mayor cobertura territorial posible y obtener una representatividad del mismo.

En la ejecución del catastro se visitó en primera instancia las captaciones con derechos constituidos que aparecen en el Catastro Público de Aguas. Para luego seguir con un barrido de la zona buscando captaciones no inscritas.

Al encontrar una captación se procedía a tomar la coordenada geodésica, para simultáneamente realizar el llenado de la Ficha de Catastro (ver imagen) en la cual se llenan la identificación de la

captación, los datos de esta, como el tipo la profundidad, la piezometría y el uso del agua, como también se realiza un registro fotográfico de la captación.

✓ **Desarrollo del catastro**

Durante el tiempo que duró el levantamiento se recorrió el 100% del área de estudio, ubicando 116 captaciones de aguas subterráneas entre punteras, pozos y norias. De estas se pudo hacer ficha de 89 captaciones, las 27 restantes, se clasificaron como inaccesibles ya que cumple una de las siguientes características:

- El propietario no permite el acceso.
- El propietario vendió el terreno y el nuevo dueño no sabe de la existencia de derechos de aguas.
- No se pudo coordinar con titular del derecho.
- No existe en la actualidad.
- El titular no informa la existencia de otro derecho por desconocimiento.
- No se pudo encontrar.

En las tablas siguientes se presenta un resumen del trabajo desarrollado y el análisis preliminar, la información del análisis se presenta de igual forma en las figuras siguientes. En la figura siguiente se presenta en planta el levantamiento realizado.

Tabla N° 10. Resumen.

Visitas	Con derechos	Sin derechos	Total
Con fichas	63	26	89
No permite acceso	3	1	4
No Informan	5	0	5
No se Pudo Coordinar	14	0	14
Vendió Terreno	4	0	4
Total	89	1	116

Otros	Con Derechos
No encontradas o no existen	36

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 11. Análisis por tipo de captación.

Comuna	noria	pozo	puntera	sentina	Total general
Coronel	2	30	44	1	77
San Pedro de La Paz	0	5	7	0	12
Total general	2	35	50	1	89

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 12. Análisis por uso del agua.

Comuna	domiciliario	industrial	red de incendios	red húmeda	Riego	riego y bebedores	Sin información	agua potable	Total general
Coronel	12	21	1	1	15	1	7	19	77
San Pedro de La Paz	1	4	0	0	2	0	1	4	12
Total general	13	25	1	1	17	1	8	23	89

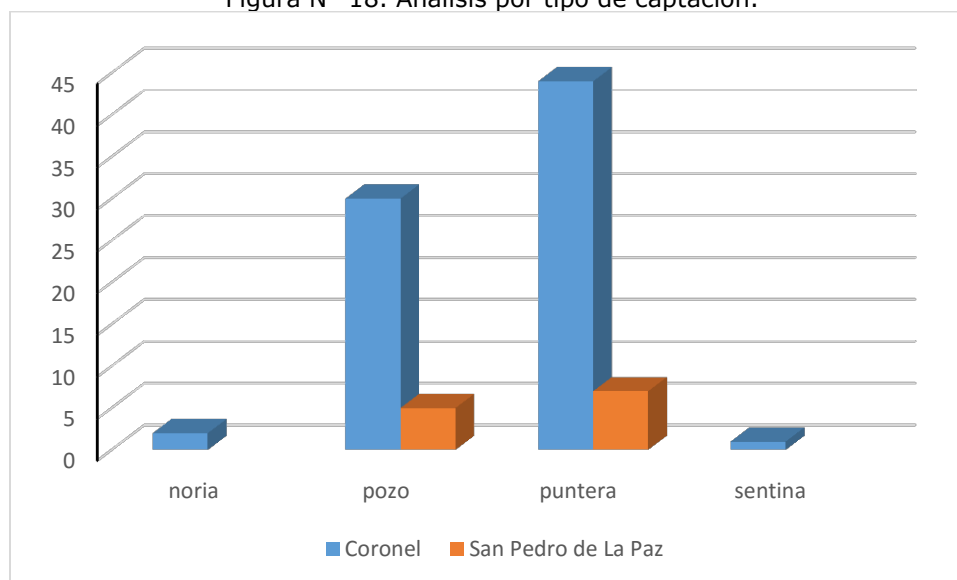
Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 13. Análisis por explotación.

Comuna	no	si	Total general
Coronel	15	62	77
San Pedro de La Paz	1	11	12
Total general	16	73	89

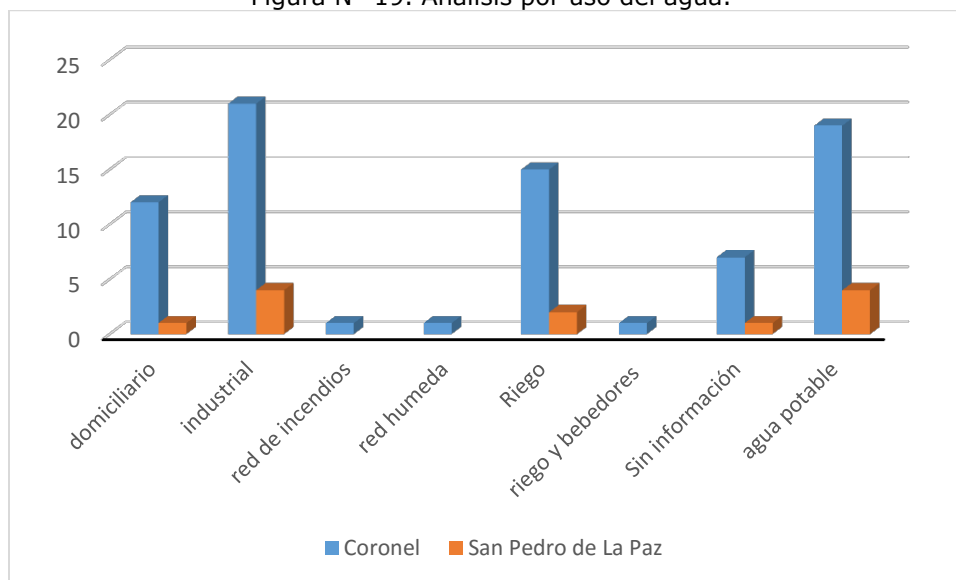
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 18. Análisis por tipo de captación.



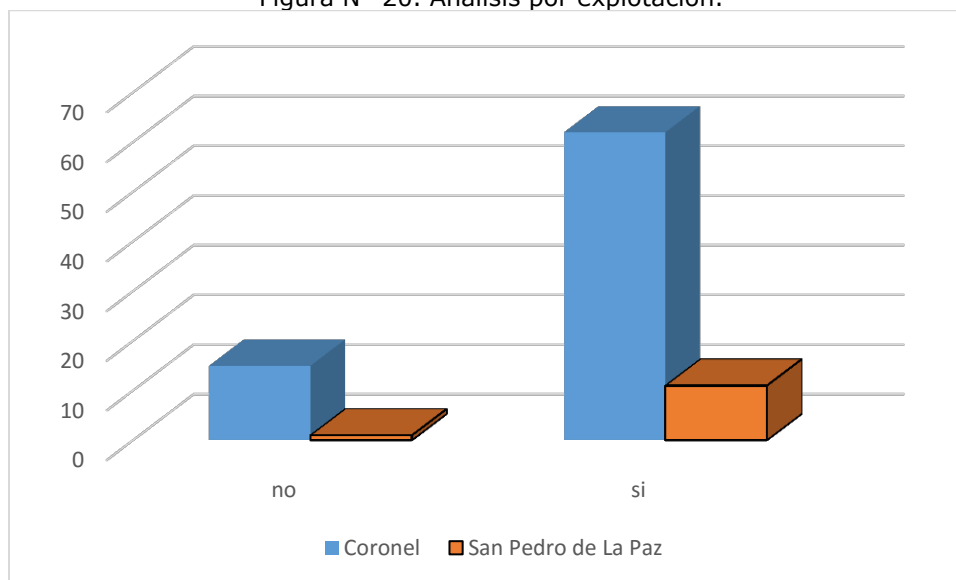
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 19. Análisis por uso del agua.



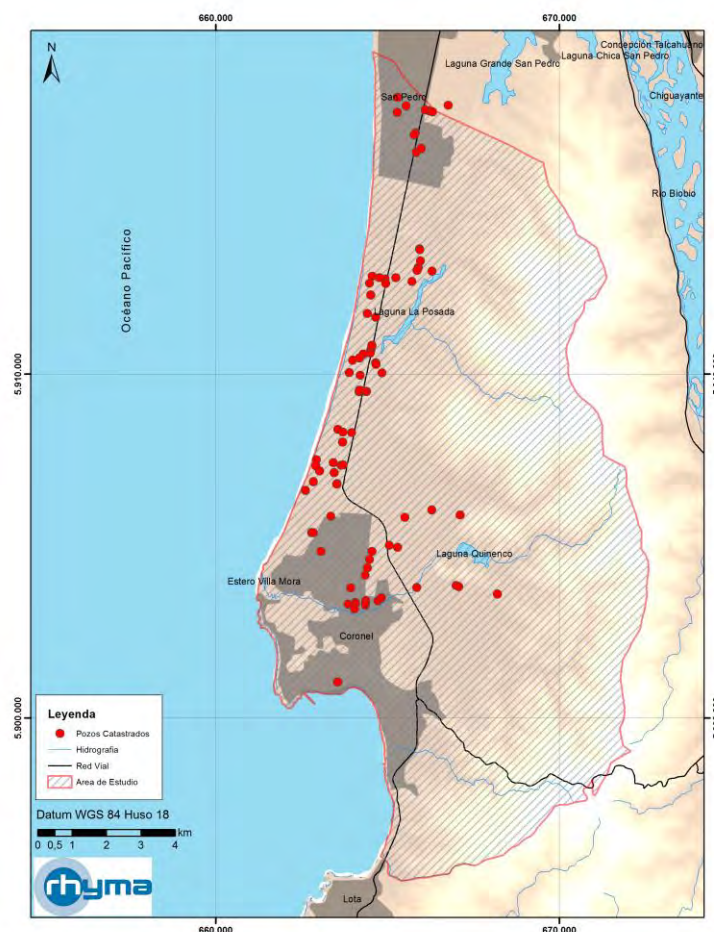
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 20. Análisis por explotación.



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 21. Levantamiento de captaciones subterráneas.



Fuente. Elaboración propia

La distribución geográfica de las captaciones que cuentan con fichas es homogénea en el territorio, abarcan casi completa el área de estudio, exceptuando el sector Sur, el cual en el recorrido **no se encontraron captaciones de aguas subterráneas**, además de tampoco existir derechos constituidos en este sector.

El primer fin de semana en que comenzó el catastro (17 y 18 de octubre) nos encontramos con las primeras complicaciones y aciertos del trabajo, ya que al tratar de visitar las zona industrial, la cual tiene una gran concentración de derechos de aguas subterráneas, solo se pudieron realizar acercamientos y contactos, ninguna de estas visitas se pudo concretar en esos días, por otra parte se intentó realizar un acercamiento en las zona urbana, específicamente en el sector de Lomas Coloradas no obteniendo buenos resultado, la otra jornada se optó por realizar el sector rural de Calabozos, donde sí se obtuvieron buenos resultados.

Los días siguientes se avanzó en la zona industrial, en donde los contactos realizados el fin de semana anterior sirvieron mucho para agilizar las visitas.

Los días siguientes se desarrollaron de forma normal, realizando el barrido en dirección de norte a sur.

✓ **Dificultades de terreno**

Gran parte de los derechos de aguas subterráneas otorgados, los titulares son personas jurídicas, empresas o industrias, incluso inmobiliarias. Este fue uno de los mayores inconvenientes que se tuvo durante el desarrollo del catastro, los inconvenientes más habituales fueron:

- El horario limitado de funcionamiento, este disminuyo y limito los horarios de trabajo, ya que en horarios cercanos al horario de salida la portería ya se negaba a anunciar a la administración nuestra visita.
- Las constantes charlas de seguridad, gran parte de las empresas e industrias solicitaba que por procedimiento interno, se debía asistir a una charla de seguridad y prevención de riesgo, para poder ingresar a sus dependencias, hecho que duraba entre 15 y 30 minutos por empresa, llegando incluso a durar entre charla y procedimientos casi 1 día completo, lo que disminuía el tiempo efectivo de trabajo.
- La desconfianza ante este o ante algún proyecto del Gobierno, a algunos les causaba desconfianza la realización de este proyecto y mostraban su descontento ante este, las políticas del Gobierno y el Estado, por lo que en varias ocasiones no se nos permitió realizar las mediciones solicitadas, este fue el caso de Blocks and Cutstock S.A.

Un hecho coyuntural que también dificulto la encuesta es la problemática existente entre las sanitarias y algunos sectores urbanos, por la existencia de punteras sin ningún tipo de permiso que en ocasiones se conectaba a la red de agua potable, esto creo mucha desconfianza entre los habitantes de estos sectores y el equipo de terreno, que no autorizaban la medición, a pesar de ser acompañados por el presidente de la Junta de Vecinos don Orlando Tapia, ya que creían y tenían la idea preconcebida que el proyecto pertenecía a las Sanitarias, a pesar de entregarles el tríptico del proyecto, explicarles que este era de la Dirección General de Aguas y además de mostrar la carta que acreditaba la autorización, no se pudo medir ninguna puntera del sector, a pesar de que el Presidente de la Junta de Vecinos don Orlando Tapia insistía que todas la viviendas tienen puntera, pero que las personas las negarían al consultarles por estas. Al consultarle si conocía a alguien que tuviese instalada una puntera, este respondía que no conocía a nadie.

Otra problemática presentada es la inconsistencia o no correspondencia de las coordenadas existentes en el Catastro de Aguas, ya que, por ejemplo, fue imposible ubicar un derecho ubicado en una zona urbana de Coronel, también según las coordenadas que estaban en el catastro público de aguas existía una captación de aguas subterráneas a 200 mt del punto GPS 2, ubicado en el nudo del bypass de Coronel, cuyo titular estaba al nombre de Infortal Ltda. Se

recorrió el sector en reiteradas ocasiones y no se pudo encontrar ninguna captación ni construcción en el sector.

4.3.Participación Ciudadana (PAC).

Las Reuniones de Participación Ciudadana (PAC) buscan que los distintos sectores, tanto públicos como privados, puedan involucrarse en el quehacer gubernamental en un ámbito de información y consulta, control ciudadano y fortalecimiento de la sociedad civil.

Su objetivo principal es informar a la comunidad sobre el alcance y objetivos del estudio en desarrollo, además de acercar a la sociedad civil a la Dirección General de Aguas y la importancia del rol que cumple como encargada de velar por los recursos hídricos.

Además, en estas instancias se pretende recoger las inquietudes, sugerencias y necesidades de los distintos sectores de la comunidad y la ciudadanía.

✓ Difusión

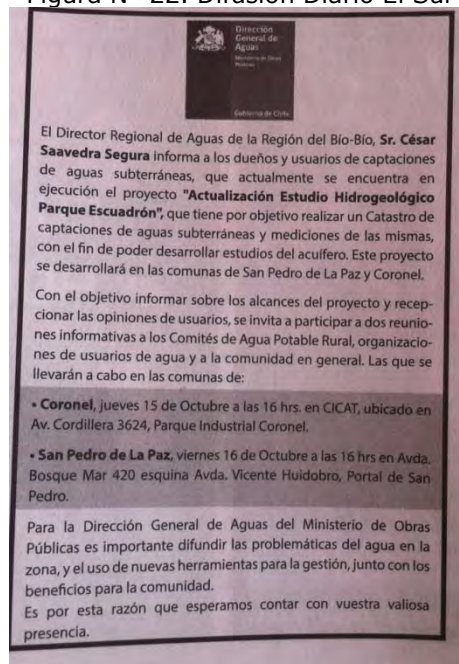
La realización de estas reuniones de participación ciudadana dio comienzo por la difusión de las mismas. Rhyma Ltda., utilizó para estos efectos cuatro medios, los que se describen a continuación:

1. Radiodifusión: Las reuniones de participación ciudadana fueron radiodifundidas en 2 emisoras, estas fueron consultadas y propuestas por los respectivos municipios, por su llegada y gran acogida dentro de la comunidad, estas fueron Radio Dinámica de Coronel y Radio Energía de San Pedro de La Paz, esta fueron a través de mensajes radiales de un minuto que se difundieron 3 veces al día en un espacio de 10 días.
2. Difusión por medio escrito: Esta se realizó por medio de un diario de circulación local con gran tiraje en la zona, el Diario El Sur, siendo publicado el día domingo 11 de octubre, en el cuerpo principal, página 9 del suscrito.
3. Difusión por TV Regional: Gracias a la gestión del delegado presidencial para los recursos hídricos don Ariel Duran, su pudo coordinar una entrevista a la Jefa de Proyecto en un programa de Televisión local.
4. Llamados telefónicos: Se realizaron llamados telefónicos y se enviaron mails a los titulares de derechos de aguas del área de estudio, se llamó a los municipios respectivos realizando las invitaciones, y se coordinó con estos un llamado a la comunidad.

✓ **Taller de Participación Ciudadana Coronel**

Las reuniones de Participación Ciudadana se realizaron el jueves 15 de octubre en la comuna de Coronel, en el Centro Interactivo de Ciencias, Artes y Tecnologías, de la Universidad de Concepción, ubicado en Av. Cordillera 3624. En esta expuso la Jefa de Proyecto Carme Copier Mella, Geóloga, especializada en Hidrogeología, en esta reunión se presentó a la consultora, los objetivos del proyecto, las actividades, los trabajos de terreno a realizar y los resultados esperados. En la figura siguiente se presenta el extracto de difusión por medio escrito.

Figura N° 22. Difusión Diario El Sur



Fuente. Diario El Sur

Al final de la exposición hubo una ronda de preguntas donde se aclararon algunas dudas respecto a las dimensiones e implicancias del proyecto a la Sanitaria Aguas San Pedro, además surgieron dudas de un representante del sector de Calabozos de la comuna, el cual mostraba su inquietud por los problemas de abastecimiento de agua potable de su sector. En las figuras siguientes se muestra parte del registro fotográfico de la PAC realizada en Coronel.

Figura N° 23. Registro fotográfico PAC Coronel



Fuente. Elaboración propia

✓ **Taller de Participación Ciudadana San Pedro de la Paz**

La segunda y última reunión de participación ciudadana se realizó en la comuna de San Pedro de La Paz, el viernes 16 de octubre, en la sede comunal ubicada en la Avda. Bosque Mar 420, Portal San Pedro, sector de Lomas Coloradas. Esta al igual que la PAC anterior, Expuso la Jefa de proyecto Carmen Copier Mella, Geóloga, especializada en Hidrogeología, se expusieron los objetivos del proyecto, las actividades y los resultados esperados.

Durante la ronda de preguntas de esta PACs, surgió una inquietud debido a que particulares que residen en el sector de Lomas Colorada, han habilitado punteras para uso domiciliario, por esto, actualmente tienen un conflicto legal con la Sanitaria del sector. Incluso algunos particulares buscan poder renunciar a la Sanitaria y abastecerse a través de estas punteras instaladas con hidropack en sus viviendas. El Director Regional de Aguas don Cesar Saavedra realizó una intervención explicativa respecto a la posición de la DGA en este tema y dejando claro que su institución está abierta a recibir denuncias para fiscalizaciones posteriores. En las figuras siguientes se muestra parte del registro fotográfico de la PAC realizada en San Pedro de la Paz.

Figura N° 24. Registro fotográfico PAC San Pedro de La Paz



Fuente. Elaboración propia

En anexos digitales se presenta la información referente a los PACs. Cabe señalar que en ambas reuniones se realizó un registro audiovisual, el cual se incluye en los anexos.

Sistematización de derechos de aguas subterráneas en CBR.

Con el objetivo de poder efectuar un diagnóstico de la explotación actual del acuífero y poder posteriormente realizar un análisis de sustentabilidad del recurso hídrico, se debió recopilar y levantar información de la demanda por el recurso hídrico.

Para esto, se recabó información del catastro y algunos expedientes de derechos de aprovechamiento de aguas que se encuentren en la dirección general de aguas (vía web) y los conservadores de bienes raíces de las comunas involucradas en el estudio, San Pedro de la Paz y Coronel.

De acuerdo a los antecedentes recabados en la DGA existen 190 derechos concedidos en las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz, mientras que en los conservadores de bienes raíces se identificaron un total de 164 transacciones relacionadas con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, 138 en la comuna de Coronel y 26 en la comuna de San Pedro de la Paz. Los tipos de transacción de derechos de aprovechamiento subterráneos por comuna se distribuyen de acuerdo a la tabla siguiente.

Tabla N° 14. Información de CBRs recolectada

TIPO TRANSACCIÓN	CBR		
	CORONEL	SAN PEDRO DE LA PAZ	TOTAL
Adjudicación	1	0	1
Constitución de derecho	62	8	70
Constitución de derecho (complemento)	7	0	7
Inscripción DGA	0	8	8
Merced	3	0	3
Reducción a Escritura Pública	5	0	5
Regularización	1	2	3
Reinscripción	0	2	2
Sentencia	1	0	1
Hipoteca	1	0	1
Prohibición	1	0	1
Traslado	2	0	2
Aporte	1	0	1
Compraventa	29	6	35
Dación en Pago	2	0	2
División de derechos	1	0	1
Fusión	8	0	8
Fusión impropia	1	0	1
Fusión por absorción	2	0	2
Fusión por incorporación	5	0	5
Transferencia	1	0	1
Repetidas	4	0	4
TOTAL	138	26	164

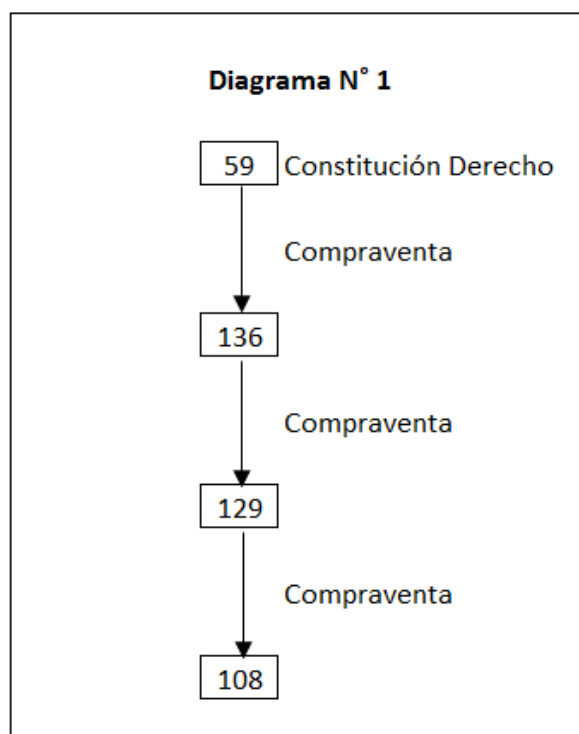
Con la información de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de la DGA y los CBRs de Coronel y San Pedro de La Paz se realizó un análisis de la evolución histórica de los derechos de aguas por medio de las transacciones de la base de datos, esto reflejará las constituciones, compraventas, cambios de punto de captación, etc., de los derechos comprometidos. Esta evolución cuando involucren más de una transacción se representa por medio de diagramas de árbol.

De la cantidad total de registro de la base de datos de los derechos de agua concedidos en las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz, una vez comparada con la base de datos de los CBRs, se detectó que 23 otorgamientos de derecho de aguas no tenían su correspondiente inscripción en el CBR, estos derechos aprobados se incluyeron en la base de datos de los CBRs, quedando en **total 187 registros**.

De la base de datos completa, 97 se encuentran en los 32 diagramas de árboles confeccionados y 90 de los registros se encuentran en forma independiente.

En la siguiente figura se muestra la forma en que se presenta los diagramas de árboles para la evolución de los derechos de aprovechamiento.

Figura N° 25. Ejemplo de diagrama de árbol propuesto



Fuente. Elaboración propia

Cada número representa una transacción y en la siguiente tabla se presenta un extracto de la base de datos con las transacciones del esquema anterior.

El diagrama de la figura anterior se inicia con la transacción N° 59 que representa una inscripción de la constitución de un derecho de aguas a nombre de Aguacorp S.A. en Foja 6 N° 4 el 06-10-97 de un sistema de 28 punteras por 110 L/s. Luego, por medio de la transacción N° 136 que corresponde a una compraventa del sistema de punteras entre Aguacorp S.A. hacia Romeo Arturo Valenzuela Theodoluz en Foja 7 vta. N° 5 el 20-07-2005. En el 2006 se produce nuevamente una compraventa del derecho de Romeo Arturo Valenzuela Theodoluz hacia Rafael Luis Calderón Sagner y Otros en Foja 8 vta. N° 6 el 22-08-2006. Finalmente, se produce la última compraventa hasta la fecha que se produce entre Rafael Luis Calderón Sagner y Otros a Asesorías e Inversiones Sotavento Limitada en la Foja 11 vta. N° 10 el 03-12-2014.

Tabla N° 15. Extracto Base de Datos Transacciones Derechos de Aguas

N°	Lugar CBR	Tipo de transacción	Fojas	N°	Año	Beneficiario	Transfiere	Observaciones
59	Coronel	Constitución de derecho	6	4	1997	Aguacorp S.A		Sistema de 28 punteras ubicadas en rol 5011-14, comuna de Coronel
108	Coronel	Compraventa	11 vta.	10	2014	Asesorías e Inversiones Sotavento Limitada	Rafael Luis Calderón Sagner y Otros	Sistema de 28 punteras ubicadas en propiedad rol 5011-14, dominio inscrito a Fs 8 vta. N°6 del año 2010
129	Coronel	Compraventa	8 vta.	6	2006	Rafael Luis Calderón Sagner y Otros	Romeo Arturo Valenzuela Theodoluz	Sistema de 28 punteras , dominio inscrito a fs 7 vta N°5 del año 2006, transferido a fs 11 vta N°10 del año 2014, rol 5011-14
136	Coronel	Compraventa	7 vta.	5	2005	Romeo Arturo Valenzuela Theodoluz	Aguacor S.A.	Sistema de punteras, dominio inscrito a Fojas 6 N°4 del año 1997, rol 5011-14, transferido a Fs 8 vta. N°6 del 2006

Fuente. Elaboración propia

En anexos se presentan todos los diagramas de árbol de la base de datos y la base de datos completa. Dentro de la base de datos la primera columna corresponde al número que identifica a cada transacción y la segunda corresponde al número del diagrama de árbol al cual pertenece, en el caso que solo haya una transacción asociada a un derecho se indica con el número "0".

Las columnas con información de la base de datos corresponden a las siguientes:

N°: Es el identificador de cada registro de la base de datos.

Arbol: Es el número del diagrama al cual pertenece, si no pertenece a ningún diagrama es 0.

Lugar CBR: Indica el conservador donde está inscrita esta transacción o DGA si viene de esta base de datos.

Año: Año en que fue inscrita la transacción.

Tipo de transacción: El tipo de transacción.

Fojas: Inscripción CBR

Nº CBR: Inscripción CBR

Fecha: Inscripción CBR

Beneficiario/Comprador/Quien absorbe: Beneficiario de la transacción.

Vendedor/A quien se le prohíbe/Quien transfiere: La contraparte del beneficiario o el expediente si viene de la base de datos de DGA.

Fecha Escritura: Fecha de escritura de la transacción.

NºRes: Numero resolución constitutiva.

Fecha_inscDGA: Fecha de inscripción en DGA.

Precio Transacción: Monto de la transacción si corresponde.

Observaciones: Observaciones importantes de la transacción.

Caudal Q [l/s]: Caudal correspondiente a la transacción.

Volumen [m3/año]: Volumen anual correspondiente a la transacción.

Fuente: Fuente del derecho de agua.

Tipo de uso: Tipo de uso de derecho:

Uso: El uso del derecho de aguas.

Ejercicio1: El tipo de ejercicio del derecho campo 1.

Ejercicio2: El tipo de ejercicio del derecho campo 2.

Norte: coordenada norte UTM de la captación del derecho.

Este: coordenada este UTM de la captación del derecho.

Datum: Datum de la coordenadas de la captación del derecho.

5. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN.

5.1. Caracterización hidrológica.

Esta actividad tiene como objetivo principal estimar los caudales superficiales pasantes, en puntos de control por definir, mediante la estimación de modelos de precipitación/escorrentía.

5.1.1. Antecedentes previos.

Al tratarse de una actualización del “**Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel**”, del año 1992, en primer lugar se procedió a analizar la información levantada y generada en dicho estudio (**Ver Plano 01 Plano General Parque Escuadrón**).

- **Caracterización hidrográfica.**

El área comprendida abarca la zona costera comprendida entre las ciudades de Concepción y Coronel, entre los 36° 52´ y 37° 3´ de Latitud Sur y 73° 11´ y 73° 6´ Longitud Oeste.

La zona se ha sectorizado globalmente, desde el punto de vista de los recursos superficiales, en 4 subcuencas exorreicas, las que limitan al Oeste con el Océano Pacífico y por el Este con la prolongación Norte de la Cordillera de Nahuelbuta.

La zona presenta un clima que se puede clasificar como **Templado-Cálido con abundante lluvia**. La estación seca es muy variable concentrándose principalmente entre los meses de Diciembre a Marzo (Verano).

Las abundantes lluvias son causadas principalmente por el efecto orográfico que produce la Cordillera de Nahuelbuta. Dicha cordillera, que hacia el Norte del río Biobío se denomina Cordillera de la Costa, produce un efecto marcado en la región y en particular en la zona de estudio, más que en el resto del país. En la vegetación también se ve reflejado este hecho, ya que a los bosques de barlovento suceden pastizales tras el cordón montañoso, donde la precipitación alcanza calores de 1000 mm.

El régimen de temperatura está influido por la proximidad del mar, moderando no sólo los contrastes térmicos entre temperaturas máximas y mínimas diarias, sino también en lo que se refiere a la variación estacional.

Las distintas cuencas presentes en la zona, presentan un régimen netamente pluvial, vale decir, los escurrimientos superficiales provienen fundamentalmente de precipitaciones en forma de lluvia.

- **Régimen de Precipitaciones y Variación Estacional.**

Para este análisis se utilizó información de la Dirección Meteorológica de Chile. En la tabla siguiente se muestra la información de dichas estaciones.

Tabla N° 16. Estaciones pluviométricas zona estudio.

Código	Nombre Estación	Propietario	Coordenadas		Cota m.s.n.m
			Latitud	Longitud	
822	Talcahuano	D.C.M.	36° 43'	73° 7'	84
834	Cerro Caracol	D.C.M.	36° 50'	73° 3'	100

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

La estación Talcahuano dispone de 29 años de estadística (para 1992) respecto a precipitaciones diarias, y 8 años con información parcial. Por otro lado, la estación Cerro Caracol dispone de 48 años (para 1992) con estadística completa y 1 año incompleto.

En las tablas siguientes se presenta información de precipitaciones para la zona de estudio.

Tabla N° 17. Precipitaciones medias anuales zona de estudio.

Entre Isoyetas P [mm]	Área Asociada [há]	P _{media} x Área [mm há]
990 – 1000	923.1	918484.5
1000 – 1050	2801.6	2871640
1050 – 1100	3512.7	3776152.5
1100 – 1150	3851.2	4332600
1150 – 1200	1911.2	2245660
1200	438.2	525840
Total	13438	14670377
$P_{media} = \frac{14670377}{13438} = 1091.7 \text{ mm}$		

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Tabla N° 18. Resumen de información pluviométrica procesada.

Estación	Área Total [há]	Precipitación 50% Prob. Exced. [mm/año] (1)	Precipitación 50% Prob. Exced Isoyetas [mm/año] (2)	Factor (2)/(1)
Talcahuano	11574.4	1082	1091.7	1.009
Cerro Caracol	11574.4	1118.2	1091.7	0.976

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Tabla N° 19. Resumen información pluviométrica subcuencas y sub-áreas consideradas.

Estación	Área Total [há]	Precipitación 50% Prob. Exced. Est. Talcahuano [mm/año] (1)	Precipitación 50% Prob. Exced Isoyetas [mm/año] (2)	Factor (2)/(1)
Laguna La Posada (1)	3223.7	1082	1109.2	1.025
Entre la Posada y Quiñenco (2)	1451.8	1082	1113.6	1.029
Laguna Quiñenco (3)	1238.4	1082	1143.4	1.057
Laguna Quiñenco al Sur (4)	2554.6	1082	1140.1	1.054
Cota 25 m.s.n.m. a Carretera, Sur de Laguna La Posada (5)	2751.1	1082	1052.8	0.973
Carretera al Océano, Sur de la Laguna La Posada (6)	905.7	1082	997.3	0.922
Cota 25 m.s.n.m. a cuenca Laguna La Posada (7)	95.8	1082	1060	0.98
Cota 25 a Carretera Norte de Laguna La Posada (8)	743.3	1082	1030	0.952

(Continúa)

(Continuación)

Carretera al Océano, Norte de Laguna La Posada (9)	473.6	1082	1000	0.924
Área Total Zona de Estudio	13438	1082		

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Con la información procesada se generó el análisis de frecuencia, en el estudio, este análisis se efectuó ajustando las distribuciones Normal, Log Normal, Gumbel tipo I, Pearson III y log Pearson III.

Se realizó los test de bondad de ajuste Chi-2 y Kolmogoroff-Smirnov. Con esto se seleccionó la distribución que mejor se ajustó. En la siguiente tabla se presenta la mejor distribución para cada mes.

Tabla N° 20. Distribución de frecuencia de mejor ajuste.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot	Ver	Inv
Ln	Ln	Ln	Ln	G	N	Ln	G	Ln	Ln	Ln	Ln	G	N	N

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

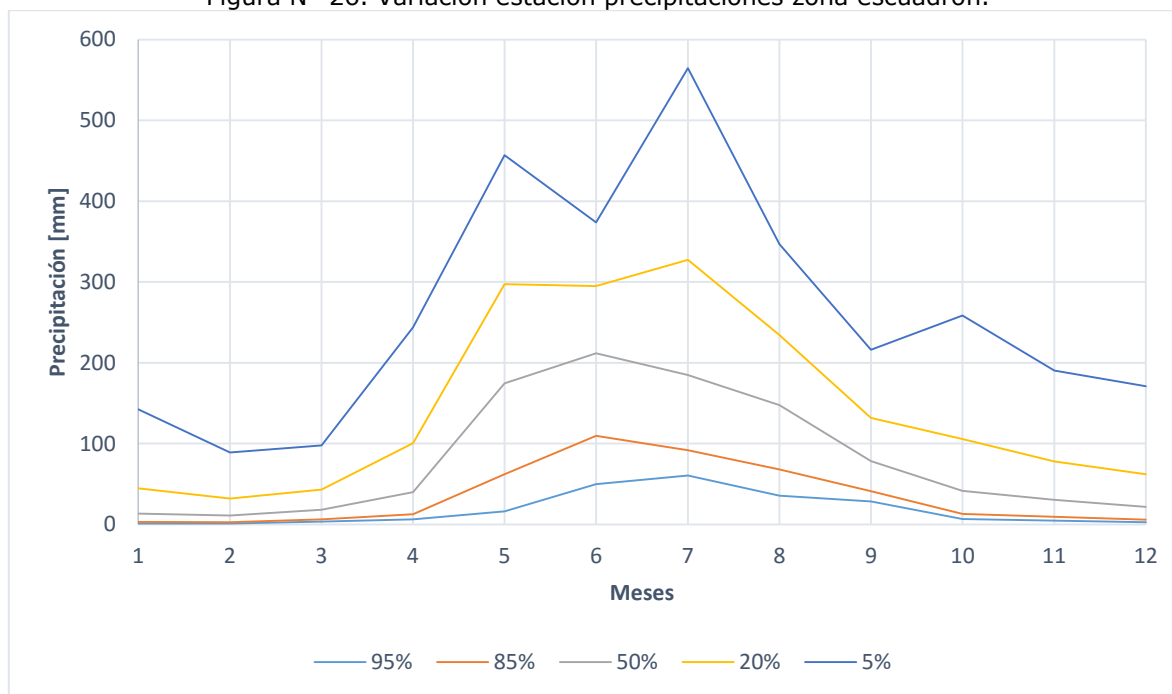
A partir del análisis de frecuencia, se generaron las curvas de variación estacional, que se presentan en la tabla y figura siguientes.

Tabla N° 21. Variación estación precipitaciones zona escuadrón.

Mes	Probabilidad de Excedencia				
	95%	85%	50%	20%	5%
Enero	1.2	3.0	13.4	44.9	142.7
Febrero	1.3	2.9	10.9	31.9	89.0
Marzo	3.4	6.3	18.2	43.1	97.8
Abril	6.5	12.7	39.8	100.6	244.0
Mayo	16.1	62.2	174.5	297.4	456.8
Junio	49.8	109.7	211.8	294.8	373.9
Julio	60.7	91.7	185.1	327.5	564.6
Agosto	35.6	68.2	147.5	234.3	346.8
Septiembre	28.4	41.3	78.3	131.7	216.2
Octubre	6.6	13.1	41.4	105.7	258.5
Noviembre	4.9	9.7	30.6	78.0	190.4
Diciembre	2.7	5.8	21.6	62.2	170.9
Total Anual	730.5	835.8	1091.7	1371.8	1735.2
Verano	67.4	116.1	199.1	266.5	330.9
Invierno	540.6	687.9	938.9	1142.7	1337.2

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Figura N° 26. Variación estación precipitaciones zona escuadrón.



Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

• Uso de las aguas superficiales.

En este punto se presenta una descripción global del sistema de agua potable, de Coronel, siendo para el año 1992, el único existente en el área de estudio.

✓ Fuentes de abastecimiento.

- Sistema formado por los estero Calabozo y Los Maquis.
- Laguna Quiñenco.
- Sistema de Punteras Lagunillas.

En la tabla siguiente se presentan los caudales superficiales de 4 zonas de interés.

Tabla N° 22. Caudales superficiales promedio subcuencas zona escuadrón [l/s].

Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Medio Anual
1	270	201	154	199	577	1081	1534	1564	1270	897	628	396	731
2	122	91	70	90	261	489	694	706	574	405	284	179	330
3	107	80	61	79	229	428	607	618	503	355	249	157	289
4	220	164	126	162	470	881	1250	1272	1034	730	511	323	595
Total	719	536	411	530	1537	2879	4085	4157	3381	2387	1672	1055	1945

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Nota: 1 : Laguna La Posada.
 2 : Entre Laguna La Posada y Laguna Quiñenco.
 3 : Laguna Quiñenco.
 4 : De Laguna Quiñenco al Sur

- **Evaporación.**

Con respecto a la evapotranspiración en la zona, se generó mediante el método del evaporímetro de cubeta, el cual permite medir los efectos integrados de la radiación, el viento, la temperatura y la humedad en función de la evapotranspiración de una superficie libre. En la determinación de la evapotranspiración de una superficie de agua libre, se utilizó la estadística evaporimétrica de la estación climática Bellavista, localizada en la zona costera de Concepción. En la siguiente tabla se presenta los resultados de la evaporación.

Tabla N° 23. Estadística evaporimétrica estación Bellavista.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Evap [mm/mes]	113.4	97.9	74.8	47.3	26.1	26.1	28.1	18.8	40.8	59.1	85.7	94.8

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

En las tablas siguientes se muestra el resultado de la evapotranspiración

Tabla N° 24. Evapotranspiración zona escuadrón [mm/mes].

Sector	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1, 2, 3, 4 y 7	51.1	44.0	33.7	20.7	11.8	11.8	12.7	8.5	18.4	26.6	38.6	42.7	320.6
5 y 8	80.8	69.7	53.3	32.8	18.6	18.6	20.2	13.4	29.1	42.1	61.1	67.5	507.0
6 y 9	40.4	34.9	26.6	16.4	9.3	9.3	10.0	6.7	14.5	21.0	30.5	33.8	253.4

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

Tabla N° 25. Evapotranspiración zona escuadrón [l/s].

Sector	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	615	567	405	257	142	146	152	102	228	320	480	513
2	277	255	182	116	64	66	69	46	103	144	216	231
3	236	218	156	99	54	56	59	39	88	123	184	197
4	487	449	321	204	112	116	121	81	181	254	380	407
5	830	766	547	348	191	198	206	138	309	432	648	694
6	137	126	90	57	31	33	34	23	51	71	107	114
7	18	17	12	8	4	4	5	3	7	10	14	15
8	224	207	148	94	52	53	56	37	83	117	175	187
9	71	66	47	30	16	17	18	12	27	37	56	60

Fuente: Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel

NOTA: Sector Nombre

- 1 Cuenca Laguna La Posada
- 2 Cuenca entre Laguna La Posada y Laguna Quiñenco
- 3 Cuenca Laguna Quiñenco
- 4 Cuenca Laguna Quiñenco Sur
- 5 Cota 25 m.s.n.m. a carretera, al sur de Laguna La Posada
- 6 Carretera al Océano
- 7 Cota 25 m.s.n.m. a cuenca Laguna La Posada
- 8 Cota 25 m.s.n.m. a carretera, al Norte de Laguna La Posada
- 9 Carretera al Océano, al Norte de Laguna La Posada

5.1.2. Selección de Cuencas.

Una vez revisado el “**Estudio Hidrológico e Hidrogeológico Escuadrón – Coronel**”, del año 1992. Se procedió a identificar las cuencas dentro de la zona de estudio.

Una cuenca hidrográfica es una superficie natural en la que el agua proveniente en forma de precipitación (líquida y/o sólida) forma un curso principal de agua; también se define como una unidad fisiográfica conformada por el conjunto de sistemas de cursos de agua generados por el relieve. Estas cuencas están delimitadas por las “divisorias de aguas” que se definen en forma natural y que corresponden a las zonas más altas que encierran un cauce.

La delimitación de una cuenca, consiste en definir la línea “divortium aquarum”, que es una línea curva cerrada que inicia y termina en el punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica. La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca sobre un plano horizontal.

Las cuencas hidrográficas funcionan como un todo, con distintas componentes, entre las que podemos destacar: hidrológica, ecológica, ambiental y socioeconómica.

Con respecto a la componente hidrológica, las cuencas cobran relevancia debido a que cumplen funciones como:

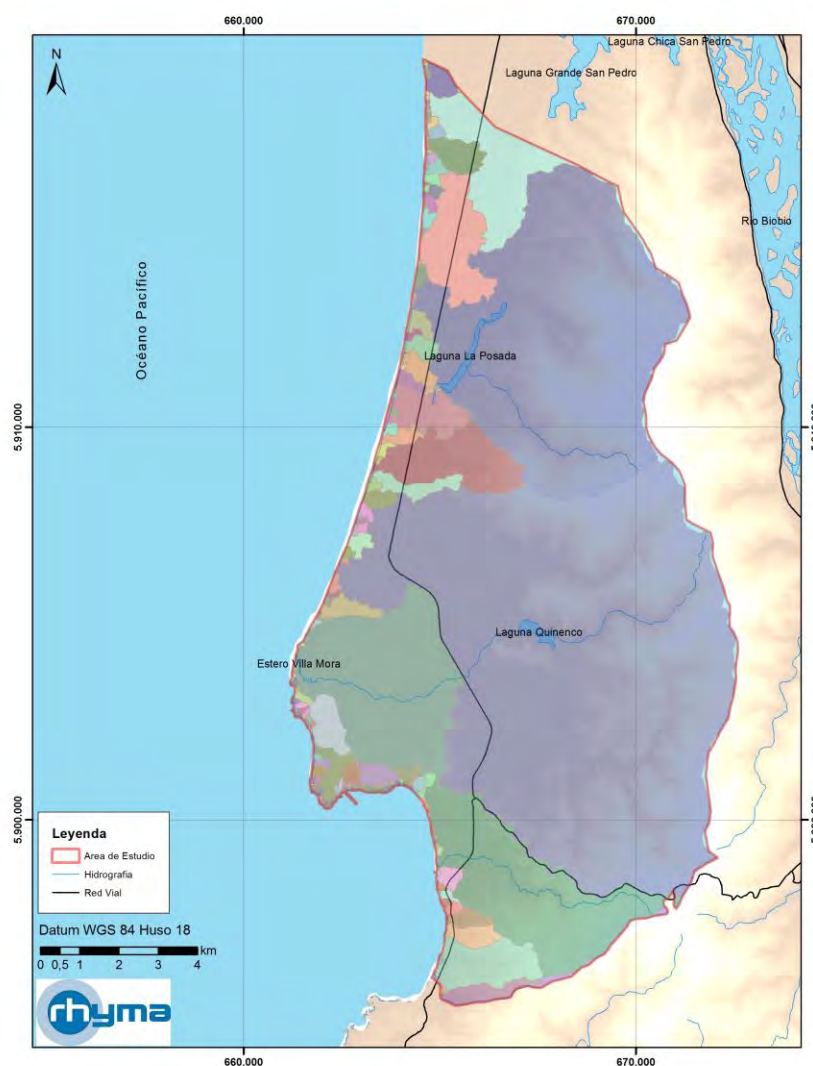
- Captación de agua de las diferentes fuentes (ríos, esteros, arroyos, quebradas, etc)
- Almacenamiento del agua en diferentes formas (lagos, lagunas, acuífero, etc) y tiempos de duración.
- Descarga del agua como escurrimiento superficial, subterráneo y evapotranspiración.

Para el proceso de definición de las cuencas hidrográficas se integró la siguiente información:

- Cartográfica del Instituto Geográfico Militar.
- Modelo Digital de Elevación (DEM) ASTER.
- Imagen Google Earth (Image 2015 TerraMetrics)

A partir del DEM ASTER, se procedió a definir las cuencas hidrológicas mediante herramientas SIG. Con esto generamos una serie de cuencas, las que se muestran en la figura siguiente.

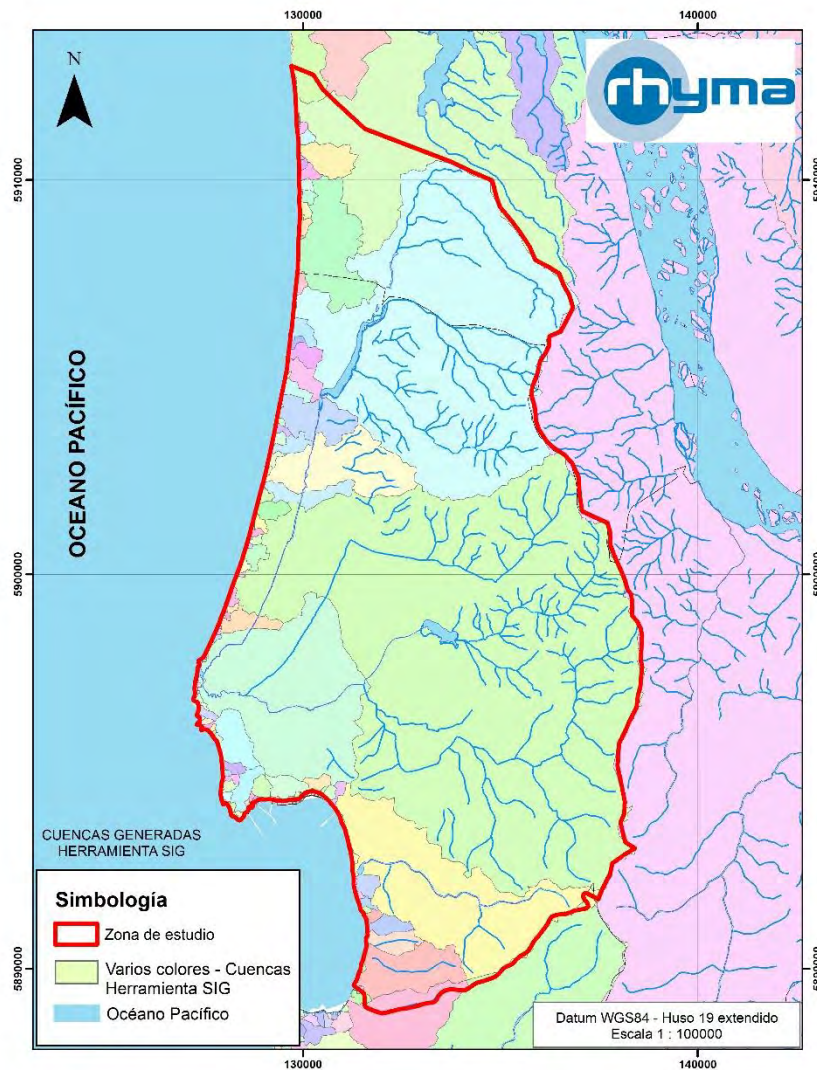
Figura N° 27. Cuencas generadas mediante herramienta SIG.



Fuente: Elaboración propia.

El producto generado, corresponde a las cuencas hidrológicas “naturales”. En nuestro caso vamos a superponer, a las cuencas generadas, la hidrografía entregada por el IGM. Esto se muestra en la figura siguiente.

Figura N° 28. Cuencas generadas e hidrografía IGM.



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar la existencia de un **“trasvasije”** desde la zona norte hacia el estero Villa Mora. Además, se observa una alta intervención en las zonas bajas de las cuencas hidrográficas, producto principalmente de la urbanización generada. En la figura siguiente, se presenta la zona con interferencia **“urbana”**.

Figura N° 29. Zona de estudio e influencia "urbana".



Fuente: Elaboración propia.

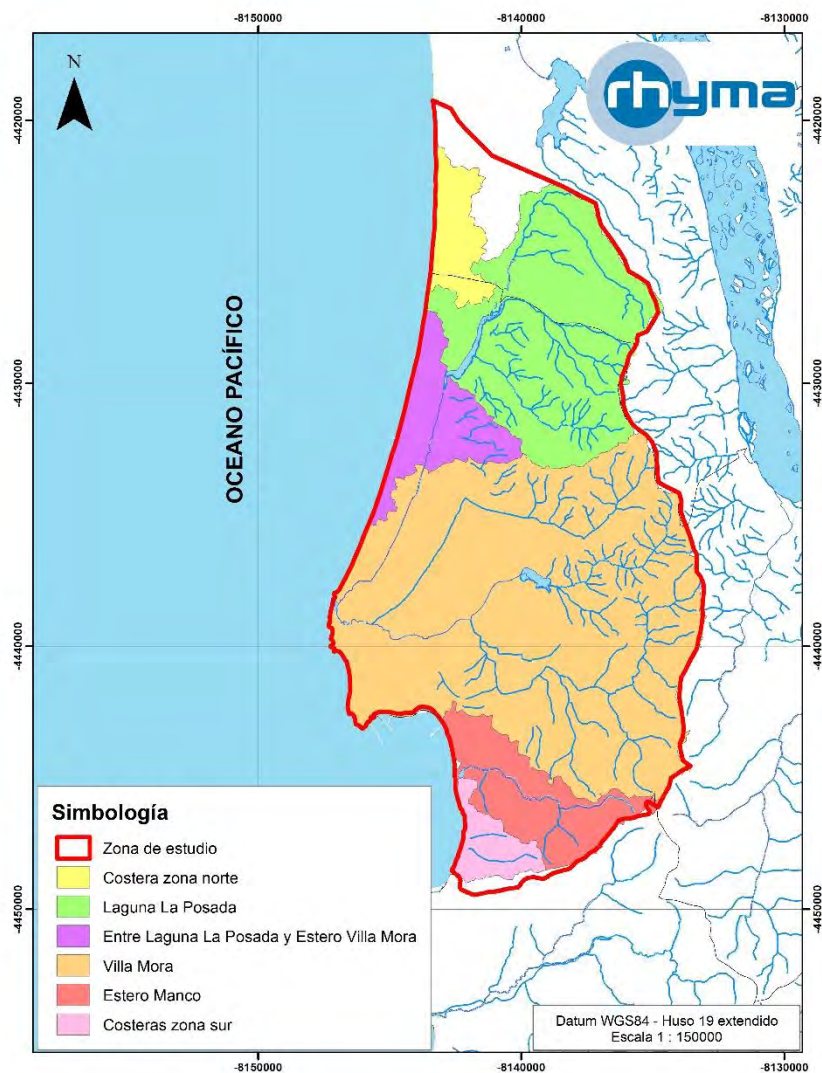
En función de la información analizada, se han identificado 6 zonas o "cuencas". Estas zonas se han denominado de la siguiente manera:

- ✓ Cuencas costeras zona norte.
- ✓ Cuenca Laguna La Posada.
- ✓ Costeras entre Laguna La Posada y Estero Villa Mora.
- ✓ Cuenca Estero Villa Mora.
- ✓ Cuenca Estero Manco.

- ✓ Cuencas costeras zona sur.

Estas zonas se presentan en la figura siguiente.

Figura N° 30. Cuencas definidas.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Parámetros morfométricos.

Una vez definidas las cuencas de análisis se procede a estimar los parámetros morfométricos de las cuencas.

La morfometría en geomorfología proporciona la parametrización de los procesos que toman lugar en la formación del relieve.

Los parámetros estimados para cada cuenca son:

- ✓ Área [Km²].
- ✓ Perímetro [Km].
- ✓ Cota máxima de la cuenca [m.s.n.m]
- ✓ Cota mínima de la cuenca [m.s.n.m]
- ✓ Información del centro de gravedad.
 - X Centroide [m].
 - Y Centroide [m].
 - Z Centroide [m.s.n.m].
- ✓ Altitud media (Z Centroide) [m.s.n.m].
- ✓ Altitud más frecuente [m.s.n.m].
- ✓ Altitud de frecuencia media [m.s.n.m].
- ✓ Pendiente promedio de la cuenca [%].
- ✓ Longitud del curso principal [Km].
- ✓ Orden de la red hídrica [Unidad].
- ✓ Longitud de la red hídrica [Km].
- ✓ Pendiente promedio de la red hídrica [%].
- ✓ Tiempo de concentración [Hrs].
- ✓ Pendiente del cauce principal [m/Km].
- ✓ Curvas hipsométricas de las cuencas.

En la tabla siguiente se presentan los resultados morfométricos obtenidos. Las coberturas generadas para cada cuenca se adjuntan al proyecto SIG. Las hipsometrías de las cuencas se presentan en las tablas y figuras siguientes.

Tabla N° 26. Parámetros morfométricos de las cuencas definidas.

Parámetros		Cuenca					
Variable	Unidad	Costera zona norte	Cuenca Laguna La Posada	Costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora	Cuenca Estero Villa Mora	Cuenca Estero Manco	Costera zona sur
De la superficie							
Área	Km2	6,1	35,9	10,0	89,0	12,3	4,3
Perímetro	Km	17,0	32,1	23,5	51,8	23,6	12,4
Cotas							
Cota máxima	m.s.n.m	117,0	521,0	315,0	498,0	454,0	325,0
Cota mínima	m.s.n.m	4,0	11,0	0,0	0,0	5,0	4,0
Centroide (PSC: WGS84 Huso 19)							
X Centroide	m	130.686,4	133.495,0	130.478,1	133.209,1	133.932,9	132.565,5
Y Centroide	m	5.909.093,0	5.906.088,5	5.903.339,9	5.897.459,2	5.892.101,7	5.890.629,1
Z Centroide	m.s.n.m	27,7	240,0	101,1	233,7	210,5	137,8
Altitud							
Altitud media	m.s.n.m	27,7	240,0	101,1	233,7	210,5	137,8
Altitud más frecuente	m.s.n.m	17,5	18,0	7,5	11,5	15,5	11,5
Altitud de frecuencia media (1/2)	m.s.n.m	60,6	263,1	158,0	249,0	229,5	164,6
Pendiente							
Pendiente promedio de la cuenca	%	7,1	19,6	12,6	16,0	17,9	22,1
De la Red Hídrica							
Longitud del curso principal	Km	4,1	12,3	4,8	18,8	8,8	3,6
Orden de la Red Hídrica	UND	4,0	5,0	3,0	5,0	4,0	3,0
Longitud de la Red Hídrica	Km	13,9	91,8	25,1	219,6	31,3	9,3
Pendiente promedio de la Red Hídrica	%	1,0	1,9	1,4	1,6	1,7	2,0
Parámetros generados							
Tiempo de concentración	horas	2,4	12,0	2,2	28,1	6,4	1,3
Pendiente del cauce principal	m/Km	27,5	41,4	65,4	26,5	51,1	88,0

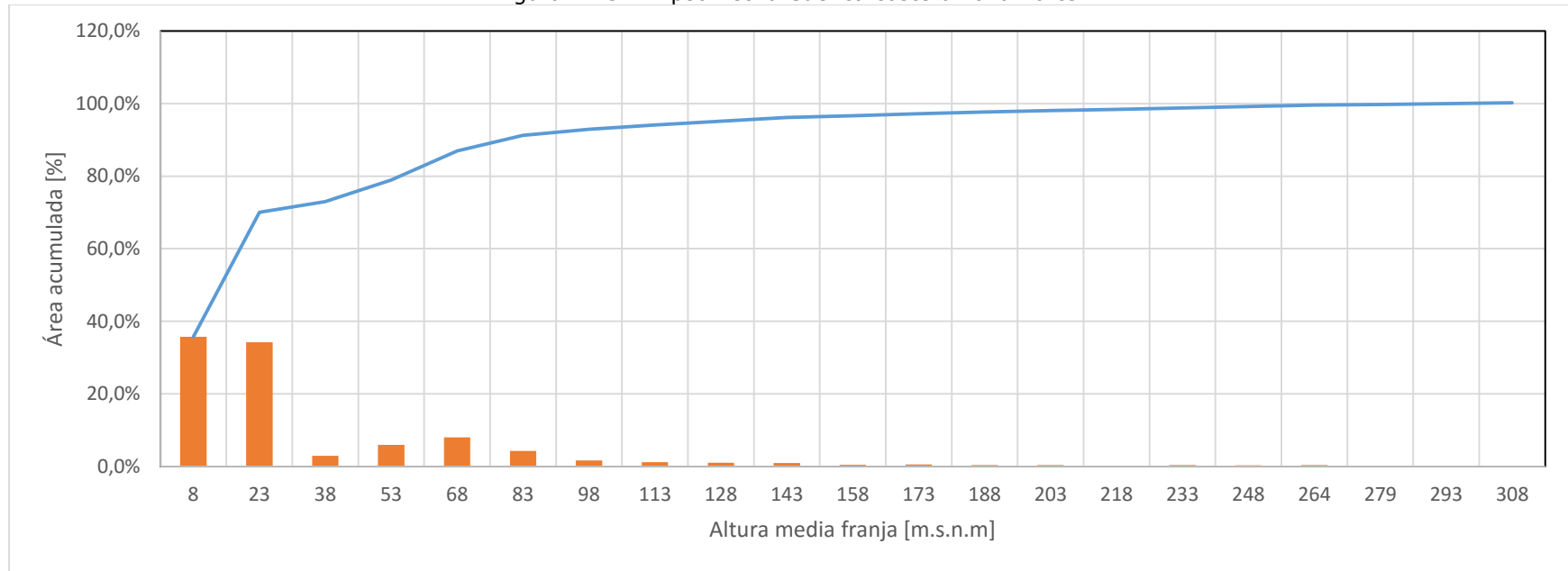
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 27. Hipsometría Cuenca costera zona norte.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	0	15	8	3,57	3,57	35,8%	35,8%
2	16	30	23	3,41	6,98	70,0%	34,2%
3	31	45	38	0,29	7,27	73,0%	2,9%
4	46	60	53	0,60	7,87	78,9%	6,0%
5	61	75	68	0,80	8,67	86,9%	8,0%
6	76	90	83	0,43	9,09	91,2%	4,3%
7	91	105	98	0,17	9,26	92,9%	1,7%
8	106	120	113	0,12	9,38	94,1%	1,2%
9	121	135	128	0,10	9,48	95,1%	1,0%
10	136	150	143	0,10	9,58	96,1%	1,0%
11	151	165	158	0,05	9,63	96,7%	0,5%
12	166	180	173	0,06	9,69	97,2%	0,6%
13	181	195	188	0,05	9,73	97,7%	0,5%
14	196	210	203	0,04	9,77	98,1%	0,4%
15	211	225	218	0,03	9,80	98,4%	0,3%
16	226	240	233	0,04	9,85	98,8%	0,4%
17	241	255	248	0,03	9,88	99,2%	0,3%
18	257	270	264	0,04	9,92	99,5%	0,4%
19	272	285	279	0,02	9,94	99,7%	0,2%
20	286	299	293	0,02	9,96	100,0%	0,2%
21	301	315	308	0,02	9,98	100,2%	0,2%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 31. Hipsometría Cuenca costera zona norte.



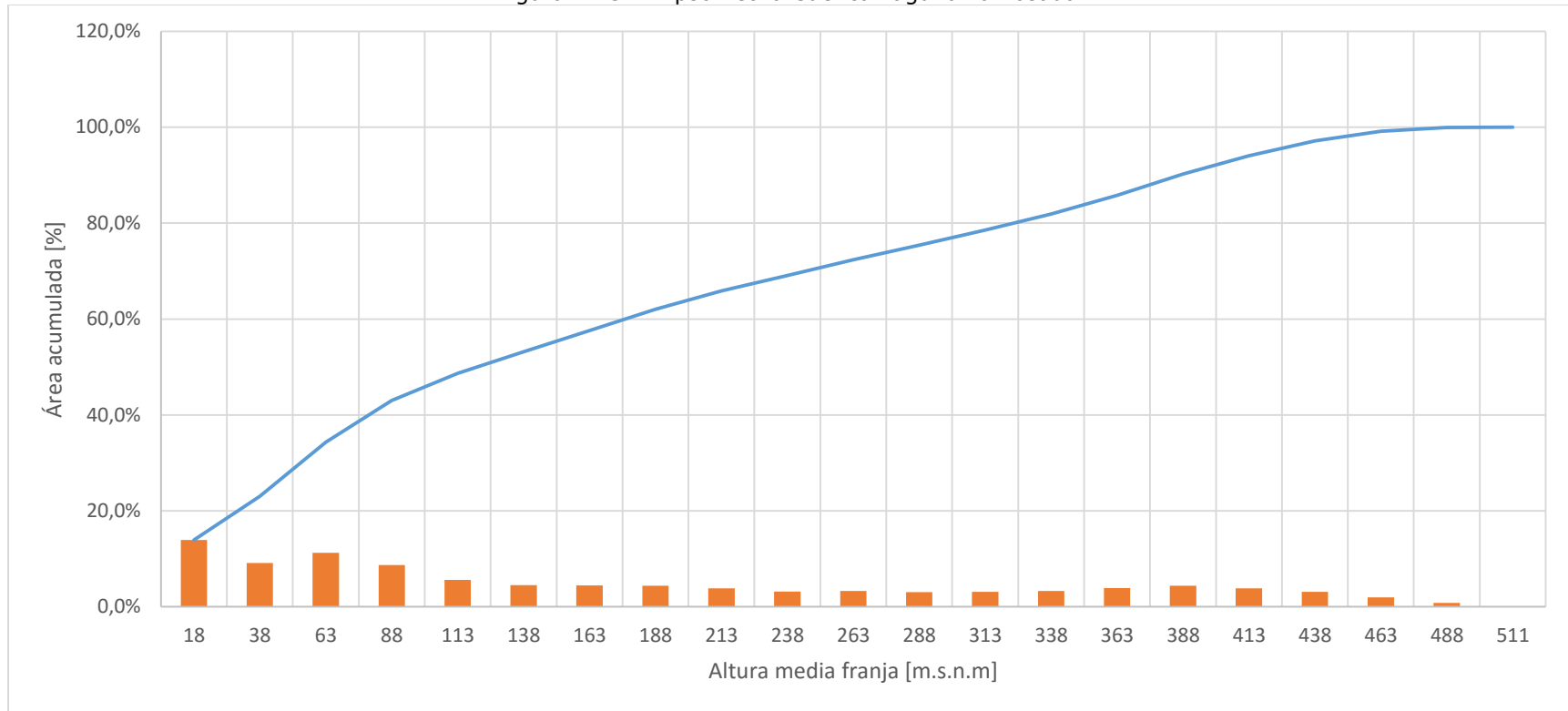
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 28. Hipsometría Cuenca Laguna La Posada.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	11	25	18	5,01	5,01	13,9%	13,9%
2	26	50	38	3,28	8,29	23,1%	9,1%
3	51	75	63	4,05	12,34	34,4%	11,3%
4	76	100	88	3,13	15,46	43,1%	8,7%
5	101	125	113	2,01	17,47	48,6%	5,6%
6	126	150	138	1,63	19,10	53,2%	4,5%
7	151	175	163	1,60	20,70	57,6%	4,5%
8	176	200	188	1,58	22,27	62,0%	4,4%
9	201	225	213	1,39	23,66	65,9%	3,9%
10	226	250	238	1,14	24,81	69,1%	3,2%
11	251	275	263	1,18	25,99	72,4%	3,3%
12	276	300	288	1,10	27,09	75,4%	3,1%
13	301	325	313	1,13	28,22	78,6%	3,1%
14	326	350	338	1,19	29,41	81,9%	3,3%
15	351	375	363	1,41	30,81	85,8%	3,9%
16	376	400	388	1,59	32,40	90,2%	4,4%
17	401	425	413	1,38	33,78	94,1%	3,8%
18	426	450	438	1,11	34,89	97,2%	3,1%
19	451	475	463	0,71	35,60	99,1%	2,0%
20	476	500	488	0,30	35,90	100,0%	0,8%
21	501	521	511	0,03	35,92	100,0%	0,1%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 32. Hipsometría Cuenca Laguna La Posada.



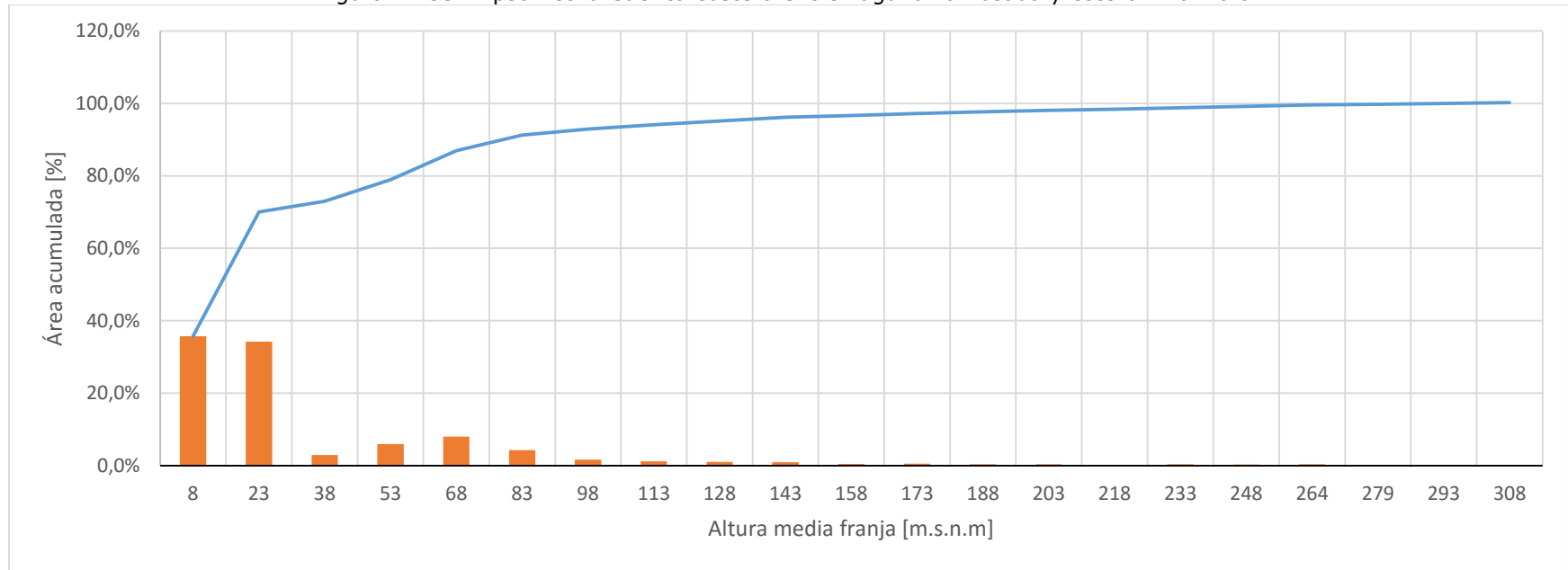
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 29. Hipsometría Cuenca costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	0	15	8	3,57	3,57	35,8%	35,8%
2	16	30	23	3,41	6,98	70,0%	34,2%
3	31	45	38	0,29	7,27	73,0%	2,9%
4	46	60	53	0,60	7,87	78,9%	6,0%
5	61	75	68	0,80	8,67	86,9%	8,0%
6	76	90	83	0,43	9,09	91,2%	4,3%
7	91	105	98	0,17	9,26	92,9%	1,7%
8	106	120	113	0,12	9,38	94,1%	1,2%
9	121	135	128	0,10	9,48	95,1%	1,0%
10	136	150	143	0,10	9,58	96,1%	1,0%
11	151	165	158	0,05	9,63	96,7%	0,5%
12	166	180	173	0,06	9,69	97,2%	0,6%
13	181	195	188	0,05	9,73	97,7%	0,5%
14	196	210	203	0,04	9,77	98,1%	0,4%
15	211	225	218	0,03	9,80	98,4%	0,3%
16	226	240	233	0,04	9,85	98,8%	0,4%
17	241	255	248	0,03	9,88	99,2%	0,3%
18	257	270	264	0,04	9,92	99,5%	0,4%
19	272	285	279	0,02	9,94	99,7%	0,2%
20	286	299	293	0,02	9,96	100,0%	0,2%
21	301	315	308	0,02	9,98	100,2%	0,2%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 33. Hipsometría Cuenca costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.



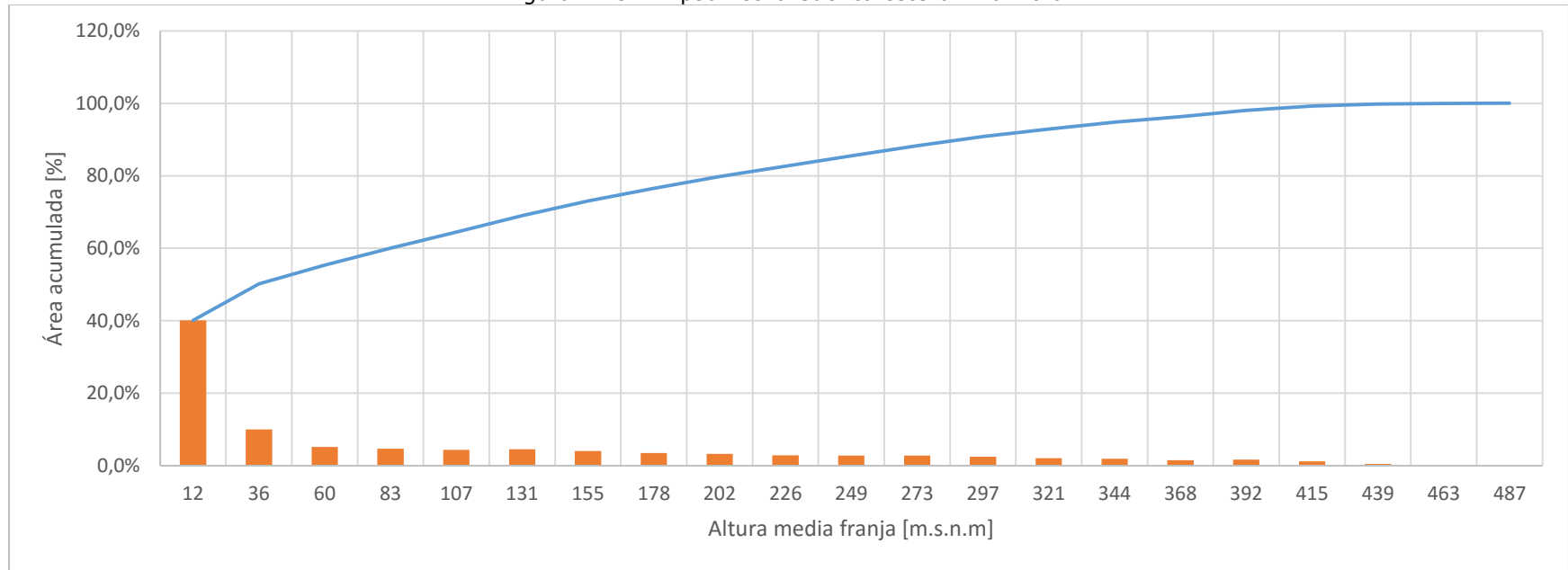
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 30. Hipsometría Cuenca estero Villa Mora.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	0	23	12	35,71	35,71	40,1%	40,1%
2	24	47	36	8,95	44,66	50,2%	10,0%
3	48	71	60	4,61	49,27	55,3%	5,2%
4	72	94	83	4,19	53,45	60,0%	4,7%
5	95	118	107	3,93	57,38	64,5%	4,4%
6	119	142	131	4,05	61,44	69,0%	4,6%
7	143	166	155	3,59	65,03	73,0%	4,0%
8	167	189	178	3,13	68,16	76,6%	3,5%
9	190	213	202	2,89	71,05	79,8%	3,3%
10	214	237	226	2,57	73,62	82,7%	2,9%
11	238	260	249	2,49	76,11	85,5%	2,8%
12	261	284	273	2,53	78,64	88,3%	2,8%
13	285	308	297	2,22	80,85	90,8%	2,5%
14	309	332	321	1,84	82,70	92,9%	2,1%
15	333	355	344	1,70	84,39	94,8%	1,9%
16	356	379	368	1,37	85,77	96,3%	1,5%
17	380	403	392	1,52	87,29	98,0%	1,7%
18	404	426	415	1,07	88,36	99,2%	1,2%
19	427	450	439	0,48	88,84	99,8%	0,5%
20	451	474	463	0,16	88,99	100,0%	0,2%
21	475	498	487	0,06	89,06	100,0%	0,1%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 34. Hipsometría Cuenca estero Villa Mora.



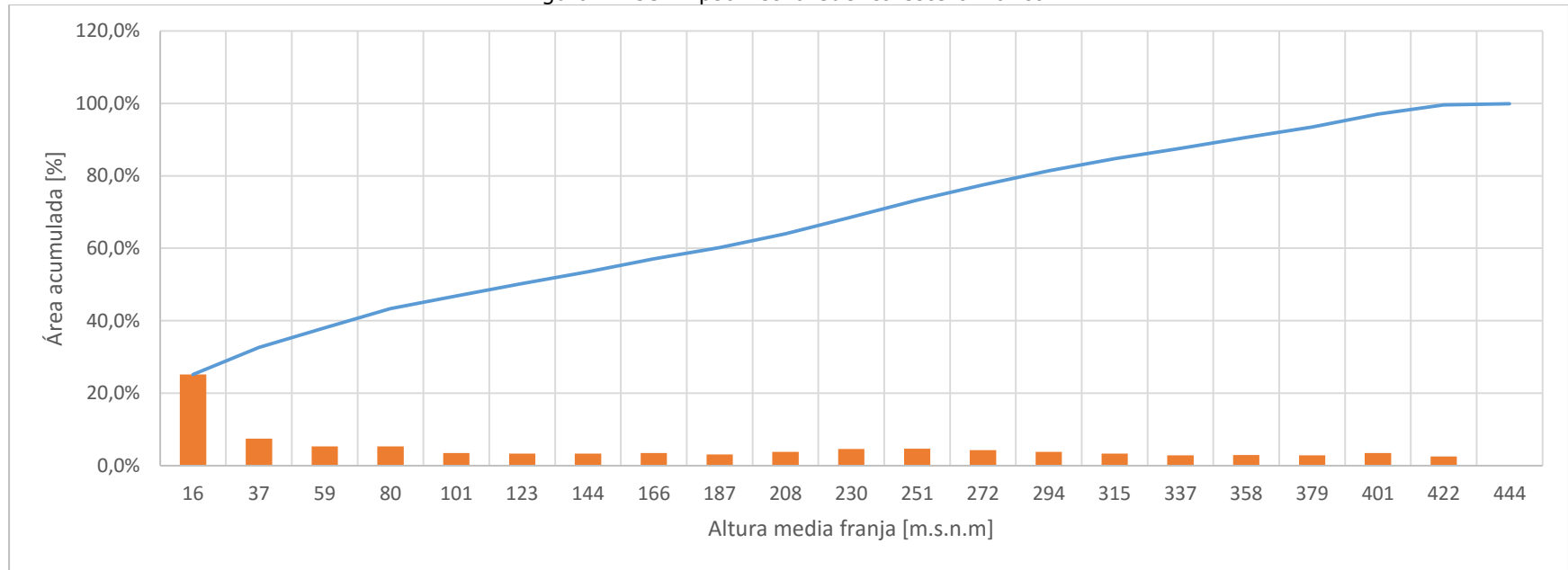
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 31. Hipsometría Cuenca estero Manco.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	5	26	16	3,10	3,10	25,2%	25,2%
2	27	47	37	0,93	4,03	32,7%	7,5%
3	48	69	59	0,66	4,69	38,0%	5,3%
4	70	90	80	0,66	5,35	43,4%	5,3%
5	91	111	101	0,43	5,78	46,9%	3,5%
6	112	133	123	0,42	6,19	50,2%	3,4%
7	134	154	144	0,41	6,60	53,6%	3,3%
8	155	176	166	0,43	7,04	57,1%	3,5%
9	177	197	187	0,38	7,42	60,2%	3,1%
10	198	218	208	0,47	7,89	64,0%	3,8%
11	219	240	230	0,57	8,45	68,6%	4,6%
12	241	261	251	0,58	9,03	73,3%	4,7%
13	262	282	272	0,53	9,56	77,5%	4,3%
14	283	304	294	0,47	10,03	81,4%	3,8%
15	305	325	315	0,42	10,45	84,7%	3,4%
16	326	347	337	0,35	10,80	87,6%	2,9%
17	348	368	358	0,37	11,17	90,6%	3,0%
18	369	389	379	0,36	11,53	93,5%	2,9%
19	390	411	401	0,44	11,96	97,0%	3,6%
20	412	432	422	0,31	12,28	99,6%	2,5%
21	433	454	444	0,04	12,31	99,9%	0,3%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 35. Hipsometría Cuenca estero Manco.



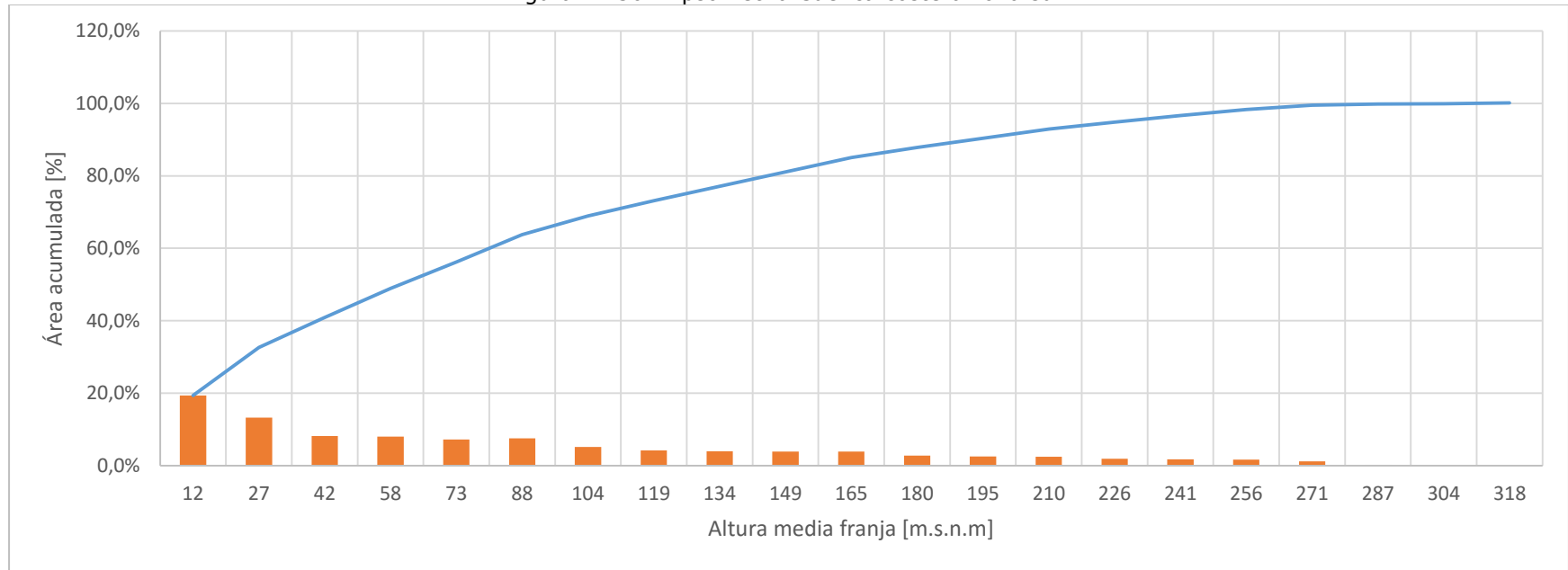
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 32. Hipsometría Cuenca costera zona sur.

N°	Cota [m.s.n.m]			Área [Km2]			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acumulado	% Inter
1	4	19	12	0,83	0,83	19,4%	19,4%
2	20	34	27	0,57	1,39	32,7%	13,3%
3	35	49	42	0,35	1,74	40,9%	8,2%
4	50	65	58	0,34	2,08	48,9%	8,0%
5	66	80	73	0,31	2,40	56,2%	7,3%
6	81	95	88	0,32	2,72	63,8%	7,6%
7	96	111	104	0,22	2,94	68,9%	5,2%
8	112	126	119	0,18	3,12	73,2%	4,2%
9	127	141	134	0,17	3,29	77,1%	4,0%
10	142	156	149	0,17	3,46	81,1%	3,9%
11	157	172	165	0,17	3,62	85,0%	4,0%
12	173	187	180	0,12	3,74	87,8%	2,8%
13	188	202	195	0,11	3,85	90,4%	2,6%
14	203	217	210	0,11	3,96	92,9%	2,5%
15	218	233	226	0,08	4,04	94,8%	1,9%
16	234	248	241	0,08	4,12	96,6%	1,8%
17	249	263	256	0,07	4,19	98,3%	1,7%
18	264	277	271	0,05	4,24	99,5%	1,2%
19	280	294	287	0,01	4,25	99,8%	0,3%
20	300	308	304	0,00	4,26	99,9%	0,1%
21	311	325	318	0,01	4,27	100,1%	0,2%

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 36. Hipsometría Cuenca costera zona sur.



5.1.4. Unifilares.

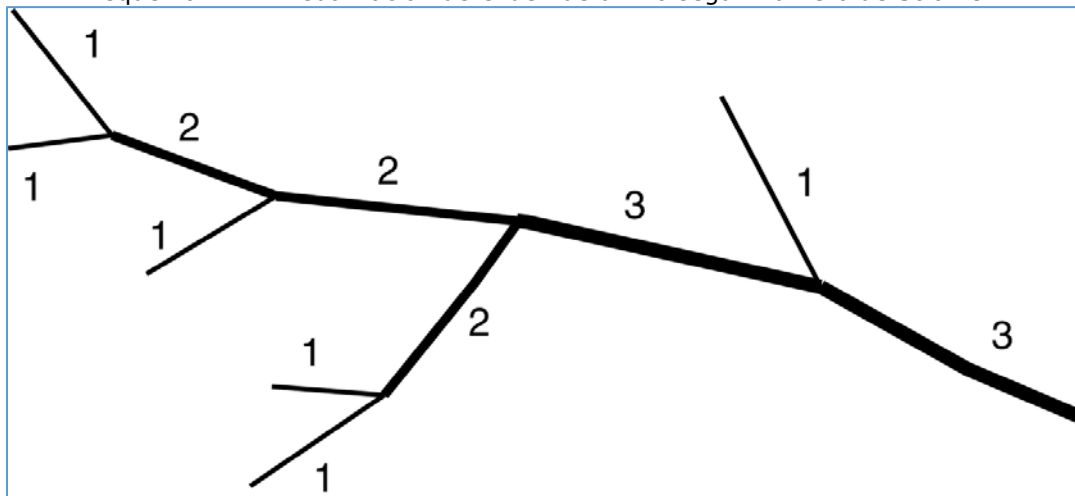
A partir de los resultados SIG en el proceso del cálculo del **orden de la red hídrica** de cada cuenca, se generaron los unifilares, de los cauces principales, de cada cuenca, los que se presentan en las figuras siguientes.

La metodología utilizada con la herramienta SIG es el **método Strahler**. Este número fue desarrollado por primera vez en hidrología por **Robert E. Horton y por Arthur Newell Strahler**.

En este método se asigna un orden de 1 a todos los arroyos sin afluentes, conocidos como arroyos de primer orden. Cuando dos arroyos del mismo orden intersecan, su clasificación aumenta; así el arroyo que se forma por unión de dos afluentes de primer orden será un arroyo de segundo orden, la intersección de dos arroyos de segundo orden creará un arroyo de tercer orden, y así sucesivamente.

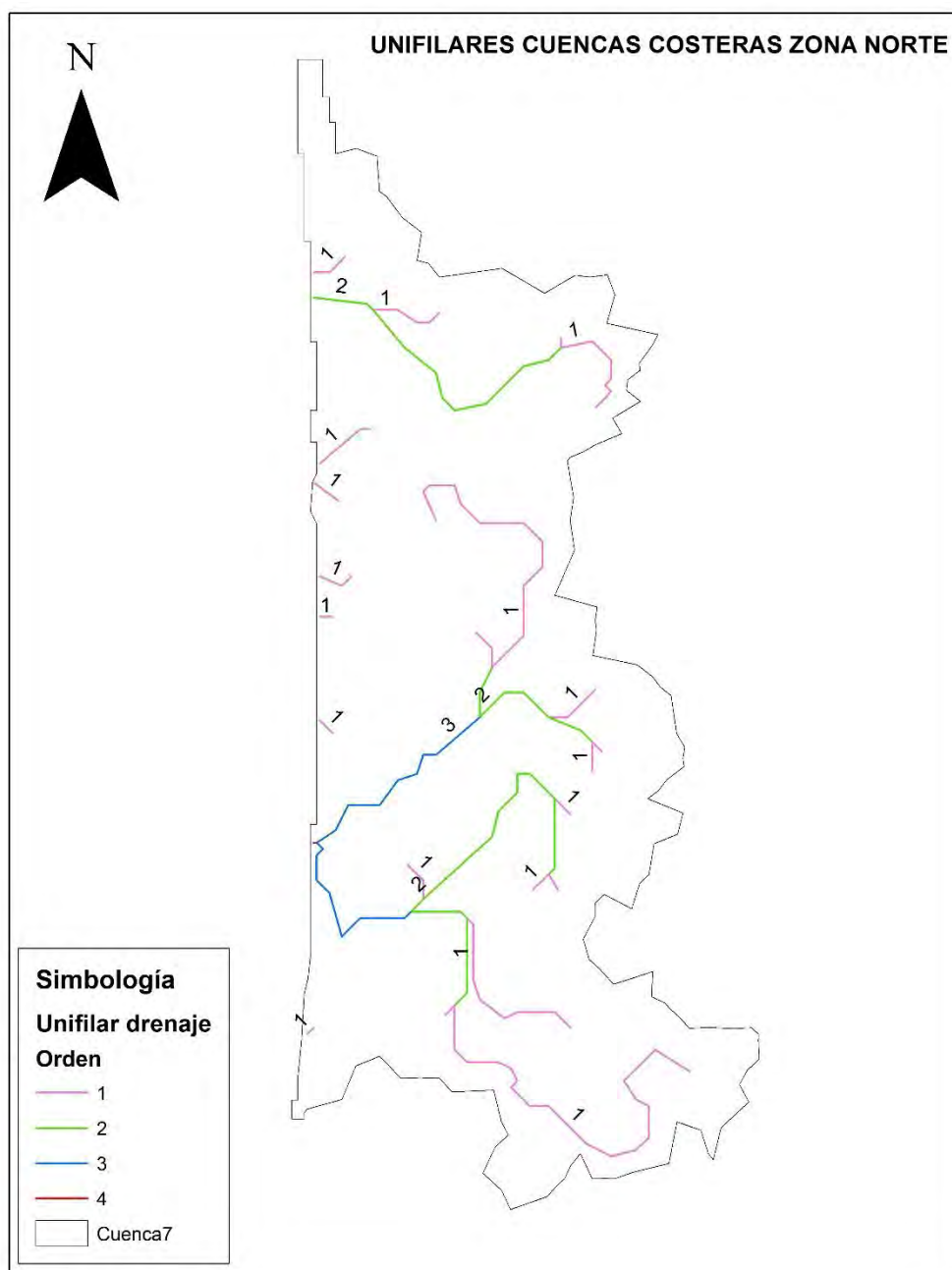
Sin embargo, cuando intersecan dos arroyos de orden distinto el orden no aumenta si no que se mantiene el orden del arroyo de orden más alto. Es decir, la intersección de un arroyo de primer orden con otro de segundo orden no crea un arroyo de tercer orden si no que será de segundo orden.

Esquema N° 1. Visualización de Orden de un río según número de Strahler.



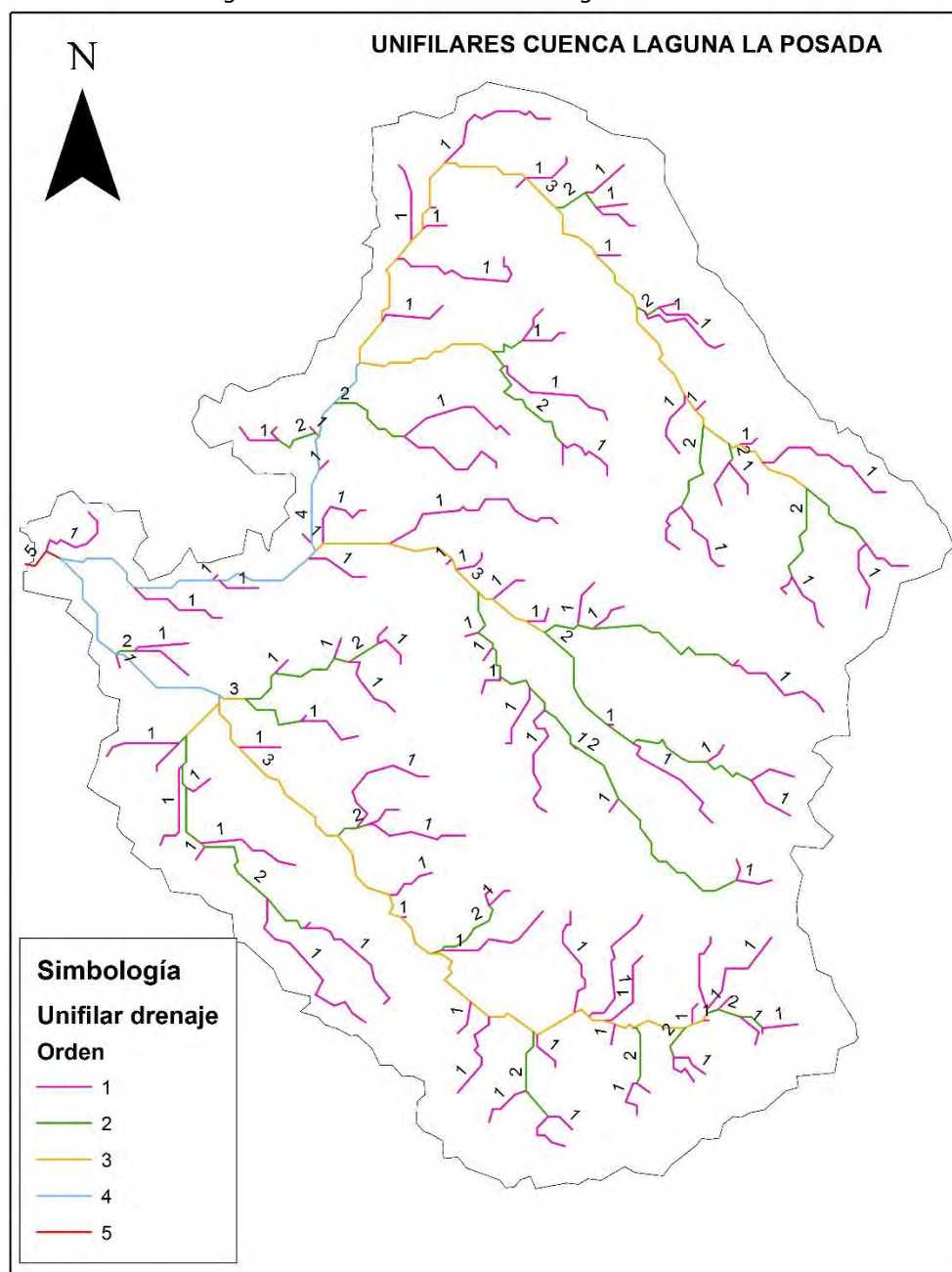
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 37. Unifilar cuenca zona norte.



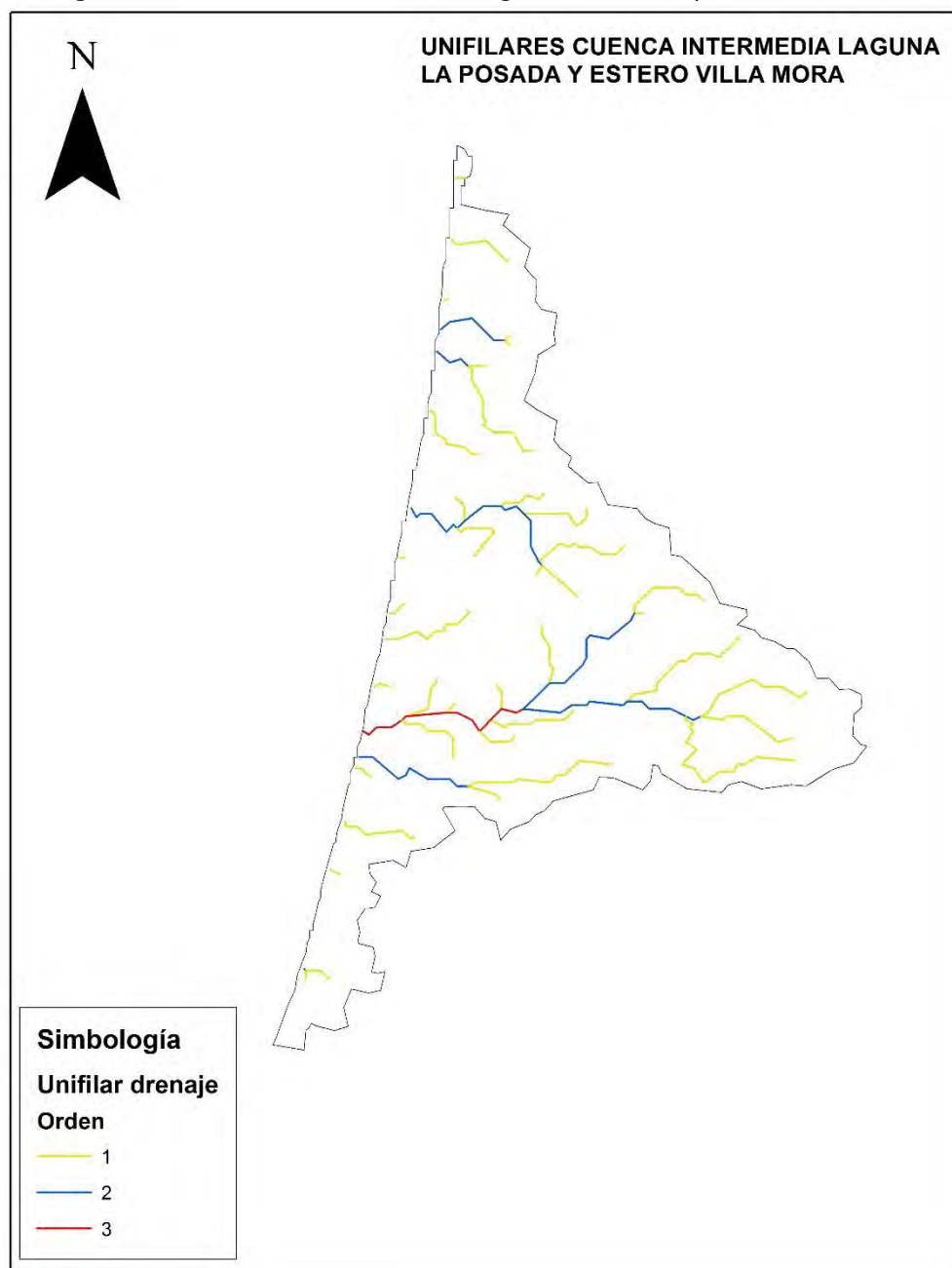
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 38. Unifilar cuenca Laguna La Posada.



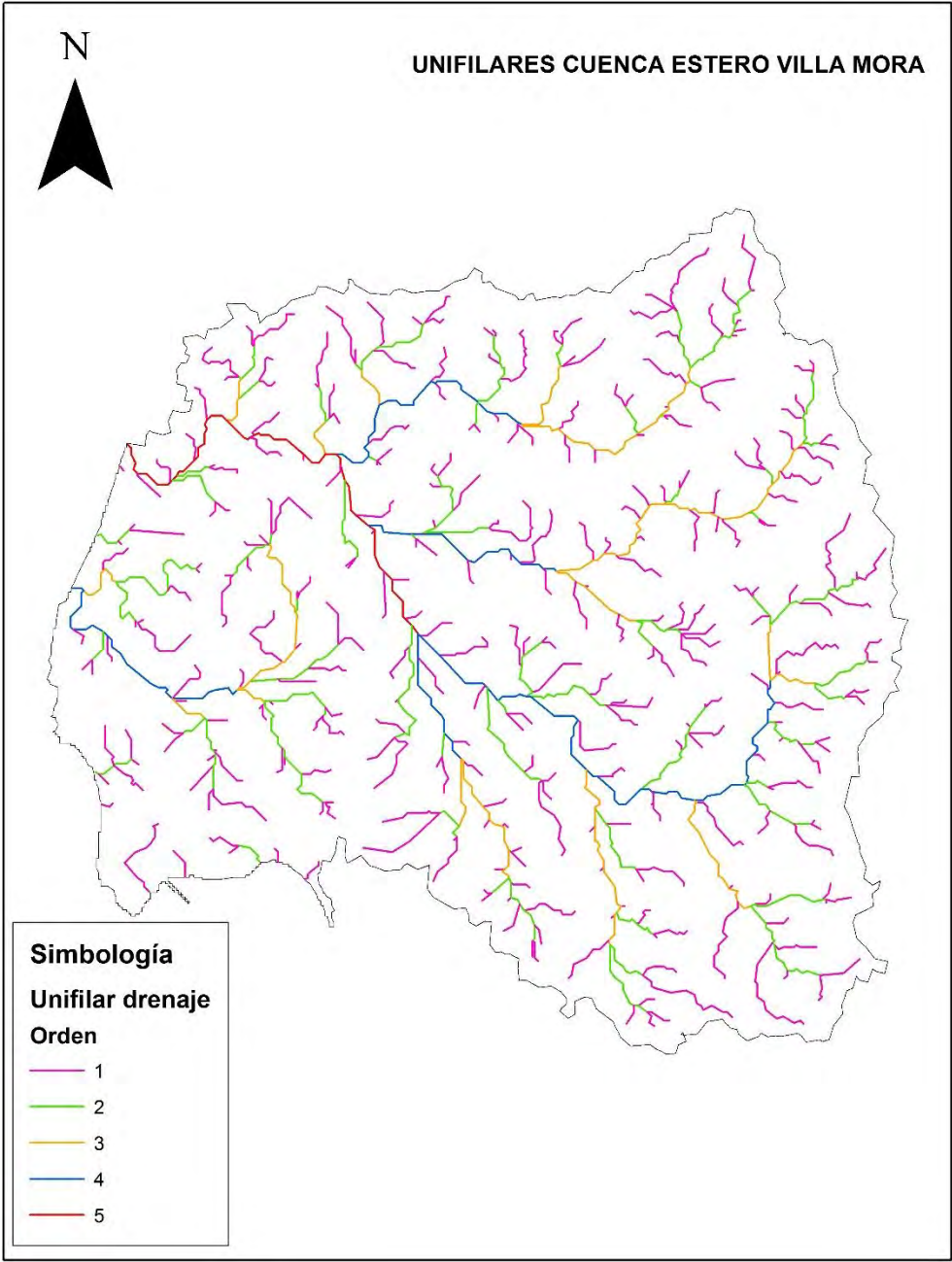
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 39. Unifilar cuenca entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.



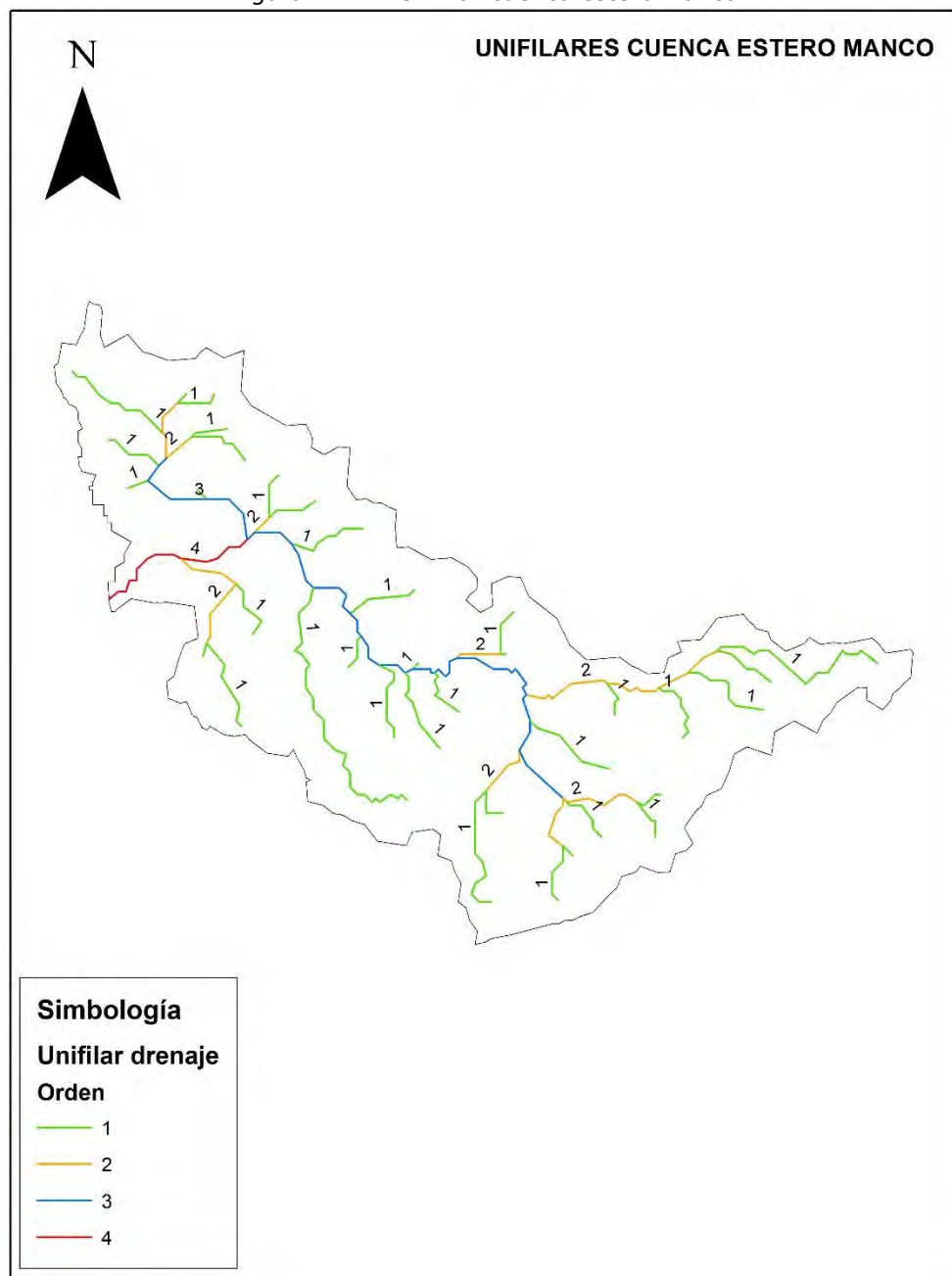
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 40. Unifilar cuenca estero Villa Mora.



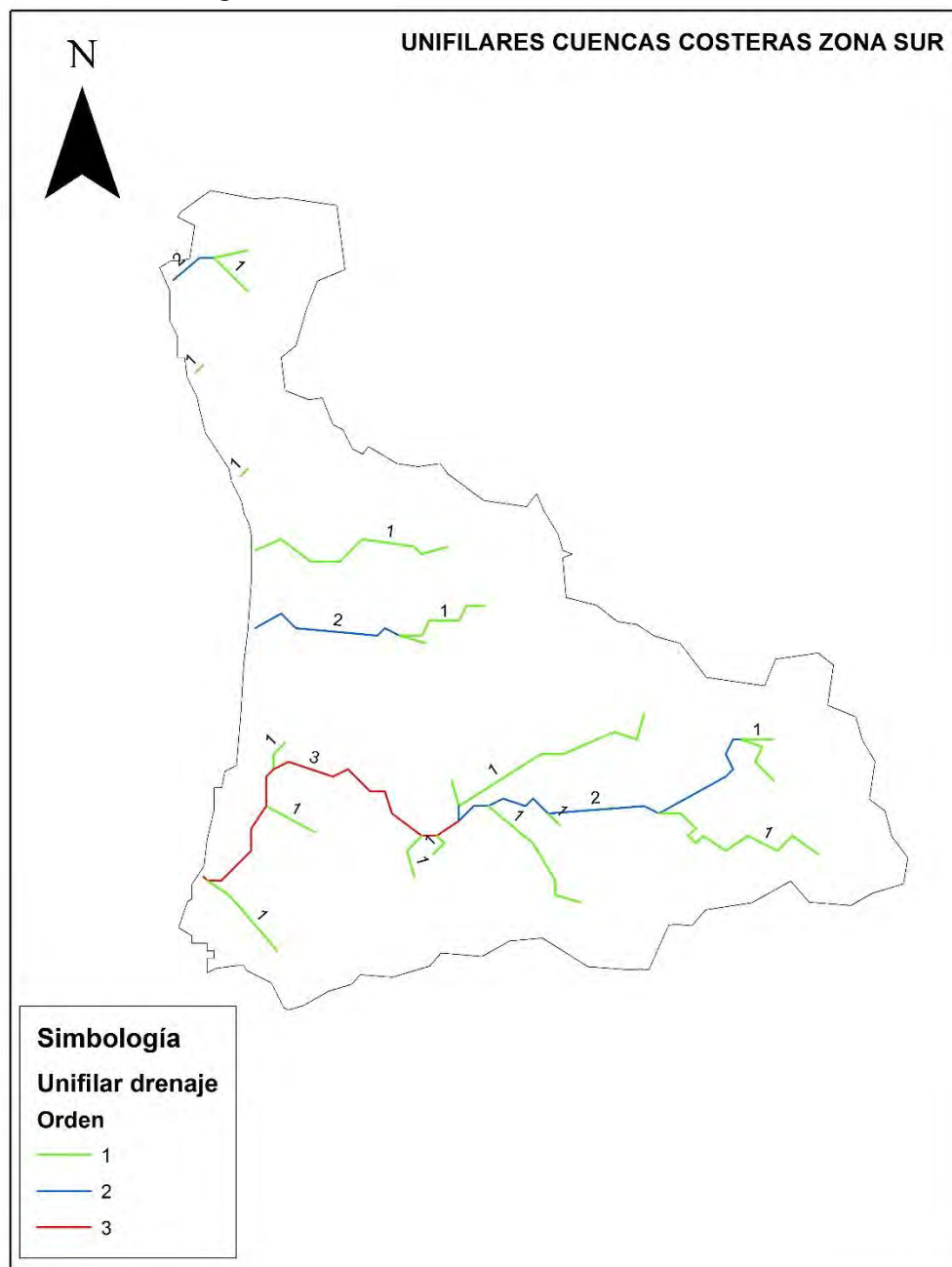
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 41. Unifilar cuenca estero Manco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 42. Unifilar cuencas costeras zona sur.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.5. Análisis hidrológico.

El análisis hidrológico busca la caracterización de los flujos superficiales en la zona de estudio.

Para esto se analizará la información disponible, tanto a nivel, mensual como a nivel anual. Esta información será revisada de las estadísticas generadas por la Red Hidrométrica Nacional y del Balance Hídrico Nacional, ambos de la Dirección General de Aguas.

Información mensual. Red Hidrométrica Nacional.

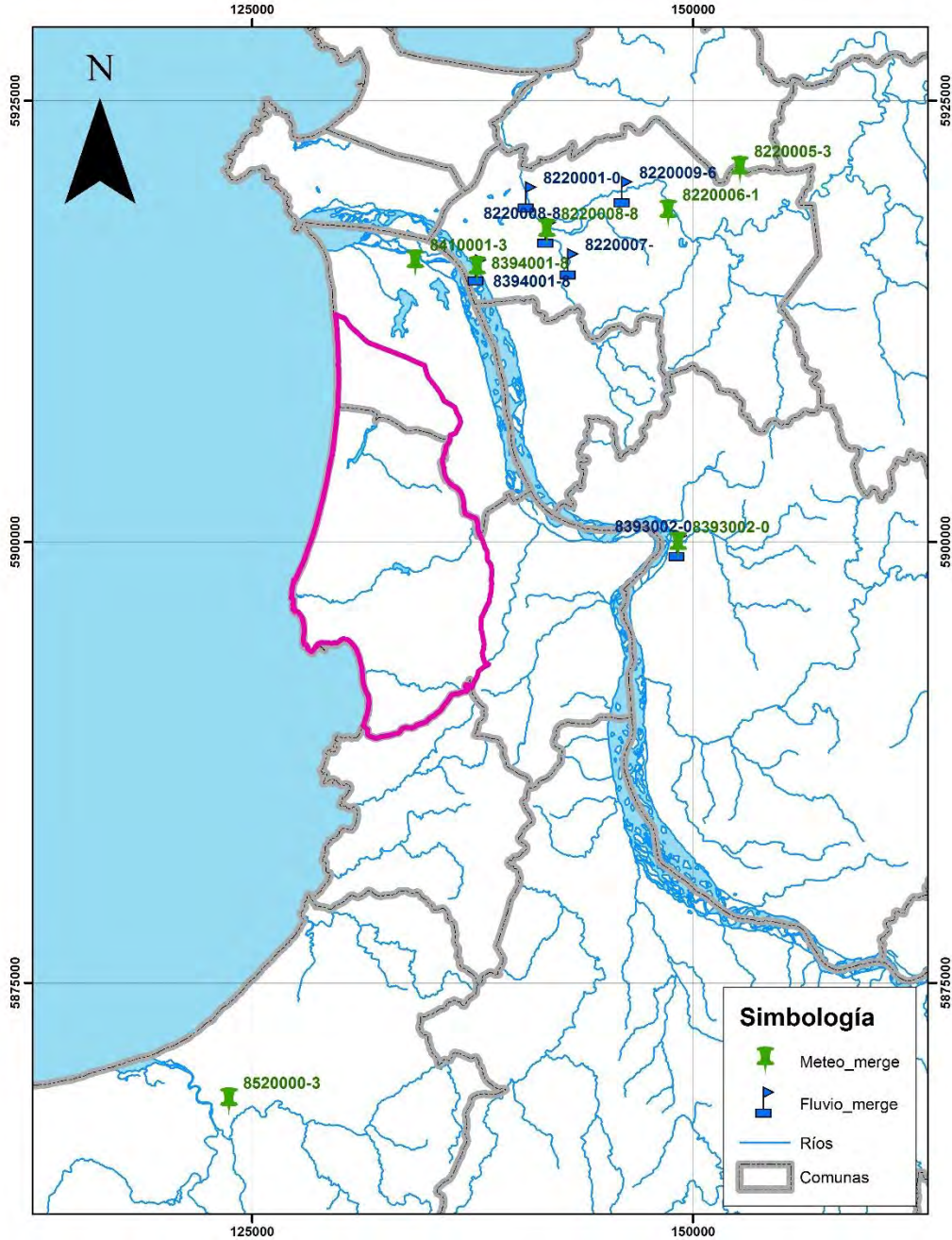
De acuerdo al Código de Aguas, la Dirección General de Aguas, entre otras funciones, tiene que planificar el desarrollo del recurso de las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento, como también “investigar y medir el recurso” para lo cual “deberá mantener y operar el servicio hidrométrico nacional y proporcionar y publicar la información correspondiente”. Es así como la Dirección opera una red hidrométrica, compuesta por alrededor de dos mil (2000) estaciones, o puntos de control, donde se miden diversos parámetros de interés para la evaluación de los recursos hídricos, entre los que se cuentan aquellos relacionados con fluvimetría, sedimentometría, aguas subterráneas, calidad química, nieves y meteorología, con la amplia gama de parámetros que ello significa, tales como niveles de agua en los ríos, caudales, precipitaciones, temperaturas, acumulación de nieve, etc.

La zona de estudio no cuenta con estaciones de fluvimétricas ni meteorológicas dentro de ella. Sin embargo, se puede generar información mediante estaciones cercanas.

Con esta información se analizará la distribución mensual de caudales y precipitaciones y distribución espacial de precipitaciones medias anuales.

En la figura siguiente se presenta la zona de estudio y las estaciones cercanas.

Figura N° 43. Estaciones RHN cercanas a zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Las estaciones, fluviométricas y meteorológicas, cercanas a la zona de estudio se presentan en las siguientes tablas. Además se presenta la información existente para cada estación.

Tablas N° 33. Estaciones RHN cercanas a zona de estudio. Fluviometría.

Codigo BNA	Nombre	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2014
8220001-0	RIO ANDALIEN CAMINO A PENCO							
8220008-8	ESTERO NONGUEN FRENTE U. DEL BIO BIO							
8220009-6	RIO ANDALIEN EN PUENTE TRINITARIAS							
8393002-0	ESTERO HUALQUI EN DESEMBOCADURA							
8394001-8	RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA							

Fuente: Elaboración propia.

Tablas N° 34. Estaciones RHN cercanas a zona de estudio. Meteorología.

Codigo BNA	Nombre	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2014
8220008-8	ESTERO NONGUEN FRENTE U. DEL BIO BIO							
8393002-0	ESTERO HUALQUI EN DESEMBOCADURA							
08367001-0	LAJA							
8394001-8	RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA							
8220005-3	LAS PATAGUAS							
8220006-1	ANDALIEN							
8410001-3	CONCEPCION DGA.							
8520000-3	CARANPANGUE							

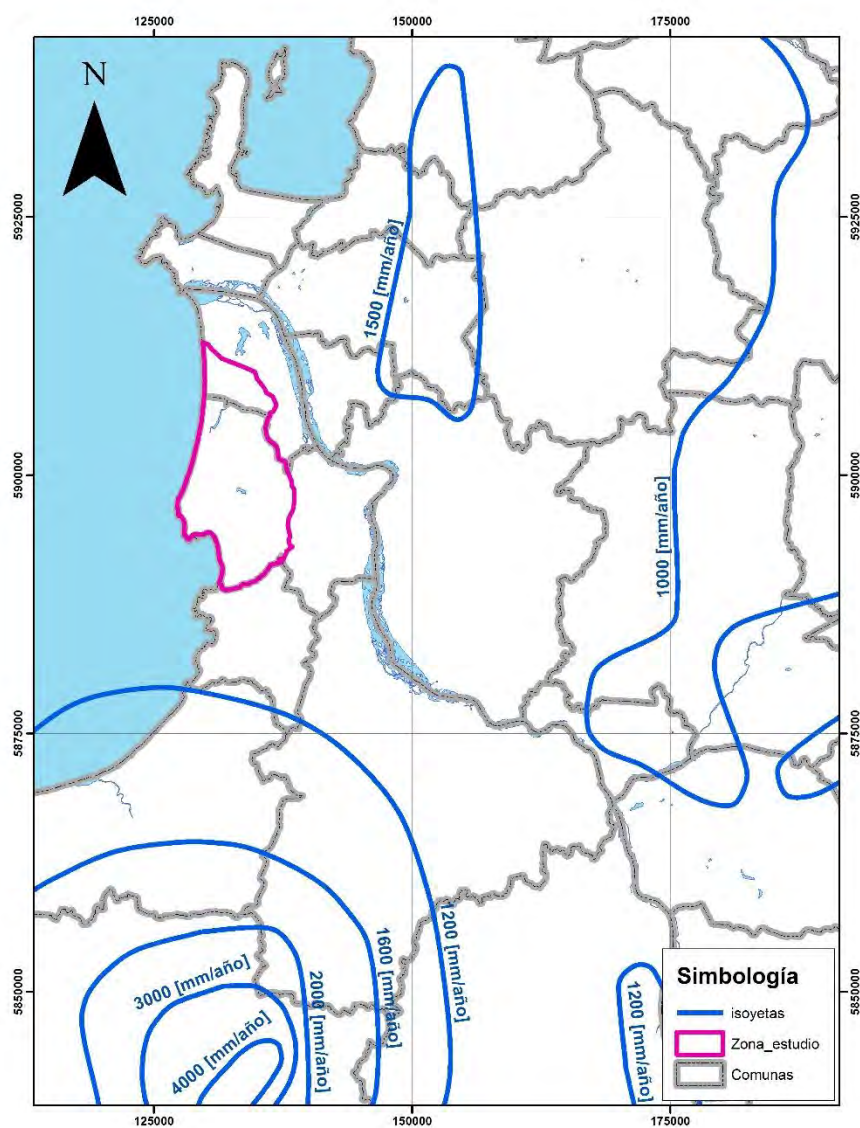
Fuente: Elaboración propia.

Información Anual. Balance Hídrico Nacional.

El Balance Hídrico Nacional, es un proyecto que dio inicio el año 1983, prolongándose su desarrollo hasta 1986. Este proyecto generó curvas Isoyetas, de isoevapotranspiración, temperatura entre otras. Con estas curvas es posible estimar la esorrentía media anual en la zona de estudio. Esta esorrentía será comparada con el resultado que se obtenga con las estadísticas medias mensuales.

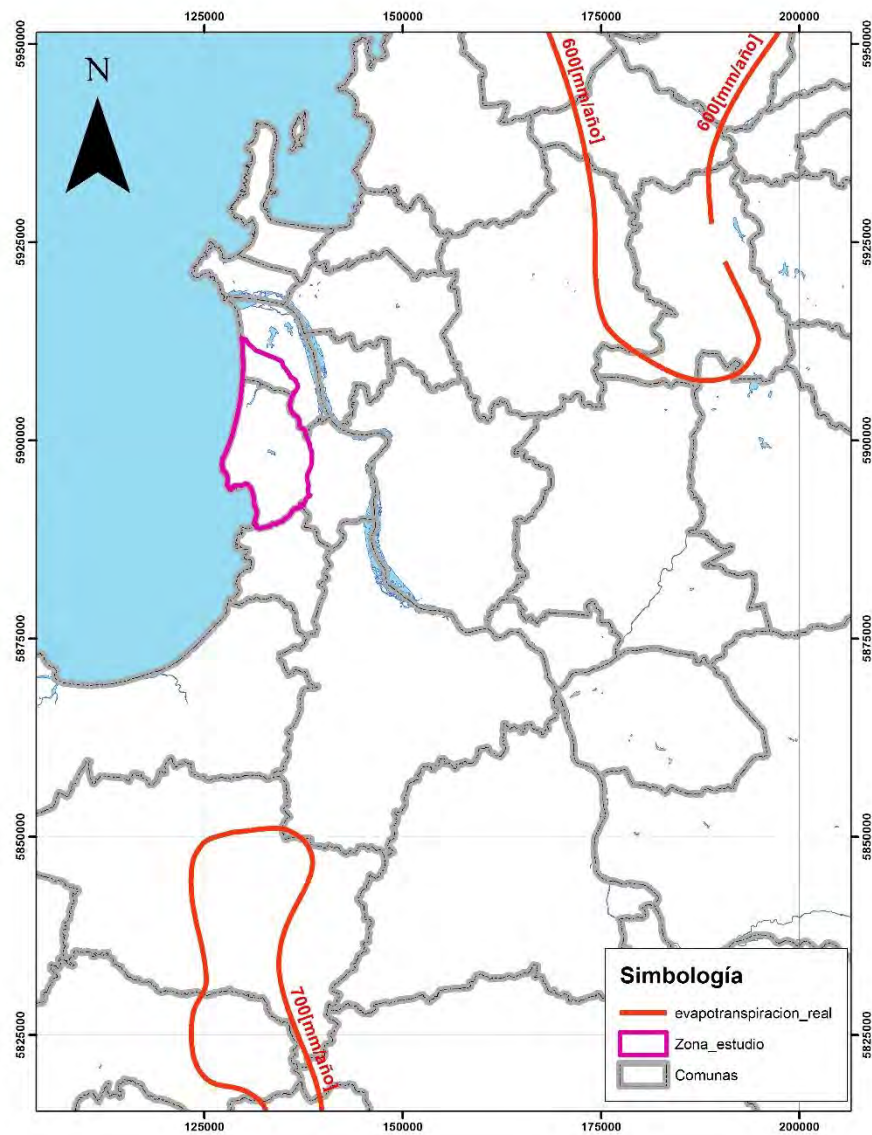
En las figuras siguientes, se presenta, las curvas Isoyetas y de evapotranspiración para la zona de estudio.

Figura N° 44. Balance Hídrico Nacional. Isoyetas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 45. Balance Hídrico Nacional. Evapotranspiración.

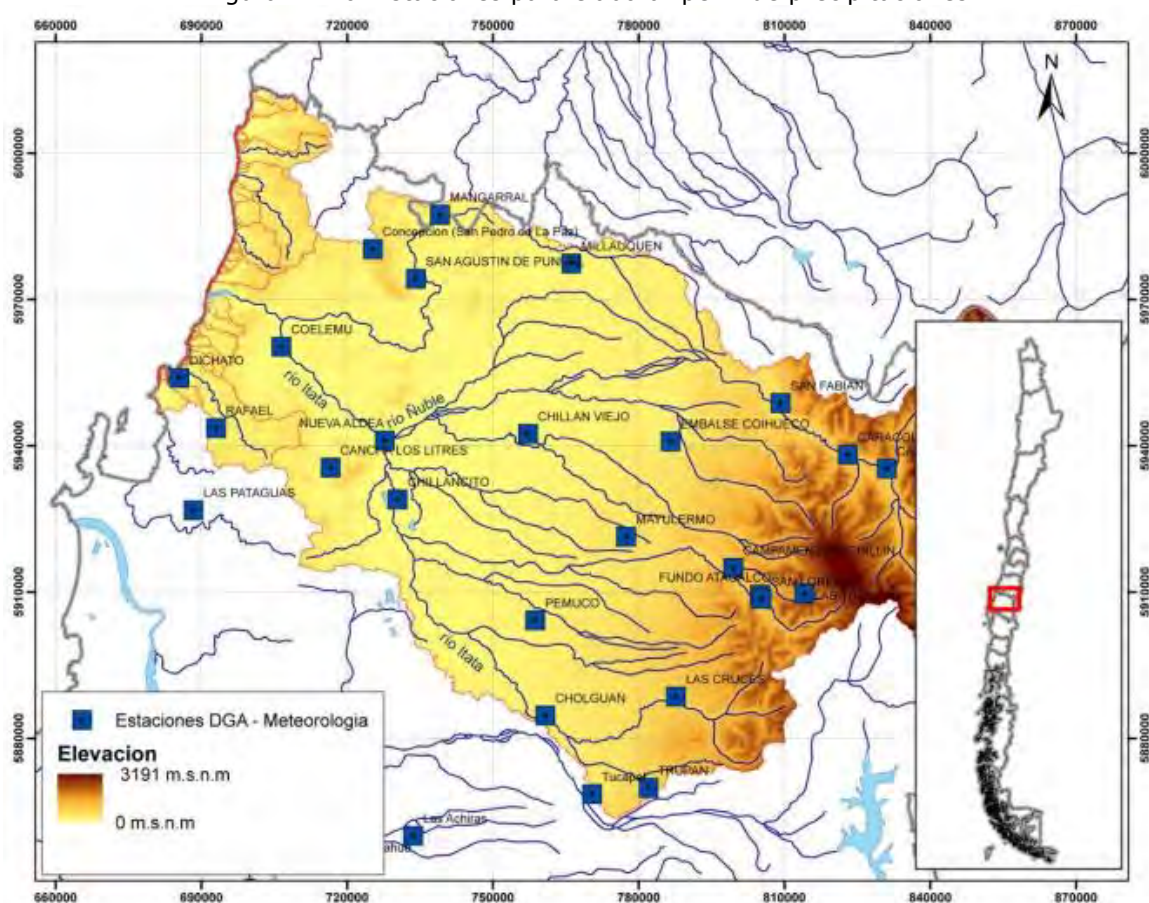


Fuente: Elaboración propia.

Precipitación media utilizando Perfil de precipitaciones.

Con la información existente del estudio “Modelación Hidrogeológica Cuenca Itata-Bajo, Región del Biobío”, que aporta un perfil de precipitaciones se estimará la precipitación media caída en la zona de estudio. En la figura siguiente se presentan las estaciones utilizadas en dicho estudio para la elaboración del perfil de precipitaciones.

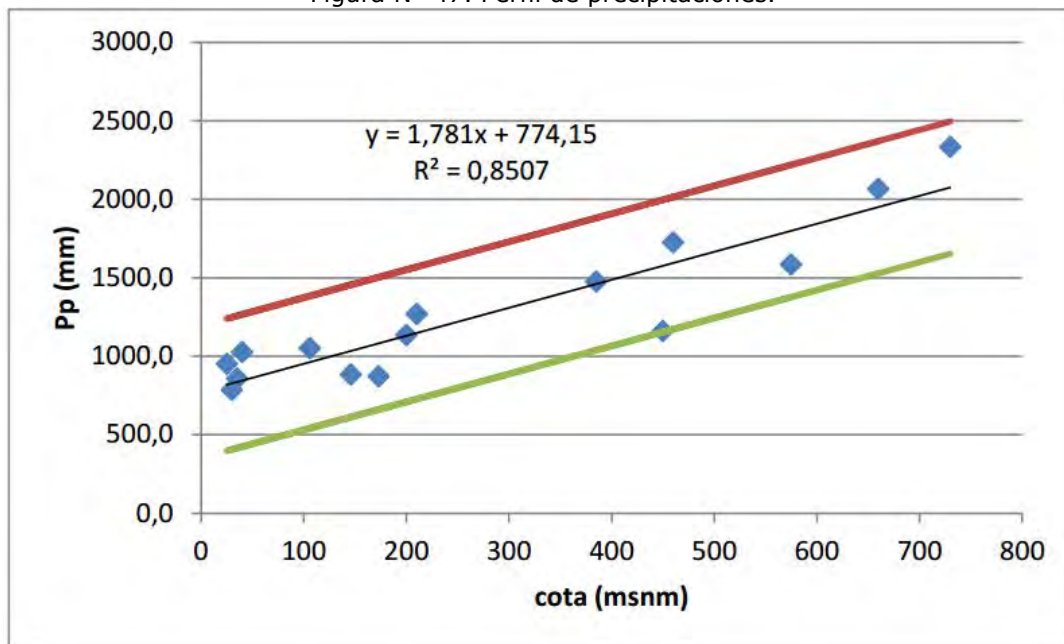
Figura N° 46. Estaciones para elaborar perfil de precipitaciones.



Fuente: Modelación Hidrogeológica Cuenca Itata-Bajo, Región del Biobío. DGA. 2013.

En la figura siguiente se presenta el perfil obtenido.

Figura N° 47. Perfil de precipitaciones.



Fuente: Modelación Hidrogeológica Cuenca Itata-Bajo, Región del Biobío. DGA. 2013.

Estimación de Crecidas.

Para estimar las crecidas en la zona de estudio, zona que no cuenta con control fluviométrico ni meteorológico, se utilizará la metodología descrita en el "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información".

Del manual se utilizarán tres metodologías para estimar los caudales. Las metodologías son:

- ✓ Método DGA-AC.
- ✓ Método de Verni King Modificado.
- ✓ Fórmula Racional.

Estimaciones de Caudales. Caudales Medios Mensuales.

Para estimar los caudales medios mensuales, se trabajará, con las estadísticas de las estaciones de interés, se estimará un modelo de precipitación-escorrentía. Se utilizará como estación patrón, para la distribución mensual, "Andalien camino a Penco". Esta estación cuenta con información desde el año 1960 hasta nuestros días. Esta estación será rellenada en los meses que falte información.

Se revisará y correlacionará la información de precipitaciones con el fin de generar series de similar data a la estación patrón.

En la tabla siguiente se presenta la estadística rellenada para la estación patrón. En la figura siguiente se presenta la variación media mensual de los caudales.

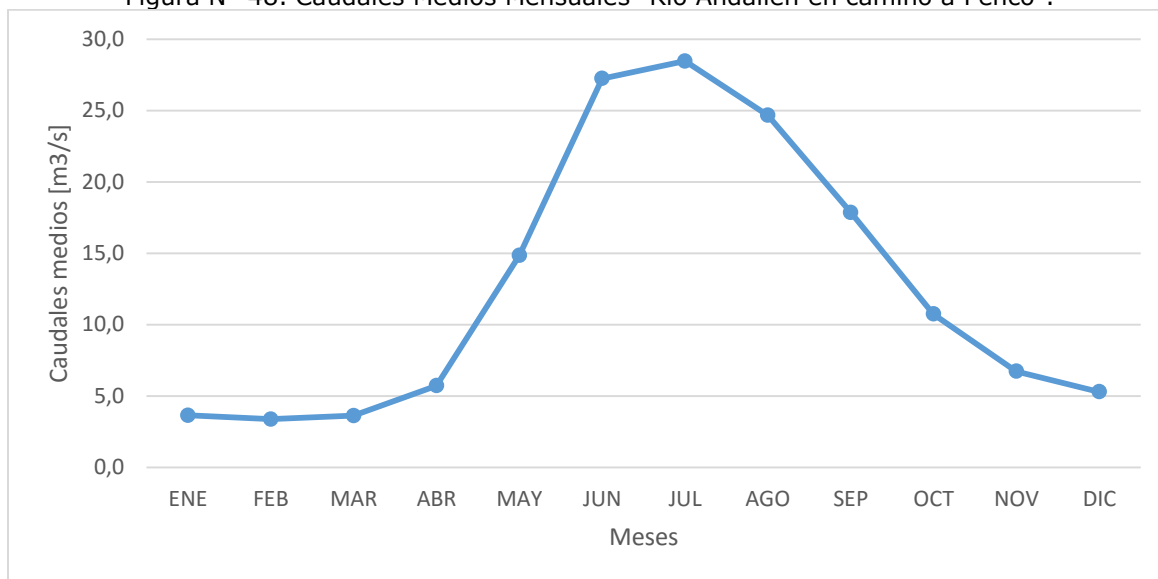
Tabla N° 35. Estadística de Caudales "Río Andalien en camino a Penco".

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1960	3,46	3,21	3,43	5,43	14,08	25,84	27,00	23,40	16,94	10,19	6,62	3,37	11,92
1961	3,52	2,17	3,44	2,35	3,10	20,45	46,75	36,90	64,53	18,87	9,07	4,50	17,97
1962	2,23	1,69	2,15	3,34	4,26	14,21	4,36	9,62	6,17	6,71	2,01	1,13	4,82
1963	0,80	0,80	0,67	0,97	2,79	7,48	23,72	48,02	26,01	3,38	7,01	0,94	10,22
1964	1,49	1,96	2,77	3,00	3,63	7,71	13,80	22,61	10,82	4,48	2,68	6,97	6,83
1965	2,53	2,78	1,80	2,66	7,68	40,05	63,60	66,01	14,00	11,40	11,99	8,18	19,39
1966	2,25	1,69	1,59	6,12	5,37	46,56	33,38	24,11	21,50	12,95	6,18	12,96	14,56
1967	2,59	3,44	3,62	3,34	13,96	2,54	4,56	24,35	21,68	10,01	5,81	2,87	8,23
1968	2,27	3,32	2,82	1,23	1,23	1,28	4,84	4,20	1,39	1,08	1,00	0,99	2,14
1969	0,96	0,92	0,88	1,37	6,00	12,20	10,87	9,42	6,82	4,10	2,25	1,77	4,80
1970	3,10	2,87	3,07	4,86	12,60	23,12	24,16	20,94	15,16	9,12	5,00	3,94	10,66
1971	4,1	3,8	4,1	6,5	16,8	30,8	32,2	27,9	20,2	12,1	36,04	56,86	20,9
1972	41,77	39,93	35,21	5,61	28,23	122,99	24,19	29,49	37,34	70,59	13,44	3,59	37,70
1973	2,68	2,55	2,72	4,30	11,15	20,47	21,39	18,54	13,42	8,07	4,43	3,54	9,44
1974	2,24	2,76	2,96	4,67	12,12	22,24	24,43	14,75	6,19	7,71	11,50	11,50	10,26
1975	5,25	2,36	2,00	3,50	35,69	34,98	31,75	19,14	11,56	7,78	5,54	4,09	13,64
1976	3,26	2,65	2,26	2,26	12,03	22,21	13,89	20,32	12,50	1,71	1,64	1,57	8,03
1977	1,69	1,55	1,47	1,87	4,39	2,90	23,24	51,41	29,23	8,69	4,82	2,84	11,18
1978	8,06	7,46	7,99	12,63	32,76	88,66	66,71	37,28	40,37	17,89	7,72	5,10	27,72
1979	0,49	0,22	5,70	5,63	8,00	3,85	51,48	64,13	13,44	4,24	4,84	4,22	13,85
1980	1,32	1,30	5,15	19,08	44,36	47,88	34,12	33,22	15,21	8,01	4,43	0,38	17,87
1981	1,99	3,05	3,01	71,57	94,86	112,40	92,85	21,36	51,96	14,43	4,51	2,97	39,58
1982	2,94	3,33	2,91	2,54	20,39	45,17	39,85	38,39	33,68	22,95	11,11	6,18	19,12
1983	4,11	3,11	2,89	3,38	7,92	22,83	34,82	17,87	16,47	7,70	4,14	2,52	10,65
1984	2,11	1,38	1,50	2,72	18,87	16,71	55,73	16,52	17,89	18,59	11,25	4,47	13,98
1985	4,23	2,76	2,99	5,95	14,44	15,86	37,70	10,97	11,45	8,50	5,80	2,67	10,28
1986	1,79	1,65	2,29	6,99	25,80	38,73	13,70	25,23	11,74	6,74	12,93	3,86	12,62
1987	1,69	1,51	1,99	2,63	6,08	8,84	42,00	37,63	17,29	10,50	5,55	2,63	11,53
1988	2,23	1,91	2,08	2,49	4,80	13,40	28,32	37,66	17,38	8,52	3,13	2,98	10,41
1989	1,35	1,35	1,35	1,34	1,35	16,87	24,91	25,08	9,37	5,53	3,02	4,10	7,97
1990	1,40	1,56	3,39	4,12	6,94	8,56	13,14	19,02	19,00	6,81	3,76	1,65	7,45
1991	1,45	1,20	1,57	3,56	20,94	19,28	34,04	11,98	10,82	6,15	3,21	3,97	9,85
1992	1,59	1,53	2,05	3,09	43,33	49,48	23,34	22,33	23,08	13,38	8,55	7,27	16,59
1993	4,00	2,29	2,42	6,00	22,32	53,71	44,30	22,90	16,08	10,94	5,60	4,92	16,29
1994	5,14	2,44	1,41	3,47	7,63	23,06	29,68	11,18	21,56	10,80	4,91	4,43	10,48
1995	2,25	1,67	2,12	4,67	5,40	19,63	39,81	29,34	12,87	9,52	4,80	2,56	11,22
1996	1,66	1,07	1,16	3,75	4,78	8,58	9,23	7,94	4,98	3,04	1,54	0,80	4,04
1997	0,60	0,76	0,82	9,86	18,63	55,39	24,64	19,99	15,98	16,72	10,75	5,21	14,95
1998	3,62	3,49	3,67	4,39	8,52	10,33	7,58	8,24	5,89	2,73	1,47	0,45	5,03
1999	0,52	0,69	0,99	0,96	4,56	13,63	14,57	14,65	26,48	5,50	3,30	2,21	7,34

(Continuación)													
2000	1,44	1,86	1,84	3,60	4,34	35,66	20,29	23,83	27,23	13,66	9,38	7,04	12,51
2001	6,70	5,95	6,58	10,39	59,33	31,61	43,91	38,14	23,01	19,24	16,52	12,35	22,81
2002	9,88	16,13	4,15	6,56	19,53	21,36	18,61	18,69	20,85	25,02	6,76	5,32	14,41
2003	2,54	2,35	2,52	3,98	8,35	22,05	14,44	10,93	12,60	10,76	8,35	5,97	8,74
2004	3,40	3,14	3,37	5,32	6,38	25,04	30,34	22,48	15,15	13,24	8,04	4,32	11,69
2005	2,83	2,30	2,32	2,35	16,87	40,73	37,32	32,50	20,07	11,93	9,02	8,74	15,58
2006	4,95	3,32	2,92	6,18	6,31	34,97	51,33	35,61	19,14	14,43	8,36	7,13	16,22
2007	5,18	4,64	3,75	5,50	5,53	6,73	22,61	20,69	12,88	6,78	3,38	2,21	8,32
2008	1,50	1,35	1,62	2,55	27,69	14,56	27,59	39,80	18,67	11,23	6,16	4,85	13,13
2009	3,22	2,98	18,05	3,49	6,54	20,97	20,74	28,88	13,45	7,00	4,82	2,87	11,08
2010	2,59	3,05	4,75	4,81	5,73	26,16	20,78	12,58	5,63	3,21	8,74	9,92	9,00
2011	8,59	5,74	3,70	5,90	4,74	15,02	16,37	21,20	13,46	5,96	4,55	2,98	9,02
2012	1,60	1,60	1,55	1,43	3,65	8,59	4,65	6,46	3,54	2,96	2,48	2,53	3,42
2013	1,96	1,89	1,96	2,77	8,66	16,47	17,32	16,17	10,19	6,42	3,52	2,77	7,51
PROMEDIO	3,7	3,4	3,6	5,7	14,8	27,2	28,5	24,7	17,9	10,7	6,7	5,3	12,7

Fuente: Estadística Estación Río Andalien en camino a Penco. RHN.

Figura N° 48. Caudales Medios Mensuales "Río Andalien en camino a Penco".



Fuente: Elaboración propia.

Caudales medios mensuales en cuencas de interés.

Para estimar los caudales medios mensuales en las cuencas de interés, se hará mediante dos formas:

- ✓ Transposición de caudales estimando el factor de transposición en función de las áreas.
- ✓ Transposición de caudales estimando el factor de transposición en función de precipitaciones medias de las cuencas y áreas.

Se calcularán las precipitaciones medias de las cuencas utilizando las siguientes formas:

- ✓ Interpolando la precipitación con el Balance Hídrico Nacional en el centro de gravedad de las cuencas.
- ✓ Distribuyendo las precipitaciones espacialmente, mediante Kriging, utilizando las estadísticas los puntos de control meteorológicos de la RHN.
- ✓ Distribuyendo las precipitaciones espacialmente, mediante Polígonos de Thiessen, utilizando las estadísticas los puntos de control meteorológicos de la RHN.
- ✓ Calculando la precipitación en las cuencas, utilizando las hipsometrías y los perfiles de precipitación.
- ✓ Asumirá la precipitación de la estación DMC Concepción Carriel Sur.

Se adoptará como valor de precipitación para la zona el valor promedio, eliminando aquellas estimaciones que se alejen más del resto.

Precipitaciones anuales. Correlación de estaciones.

Se revisó la correlación entre los puntos de control de precipitación. En la tabla siguiente se presenta las precipitaciones medias anuales registradas. En las figuras siguientes se presentan las correlaciones. En particular, se puede observar un comportamiento similar en todas las estaciones, con excepción de "**Estero Hualqui en Desembocadura**", es por esta razón que esta estación será eliminada del análisis, tanto por comportamiento, como por extensión de información.

Tabla N° 36. Precipitaciones Anuales.

AÑO	LAJA	RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA	CONCEPCION DGA.	CARANPANGUE	LAS PATAGUAS	ANDALIEN	ESTERO HUALQUI EN DESEMBOCADURA	ESTERO NONGUEN FRENTE U. DEL BIO BIO
1961	11							
1962	698							
1963	1.511							
1964	500							
1965	1.050							
1966	824							
1967	598							
1968	242							
1969	853							
1970	861							
1971	951							
1972	1.224							
1973	292							
1974	71							

1975	322							
1976	601							
1977	884							
1978	1.142							
Continuación								
1979	1.020							
1980	1.302							
1981	1.129							
1982	1.520							
1983	795							
1984	1.494							
1985	898							
1986	1.378							
1987	1.020							
1988	730							
1989	743							
1990	744							
1991	683							
1992	795							
1993	1.073				1.300			
1994	833				666			
1995	820							
1996	582		762		780			
1997	1.457		1.664		1.085			
1998	670		678		501			
1999	1.148		1.193		895			
2000	1.205		1.400		923			
2001	1.445		1.542	1.519	769	1.646		
2002	1.737	1.096	1.534	1.423	1.037	1.362		
2003	1.017		1.011	1.022	776	988		
2004	1.348	955	1.206	1.397	803	1.181		
2005	1.752		1.501	1.644	1.126	1.445		
2006	957		1.476	1.583	1.096	1.414		
2007	985		920	963	605			
2008	1.022	865	1.218	1.136	1.070	1.097		
2009	1.134	890	1.107	1.241		1.144	927	1.097
2010	876	862	973	1.025		972	575	893
2011	1.122	910	1.046	1.062	1.052	1.053	1.026	1.022
2012	719	880	964	1.020	885	836	918	890
2013	528	821	806	772	709	832	831	823
2014	532	702	682	630	559	748	1.050	

Figura N° 49. Correlación Laja vs Biobio en Desembocadura.

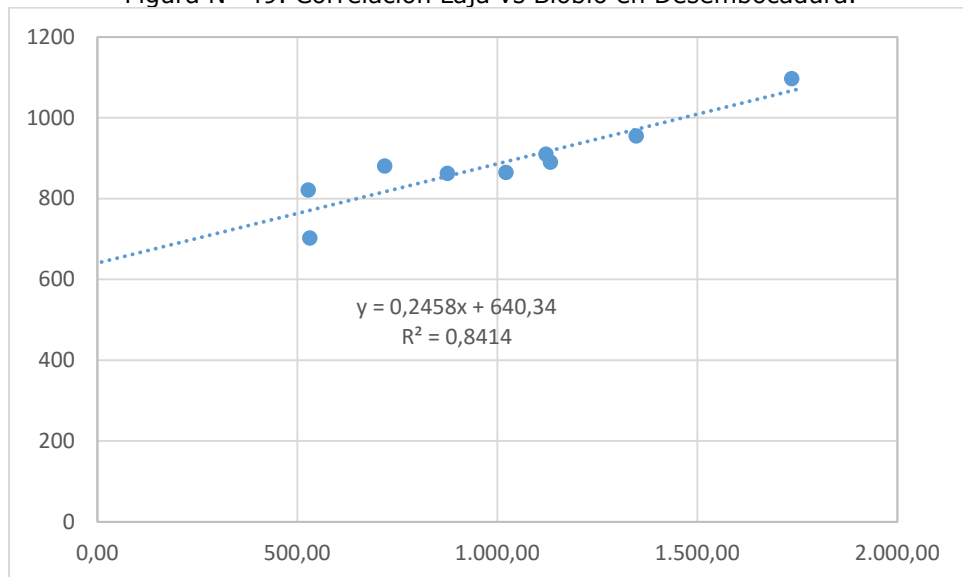


Figura N° 50. Correlación Laja vs Concepción DGA.

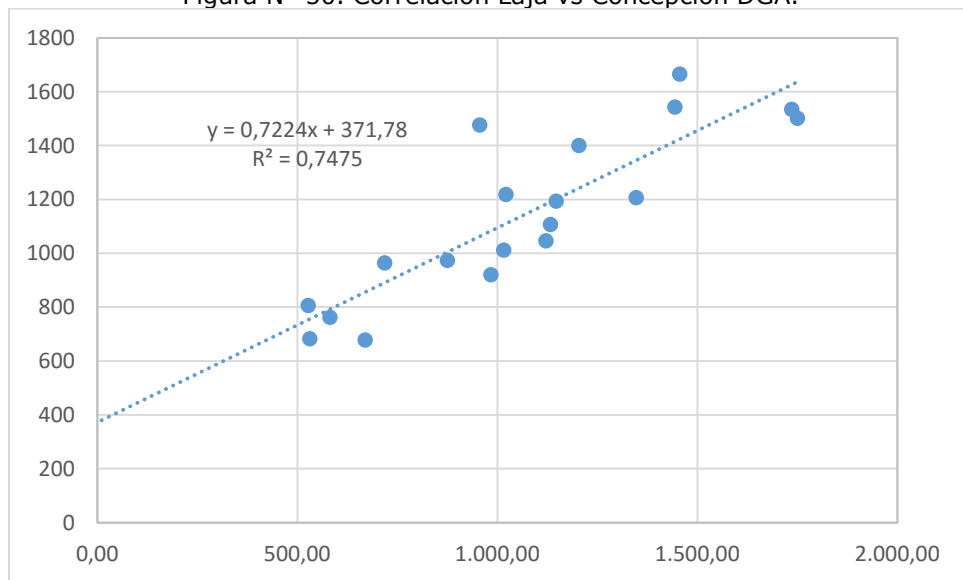


Figura N° 51. Correlación Laja vs Carampangue.

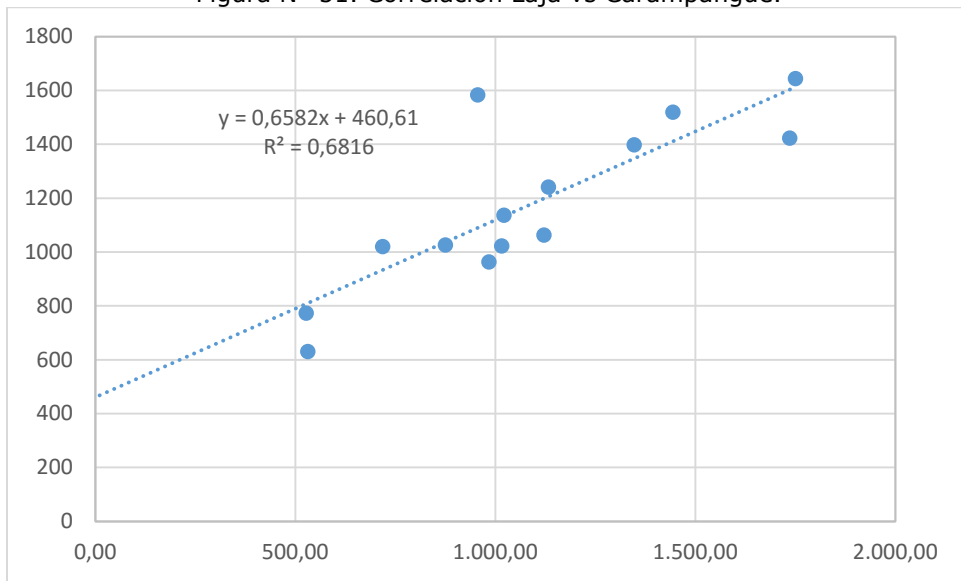


Figura N° 52. Correlación Laja vs Las Pataguas.

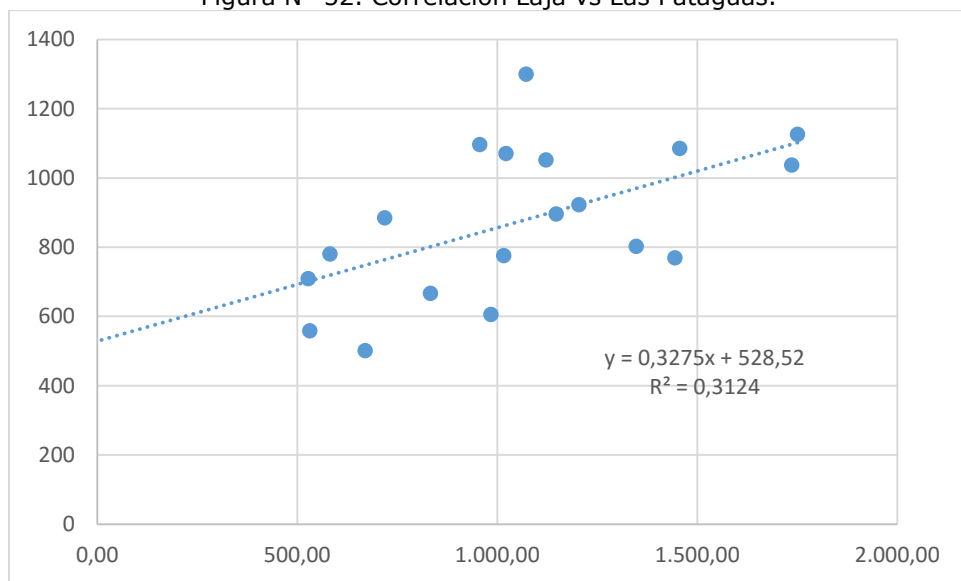


Figura N° 53. Correlación Laja vs Las Pataguas.

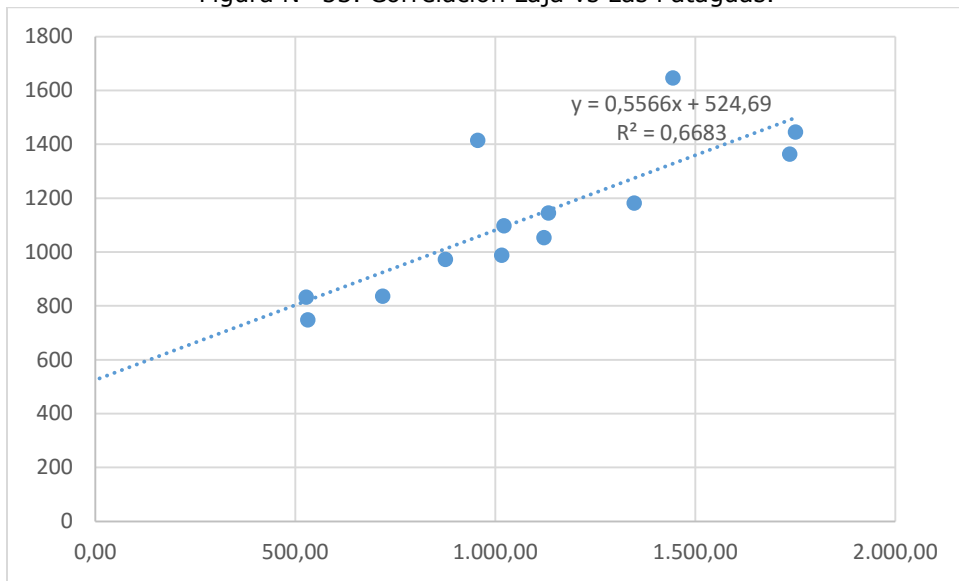


Figura N° 54. Correlación Laja vs Estero Hualqui en desembocadura.

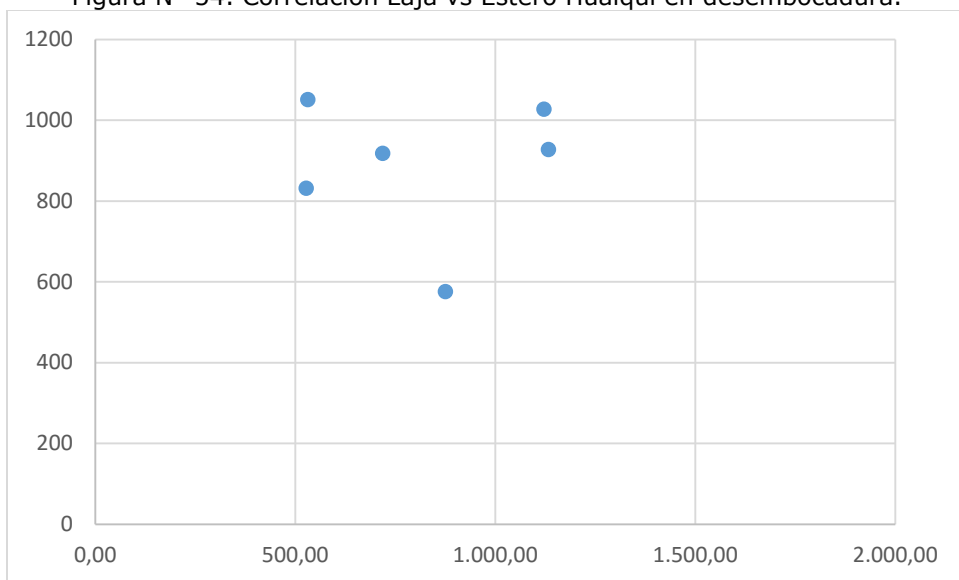
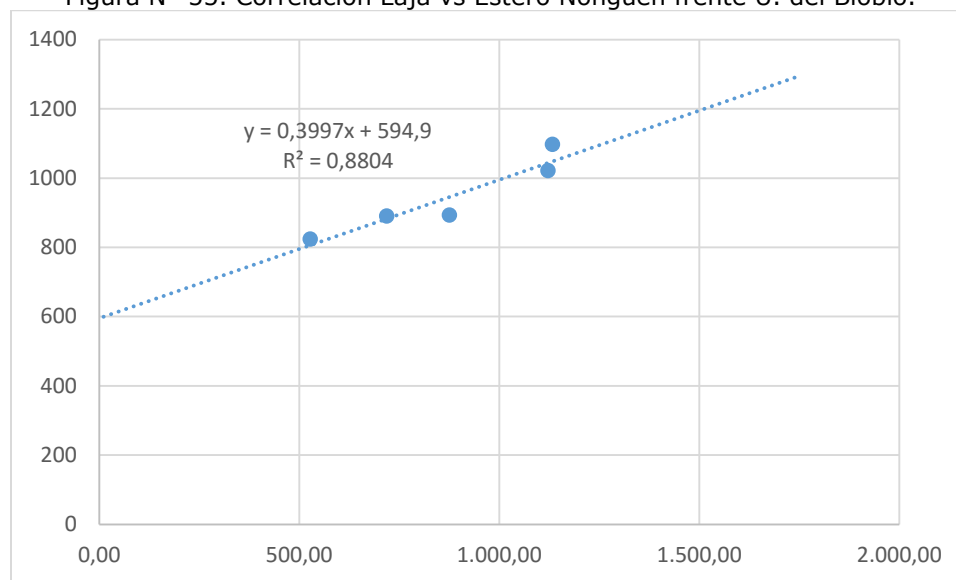


Figura N° 55. Correlación Laja vs Estero Nonguen frente U. del Biobio.



Las precipitaciones anuales, rellenadas y extendidas, se presentan en la tabla siguiente.

Tabla N° 37. Precipitaciones Anuales rellenadas y extendidas.

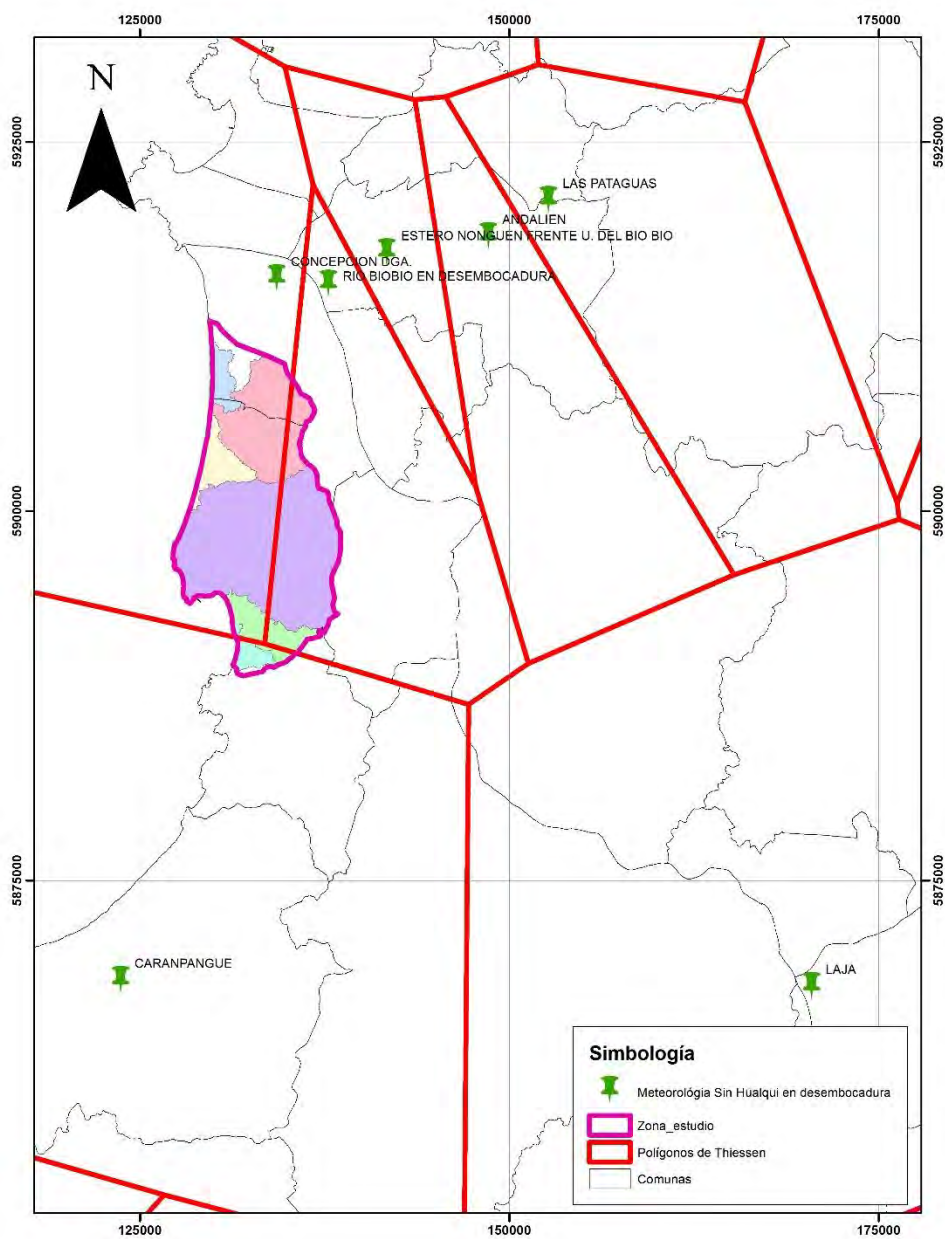
AÑO	LAJA	RIO BIOBIO EN DESEMBOLCADURA	CONCEPCION DGA.	CARANPANGUE	LAS PATAGUAS	ANDALIEN	ESTERO NONGUEN FRENTE U. DEL BIO BIO
1961	11	643	380	468	532	531	599
1962	698	812	876	920	757	913	874
1963	1.511	1.012	1.463	1.455	1.023	1.365	1.199
1964	500	763	733	790	692	803	795
1965	1.050	898	1.130	1.152	872	1.109	1.015
1966	824	843	967	1.003	798	983	924
1967	598	787	804	854	724	858	834
1968	242	700	547	620	608	659	692
1969	853	850	988	1.022	808	999	936
1970	861	852	994	1.027	810	1.004	939
1971	951	874	1.059	1.087	840	1.054	975
1972	1.224	941	1.256	1.266	929	1.206	1.084
1973	292	712	583	653	624	687	712
1974	71	658	423	507	552	564	623
1975	322	719	604	673	634	704	724
1976	601	788	806	856	725	859	835
1977	884	858	1.010	1.042	818	1.017	948
1978	1.142	921	1.196	1.212	902	1.160	1.051
1979	1.020	891	1.108	1.132	862	1.092	1.002
1980	1.302	960	1.312	1.318	955	1.249	1.115
1981	1.129	918	1.187	81.203	898	1.153	1.046

Continuación							
1982	1.520	1.014	1.470	1.461	1.026	1.371	1.202
1983	795	836	946	984	789	967	913
1984	1.494	1.007	1.451	1.444	1.018	1.356	1.192
1985	898	861	1.021	1.052	823	1.025	954
1986	1.378	979	1.368	1.368	980	1.292	1.146
1987	1.020	891	1.108	1.132	862	1.092	1.002
1988	730	820	899	941	767	931	886
1989	743	823	909	950	772	938	892
1990	744	823	909	950	772	939	892
1991	683	808	865	910	752	905	868
1992	795	836	946	984	789	967	913
1993	1.073	904	1.147	1.167	1.300	1.122	1.024
1994	833	845	974	1.009	666	989	928
1995	820	842	964	1.000	1.344	981	923
1996	582	783	762	844	780	849	828
1997	1.457	998	1.664	1.419	1.085	1.336	1.177
1998	670	805	678	902	501	898	863
1999	1.148	923	1.193	1.216	895	1.164	1.054
2000	1.205	937	1.400	1.254	923	1.195	1.077
2001	1.445	785	1.542	1.519	769	1.646	1.172
2002	1.737	1.096	1.534	1.423	1.037	1.362	1.289
2003	1.017	483	1.011	1.022	776	988	1.001
2004	1.348	955	1.206	1.397	803	1.181	1.134
2005	1.752	1.071	1.501	1.644	1.126	1.445	1.295
2006	957	876	1.476	1.583	1.096	1.414	977
2007	985	636	920	963	605	440	989
2008	1.022	865	1.218	1.136	1.070	1.097	1.003
2009	1.134	890	1.107	1.241	1.488	1.144	1.097
2010	876	862	973	1.025	445	972	893
2011	1.122	910	1.046	1.062	1.052	1.053	1.022
2012	719	880	964	1.020	885	836	890
2013	528	821	806	772	709	832	823
2014	532	702	682	630	559	748	807
PROMEDIO	923	851	1.039	1.068	845	1.027	964

Precipitaciones anuales. Polígonos de Thiessen.

En este punto se presenta los polígonos de Thiessen para la zona de estudio, el cual fue generado con las estaciones de la red hidrométrica nacional, menos "Estero Hualqui en desembocadura". El resultado se presenta en la figura siguiente.

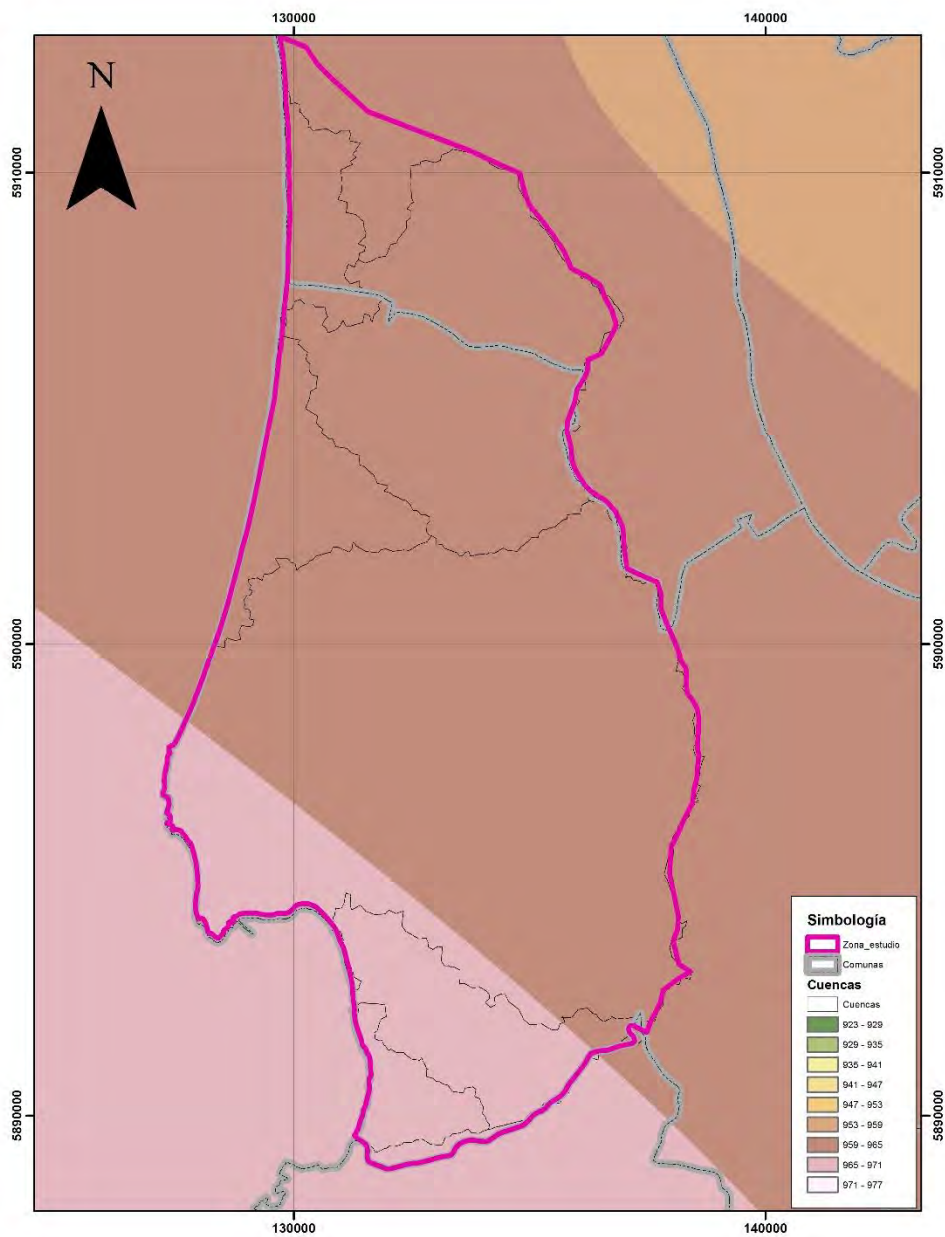
Figura N° 56. Polígonos de Thiessen.



Precipitaciones anuales. Kriging.

En este punto se presenta Kriging para la zona de estudio, el cual fue generado con las estaciones de la red hidrométrica nacional, menos "Estero Hualqui en desembocadura". El resultado se presenta en la figura siguiente.

Figura N° 57. Kriging.



Precipitaciones anuales. Resultados.

A continuación, en la Tabla siguiente, se presenta el resultado de las precipitaciones anuales, para cada metodología, además se ha incluido el valor de la precipitación de la estación Concepción - Carriel Sur de la Dirección Meteorológica de Chile.

Tabla N° 38. Calculo de precipitación media anual.

Metodología	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Balance Hídrico Nacional en Centro de Gravedad	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0	1.200,0
Hipsometría y perfil de precipitación	807,1	1.090,2	842,5	965,5	1.058,4	929,4
Polígono de Thiessen	1.039,0	1.000,3	1.039,0	953,3	968,0	1.064,6
Kriging	961,0	961,0	963,0	964,0	965,0	966,0
Concepción -Carriel Sur (DMC)	1.081,5	1.081,5	1.081,5	1.081,5	1.081,5	1.081,5
Promedio (*)	972,1	1.033,2	981,5	991,1	1.018,2	1.010,4

Donde:

- (1) Costera zona norte.
- (2) Cuenca Laguna La Posada.
- (3) Costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.
- (4) Estero Villa Mora.
- (5) Estero Manco.
- (6) Costeras zona sur.

(*) No se incluye el valor del Balance Hídrico Nacional en Centro de Gravedad para el cálculo de la precipitación.

Caudales medios mensuales. Variación estacional estación patrón.

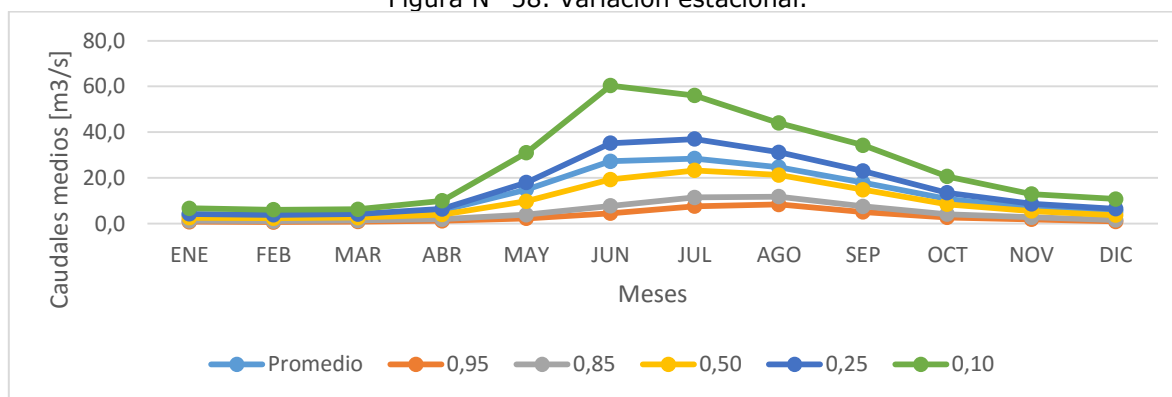
A continuación se presenta la variación estacional para la estación patrón “estero Andalien en camino a Penco”.

El análisis de frecuencia, nos indica, que la mejor distribución es Log Normal, con esto los resultados para la variación estacional son los que se presentan en la siguiente tabla y figura.

Tabla N° 39. Variación estacional.

PROB.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,95	0,73	0,65	0,86	1,19	2,20	4,46	7,53	8,33	5,02	2,64	1,84	0,91
0,85	1,15	1,03	1,29	1,85	3,82	7,67	11,43	11,77	7,48	4,05	2,75	1,52
0,50	2,52	2,27	2,61	3,92	9,73	19,29	23,27	21,23	14,76	8,38	5,49	3,65
0,25	4,19	3,80	4,13	6,38	17,89	35,15	36,95	31,16	22,98	13,45	8,59	6,43
0,10	6,62	6,04	6,23	9,91	30,96	60,34	56,02	44,02	34,21	20,58	12,86	10,72

Figura N° 58. Variación estacional.



Caudales medios mensuales. Cuencas de interés. Transposición por área y transposición por área y precipitación.

A continuación se presentan los caudales medios mensuales generados para las cuencas de interés utilizando transposición por área y transposición por área y precipitación. La precipitación utilizada para estos efectos es el promedio de las metodologías aplicadas.

En anexos digitales se presentan los resultados y tablas de cada una de las cuencas y métodos.

Tabla N° 40. Caudales promedio mensuales. Transposición por área.

CUENCA	CAUDALES MEDIOS MENSUALES [LTS/S]												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Costera zona norte	30,2	27,9	29,8	47,2	122,5	225,0	235,2	203,8	147,6	88,8	56,4	44,4	104,9
Cuenca Laguna La Posada	177,0	163,8	175,2	277,0	719,3	1.320,9	1.380,6	1.196,4	866,3	521,1	331,3	260,6	615,8
Costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora	49,1	45,5	48,6	76,9	199,6	366,6	383,1	332,0	240,4	144,6	91,9	72,3	170,9
Cuenca Estero Villa Mora	438,8	406,2	434,3	686,8	1.783,0	3.274,4	3.422,4	2.965,8	2.147,4	1.291,7	821,3	645,9	1.526,5
Cuenca Estero Manco	60,8	56,2	60,1	95,1	246,9	453,5	474,0	410,7	297,4	178,9	113,7	89,4	211,4
Costera zona sur	21,0	19,4	20,8	32,9	85,4	156,8	163,9	142,0	102,8	61,8	39,3	30,9	73,1
TOTAL	777,0	719,1	768,8	1.215,9	3.156,7	5.797,1	6.059,2	5.250,8	3.801,9	2.286,8	1.454,0	1.143,6	2.702,6

Tabla N° 41. Caudales promedio mensuales. Transposición por área y precipitación.

CUENCA	CAUDALES MEDIOS MENSUALES [LTS/S]												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Costera zona norte	27,3	25,3	27,1	42,8	111,1	204,0	213,3	184,8	133,8	80,5	51,2	40,3	95,1
Cuenca Laguna La Posada	174,5	161,5	172,7	273,1	708,9	1.301,9	1.360,8	1.179,2	853,8	513,6	326,5	256,8	606,9
Costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora	45,1	41,8	44,7	70,6	183,4	336,8	352,0	305,1	220,9	132,9	84,5	66,4	157,0
Cuenca Estero Villa Mora	408,6	378,2	404,4	639,5	1.660,2	3.048,9	3.186,8	2.761,6	1.999,6	1.202,7	764,7	601,4	1.421,4
Cuenca Estero Manco	58,7	54,3	58,1	91,9	238,6	438,1	457,9	396,8	287,3	172,8	109,9	86,4	204,3
Costera zona sur	20,1	18,6	19,9	31,4	81,6	149,9	156,7	135,8	98,3	59,1	37,6	29,6	69,9
TOTAL	734,4	679,7	726,7	1.149,3	2.983,9	5.479,7	5.727,4	4.963,3	3.593,8	2.161,6	1.374,4	1.080,9	2.554,6

Análisis de crecidas.

A continuación se presentan los resultados del análisis de crecidas para cada cuenca, utilizando las metodologías anteriormente señaladas, descritas en el "Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información".

Tabla N° 42. Crecidas Cuencas Costeras Zona Norte.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	2,1	4,6	5,5
5	3,1	5,9	6,6
10	3,7	6,0	6,5
20	4,3	7,6	7,9
25	4,5	8,0	8,3
50	5,1	9,1	9,2
100	5,7	10,2	10,2

Tabla N° 43. Crecidas Cuenca Laguna La Posada.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	11,8	22,0	14,9
5	17,1	28,0	20,0
10	20,6	28,7	19,8
20	23,9	35,9	24,1
25	25,2	37,8	25,2
50	28,5	43,0	28,0
100	31,7	48,5	30,9

Tabla N° 44. Crecidas Costera entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	3,4	7,1	9,3
5	4,9	9,1	10,9
10	5,9	9,3	10,8
20	6,9	11,6	13,2
25	7,2	12,2	13,8
50	8,2	13,9	15,3
100	9,1	15,7	16,9

Tabla N° 45. Crecidas Cuenca Estero Villa Mora.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	28,4	48,9	20,8
5	41,4	62,3	22,2
10	49,9	63,8	22,0
20	57,8	79,7	26,8
25	60,8	84,0	27,9
50	68,8	95,7	31,1
100	76,8	107,9	34,3

Tabla N° 46. Crecidas Cuenca Estero Manco.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	4,2	8,6	6,8
5	6,0	10,9	9,4
10	7,3	11,2	9,3
20	8,5	14,0	11,3
25	8,9	14,7	11,8
50	10,1	16,8	13,2
100	11,2	18,9	14,5

Tabla N° 47. Crecidas Costera Zona Sur.

T	DGA-AC	Verni King	Racional
2	1,5	3,4	5,5
5	2,2	4,3	5,4
10	2,6	4,4	5,4
20	3,0	5,5	6,6
25	3,2	5,8	6,8
50	3,6	6,6	7,6
100	4,0	7,4	8,4

Estimación de Evaporación y Evapotranspiración mediante metodología de Thornthwaite.

Se ha estimado la evaporación y evapotranspiración utilizando la metodología de Thornthwaite, para esto se utilizó la temperatura media mensual de la estación Concepción – Carriel Sur de la DMC.

El resultado se presenta en la tabla siguiente.

Tabla N° 48. Evaporación y Evapotranspiración.

VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY.	JUN.	JUL.	AGO	SEPT	OCT.	NOV	DIC.	ANUAL
	[mm/mes]												[mm/año]
Evaporación	74,71	71,03	63,82	51,19	45,69	37,29	33,35	36,03	40,39	49,07	59,25	69,37	631,18
Evapotranspiración	65,0	60,4	65,7	55,8	55,3	45,1	41,0	41,8	41,6	47,6	51,0	59,0	629,24

5.2. Geofísica.

De acuerdo a los requerimientos indicados en los Términos de referencia, la campaña Geofísica incluyo la utilización de dos metodologías: Transiente Electromagnético – TEM y Gravimetría.

5.2.1. Método Transiente Electromagnético.

- **Descripción del Método.**

El método aplicado corresponde al Transiente Electromagnético TEM y se refiere a la medición en la superficie terrestre de un campo electromagnético inducido, variable en el tiempo.

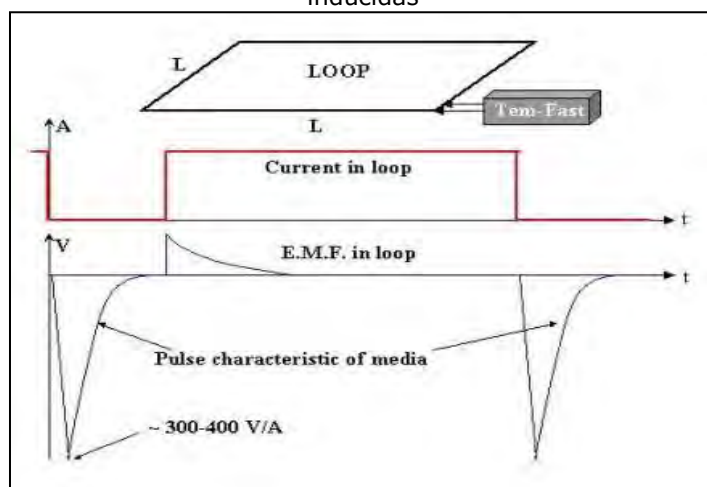
El método TEM es aplicable a la investigación de una amplia gama de condiciones del subsuelo. Los métodos TEM miden las variaciones en la resistividad eléctrica (o el recíproco, la conductividad eléctrica) del subsuelo o de roca causada por las variaciones laterales y verticales en las diferentes propiedades físicas del suelo o roca. Al medir tanto cambios laterales y verticales de la resistividad, las variaciones en las propiedades físicas del subsuelo puede ser determinada.

Las mediciones de resistividad se pueden utilizar para detectar los cambios geológicos, tales como litología, estructura geológica, las fracturas, la estratigrafía profundidad a la roca. Además, la medición de la resistividad puede aplicarse a las investigaciones hidrológicas tales como profundidad del nivel freático, profundidad de acuitardos, presencia de la costa o en el interior de salinidad del agua subterránea y para la exploración directa de las aguas subterráneas.

En la Figura siguiente se muestra una configuración típica de una medición TEM y que consiste en:

- Un transmisor conectado a un circuito loop (normalmente una sola vez) cuadrado de conductor eléctrico (por lo general aislado) que está fijado al suelo.
- Una bobina receptora multivuelatas.
- Un receptor a través de un cable de corta longitud.

Figura N° 59: Esquema de configuración de antena para generar corrientes y medir corrientes inducidas



Fuente. Elaboración propia

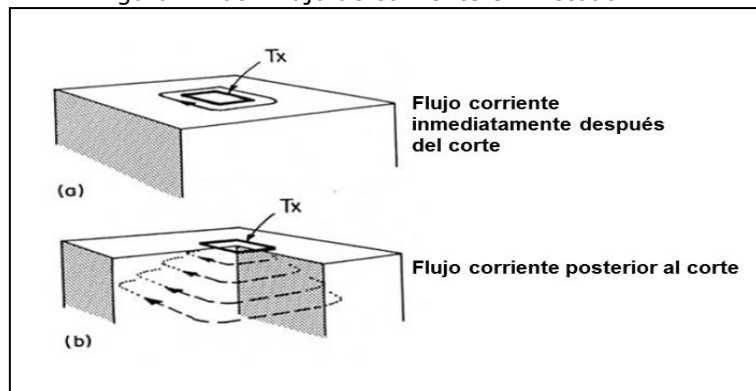
Existen varias alternativas de disposición de antenas transmisora y antena receptora. Para el caso del presente estudio se usó el esquema de antena transmisora y antena receptora coincidente. Es decir, el mismo loop actúa como transmisor y como receptor. La unidad que genera la corriente (transmisor) y la unidad que recibe las corrientes inducidas en el instrumento usado para este estudio están integradas en una misma unidad (TEM-FAST).

El transmisor genera una señal de onda eléctrica de forma normalmente cuadrada y periódica.

Después de cada segundo un cuarto de período de la corriente del transmisor (típicamente entre 1 y 40 amperios) es abruptamente reducido a cero para el período de un tercio, después de lo cual fluye en la dirección opuesta a la anterior.

El proceso de reducir bruscamente el transmisor corriente a cero induce en la tierra (de acuerdo con la Ley de Faraday) un pulso de corriente que fluye en la vecindad del loop transmisor (ver Figura).

Figura N° 60: Flujo de corriente en método TEM

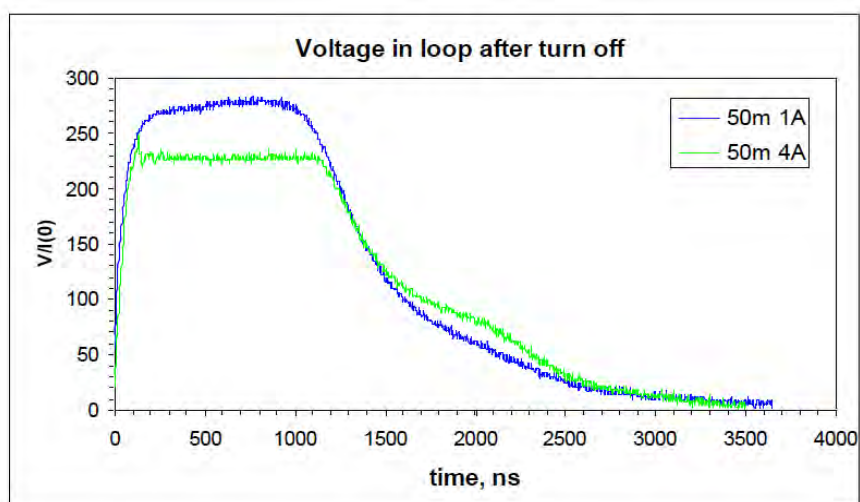


Fuente. Elaboración propia

Después de que el transmisor se apaga abruptamente, el bucle de corriente puede ser considerado como una imagen, justo debajo de la superficie del suelo, del bucle transmisor. Sin embargo, debido a la resistividad del el suelo, la magnitud del flujo de corriente inmediatamente decae. Este decaimiento en la corriente induce un pulso de voltaje en el terreno, lo que provoca más que la corriente fluya a mayores distancias desde el transmisor y el bucle a mayores profundidades. La profundidad del flujo de corriente también decae, debido a la resistividad del subsuelo, induciendo flujo corriente aún más profundo. Para determinar la resistividad como función de la profundidad, se determina la magnitud de la corriente flujo en el suelo, como una función del tiempo midiendo la tensión inducida en la bobina receptora. El voltaje es proporcional a la velocidad de variación del campo magnético derivada de la corriente de flujo del subsuelo. El campo magnético es directamente proporcional a la magnitud de la corriente en el subsuelo. Al medir el voltaje de la bobina del receptor en forma sucesiva en tiempos posteriores, la medición se hizo efectiva de la corriente caudal, y por lo tanto la resistividad eléctrica de la tierra, en forma sucesiva mayores profundidades.

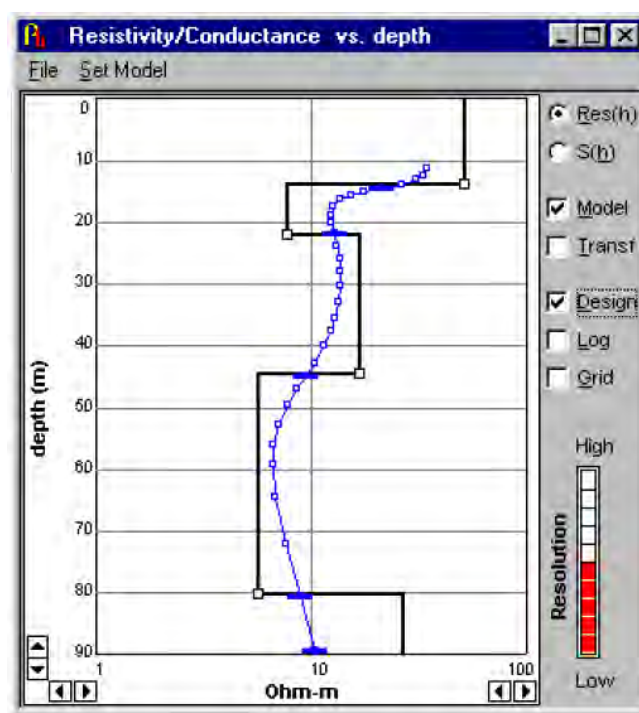
Los datos resultantes de un sondeo TEM consiste de una curva de tensión de salida del receptor bobina como una función del tiempo. El análisis de esta curva produce un modelo de tierra en capas de resistividad como función de la profundidad. El análisis puede hacerse gráficamente o con software comercialmente disponible. Ver figuras siguientes

Figura N° 61: Curva de voltaje en loop después de apagar transmisión



Fuente. Elaboración propia

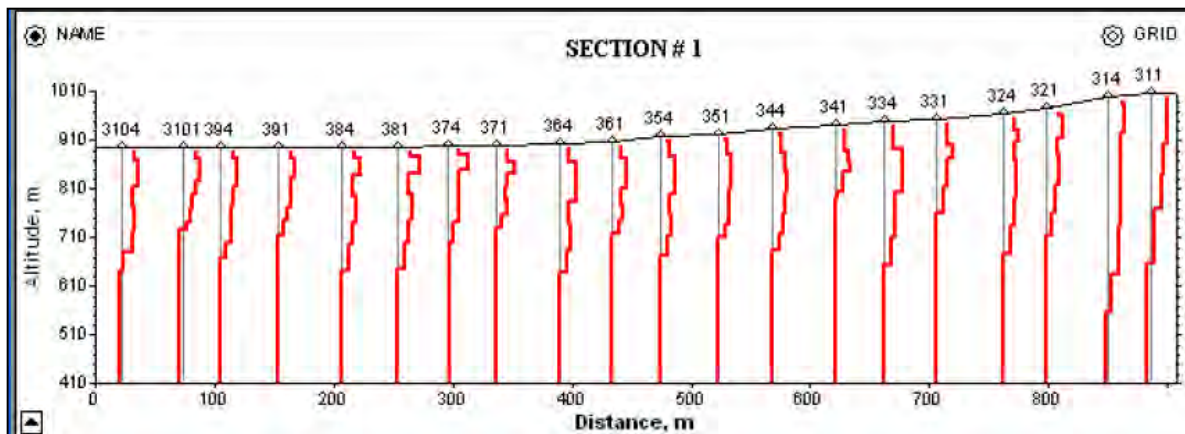
Figura N° 62: Modelo de capas de estratificación resistividad del subsuelo



Fuente. Elaboración propia

En los casos en que se mide una secuencia de estaciones TEM alineadas se puede construir una sección con todos los modelos calculados para cada estación como muestra el ejemplo de la Figura 63.

Figura N° 63: Ejemplo de sección con varios modelos de estaciones TEM alineadas

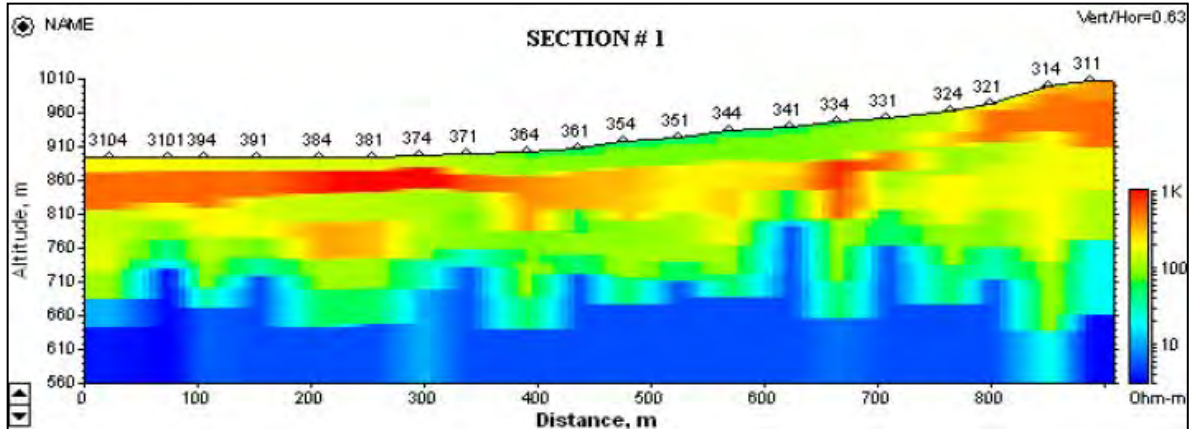


Fuente. Elaboración propia

Esta misma sección también se puede representar con un patrón de colores.

Esta misma sección también se puede representar con un patrón de colores como el ejemplo de la Figura 64.

Figura N° 64: Ejemplo representación con patrón de colores de modelos de resistividad determinados en estaciones TEM



Fuente. Elaboración propia

- **Instrumentación.**

En este estudio se utilizó el instrumento llamado FAST-TEM 48 fabricado por la empresa Applied Electromagnetic Research (AEMR).

Los componentes principales de este equipo son:

- Una unidad transmisora y receptora.
- Un PC manual o Palmtop.
- Cables de circuitos (loop).

Figura N° 65: Registro Fotográfico Instrumento para medir TEM FAST-TEM 48



Fuente Elaboración propia

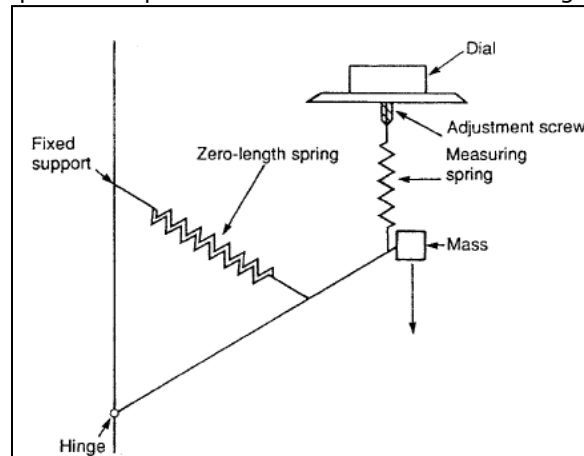
5.2.2. Metodología Gravimetría.

• Descripción del método.

El método de Gravimetría realiza mediciones de variaciones de la gravedad terrestre en estaciones a lo largo de una línea o una grilla. Los valores de gravedad medidos son corregidos por otros que causan variaciones de la gravedad. Las anomalías en los datos de gravedad residual pueden asociarse a variaciones laterales en la densidad de los materiales del subsuelo. Por ejemplo, paleocanales, estructuras geológicas, o cavidades.

Los datos son interpretados mediante la generación de modelos de densidad que producen valores de gravedad similares a los observados en terreno. Las mediciones de gravedad se realizan en la superficie de la tierra usando un gravímetro (Figura 66).

Figura N° 66: Esquema simplificado de funcionamiento de un gravímetro



Fuente. Elaboración propia

Las mediciones de gravedad pueden usarse para mapear estructuras geológicas mayores y también para detectar pequeñas estructuras en el subsuelo.

La unidad de medición usada en gravimetría es el gal y está basada en la fuerza gravitacional en la superficie de la Tierra. La gravedad promedio en la superficie de la Tierra es aproximadamente 980 gal. La unidad comúnmente usada en exploración regional de gravimetría es el miligal (10^{-3} gal).

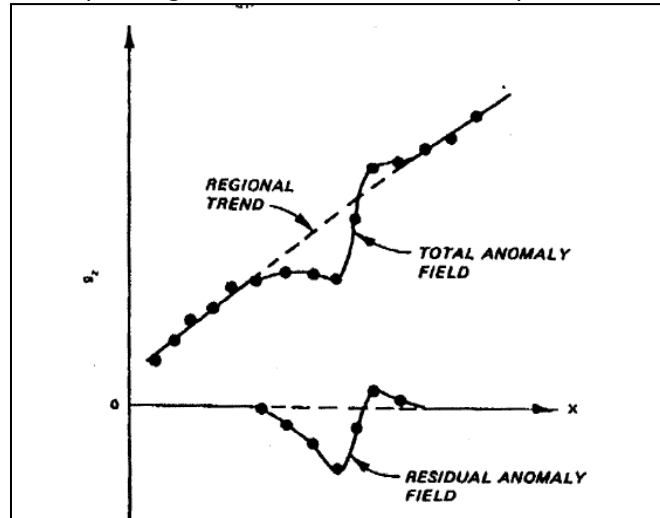
Una campaña de mediciones de gravimetría consiste en realizar mediciones de gravedad en estaciones a lo largo de una línea o en una grilla. Existen varias modalidades de medición para corregir la deriva instrumental que se presenta en el tiempo.

Numerosas correcciones se deben realizar a los datos de gravedad:

- Latitud,
- Topografía,
- Bouguer

Después de restar la tendencia regional de la gravedad se obtiene la gravedad residual de Bouguer y es posible visualizar el efecto de las anomalías (Figura 67).

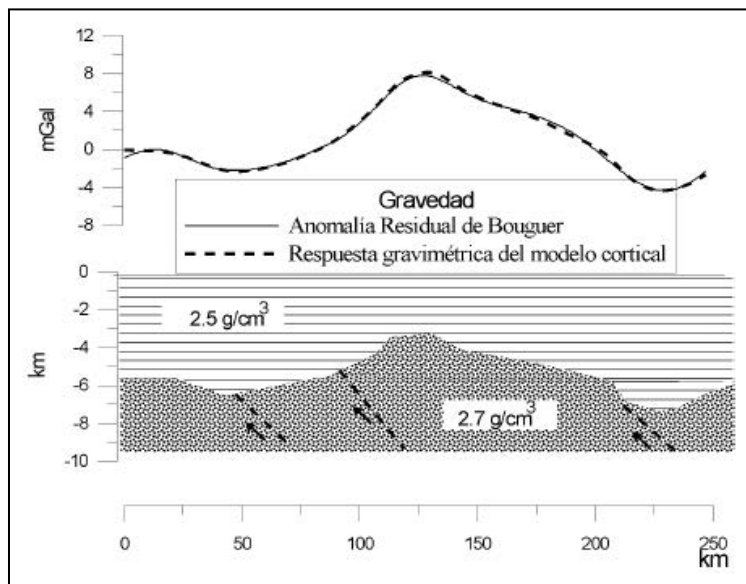
Figura N° 67: Esquema grafico de obtención del campo residual de gravedad



Fuente. Elaboración propia

En la Figura 68 se muestra un ejemplo de modelamiento de basamento obtenido ajustando las anomalías calculada con el modelo y la anomalía observada.

Figura N° 68: Ejemplo modelamiento gravimétrico de basamento



Fuente. Elaboración propia

- **Instrumentación.**

Para el registro de los datos gravimétricos se usó el siguiente instrumental:

- Gravímetro Scintrex CG-5 con antena GPS simple.
- Sistema de atenuación de vibraciones del suelo
- GPS RTK y diferencial marca Topcon, modelo GR3.

Figura N° 69. Registro fotográfico. Gravímetro marca Scintrex



Fuente. Elaboración propia

5.2.1. Campaña de terreno.

- **Transiente Electromagnético TEM.**

Durante los días 12 al 29 de noviembre del 2015 se realizaron dos campañas geofísicas, donde se materializaron un total de 50 sondeos TEM, con Loop de 50 x 50 metros, distribuidos en diferentes perfiles y estaciones aisladas, estas últimas para poder rellenar información entre y fuera de los diferentes perfiles ejecutados, de modo de poder cubrir toda la zona de estudio. La distribución de los perfiles estuvo orientada a poder establecer el fenómeno de intrusión salina, de modo que se realizaron siete perfiles transversales desde la costa hacia el este, identificados como T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7. Asimismo se ejecutaron dos perfiles longitudinales, de orientación NS, identificados como L1 y L2, los cuales se realizaron para definir correlaciones estratigráficas a lo largo de la zona del Parque Industrial Escuadrón.

La ubicación de las estaciones TEM en coordenadas geográficas y UTM se entrega en Anexo Geofísica.

La distribución de los perfiles transversales y longitudinal y estaciones TEM medidas se incluye en las figuras 70 a 76.

Figura N° 70. Perfil Transversal TEM T-1



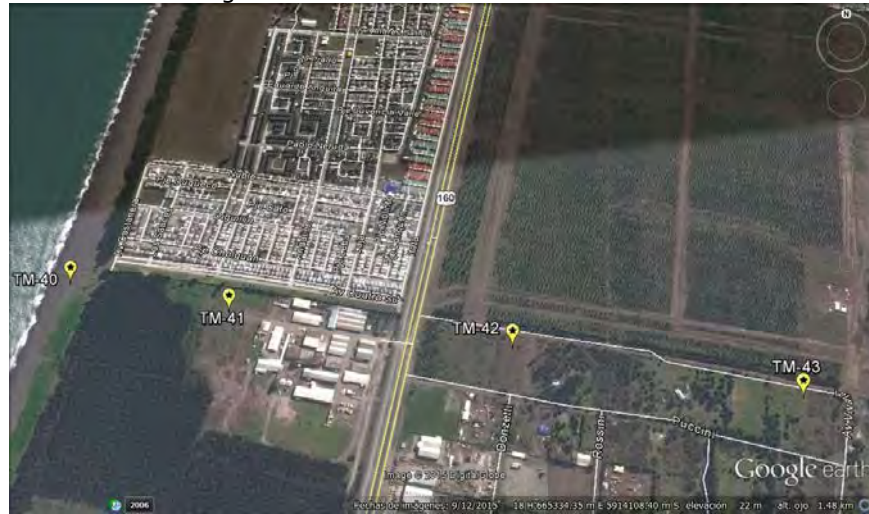
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 71. Perfil Transversal TEM T-2



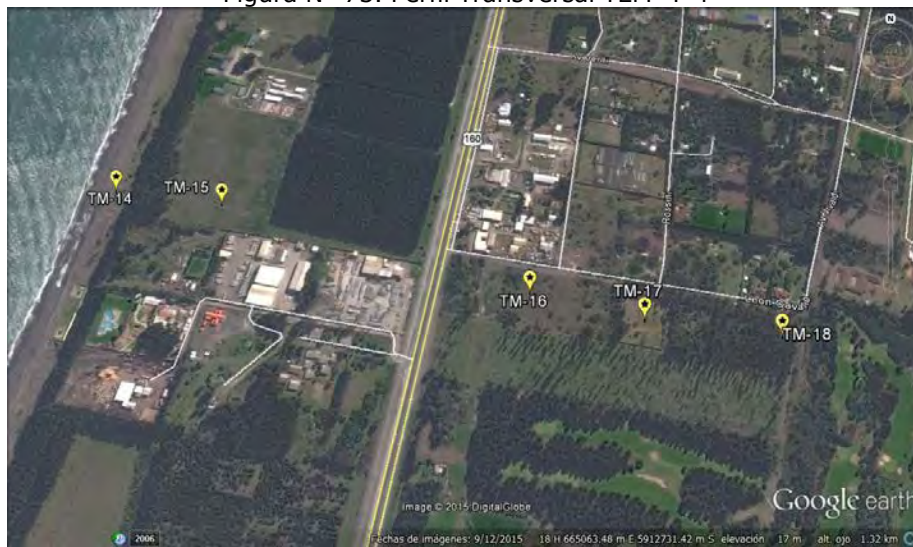
Fuente. Elaboración propia

Figura N° 72. Perfil Transversal TEM T-3



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 73. Perfil Transversal TEM T-4



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 74. Perfil Transversal TEM T-5



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 75. Perfil Transversal TEM T-6



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 76. Perfil Transversal TEM T-7



Fuente. Elaboración propia

En Figuras 77, se incluye registro fotográfico de la campaña geofísica mediante TEM. En Anexo Geofísico se han incluido fotografías adicionales de diferentes aspectos de la campaña realizada.

Figura N° 77: Registro Fotográfico Campaña Geofísica mediante TEM – Parque Escudrón



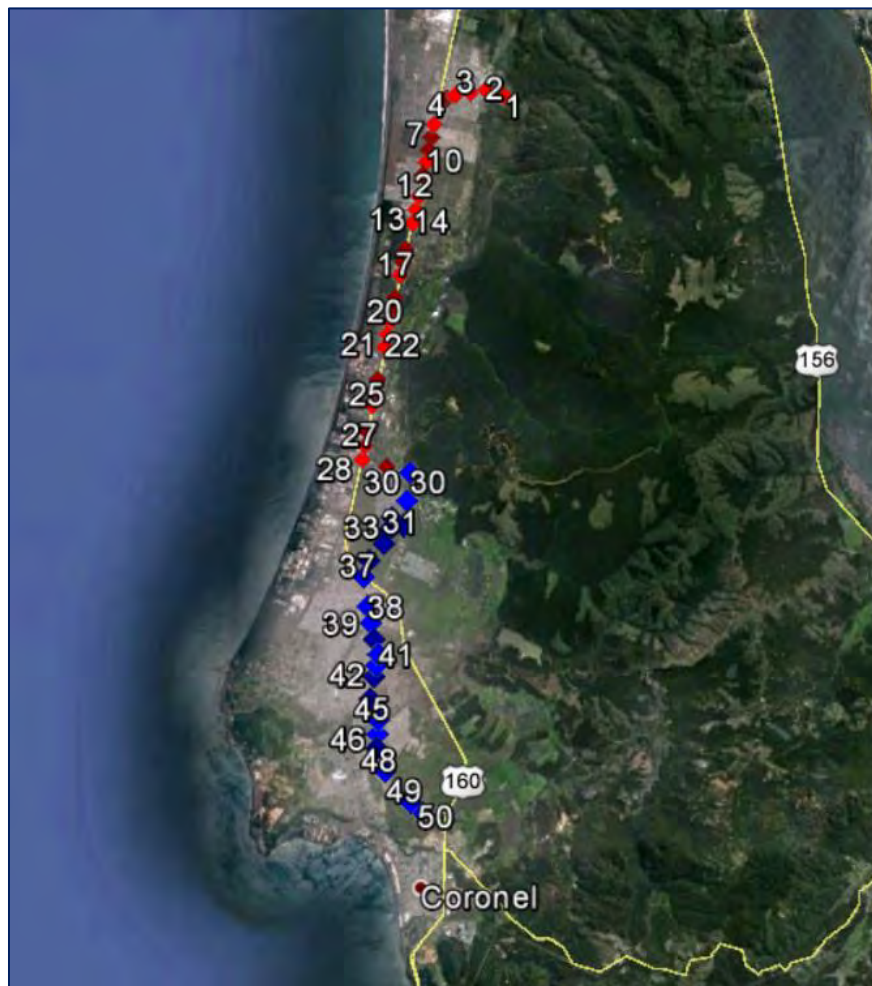


Fuente. Elaboración propia

- **Gravimetría.**

La adquisición de datos gravimétricos se realizó simultáneamente con el de la posición de cada punto (datos topográficos), entre los días 21 al 24 de Noviembre de 2015, ambas fechas inclusive. Las estaciones se distribuyeron en 2 perfiles de dirección N-S (Figura 78), aproximadamente, siendo el primero, Línea 1, el de más al norte, con 30 estaciones y el de más al sur, Línea 2, con un total de 20 estaciones.

Figura N° 78: Ubicación Estaciones Gravimétricas– Parque Escudrón



Fuente. Elaboración propia

En Figura 79 y 80, se incluye registro fotográfico de la Campaña Gravimétrica ejecutada.

Figura N° 79: Registro Fotográfico. Ubicación estación gravimétrica vista al Oeste



Fuente. Elaboración propia

Figura N° 80: Registro Fotográfico. Cerro en Coronel, Estación Gravimétrica N°16



Fuente. Elaboración propia

5.3. Caracterización hidrogeológica.

En este capítulo se efectuara una descripción de las unidades relevantes indicando sus principales características: geomorfología, litología, localización en profundidad y espesor, estratificación, profundidad del basamento, parámetros elásticos representativos, niveles freáticos con el fin de actualizar la información existente en el Estudio Hidrológico Hidrogeológico- Escuadrón Coronel desarrollado en diciembre, 1992 por la Empresa Consultora Ayala y Cabrera.

5.3.1. Caracterización Geomorfológica.

El relieve general de la comuna está dado por dos franjas diferentes, determinadas por las principales unidades geomorfológicas existentes en el área de estudio, donde se identifican dos unidades geomórficas principales, las cuales corresponden a: Marco Montañoso (Cordillera de Nahuelbuta) y Planicie Litoral (Zona Costera), las que se describen a continuación:

a) Marco Montañoso (Cordillera de Nahuelbuta): Configurada esencialmente por la presencia de la Cordillera de Nahuelbuta, la cual está constituida en gran parte por rocas metamórficas. Se presenta como una gran barrera, impresionante por su altitud, entre 400 y 500 metros. La cordillera presenta un eje central de dirección meridiana, que divide las aguas lluvias entre ladera oriental (ribera del Río Bio Bio) y ladera poniente (Golfo de Arauco).

Las pendientes son muy fuertes y las quebradas y valles se inscriben con fuerza. Esta formación meridional debilita la conectividad transversal de la zona y dificulta los asentamientos humanos.

Se reparan tres tipos de formas de erosión: Primero, la permanencia de antiguas plataformas de erosión de edad Terciaria. Estas superficies altas se desarrollan en el eje central de la Cordillera de Nahuelbuta. Se piensa que estas formas antiguas son productos de la erosión fluvial sobre rocas muy descompuestas. La erosión más reciente y movimientos geotectónicos se han encargado de desarticular el conjunto, conservándose paneles con diferentes altitudes. Sus superficies son relativamente llanas facilitando los desplazamientos y conectividad de Norte a Sur. Son importantes puntos de observación del entorno geográfico.

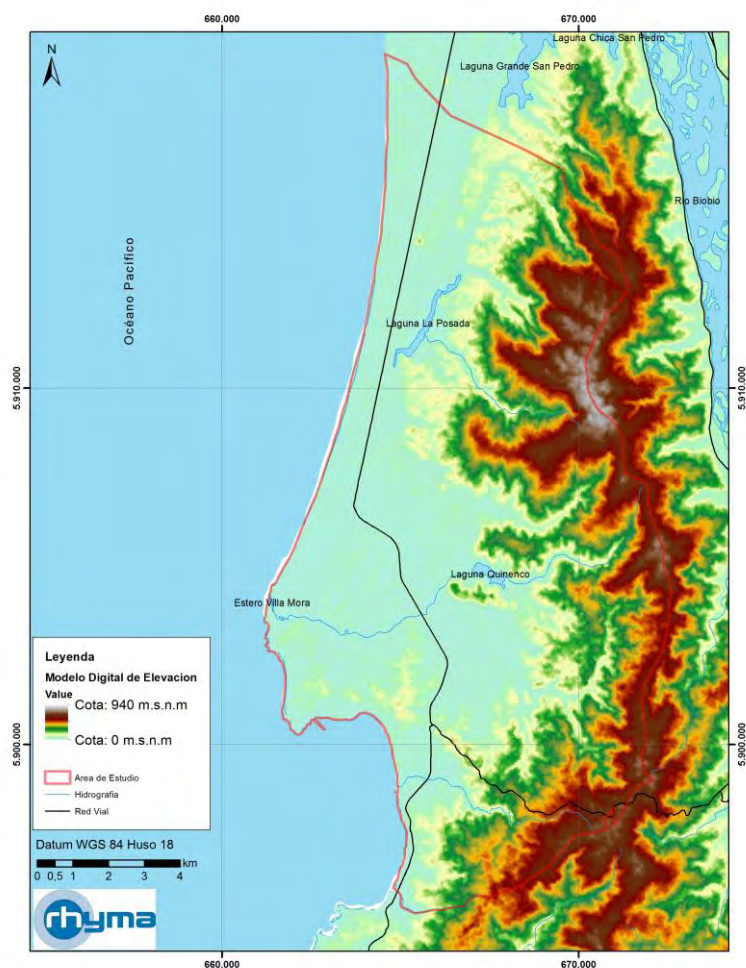
La segunda, son las formas actuales, ligadas a una potente erosión lineal, desarrolladas a fines de la época Terciaria e inicio del Cuaternario. Una red de quebradas y valles se organizan a partir de la plataforma principal y orientan a las micro cuencas. La disección es muy fuerte y hace al relieve general muy accidentado y de difícil acceso. Las laderas formadas por gruesa capas de colusiones están bien protegidas de la erosión actual por cobertura vegetal densa, integrada por plantaciones forestales y en menor proporción por remanentes de bosques nativos. En general se puede afirmar que la mayor parte del marco montañoso se encuentra en una fase de relativo equilibrio morfogenético.

Un tercer conjunto de formas vinculadas a las herencias morfogenéticas del fin del Terciario y comienzo del período Cuaternario, son las terrazas marinas que han sido modeladas por la acción abrasiva del mar. No hay claridad aún respecto a su origen, en el sentido que se trataría de una transgresión marina o si se le atribuye más bien un significado tectónico (o ambas cosas a la vez).

b) Planicie Litoral (Zona Costera): Es la continuación natural de una amplia llanura depositacional que se marca desde la desembocadura del Río Bío Bío (comuna de San Pedro de la Paz) hasta la Bahía de Coronel. Es el territorio de mayor desarrollo desde el punto de vista urbano. Está constituida de arenas basálticas (volcánicas) trasladadas desde la Cordillera de Los Andes por el sistema fluvial Laja – Bio Bio y depositadas por la abrasión del mar hasta el borde de una antigua línea de costa que hace unos 7.500 años atrás conformaba diversas bahías, como Escuadrón, Calabozo y El Manco. En la actualidad, decenas de estas antiguas líneas de playas han quedado en el interior de la llanura, formando pequeños camellones arqueados que obstruyen los drenajes de las quebradas y esteros que se originan en la Cordillera de Nahuelbuta.

Los especialistas, expresan que estas llanuras son formas de regulación de costas articuladas, cuyo antiguo borde se encontraba al pie de viejos acantilados marinos. Por lo general, tiene drenaje difícil, están modeladas en dunas y se acompañan de terrenos de vegas, pajonales y represamientos lacustres. En el caso del área de estudio, esto ocurre con las lagunas La Posada y Quiñenco, así como también con los esteros que drenan hacia el mar, conformando un conjunto de áreas de anegamiento y humedales, siendo los más representativos los humedales Boca Maule y Calabozo.

Figura N° 81: Relieve de área de estudio

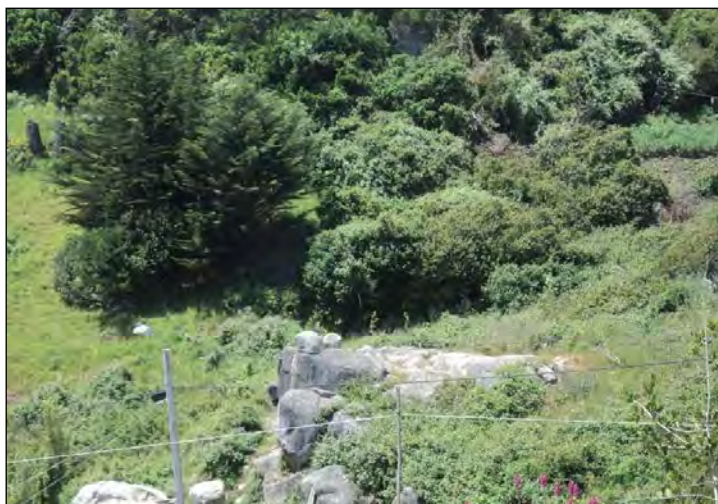


Fuente: Elaboración Propia

5.3.2. Caracterización Geológica.

La zona de estudio se ubica sobre terrenos que están asociados al Batolito de la Cordillera de la Costa, compuesto por granitoides cubiertos por rellenos de intemperización tipo "maicillos". La roca está constituida por tonalitas y granodioritas indiferenciadas de edad Paleozoica. Hacia el sector de San Pedro de la Paz se reconocen intrusiones de basamento metamórfico de la Serie Oriental compuesta por esquistos, filitas y metareniscas. (Figura 82).

Figura 82. Registro Fotográfico. Roca Fundamental Parque Escuadrón



Fuente: Elaboración propia

Las principales unidades geológicas se han volcado a nivel regional en el Mapa Geológico de la zona de estudio, que se expone en la Figura 83 (ver página siguiente).

Los depósitos cuaternarios están asociados principalmente hacia el este a acarreo fluvioaluvional y depósitos marinos o litorales actuales hacia el borde costero, como se puede apreciar en Figuras 84 y 85.

Figura 83: Mapa Geológico Parque Industrial Escuadrón

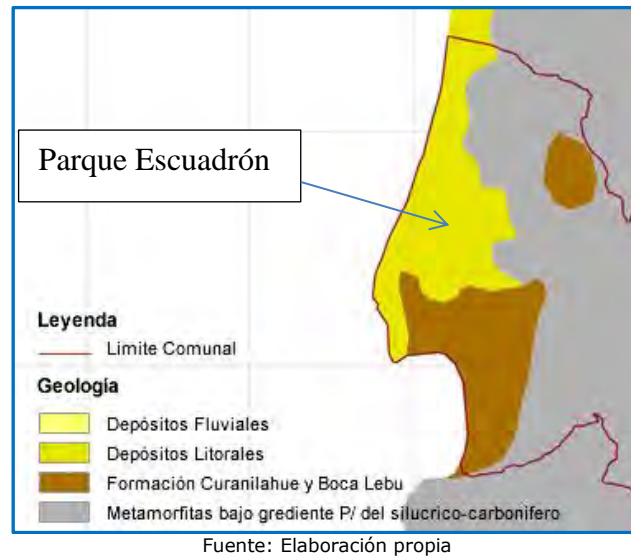


Figura 84. Registro Fotográfico. Depósitos litorales



Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Registro Fotográfico. Depósitos de acarreo fluvioaluvional



Fuente: Elaboración propia

Tectónicamente este sector corresponde a un tramo costero abrasivo estructural de horst y bahías cerradas. El principal factor es la tectónica de fallas del Terciario que ha originado una estructura de bloques y fosas.

Los depósitos de relleno cuaternario existentes en el área de estudio no presentan dislocaciones atribuibles a movimientos por fallamientos, como las que se observan en las unidades paleozoicas del Batolito Costero e identificadas como roca fundamental.

5.3.3.Unidades Hidrogeológicas.

En base a las características de permeabilidad presentes en las diferentes unidades geológicas definidas, se han identificado las siguientes unidades hidrogeológicas:

Unidad Impermeable

- Roca Fundamental: Esta unidad está formada por rocas paleozoicas antiguas y metamorfitas, las que presentan valores de permeabilidad bajos a muy bajos, por lo cual no constituyen una fuente de agua subterránea significativa. En sectores costeros, pueden existir carpetas de maicillo (granito meteorizado) que almacenan cantidades muy menores de aguas.

Unidad Permeable

- Depósitos Cuaternarios: En depósitos litorales, de dunas existen recursos de aguas subterráneas, así como también en depósitos de arrastre fluvioaluvional, que presentan valores de permeabilidad medios. La estratigrafía tipo de estos depósitos corresponden a arenas de playa, arenas gruesas con cuarzo, arenas finas y mezclas de estas granulometrías.

5.3.4.Geometría Acuífera.

La exploración del subsuelo mediante una campaña de exploración geofísica mediante gravimetría define las condiciones de morfología y profundidad del basamento. Asimismo, la campañas mediante Transiente Electromagnético permiten elaborar perfiles geoelectricos, los que de acuerdo a correlaciones estratigráficas pueden definir composiciones del relleno presente.

• Gravimetría.

Para determinar el espesor de la capa de sedimento aluvial, se definió la separación residual-regional, considerando la anomalía de Bouguer y mediante modelación se obtuvo la profundidad del basamento.

Las figuras 86 y 87 representan los Perfiles Gravimétricos 1 y 2.

Figura 86: Perfil Gravimétrico 1

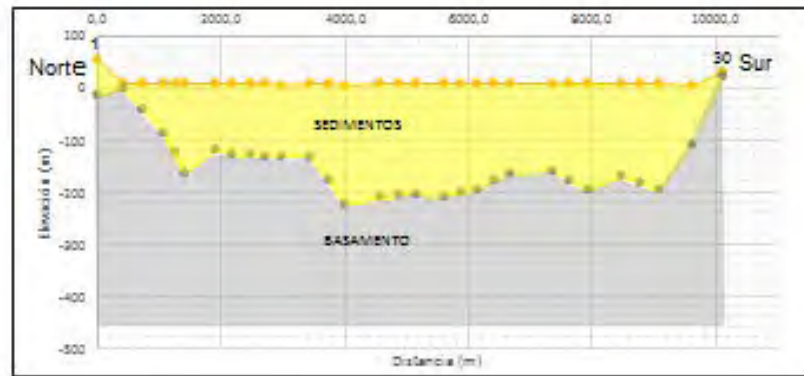
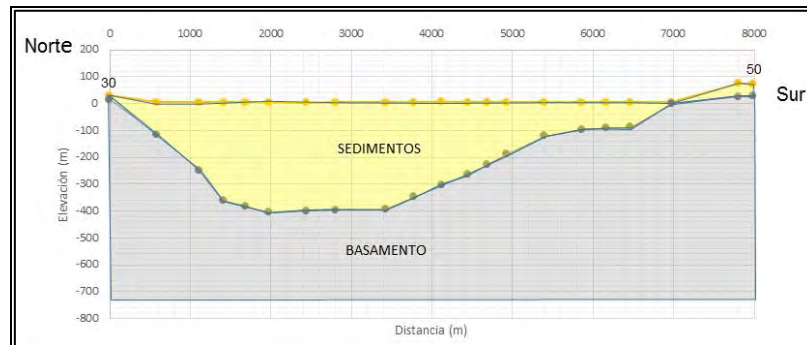


Figura 87: Perfil Gravimétrico 2



Fuente. Elaboración propia

En Anexo 7- Geofísica, se han incluido mayores detalles de la obtención, procesamiento y modelación de datos y asimismo las dos curvas residuales generadas.

El Perfil Gravimétrico 1, con las estaciones 1 a la 30, en general presenta homogeneidad a lo largo de su recorrido de norte a sur, con profundidades de basamento que fluctúan entre 100 a 230 m.

El Perfil Gravimétrico 2, con las estaciones 31 a la 50, presenta una profundización hasta los 400 m entre el km 1,3 al km 3,3, y desde el cual se reduce hasta llegar a la superficie entorno al km 7,0.

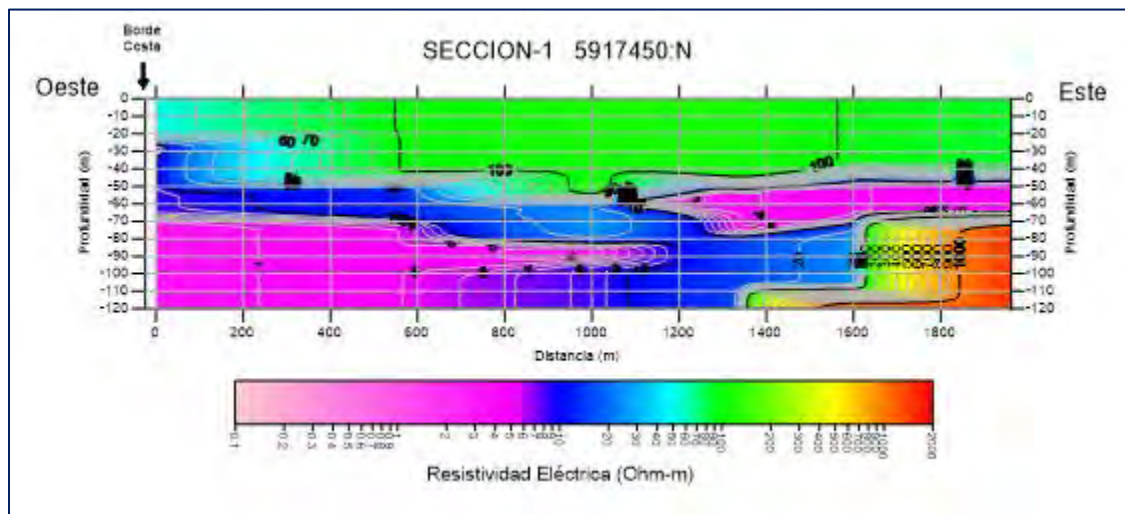
En base a los dos perfiles gravimétricos elaborados, se verifica una profundización del basamento hacia el sector sur a profundidades de hasta 400 m.

- **Transiente Electromagnético TEM.**

En base a la representación con patrón de colores de modelos de resistividad determinados en las estaciones TEM, los que configuraron perfiles transversales TEM, se pudo determinar las características del subsuelo presentes en cada una de las secciones estudiadas, las que a continuación de norte a sur, se describen.

El Perfil Transversal T-1, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 2,0 km, integrado por las estaciones geofísicas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 48, como se puede observar en la Figura 88.

Figura 88: Perfil Transversal T-1

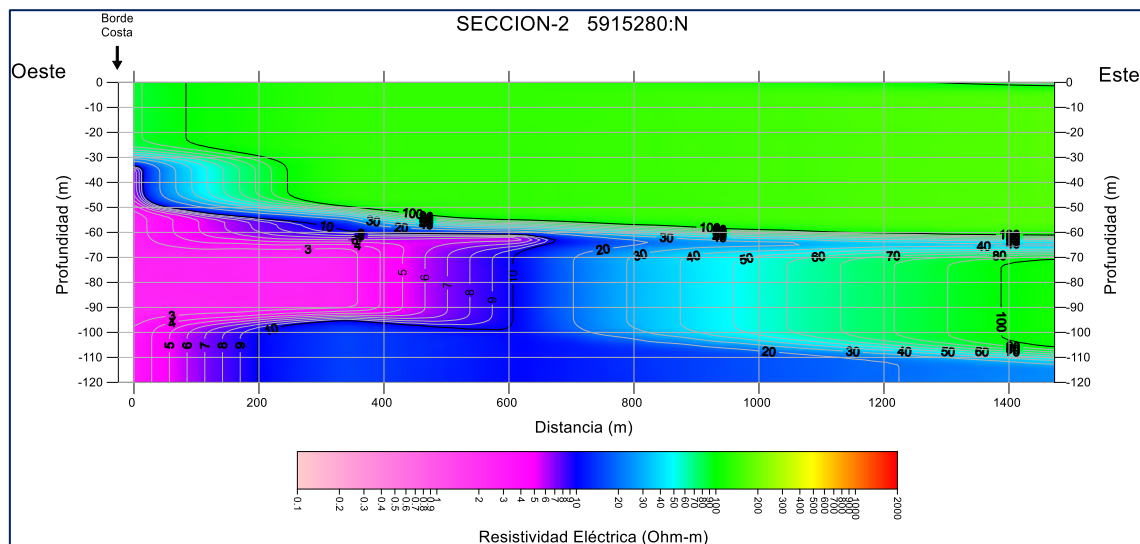


Fuente. Elaboración propia

El Perfil T-1 evidencia la presencia de cuatro unidades, la primera más superficial y hasta aproximadamente los 40 m, con valores de resistividades en torno a 100 ohm/m, los cuales corresponden a sedimentos finos secos. La segunda capa, con valores de resistividad que fluctúan entre 20 a 50 ohm/m, los que han sido reconocidos hasta los 120 m, en el centro del perfil y corresponden a arenas, gravas con contenido de agua. Hacia el oriente, desde los 40 m, se detecta una capa con valores de resistividad superiores a 400 ohm/m y hasta 1000 ohm/m, los primeros son indicativos de sedimentos finos y los últimos se asocian a unidades de roca. La cuarta unidad presenta valores de resistividad inferiores a 6,0 ohm/m, los cuales se asocian a materiales salinos. Se reconoce esta unidad a partir de los 70 m hacia el borde costero y hacia el oriente, a aproximadamente 1,1 km del borde costero, se reconoce un horizonte salino a partir de los 50 m.

El Perfil Transversal T-2, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 1450 m, integrado por las estaciones geofísicas 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13, como se puede observar en la Figura 89.

Figura 89: Perfil Transversal T-2

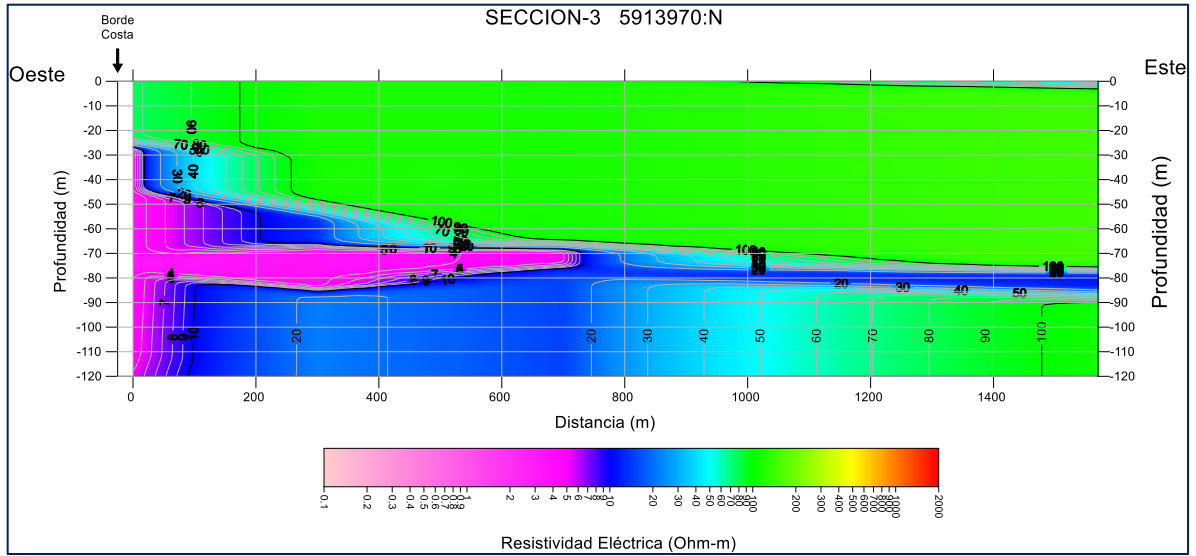


Fuente. Elaboración propia

El Perfil T-2 evidencia la presencia de tres unidades, la primera más superficial y hasta los 40 m a 60 m, con valores de resistividades en torno a 100 ohm/m, los cuales corresponden a sedimentos finos secos. Hacia el oriente esta secuencia presenta espesores mayores de hasta 100 m. La segunda capa, con valores de resistividad que fluctúan entre 20 a 55 ohm/m, los que han sido reconocidos hasta los 120 m, en el centro del perfil y corresponden a arenas, gravas con contenido de agua. Hacia el borde costero, se presenta la tercera unidad con valores de resistividad inferiores a 6,0 ohm/m, los cuales se asocian a materiales salinos. Se reconoce esta unidad a partir de los 50 m desde el borde costero hasta unos 500 m aproximadamente desde la estación inicial T7. Es notoria la presencia de la cuña salina a partir de los 50 m, la que fluye en dirección al oriente, con una potencia media de 30 m.

El Perfil Transversal T-3, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 1,6 km, integrado por las estaciones geofísicas 40, 41,42 y 43, como se puede observar en la Figura 90.

Figura 90: Perfil Transversal T-3

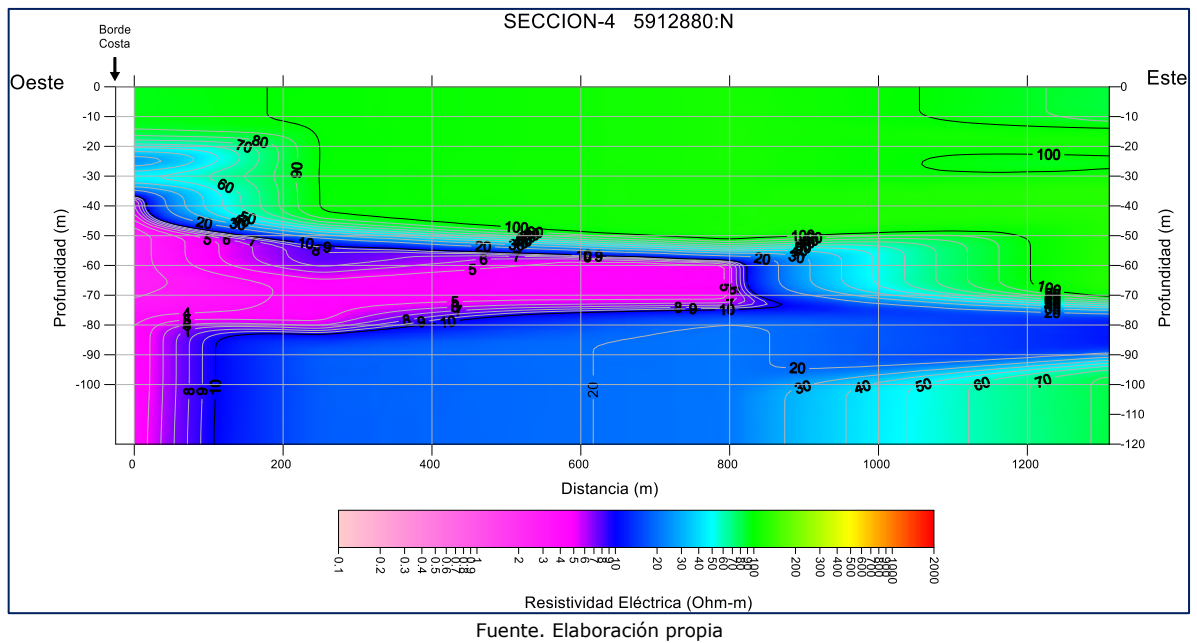


Fuente. Elaboración propia

El Perfil T-3 manifiesta un comportamiento similar al expuesto en el perfil T-2, con la diferencia en que en el primero, el espesor de la cuña salina es menor, del orden de 10 m y además hacia el oriente se tiene la presencia de horizontes con valores de resistividades entre 20 ohm/m a 50 ohm/m, los cuales son indicativos de arenas saturadas en profundidades cercanas a los 110 m.

El Perfil Transversal T-4, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 1300 m, integrado por las estaciones geofísicas 14, 15, 16, 17 y 18, como se puede observar en la Figura 91.

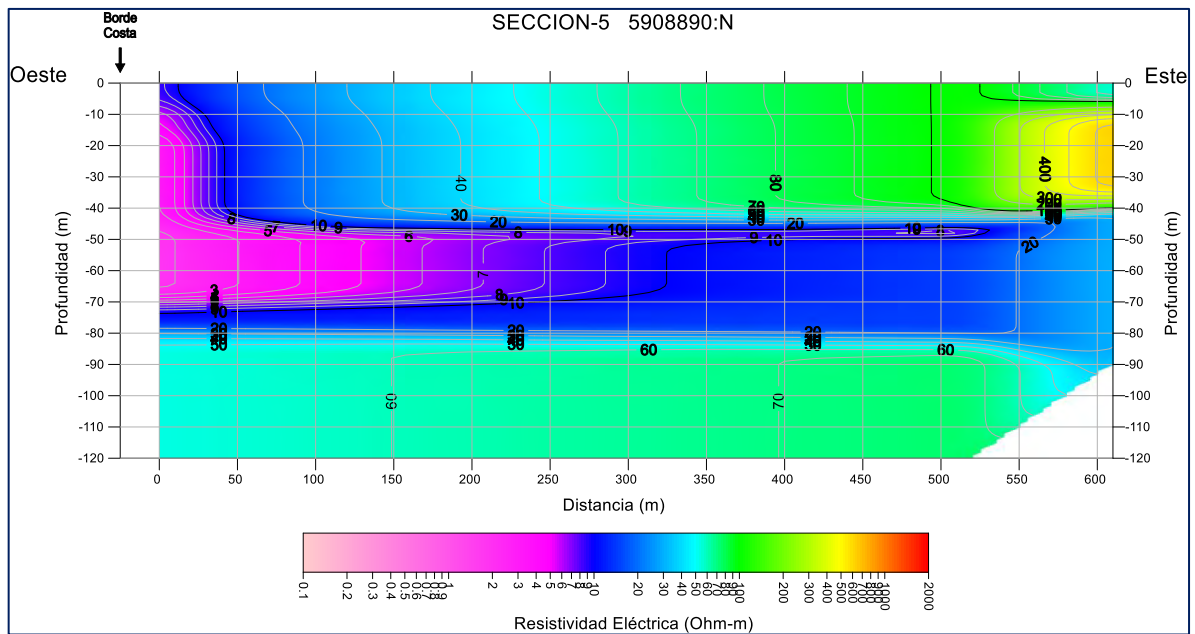
Figura 91: Perfil Transversal T-4



El Perfil T-4 tiene un comportamiento muy similar al del Perfil T-3, con la diferencia en que en el primero, la cuña salina presenta potencias superiores que fluctúan entre 15 a 30 m, y además hacia el oriente se tiene una mayor presencia de secuencias con valores de resistividades entre 20 ohm/m a 50 ohm/m, los cuales son indicativos de arenas saturadas en profundidades entre los 75 a 93 m.

El Perfil Transversal T-5, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 600 m, integrado por las estaciones geofísicas 19,49 y 20, como se puede observar en la Figura 92.

Figura 92: Perfil Transversal T-5

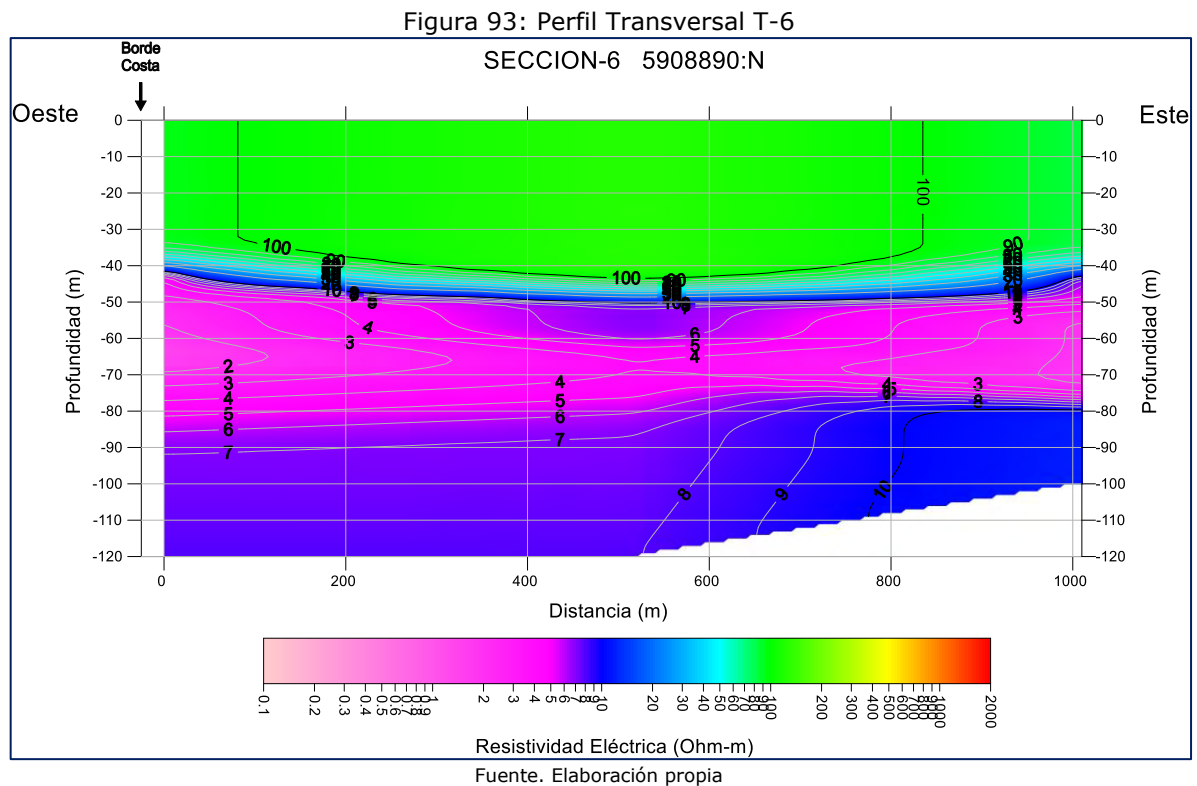


Fuente. Elaboración propia

El Perfil T-5 evidencia la presencia de cuatro unidades, la primera más superficial y hasta aproximadamente los 40 m, con valores de resistividades que fluctúan entre 65 a 80 ohm/m, los cuales corresponden a sedimentos finos secos. Esta unidad también se reconoce hacia la base a profundidades a partir de los 90 m. La segunda capa, con valores de resistividad que fluctúan entre 20 a 50 ohm/m, los que han sido reconocidos hasta los 90 m, y corresponden a arenas, gravas con contenido de agua. Esta unidad presenta una manifestación superficial hacia el borde costero hasta los 40 m. Hacia el extremo oriental del perfil, se observa una discreta manifestación de una unidad con valores de resistividad cercanos a los 400 ohm/m, desde la superficie y hasta desde los 40 m, los cuales son indicativos de sedimentos finos. La cuarta unidad presenta valores de resistividad inferiores a 6,0 ohm/m, los cuales se asocian a materiales salinos. Se reconoce esta unidad a partir de los 10 m hacia el borde costero y hacia el oriente, a aproximadamente 150 m de la estación T19.

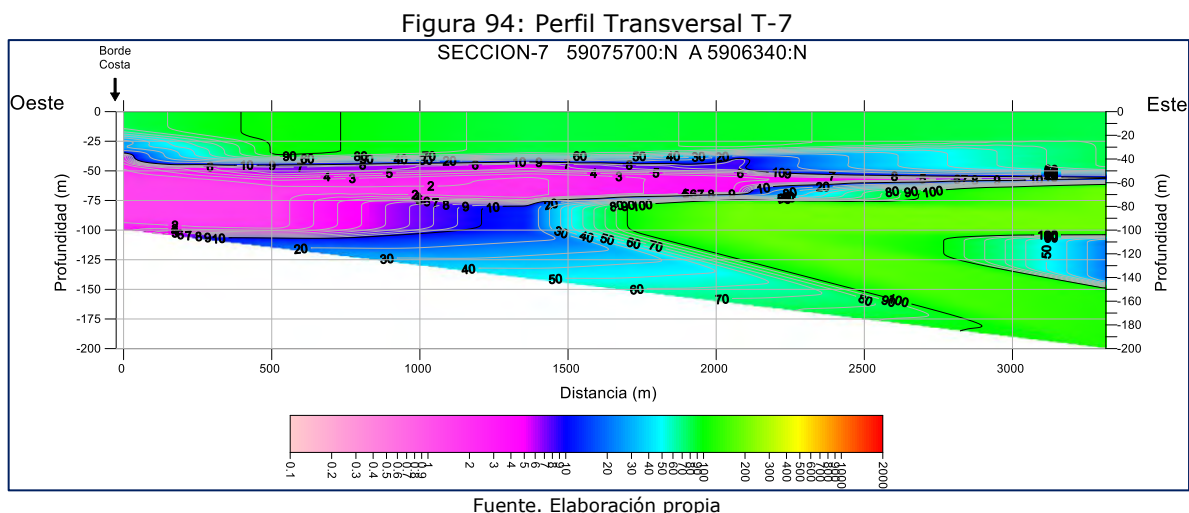
La cuña salina se reconoce a partir de los 40 m de profundidad, con espesores medios de 20 m.

El Perfil Transversal T-6, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud de 1,0 km, integrado por las estaciones geofísicas 21, 22, 23 y 24, como se puede observar en la Figura 93.



El Perfil T-6 evidencia la presencia de cuatro unidades, la primera más superficial y hasta aproximadamente los 40 m, con valores de resistividades entorno a los 100 ohm/m, los cuales corresponden a sedimentos finos secos. La segunda capa, con valores de resistividad que fluctúan entre 20 a 50 ohm/m, presenta reducidos espesores del orden de 3,0 m, entorno a los 40 m y corresponden a arenas, gravas con contenido de agua. Subyaciendo a esta secuencia, se reconoce un horizonte con valores de resistividad inferiores a 6,0 ohm/m, los cuales se asocian a materiales salinos. Esta unidad presenta espesores que fluctúan entre 30 a 40 m. Subyaciendo a este horizonte salino, se detecta un nivel potente de materiales con resistividades en torno a 8 a 10 ohm/m, las cuales corresponden a sedimentos de arenas con contenido de sales. Es notoria la presencia del horizonte salino, a partir de los 42 m, el que ha percolado y ha salinizado los rellenos a partir de los 80 m.

El Perfil Transversal T-7, de orientación Oeste- Este, presenta una longitud aproximada de 3,2 km, integrado por las estaciones geofísicas 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31, como se puede observar en la Figura 94.



El Perfil T-7 tiene un comportamiento similar al del Perfil T-6, en sus primeros 1000 m. Hacia el oriente, la unidad superficial descrita se distribuye en casi todo el perfil, desde la superficie y hasta los 200 m, con la interdigitación de horizontes aislados que presentan valores de resistividad cercanos a los 50 ohm/m, los cuales se asocian a arenas saturadas. La cuña salina se dirige hacia el oriente disminuyendo considerablemente su espesor desde 25 m hasta aproximadamente 3,0 m, entorno a la estación TM 32.

En general, se puede caracterizar el acuífero como relativamente homogéneo e integrado por arenas de tamaño medio, grueso y fino, con potencias que varían entre 10 a 40 m.

El basamento en el sector norte del Parque Escuadrón se encuentra a profundidades que fluctúan entre 100 a 230 m. La roca basal en el sector sur se profundiza, detectándose hasta los 400 m entre el km 1,3 al km 3,3. Hacia el sector oriental la roca va detectándose a menores profundidades hasta alcanzar la superficie entorno al km 7,0.

5.3.5. Parámetros Acuíferos.

Para la determinación de las constantes elásticas se requiere la realización de pruebas de bombeo, lo cual no fue incluido dentro de las labores de este Proyecto. Los parámetros de un acuífero pueden ser estimados en base a la estratigrafía y granulometría presentes, los cuales dan valores solamente referenciales.

- **Permeabilidad k.**

El valor del coeficiente de permeabilidad "k", varía ampliamente para diferentes suelos; como se muestra en la tablas 49 y 50, se dan algunos valores típicos para suelos saturados. La permeabilidad del suelo no saturado es menor y crece rápidamente con el grado de saturación.

Tabla 49: Coeficiente de Permeabilidad

Tipo de Suelo	K (cm/s)
Grava limpia	100-1,0
Arena Gruesa	1,0-0.01
Arena fina	0.01-0.001
Arcilla limosa	0.001-0.00001
Arcilla	0.00001

Fuente: Braja M. Das (2001)

Tabla 50: Valores de k

VALORES DE k (cm/seg)													
	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	
Drenaje	Bueno						Pobre		Prácticamente impermeable				
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición				
					Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición.								
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.												
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.												
Determinación indirecta de k			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados.		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.				
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.									Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia.			

Fuente Terzaghi y Peck (1948/2014)

En el Estudio Hidrogeológico Escuadrón (Cabrera, 1992), se determinaron valores representativos para la permeabilidad por sector, definiéndose para el sector norte, central y sur, valores de 0,15 (cm/seg); 0,4 (cm/seg) y 0,002 (cm/seg) respectivamente. En el Expediente ND-0803-1030 de Pesquera Grimar, localizada hacia la estación TEM-37, se calculó una permeabilidad de 0,1133 (cm/seg).

En este trabajo, se realizó una revisión exhaustiva de los valores de permeabilidad presentes en diferentes expedientes de derechos de aguas de la zona de estudio, los que se han incluidos en la Tabla 51, que se muestra a continuación:

Tabla 51: Valores de Permeabilidad- Parque Escuadrón

Captación	Nombre empresa	Expediente	Permeabilidad (K) (cm/seg)
Pozo1	Empresa de Servicios Sanitariosdel Bío Bío S.A	ND-0803-1416-1	0,071
Pozo2	Empresa de Servicios Sanitariosdel Bío Bío S.A	ND-0803-1416-2	0,068
Pozoa	Blocks and Cutstock S.A	ND-0803-1457-1	0,205
Pozob	Blocks and Cutstock S.A	ND-0803-1457-2	0,205
Puntera	Blocks and Cutstock S.A	ND-0803-1457-3	0,205
Puntera	Mario Alejandro Soto Trivini	ND-0803-1490	0,068
Pozo Prof	Diteco Ltda y Polikarpo S.A	ND-0803-1403	0,028
Puntera	Cimprof S.A	ND-0803-2302	0,143
2 Punteras	B Bosch S.A	ND-0803-200	0,122
Malla de punteras	Procesos y Servicios S.A	ND-0803-1409	0,000
Punteras	Conservas Multiexports	ND-0803-1227	0,324
Pozo	PSEG Generación y Energía	ND-0803-1433	0,208
8 Punteras	Alimentos Mar Profundo S.A	ND-0803-1455	0,138

Elaboración Propia

- **Coefficiente de Almacenamiento.**

Para calcular el coeficiente de almacenamiento, s_w , se debe además de realizar una prueba de bombeo, contar con medición de niveles desde un pozo de observación. Se pueden definir valores para el coeficiente de almacenamiento en base a la estratigrafía presente (Krusseman y Ridder).

En la solicitud de Comercializadora Azul Profundo, correspondiente al Expediente ND-0803-1472, para una malla de 3 punteras, se definió un valor ponderado de 0,263 para el coeficiente de almacenamiento.

En Estudio Hidrogeológico Escuadrón (Cabrera, 1992) se definieron valores del 10% para el coeficiente de almacenamiento, el cual es representativo de las granulometrías presentes.

En el Expediente ND-0803-1030 de Pesquera Grimar, en base a la granulometría presente se estimó un valor de 0,26 para el coeficiente de almacenamiento.

En el Expediente ND-0803-1416, para el APR Lomas Coloradas, se calculó el coeficiente de almacenamiento en $2,32 \times 10^{-5}$.

- **Transmisividad T.**

En la solicitud de Comercializadora Azul Profundo, se calcularon valores de $62,2 \text{ m}^2/\text{día}$ para la transmisividad y Radios de Influencias de 12,43 m a 13,32 m.

Revisando el expediente del APR Lomas Coloradas, se verifico que existían cálculos para la transmisividad de $744 \text{ m}^2/\text{día}$.

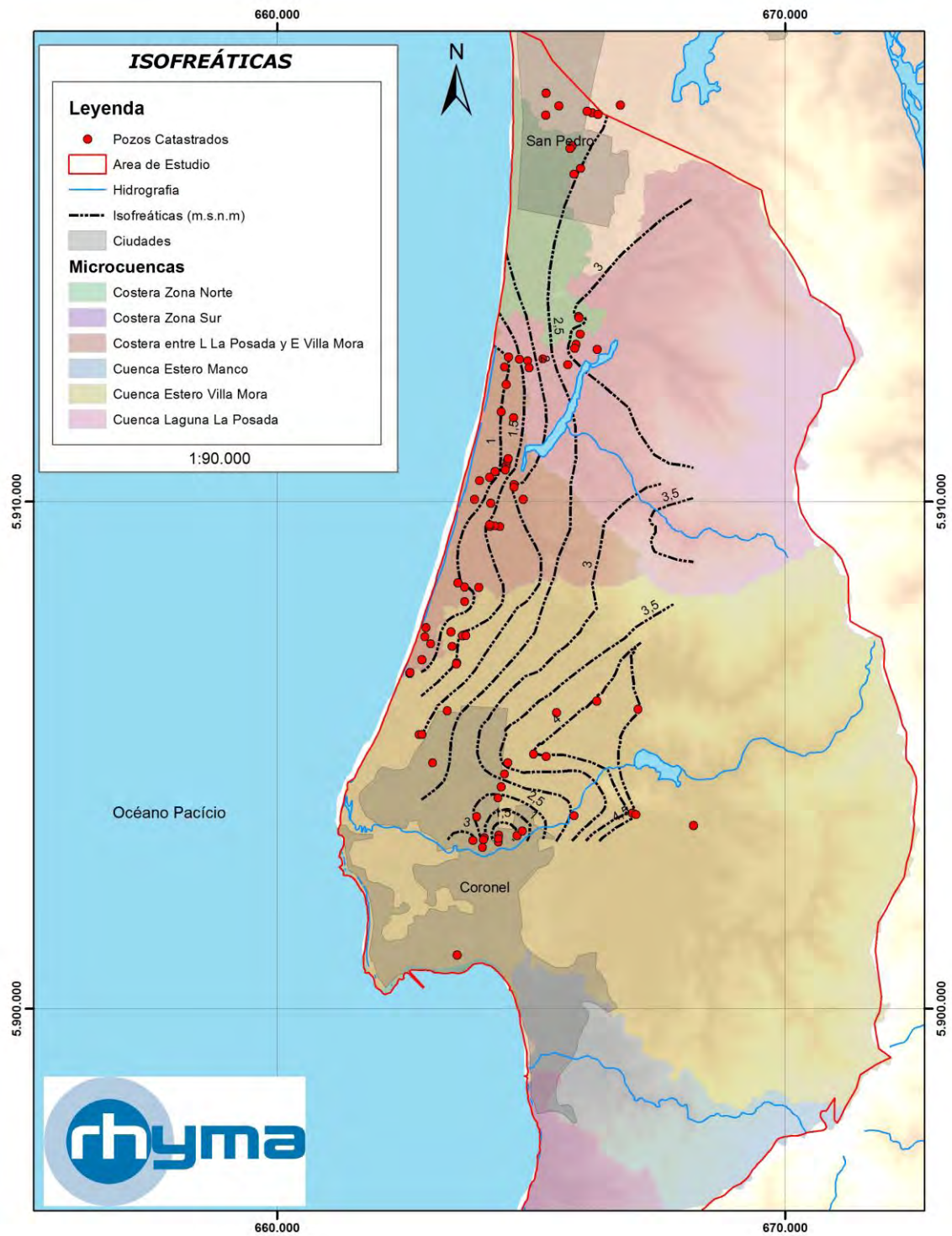
Para el sistema de 6 punteras de Pesquera Grimar, se calcularon valores de $499 \text{ m}^2/\text{día}$ para la transmisividad y Radios de Influencias de 128,65 m.

5.3.6. Piezometría.

En base al catastro elaborado para la Etapa 1, se midieron los niveles de aguas subterráneas en el área del Parque Industrial Escuadrón, los cuales son someros y fluctúan entre 1,2 m a 5,74 m.

Con la Información de cotas de los niveles estáticos recabada, se generaron curvas isofreáticas, las que se entregan en la Figura 95.

Figura N° 95. Curvas Isofreáticas.



5.4. Intrusión salina.

Los acuíferos costeros son sistemas de flujo con particularidades que los acuíferos continentales no presentan debido a que se encuentran conectados hidráulicamente con el mar y por ende con el agua salada, lo cual ocasiona que las diferencias de densidad entre el agua dulce y salada tenga un efecto en el flujo del agua subterránea.

Los acuíferos costeros, como es el caso de estudio, entran en contacto con el océano, en condiciones naturales, en las cercanías de la línea de costa. En esta zona de contacto, el agua dulce es descargada al mar, y se establece una zona de equilibrio, que es estable y eventualmente puede sufrir cambios a largo plazo, debido a efectos de cambio climático o movimientos relativos entre la tierra y el mar.

La zona costera se puede entender como el área de transición entre el medio continental y el marino, así como la transición de agua dulce a agua salada (Custodio 1987). Según Vandenbohede et al (2008), esta transición provoca una distribución natural de agua dulce, salobre y salada que es resultado de una evolución durante la historia geológica reciente.

Custodio (1987), menciona que la actividad humana interfiere con los procesos naturales y por ende se producen cambios físicos y biológicos que alteran el equilibrio en estas zonas, tales como la intrusión de agua de mar (intrusión marina), la destrucción del hábitat natural o la modificación de la costa a través de la erosión y sedimentación. Además, las altas tasas de extracción de agua subterránea conducen a la disminución de cargas hidráulicas, lo cual genera una influencia en los patrones de flujo subterráneo y en el balance de aguas de una zona (Vandenbohede et al 2008).

5.4.1. Caracterización de acuíferos costeros.

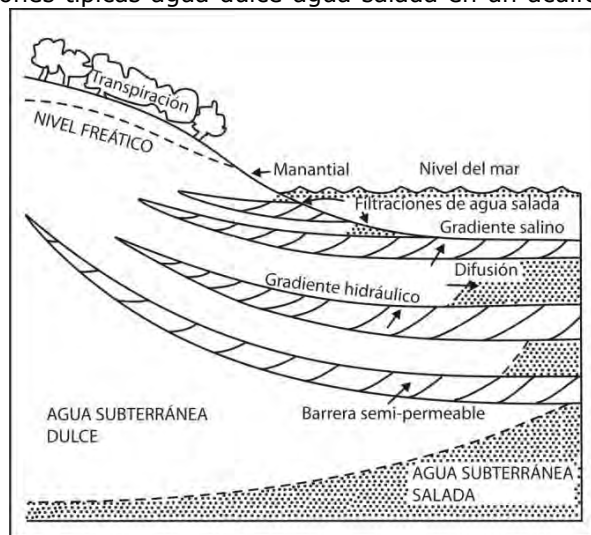
El comportamiento de los acuíferos costeros, además de las características geológicas que pudieran derivarse de la sedimentación en un entorno con variación de facies y de los procesos costeros, está condicionado por la carga hidráulica fija impuesta por el mar y por la mayor densidad del agua de mar (Custodio 2002).

En la mayoría de los sistemas acuíferos costeros, el agua subterránea fluye naturalmente hacia el mar a consecuencia del potencial de carga hidráulica producto de la recarga. Como el nivel medio del mar es prácticamente constante, no existe flujo inducido excepto por las fluctuaciones periódicas de las mareas que son de corta duración (Custodio 2002).

Fetter (2001), menciona que la descarga de agua subterránea dulce en un acuífero costero puede ocurrir a través de varios mecanismos naturales: (1) evapotranspiración, (2) filtración directa a manantiales, arroyos y ríos, agua de marea y al piso oceánico, (3) mezcla con agua

salina subterránea en una zona de difusión, (4) flujo a través de una barrera semi-permeable bajo la influencia de un gradiente hidráulico y por último (5) flujo a través de una barrera semi-permeable debido a la presión osmótica causada por un gradiente salino. Estos mecanismos se esquematizan en la Figura N° 96.

Figura N° 96 Relaciones típicas agua dulce-agua salada en un acuífero costero multicapa.



Fuente: Figura Modificada de Fetter (2001).

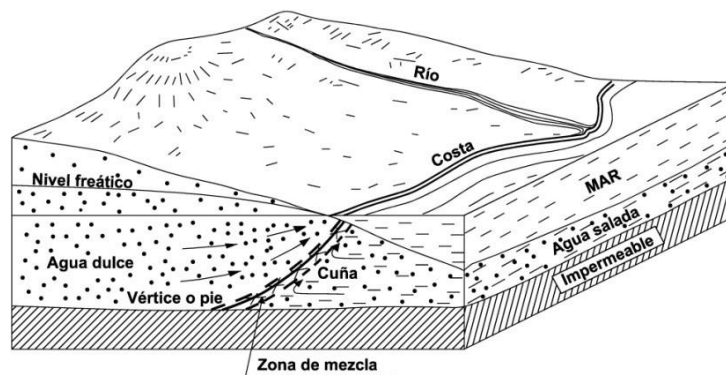
La posición y la forma de la frontera entre agua subterránea dulce y agua subterránea salada en un acuífero costero, es función del volumen de descarga de agua dulce (excluyendo características intrínsecas del acuífero). Por tanto, cualquier acción que modifique el volumen de descarga de agua subterránea dulce resultará en un cambio en la frontera agua dulce-agua salada. La acción de la marea puede inducir fluctuaciones menores en esta frontera, además de los cambios estacionales en la cantidad de agua dulce descargada.

5.4.2. Caracterización de la cuña de intrusión marina.

La caracterización y estudio de la cuña de intrusión marina y de las relaciones existentes entre el agua dulce-agua salada se remontan a mediados del siglo XIX con la primera publicación científica de Braithwaite en 1855.

Custodio (1976) define a la cuña de agua salada o cuña salina como una masa de agua de gran longitud con sección en forma de cuña apoyada en la base del acuífero y con el vértice o pie hacia tierra adentro (Figura 97). Además, define a la intrusión de agua salada o marina como el movimiento temporal o permanente del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce.

Figura 97 Cuña de intrusión marina en un acuífero costero

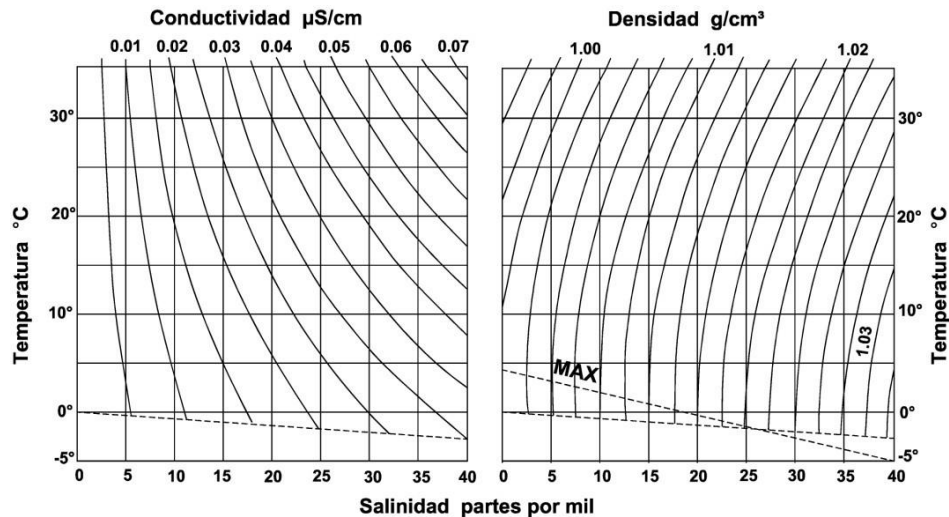


Fuente: Figura Modificada de Custodio(1976).

El límite entre dos fluidos inmiscibles, tales como agua y petróleo, está claramente definido y es brusco, formando una interface. Sin embargo, si esos dos fluidos son miscibles, tales como agua dulce y agua salada, no existe una interfaz brusca sino que se pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla, que refleja con intensidad variable las propiedades químicas e hidráulicas de cada uno de los líquidos originales y su ancho depende de la difusividad y dispersividad del medio, de las características del movimiento y de las circunstancias del acuífero (Custodio 1976).

La zona de mezcla dentro de la cual se sitúa la interfaz teórica, es una zona dinámica en la cual el agua se mueve no sólo como consecuencia de las diferencias de densidad, sino también a consecuencia de cambios de nivel piezométrico entre ambos líquidos. El peso específico del agua dulce se puede tomar como $\rho_d = 1,000 \text{ kg/m}^3$ y el del agua marina como 1,020 y 1,030 según la salinidad y temperatura, siendo el valor más usual el de $\rho_s = 1,025$ (para 19,000 ppm de Cl^- o su equivalente 35 g/L de sales disueltas). La viscosidad del agua marina es aproximadamente un 30% mayor que la del agua dulce a igual temperatura (Custodio 1976).

Figura 98: Conductividad y peso específico (densidad) de soluciones de agua marina o mezclas con agua dulce en función de la salinidad y de la temperatura. Se indican las líneas de peso específico máximo y las líneas de congelación en punteadas.



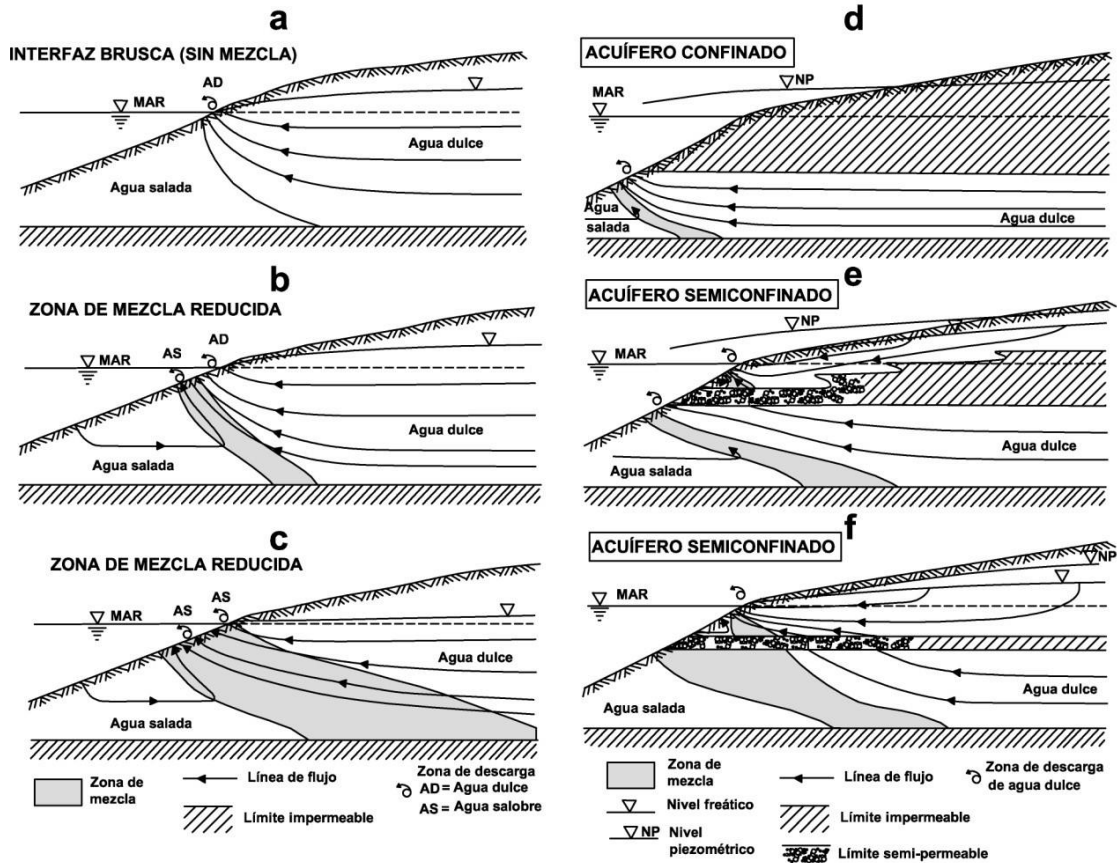
Fuente: Figura Modificada de Custodio (1976).

El espesor de la zona de transición o de mezcla puede variar desde unos cuantos metros en acuíferos relativamente estables y sin influencia de bombeos, hasta centenares de metros en acuíferos muy manipulados con pozos que bombean y se detienen a menudo (Castillo-Gurrola 2003).

Custodio (1987) señala que en acuíferos no homogéneos altamente permeables y esencialmente cuando el flujo de agua dulce es reducido, la parte superior de la zona de transición puede extenderse hasta el nivel freático y por tanto no se encontrará agua dulce o bien esta se reducirá a una delgada capa o lente.

La zona de mezcla se expande y contrae de acuerdo a la sucesión de las mareas y a periodos de lluvia y estiaje. Una disminución en el espesor implica necesariamente un aumento en el flujo hacia el mar dentro de la zona de mezcla a fin de conservar el equilibrio salino. Este flujo es eficaz en el transporte de sales hacia el mar (Custodio 1987).

Figura 99: Relaciones agua dulce-agua salada en acuíferos costeros



Fuente: Figura Modificada de Custodio

Las figuras a, b y c corresponden con acuíferos libres homogéneos. Las figuras d, e y f corresponden con acuíferos costeros confinados y semiconfinados. La escala vertical está exagerada en la zona bajo en nivel del mar. La figura a: interfaz brusca en condiciones de equilibrio; b: y c: muestran el desarrollo de la zona de mezcla, nótese el cambio en la inclinación del nivel freático; d: acuífero confinado con descarga hacia el mar; e: muestra el efecto que tiene una capa de baja permeabilidad que se adelgaza hacia la costa, permitiendo descarga vertical ascendente a un acuífero libre suprayacente; f: muestra un límite poco permeable de poco espesor que permite descarga de agua dulce hacia el acuífero libre superior, no hay descarga hacia el mar. Modificada de Custodio (2002).

En acuíferos confinados, el agua subterránea dulce descarga en el piso oceánico, directamente o a través de materiales permeables si la carga hidráulica es suficiente para compensar la columna superior de agua salada más densa (Custodio 2002).

Con respecto a la intrusión salina en acuíferos libres sin bombeo y que guarda contacto con el

mar en la línea costera o mar adentro, el agua dulce que es menos densa que la salada “flota” en forma de lente sobre el agua salada y el peso del agua dulce suprayacente deprime el agua salada por debajo del nivel del mar. La recarga de agua dulce en estos acuífero generalmente se mueve aguas abajo y eventualmente descarga hacia zonas costeras bajas y hacia el mar. Sin embargo, con presencia de bombeo se reduce el espesor del lente de agua dulce lo cual provoca la disminución o incluso la inversión del flujo hacia el mar de tal manera que el agua se moverá tierra adentro.

La extensión de la intrusión salina en un acuífero está en función de varios factores (Barlow et al 2009):

- La tasa de extracción de agua subterránea comparada con la recarga total de agua dulce en el acuífero.
- La distancia entre las zonas de descarga de agua subterránea, tales como bombeo en pozos, y las fuentes de salinidad.
- La estructura geológica del acuífero o sistema acuífero. Incluyendo rasgos estructurales como pliegues, fallas y cañones submarinos.
- La distribución de las propiedades hidráulicas del acuífero, incluyendo la interconectividad de unidades de alta permeabilidad dentro de un sistema acuífero multicasas.
- La presencia de unidades confinantes que puedan prevenir el flujo de agua salina hacia el acuífero o dentro de él.

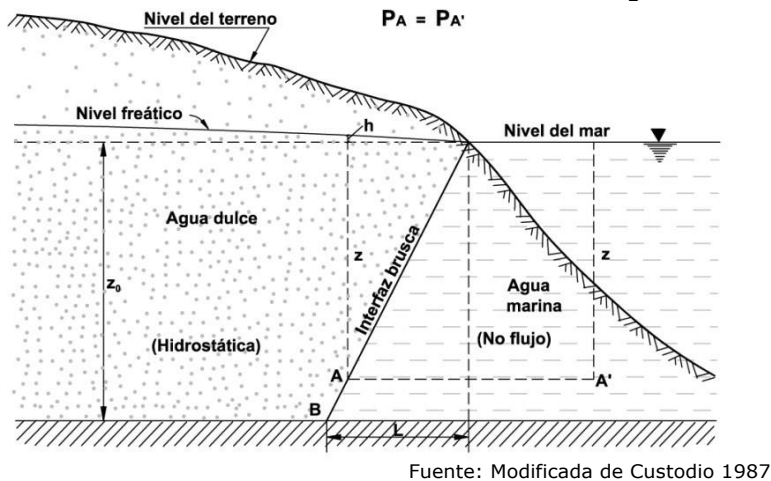
5.4.3. Métodos para caracterizar la cuña de intrusión marina.

La caracterización y posición de la cuña de intrusión marina se puede abordar por medio de tres aproximaciones diferentes. La primera corresponde con modelos y fórmulas matemáticas que se agrupan en los métodos teóricos, los cuales solo se mencionaran, pero no se analizaran en este Informe. La segunda corresponde con la geofísica que son métodos indirectos y es el objetivo de este Proyecto y finalmente la tercera aproximación, que es por medio de perfiles de salinidad medidos directamente en piezómetros y/o pozos y por tanto se trata de un método directo, que tampoco se analizara en este Estudio.

- **Modelos Matemáticos.**

- Relación de Ghyben-Herzberg (G-H) : se basa en el equilibrio hidrostático de dos fluidos inmiscibles de densidad diferente (Figura 100) en un acuífero libre y homogéneo. En cualquier punto de la interfaz brusca, la presión de la columna de agua en ambos lados debe ser la misma. Esta presión está dada por la profundidad a la interfaz multiplicada por la densidad del agua (Custodio 1987). Lo cual conduce a que la profundidad a la que se encuentra la interfaz brusca es aproximadamente 40 veces la altura del nivel freático sobre el nivel del mar (Fetter 2001).

Figura 100 Equilibrio del agua dulce y salada en un acuífero costero de acuerdo a Ghyben-Herzberg.



Se puede observar con la ecuación de G-H que pequeñas variaciones en la carga hidráulica del agua dulce tendrán grandes efectos en la posición de la interfaz. Si disminuye el nivel freático en 1 m, la interfaz ascenderá 40 m. La relación de Ghyben-Herzberg también se puede aplicar a acuíferos confinados al sustituir el nivel freático por el nivel piezométrico (Hiscock 2005).

La ecuación de G-H tiene amplia difusión por su simplicidad, sin embargo se deben tomar en cuenta las siguientes limitaciones (Hiscock 2005):

- El flujo de agua dulce es horizontal (Condición de Dupuit)
- No existe flujo de agua salada
- La interfaz es un plano, no existe zona de mezcla
- Asume que todo el flujo de agua dulce descarga exactamente en la línea de costa

En la mayoría de las situaciones reales, la relación de G-H subestima la profundidad a la interfaz, sin embargo puede producir resultados confiables siempre y cuando se utilice en

- Relación de Hubbert: se introduce el concepto de que la descarga de agua dulce produce un gap entre la costa y el piso oceánico. La interfaz entre agua dulce y salada se sigue considerando como brusca y en condiciones de no flujo. El agua salada se sigue considerando estática, pero la interfaz no interseca a la costa (Figura **101** a). En cambio, interseca el piso oceánico a cierta distancia de la costa dejando un espacio o gap a través del cual puede descargar el agua dulce hacia el mar (Burnett et al 2003).

El diagrama muestra un perfil de un acuífero costero. La superficie superior es el "Nivel del terreno". Debajo, el "Nivel piezométrico" se eleva hacia el mar. El "Nivel del mar" está representado por una línea horizontal con un triángulo invertido. El acuífero contiene "Agua dulce" (zona superior) y "Agua salada" (zona inferior). Se marcan puntos A, B, A' y B' en el nivel piezométrico. Se indica la "Interfaz" entre el agua dulce y el agua salada.

Suponiendo que no existe zona de mezcla de aguas y que el agua salada está estática, puede calcularse la posición de la interfaz en un cierto punto aplicando la ley de G-H si se toma como cota del agua dulce la que corresponde al potencial sobre ella, o sea si se toma para el cálculo de la profundidad de la interfaz en A (Figura X) la cota en B, situando en la equipotencial que pasa por A'. A esta se le llama la corrección de Hubbert (Custodio 1976).

- Modelo de Glover: Proporciona un método para calcular la dimensión de la zona de descarga de agua dulce en la costa y la posición de la interfaz agua dulce-agua salada (Burnett et al 2003).

- **Métodos indirectos.**

Para un manejo adecuado del agua subterránea en acuíferos costeros, donde las condiciones hidrogeológicas son particularmente dinámicas y complejas debido a la naturaleza del medio, se necesita una gran cantidad de información en cuanto a propiedades geométricas e hidráulicas del acuífero. Gran parte de esta información es provista por pozos de bombeo, sin embargo, debido a su escasez y al carácter local de la información provista, resulta más rentable utilizar métodos geofísicos no invasivos que pueden proveer mediciones continuas para determinar las características hidráulicas y geométricas de un acuífero (Soupios et al 2009).

El mapeo de plumas de agua salada por medio de métodos tradicionales de perforación resulta difícil y costoso. Pozos con intervalos ranurados largos ocasionan la mezcla de agua y por tanto se suaviza la distribución vertical de sal. Pozos con intervalos ranurados cortos proveen una mejor resolución vertical de la salinidad pero se necesita un gran número de pozos para proveer una distribución vertical general de la salinidad lo cual resulta impráctico y costoso. Como consecuencia, es recomendable utilizar métodos geofísicos que complementen la información de pozos, de esta manera se tendrá una mejor comprensión de la posición y forma de la pluma salina lo cual favorecerá la mitigación y el correcto manejo del problema (Jansen 2011).

Entre los métodos geofísicos, los electromagnéticos son los más utilizados en la exploración y manejo de agua subterránea. En zonas costeras este método es útil para la configuración de la interfaz agua dulce-agua salada, así como para estimar el espesor del acuífero y para mapear la migración de la pluma salina en el tiempo (Soupios et al 2009). Land et al (2004) menciona que la conductividad eléctrica es una propiedad intrínseca en la química del agua subterránea, por tanto, los métodos eléctricos y electromagnéticos se adaptan bien para el estudio de relaciones agua dulce-salada en acuíferos costeros.

A continuación se presenta la Tabla **48** que expone los métodos geofísicos más utilizados en hidrogeología.

Tabla 48 Métodos geofísicos empleados en hidrogeología. Modificada de Weight (2001).

Método geofísico	Propiedad física dependiente
Resistivo	Resistividad
Electromagnético	Conductancia, inductancia
Georadar (GPR)	Conductividad

Fuente: Modificada de Weight (2001)

Las técnicas geofísicas que permiten medir propiedades electroquímicas de fluidos subterráneos caen dentro de dos categorías generales que son los métodos eléctricos y los electromagnéticos. La diferencia principal entre ambos estriba en la forma de conducción del flujo de corriente. Los sondeos eléctricos resistivos (Sondeos Eléctricos Verticales o SEV's por ejemplo) introducen corriente eléctrica directamente al subsuelo a través de electrodos metálicos implantados. A diferencia de los métodos electromagnéticos, Tendidos Electromagnéticos o Transitorios Electromagnéticos en el dominio del tiempo (TEM's), que introducen corriente eléctrica al subsuelo al inducir un campo electromagnético (Land et al 2004).

Los métodos eléctricos (resistivos) proveen mejor resolución que los TEM's en los primeros 50- 150 m de profundidad, sin embargo se requiere un buen acoplamiento con el tipo de suelo y el trabajo operacional en campo requiere de un mayor tiempo. Los TEM's, en cambio, pueden cubrir mayor área en menor tiempo y se utilizan para profundidades de 15-600 m (Jansen 2011).

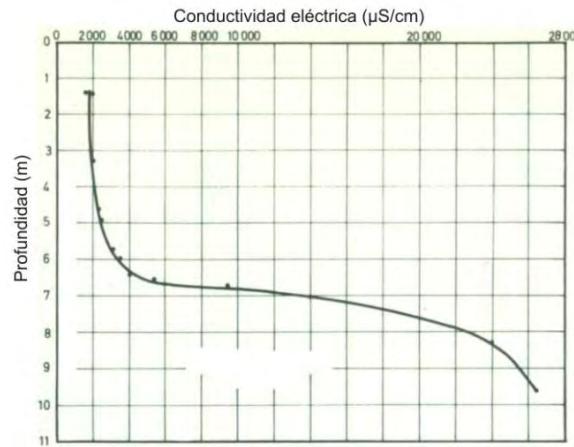
Se explica únicamente el funcionamiento básico del método TEM debido a que es el más utilizado en acuíferos costeros y es el que se empleó en el área de estudio de este Proyecto.

- **Métodos directos.**

El método más común para mediciones in-situ de salinidad y para indicar la zona de la interfaz en pozos y piezómetros es el del conductímetro, que implica la medición de la conductividad eléctrica (CE) del agua subterránea (o su inverso, la resistividad eléctrica) que depende esencialmente de la salinidad pero también de la temperatura del agua y de la concentración de iones (Custodio 1987).

Estas mediciones se representan en gráficos llamados perfiles de salinidad que grafican la conductividad eléctrica en las abscisas y la profundidad de medición en las ordenadas. En la Figura 102 se presenta un ejemplo de un perfil de salinidad.

Figura 102 Perfil de salinidad que indica la zona de la interfaz



Fuente: Modificada de Custodio et al (1976).

El equipo utilizado para este método consiste en una sonda portátil con diferentes sensores. Uno de estos sensores contiene electrodos que miden la conductividad (o resistividad), otro puede medir la temperatura, otro la concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) (Custodio 1987).

Estas mediciones generalmente se consideran representativas del agua en el acuífero. Sin embargo, se debe tomar precaución al realizar estas pruebas debido a flujos verticales dentro del pozo o piezómetro que alteran la estratificación natural de la salinidad. Estos flujos verticales son muy comunes y su negligencia puede conducir a conclusiones erróneas. Por consiguiente, para lograr una medición correcta de la salinidad en un punto en particular dentro de un acuífero y también para medir la carga de presión, se debe utilizar un piezómetro de diámetro pequeño y ciego en toda su extensión excepto en un pequeño intervalo ranurado en la base del mismo (esto aplica sobre todo en zonas con flujos verticales, si el acuífero es delgado y no existen flujos verticales se puede utilizar un piezómetro ranurado en toda su extensión). Adicionalmente, no debe existir un espacio anular entre el ademe y la pared de la formación geológica, debido a que conduce a mediciones erróneas de salinidad y carga de presión. Pero el motivo de mayor importancia es porque un piezómetro ranurado en toda su extensión puede conducir a la salinización de las partes más someras del acuífero (Custodio 1987).

5.4.4. Resultados.

Del análisis de los perfiles transversales elaborados a partir de la campaña geofísica mediante Transiente Electromagnético TEM, se verificó la existencia de la cuña salina, cuyas características principales se reseñan a continuación:

Perfil T1: Se reconoce un horizonte salino a partir de los 70 m, hacia el borde costero y el avance de esta cuña hacia el oriente, hasta aproximadamente 1,1 km de la estación TM-1, con una potencia media de 10 m.

Perfil T2 Es notoria la presencia de la cuña salina a partir de los 50 m, la que fluye en dirección al oriente, con una potencia media de 30 m y una trayectoria de aproximadamente 420 m.

Perfil T3 La cuña salina se reconoce a partir de los 70 m El espesor de la cuña salina es menor, del orden de 10 m, con una trayectoria de aproximadamente 620 m

Perfil T4 La cuña salina se reconoce a partir de los 50 m, con potencias que fluctúan entre 15 a 30 m, con una trayectoria de aproximadamente 750 m.

Perfil T5 La cuña salina se reconoce a partir de los 40 m de profundidad, con espesores medios de 20 m y con una trayectoria de aproximadamente 170 m..

Perfil T 6 Es notoria la presencia de un potente horizonte salino, a partir de los 42 m, el cual presenta una trayectoria de aproximadamente 1000 m.

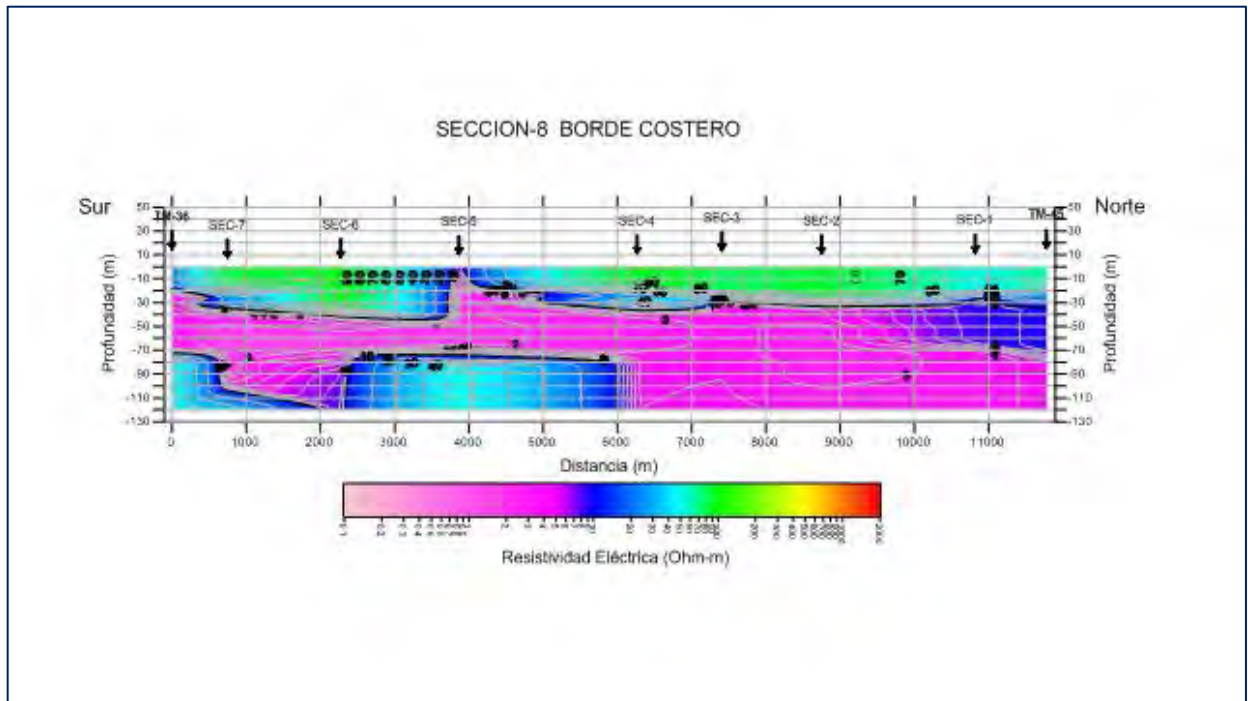
Perfil T7 La cuña salina se reconoce a partir de los 38 m, dirigiéndose hacia el oriente, donde disminuye considerablemente su espesor desde 25 m hasta aproximadamente 3,0 m.

Se elaboró un perfil longitudinal del borde costero con las estaciones ubicadas en el borde costero para definir la distribución de la cuña salina de norte a sur, el cual se presenta en la Figura **103**.

Figura 103: Ubicación Estaciones TEM Borde Costero



Figura 104: Perfil longitudinal- Borde Costero



Fuente: Elaboración propia

Del análisis del Perfil longitudinal, se verifica que de norte a sur, en una franja distante a aproximadamente 25 m del borde costero, la cuña salina está presente y se distribuye homogéneamente. La geometría de la cuña y modelamiento acuífero se presentan en capítulo siguiente.

5.4.5. Análisis Intrusión Salina

- **Metodología**

Se ha utilizado como base la metodología desarrollada en el estudio de Ayala y Cabrera. En este estudio, a través de fórmulas analíticas se estudia la intrusión salina en dos etapas:

Primero se determina la profundidad y posición de la interfaz agua dulce – agua salada a través de la fórmula de Glover.

$$Z^2 - \frac{2qoX}{\beta K} - \frac{qo^2}{\beta^2 K^2} = 0 \quad (\text{Ec } 1)$$

Sin embargo, para nuestro caso la posición de la interfaz ya fue determinada mediante trabajos de terreno, lo que le da mayor validez que utilizar fórmulas analíticas.

La segunda etapa es el estudio de domos salinos bajo una captación puntual. En este caso el trabajo se resume a determinar los caudales críticos de bombeo para los cuales se comenzaría a producir intrusión salina en los pozos dado el ascenso del cono salino.

Para esto, se utiliza la fórmula de Bear y Dagan (1969)

$$a(r, t) = \frac{Q}{2\pi K_h d \beta} \left(\frac{1}{\sqrt{1+\bar{R}^2}} - \frac{1}{\sqrt{(1+\bar{t})^2 + \bar{R}^2}} \right) \quad (\text{Ec } 2)$$

Siendo:

\bar{R} = distancia adimensional = $r/d\sqrt{K_v/K_h}$

\bar{t} = tiempo adimensional = $\frac{K_v \beta}{2md} t$

$a(r, t)$ = ascenso del cono sobre la interfaz inicial (L)

r = distancia radial desde el eje de captación (L)

t = tiempo desde el inicio del bombeo (t)

K_v y K_h = Permeabilidades vertical y horizontal (L/T)

Q = Caudal bombeado (L³ /T)

d = distancia desde el final de la zona filtrante hasta la posición inicial de la interfaz (L)

$$\beta = \frac{\gamma_s - \gamma_a}{\gamma_s} = \frac{1}{40}$$

El desarrollo de la ecuación anterior, considerando un tiempo de bombeo continuo (t tiende a infinito) y con $r = 0$ (en la captación misma) se obtiene el ascenso máximo, el cual está dado por la siguiente fórmula.

$$a(r = 0, t = \infty)_{max} = \frac{Q}{2\pi K_h d \beta} \quad (\text{Ec. } 3)$$

El ascenso máximo es proporcional al caudal, siempre y cuando no se alcance el ascenso crítico, a partir del cual la subida del cono es muy rápida. Si d_c es el ascenso crítico ($d_c = d/3$ a $d/4$ normalmente) se obtiene la ecuación para el caudal max a bombear de manera que no se produzca intrusión salina.

$$Q_{max} = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot d^2 \cdot \beta \cdot 0.29 \quad (\text{Ec.4})$$

• Aplicaciones

Determinación de caudales críticos de extracción para casos específicos.

Para la determinación de caudales críticos de extracción en sectores específicos, se consideraron los perfiles geofísicos de las secciones 1 al 7 obtenidos a partir de los perfiles TEM y gravimetrías ejecutadas para este estudio. Además, se utilizó la información de los expedientes asociados a las captaciones de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados en la zona de estudio.

Para cada perfil, se identificaron pozos cuya ubicación esté cercana al perfil geofísico de manera de poder asumir las características del subsuelo determinado por la geofísica para el sector donde se encuentren las captaciones.

Las captaciones seleccionadas, se presentan en la siguiente Tabla.

Tabla N° 52: Captaciones seleccionadas para evaluar intrusión salina en zona de estudio

Captación en expediente	Nombre empresa	Comuna	Perfil	Expediente	Prof. Pozo (m)
Pozo1	Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío S.A	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1416-1	26
Pozo2	Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío S.A	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1416-2	28
Pozoa	Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1457-1	20*
Pozob	Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1457-2	20
Puntera	Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1457-3	6
Puntera	Mario Alejandro Soto Trivini	San Pedro de La Paz	Perfil1	ND-0803-1490	9
Pozo Prof	Diteco Ltda y Polikarpo S.A	San Pedro de La Paz	Perfil4	ND-0803-1403	36

Captación en expediente	Nombre empresa	Comuna	Perfil	Expediente	Prof. Pozo (m)
Puntera	Cimprof S.A	Coronel	Perfil4	ND-0803-2302	10
2 Punteras	B Bosch S.A	Coronel	Perfil5	ND-0803-200	8,5
Malla de punteras	Procesos y Servicios S.A	Coronel	Perfil5	ND-0803-1409	18
Punteras	Conservas Multiexports	Coronel	Perfil6	ND-0803-1227	9
Pozo	PSEG Generación y Energía	Coronel	Perfil7	ND-0803-1433	20
8 Punteras	Alimentos Mar Profundo S.A	Coronel	Perfil7	ND-0803-1455	8,5

Fuente: Elaboración Propia

Los datos en rojo de la tabla N° 53 fueron estimados ya que no se encontró la información en el respectivo expediente. Para el caso de los perfiles 2 y 3 se encuentran en una zona donde no existían captaciones georreferenciadas, por lo que no fue posible asociar pozos a estos perfiles.

Se revisaron los expedientes recabando información de profundidad, permeabilidad, almacenamiento, caudal de prueba de bombeo y caudal del derecho. No se encontraron datos de calidad de aguas donde se indicara la concentración de cloruros que permitiera identificar problemas de intrusión salina a partir de análisis químicos.

Con la información recabada se aplicó la Ecuación 4 para determinar los caudales críticos de extracción. La profundidad de la interfase agua dulce-agua salada se determinó en base a la información de los perfiles geofísicos.

Los resultados obtenidos de caudales críticos de extracción a partir del cual, se produciría el fenómeno de intrusión salina, se indican a continuación en la Tabla.

Tabla N° 53: Caudales Críticos de Extracción (l/s) de intrusión salina para cada una de las captaciones.

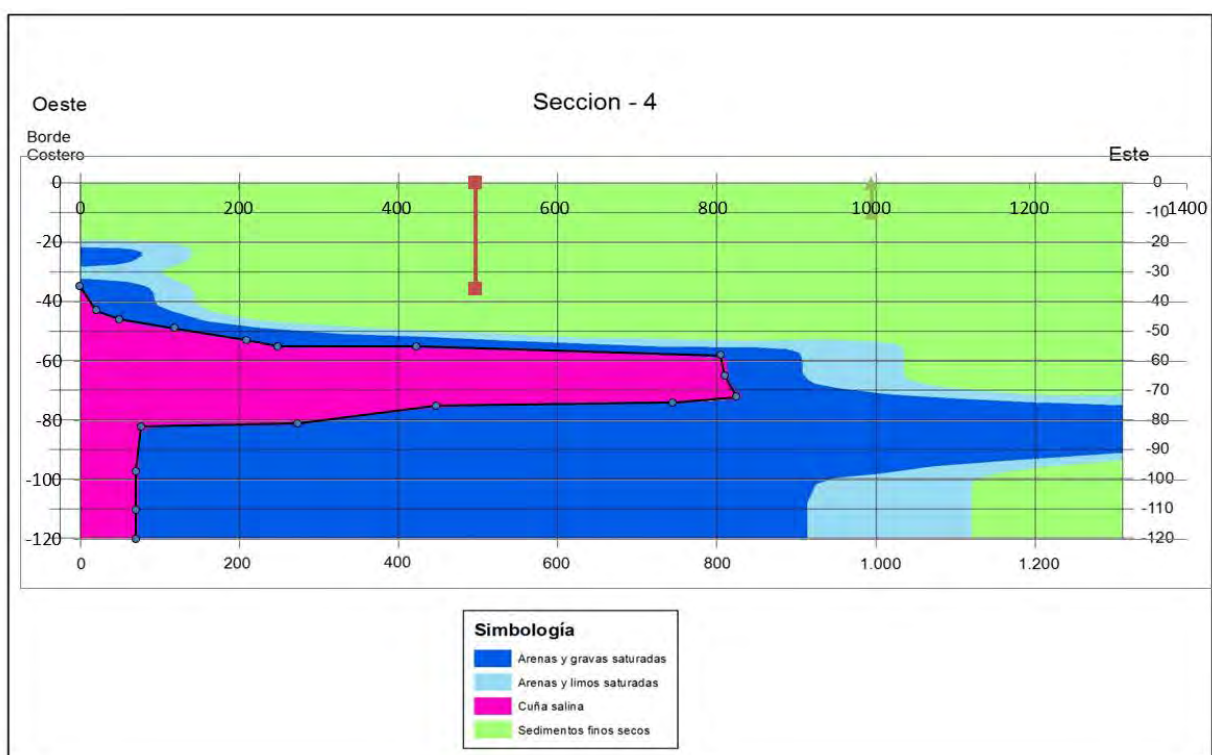
Nombre empresa	Comuna	Expediente	Prof Interfaz I (m)	Prof. Pozo (m)	Qmax (l/s)	Q derecho (l/s)
Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1416-1	50	26	19	40
Empresa de Servicios Sanitarios del Bío Bío S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1416-2	54	28	21	40
Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1457-1	60	20	149	5
Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1457-2	60	20	149	5
Blocks and Cutstock S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1457-3	60	6	272	3
Mario Alejandro Soto Trivini	San Pedro de La Paz	ND-0803-1490	54	9	63	1
Diteco Ltda y Polikarpo S.A	San Pedro de La Paz	ND-0803-1403	58	36	6	25
Cimprof S.A	Coronel	ND-0803-2302	60	10	163	4
B Bosch S.A	Coronel	ND-0803-200	-	8,5		6
Procesos y Servicios S.A	Coronel	ND-0803-1409	-	18		5
Conservas Multiexports	Coronel	ND-0803-1227	48	9	225	13
PSEG Generación y Energía	Coronel	ND-0803-1433	40	20	38	4
Alimentos Mar Profundo S.A	Coronel	ND-0803-1455	35	8,5	44	13,5

Fuente: Elaboración Propia

Los pozos de B Bosch S.A y Procesos y Servicios S.A se encontraron muy lejos de la cuña salina, por lo que no fue posible asociarles una profundidad de interfaz en base a la información de los perfiles geofísicos.

El caso del expediente ND-0803-1403 (Diteco Ltda.) destacado con color amarillo, es crítico en cuanto a que el caudal crítico de intrusión salina es bastante menor al caudal de derecho de aprovechamiento. En la Figura siguiente se presenta su ubicación en el perfil correspondiente a la sección 4.

Figura N° 5-1: Ubicación pozo ND-0803-1403, en perfil geofísico sección 4



Fuente: Elaboración Propia

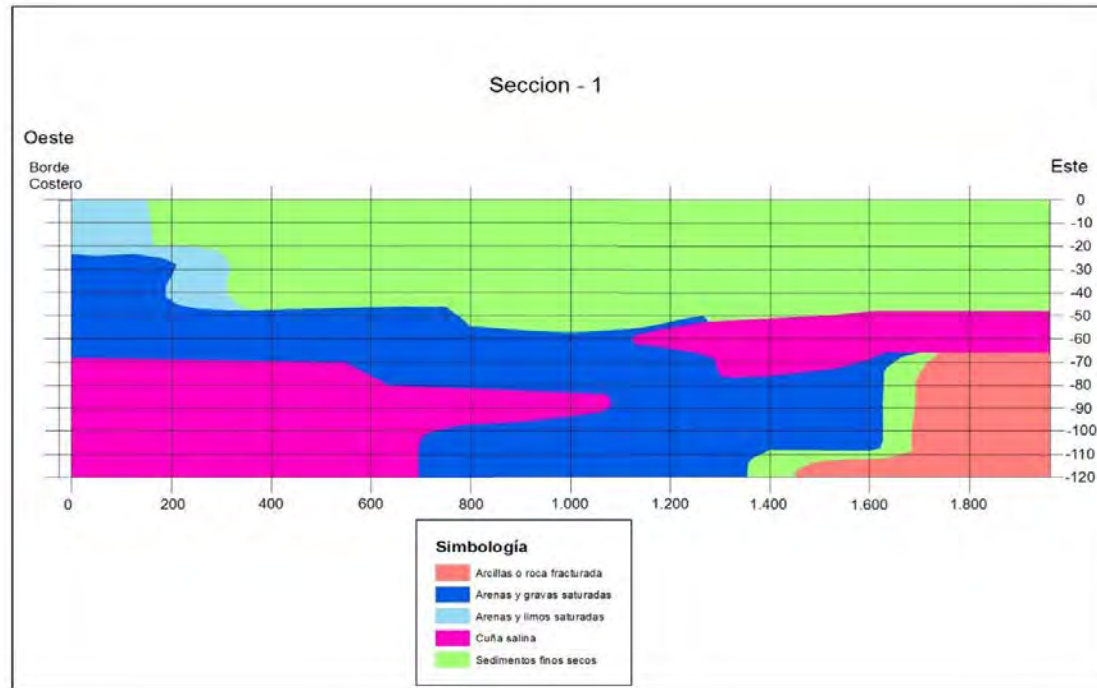
Determinación de caudales críticos de extracción en sectores con perfiles geofísicos.

Se ha realizado un análisis de caudales de explotación máximos, considerando la distancia desde la costa para una captación y para distintas profundidades de pozos. Esto se ha realizado para cada zona asociada a los perfiles geofísicos. Para los cálculos, se han realizado las siguientes consideraciones:

- Se consideraron distancias desde la costa de 100, 200, 300, 400 y 600 metros.
- Se consideraron profundidades de captación de 5, 10, 20 y 30 metros.
- Se consideró un valor de permeabilidad para cada perfil.

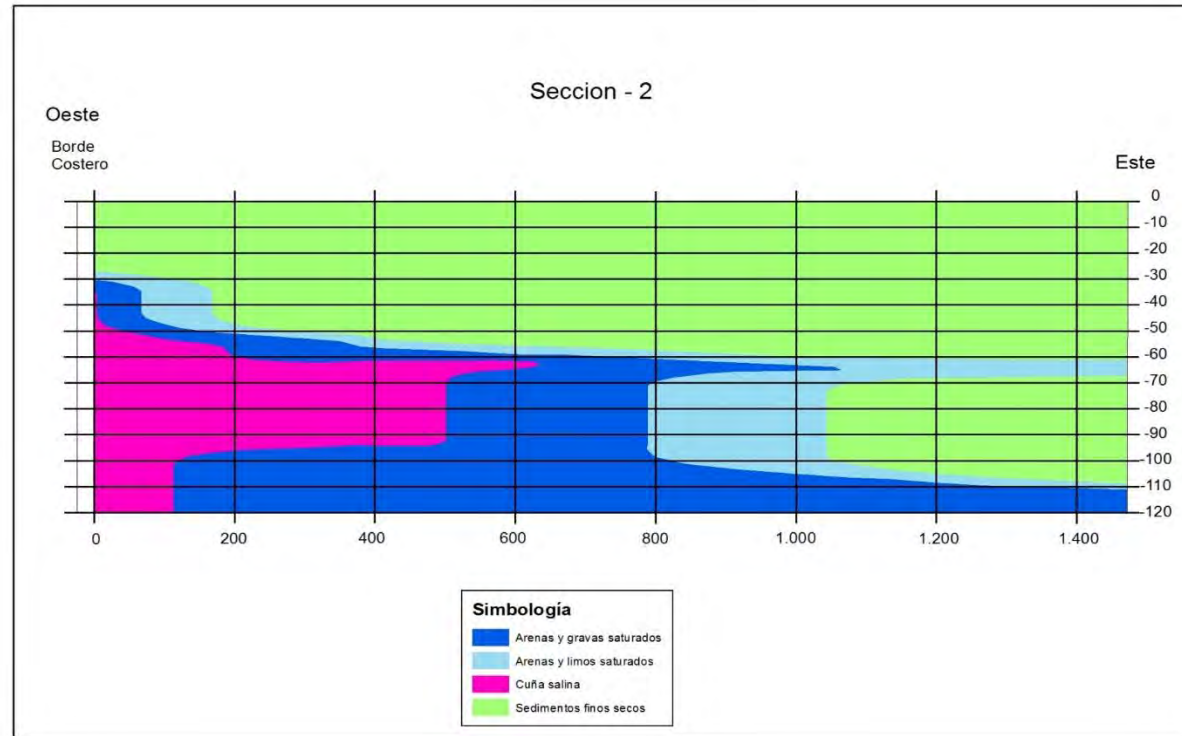
Los resultados para cada sector se indican a continuación.

Resultados Perfil N°1



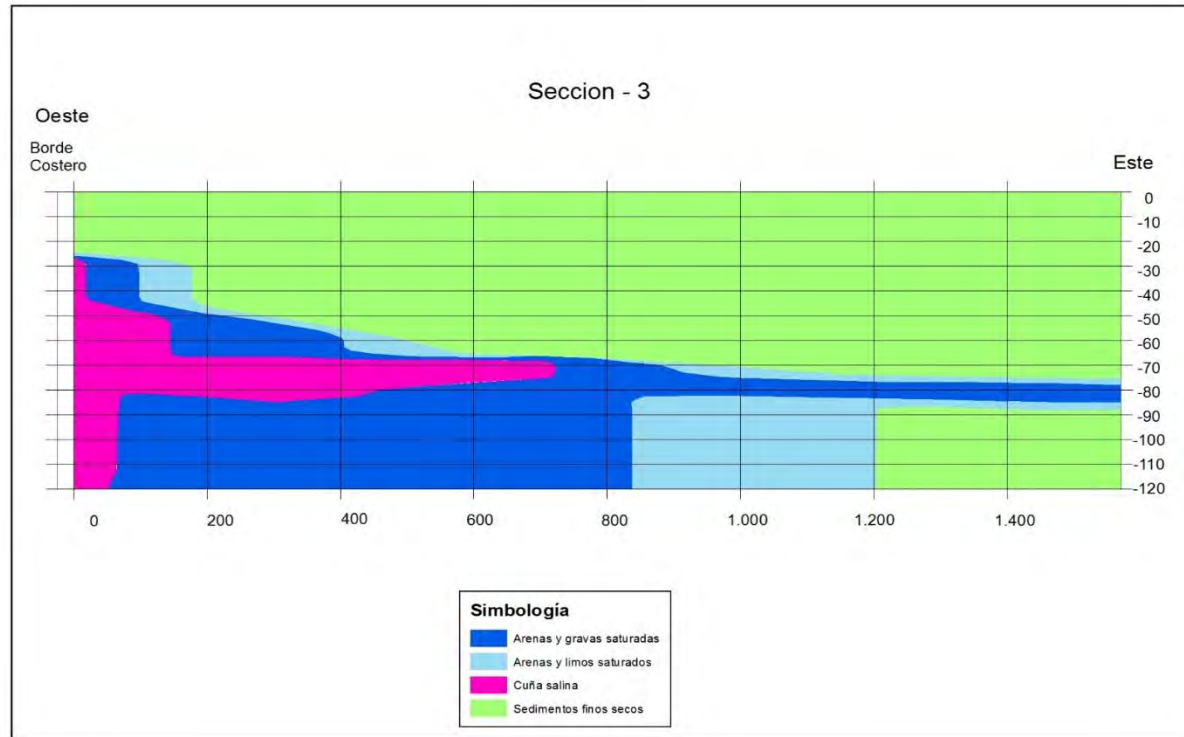
Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m)	68	68	68	68	70	70	70	70	70	70	70	70	71	71	71	71
D (m)	63	58	48	38	65	60	50	40	65	60	50	40	66	61	51	41
K (m/día)	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148	148
Qmax (l/s)	309	262	179	112	329	280	194	124	329	280	194	124	339	289	202	131

Resultados Perfil N°2



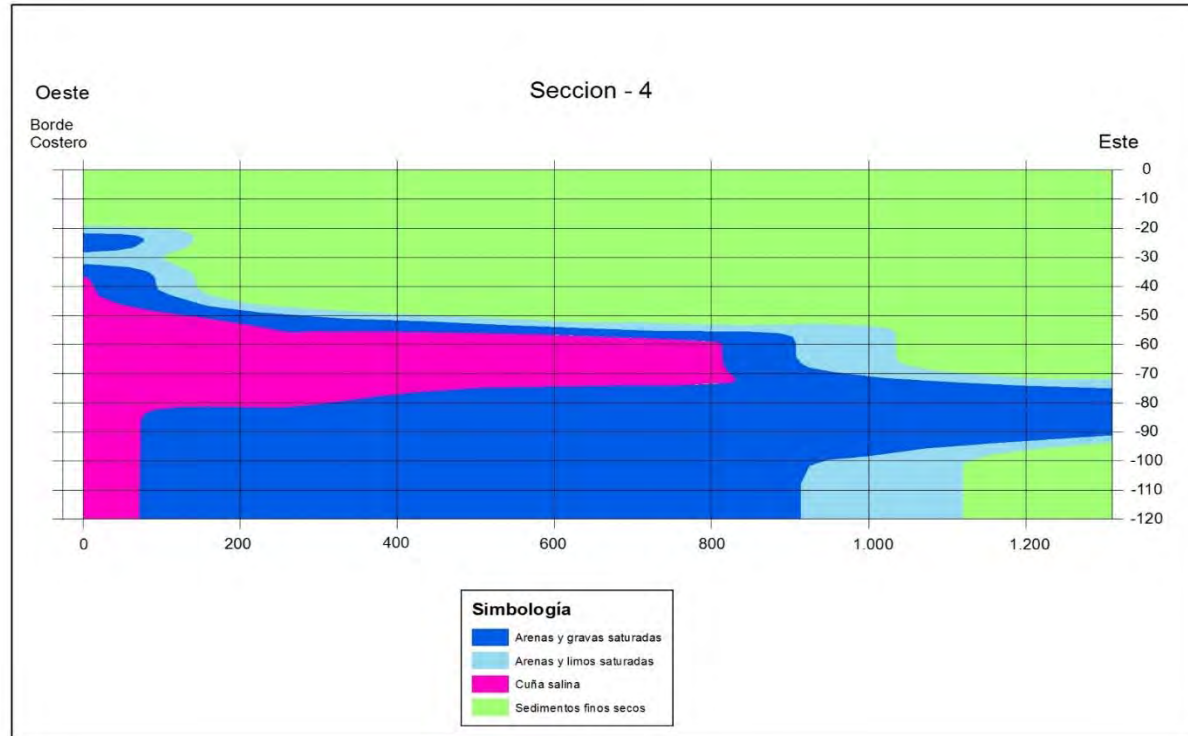
Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m)	30	30	30	30	66	66	66	66	66	66	66	66	66	60	60	60
D (m)	25	20	10	0	61	56	46	36	61	56	46	36	61	50	40	30
K (m/día)	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129
Qmax (l/s)	43	27	7	0	253	213	144	88	253	213	144	88	253	170	109	61

Resultados Perfil N°3



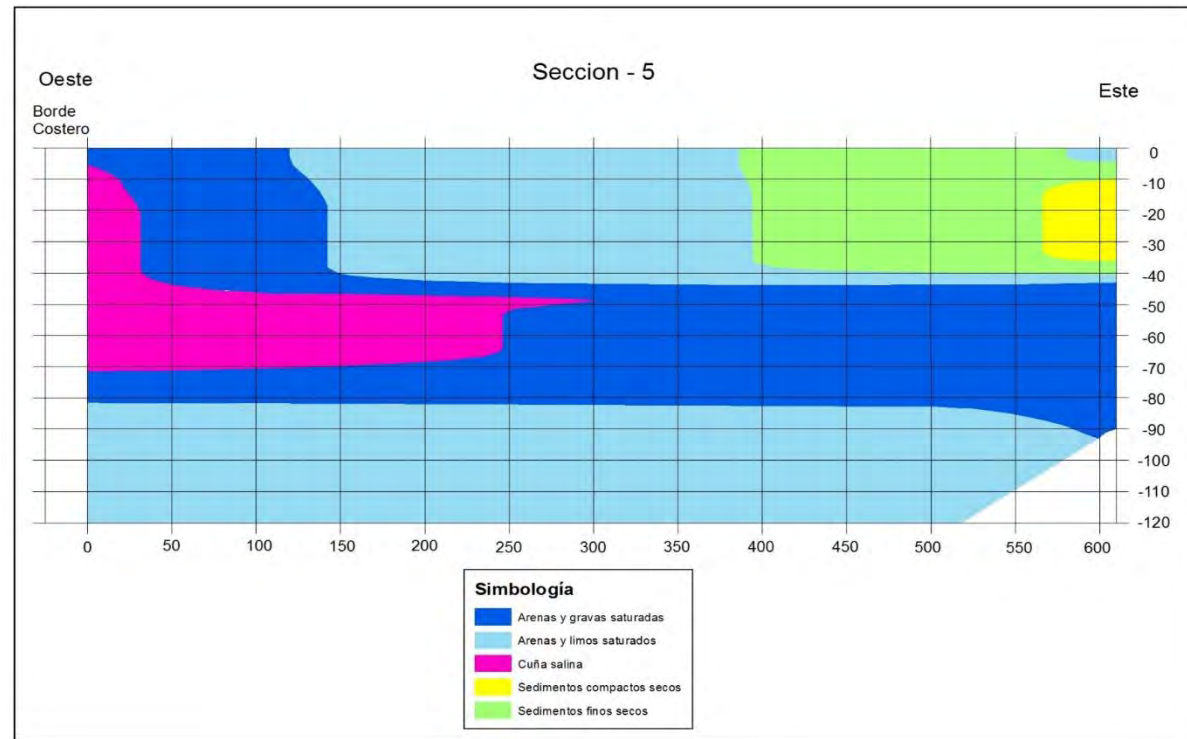
Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m)	35	35	35	35	50	50	50	50	66	66	66	66	70	70	70	70
D (m)	30	25	15	5	45	40	30	20	61	56	46	36	65	60	50	40
K (m/día)	135	135	135	135	135	135	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Qmax (l/s)	64	44	16	2	144	114	64	28	26	22	15	92	30	25	17	11
	64	44	16	2	144	114	64	28	5	3	1	92	1	6	8	4

Resultados Perfil N°4



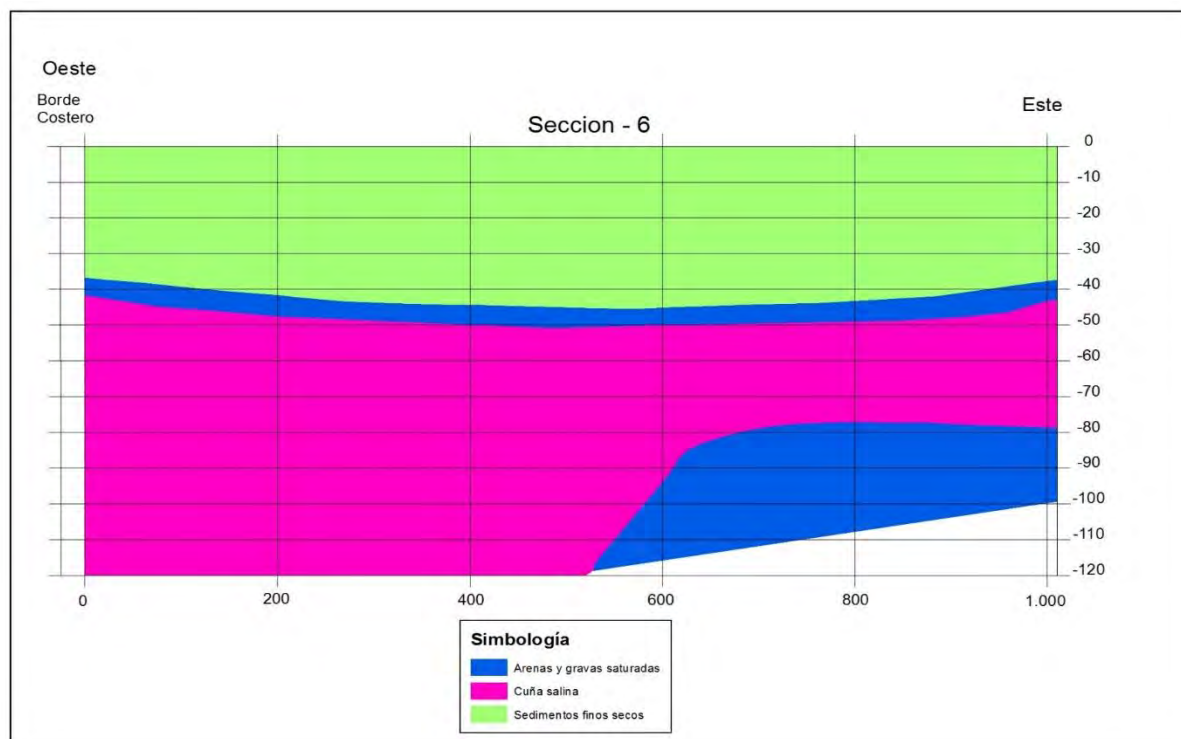
Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m)	35	35	35	35	48	48	48	48	55	55	55	55	58	58	58	58
D (m)	30	25	15	5	43	38	28	18	50	45	35	25	53	48	38	28
K (m/día)	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74
Qmax (l/s)	35	24	9	1	72	56	31	13	97	79	48	24	110	90	56	31

Resultados Perfil N°5



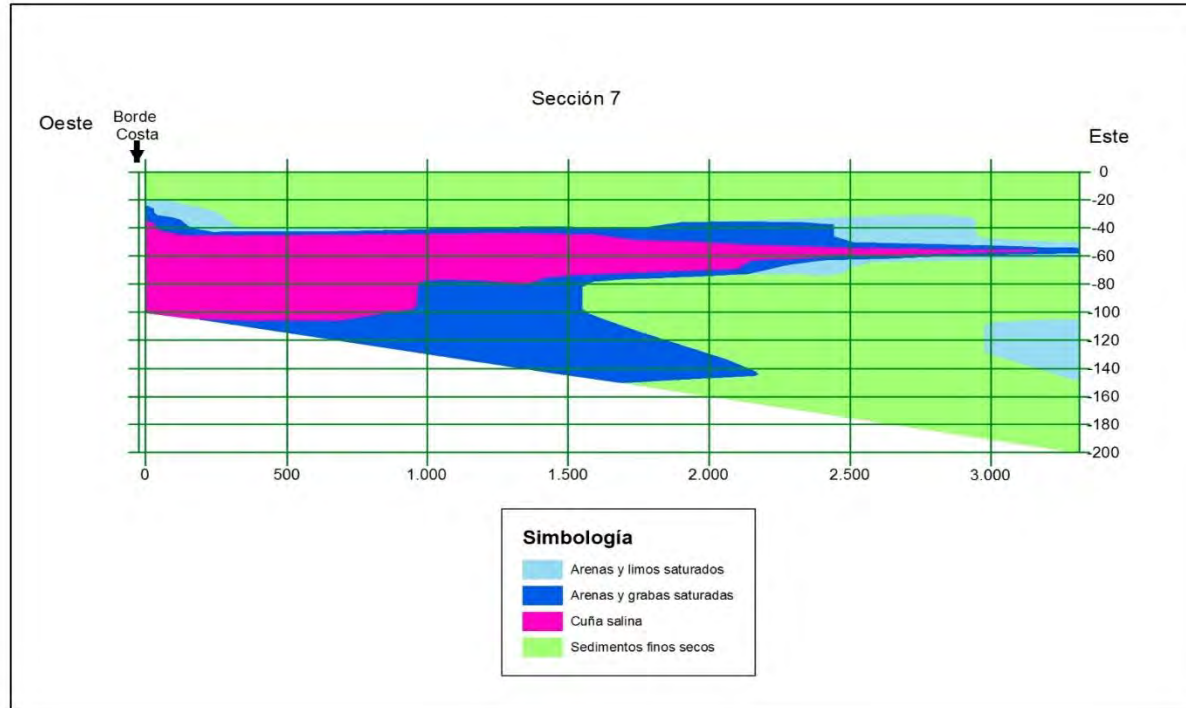
Distancia (m)	100				200			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m.)	45	45	45	45	48	48	48	48
D (m)	40	35	25	15	43	38	28	18
K (m/día)	106	106	106	106	106	106	106	106
Qmax (l/s)	89	68	35	13	103	80	44	18

Resultados Perfil N°6



Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m.)	41	41	41	41	46	46	46	46	48	48	48	48	50	50	50	50
D (m)	36	31	21	11	41	36	26	16	43	38	28	18	45	40	30	20
K (m/día)	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Qmax (l/s)	191	142	65	18	248	191	100	38	273	213	116	48	299	236	133	59

Resultados Perfil N°7



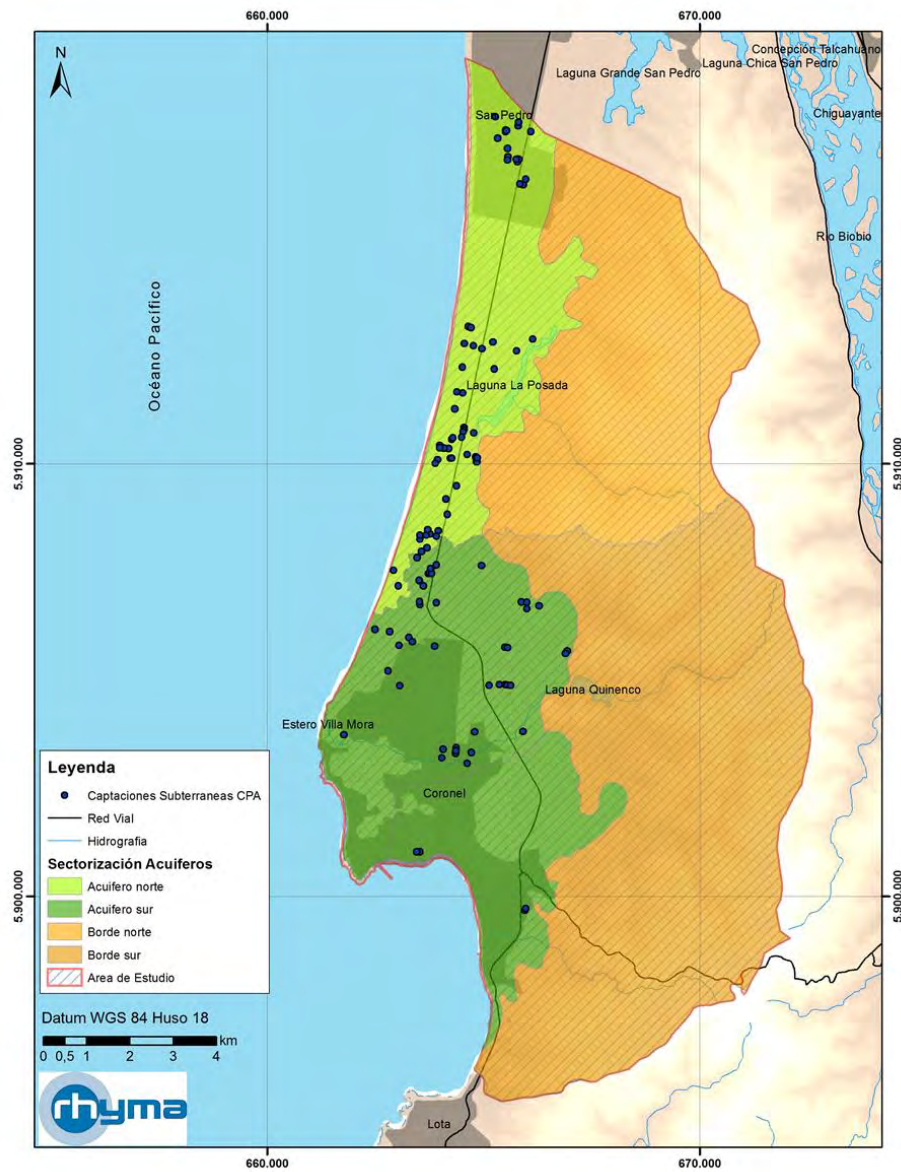
Distancia (m)	100				200				300				400			
Profundidad de la Captación (m)	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30
Profundidad de la Interfase (m.)	35	35	35	35	45	45	45	45	44	44	44	44	45	45	45	45
D (m)	30	25	15	5	40	35	25	15	39	34	24	14	40	35	25	15
K (m/día)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Qmax (l/s)	71	49	18	2	126	97	49	18	120	91	45	15	126	97	49	18

6. MODELO HIDROGEOLÓGICO.

A partir de los datos y la información generada en las etapas anteriores del proyecto, se procedió a integrar y formar el modelo hidrogeológico conceptual, el cual tiene por objetivo convertirse en la base para la implementación futura de un modelo numérico que sirva como herramienta para la gestión de los recursos hídricos de las cuencas que abarca el estudio.

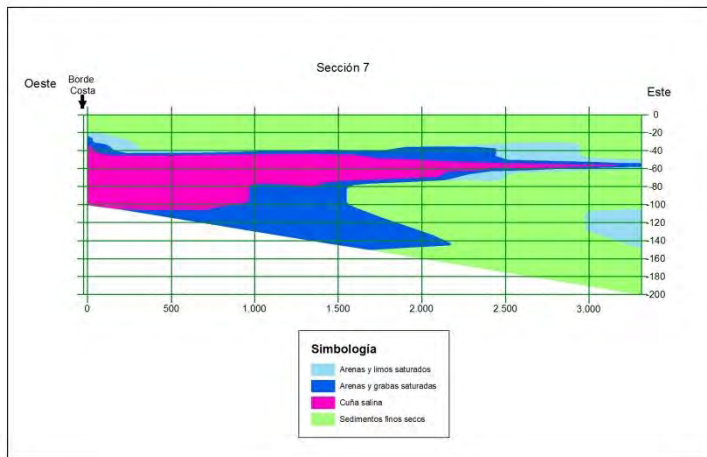
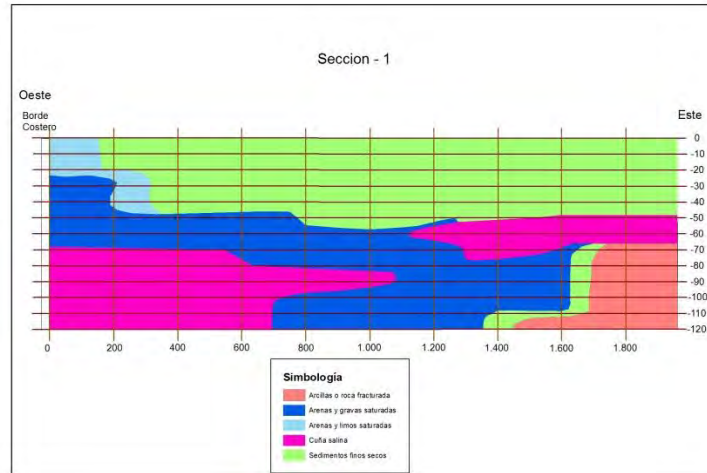
Componente	Descripción
Unidades Hidrogeológicas	<p>En base a las características de permeabilidad se han identificado las siguientes unidades hidrogeológicas, las que se exponen en la figura siguiente:</p> <p><u>Unidad Impermeable</u>: Esta unidad está formada por rocas paleozoicas antiguas y metamórficas, las que presentan valores de permeabilidad bajos a muy bajos, por lo cual no constituyen una fuente de agua subterránea significativa. Constituye la Unidad de Roca Fundamental. En sectores costeros, pueden existir carpetas de maicillo (granito meteorizado) que almacenan cantidades muy menores de aguas.</p> <p><u>Unidad Semi Permeable</u>: Esta unidad está integrada por depósitos terciarios marinos de la Formación Curanilahue y Boca Lemu y corresponden a sedimentitas de baja permeabilidad.</p> <p><u>Unidad Permeable</u>: Está integrado por Depósitos Cuaternarios y representados por depósitos litorales, de dunas existen recursos de aguas subterráneas, así como también en depósitos de arrastre fluvioaluvional, que presentan valores de permeabilidad medios. La estratigrafía tipo de estos depósitos corresponden a arenas de playa, arenas gruesas con cuarzo, arenas finas y mezclas de estas granulometrías.</p>
Geometría Acuífera	<p>Se efectuaron Campañas de Prospección Geofísica mediante Gravimetría y TEM, cuyos resultados son:</p> <p>Gravimetría: Este tipo de herramienta se utiliza para definir las condiciones</p>

	<p>de morfología y profundidad del basamento. A partir de la prospección gravimetría se han identificado dos cuencas claramente definidas, las que presentan un desnivel de aproximadamente 120 m. Las zonas acuíferas identificadas son:</p> <p><u>Acuífero Norte</u>: se emplaza en la cuenca de Villa La Posada y otras menores. Se distribuye homogéneamente a lo largo de su recorrido de norte a sur, con espesores que fluctúan entre 100 a 230 m.</p> <p><u>Acuífero Sur</u>: se emplaza en la cuenca del Estero Villa La Mora y otras menores. Se ha subdividido este acuífero en dos sectores acuíferos, uno al norte, identificado como Acuífero Villa Mora, que se distribuye homogéneamente hasta el norte de Coronel, con profundidades del basamento cercanos a los 400 m y el sector de más al sur identificado como Acuífero Manco se emplaza hacia el sur de Coronel Inmediatamente hacia el sur de Coronel, se reconocen espesores menores hasta llegar a la superficie hacia el sur de esta cuenca.</p> <p>(Ver figura siguiente con zonas acuíferas)</p>
--	--



TEM: En base a los resultados de resistividad vs profundidad, se definieron perfiles geoelectrónicos, los que se pueden asociar a índices de saturación de agua.

Se reconocieron 4 cuatro unidades principales: A.- Unidad de Arenas y Gravias; B.- Unidad de Arenas y Limos Saturados; 3.- Unidad de Sedimentos y Limos Saturados y 4.- la Unidad de Sedimentos Finos y/o Roca Fracturada. (Perfiles Hidrogeológico 1, 2).



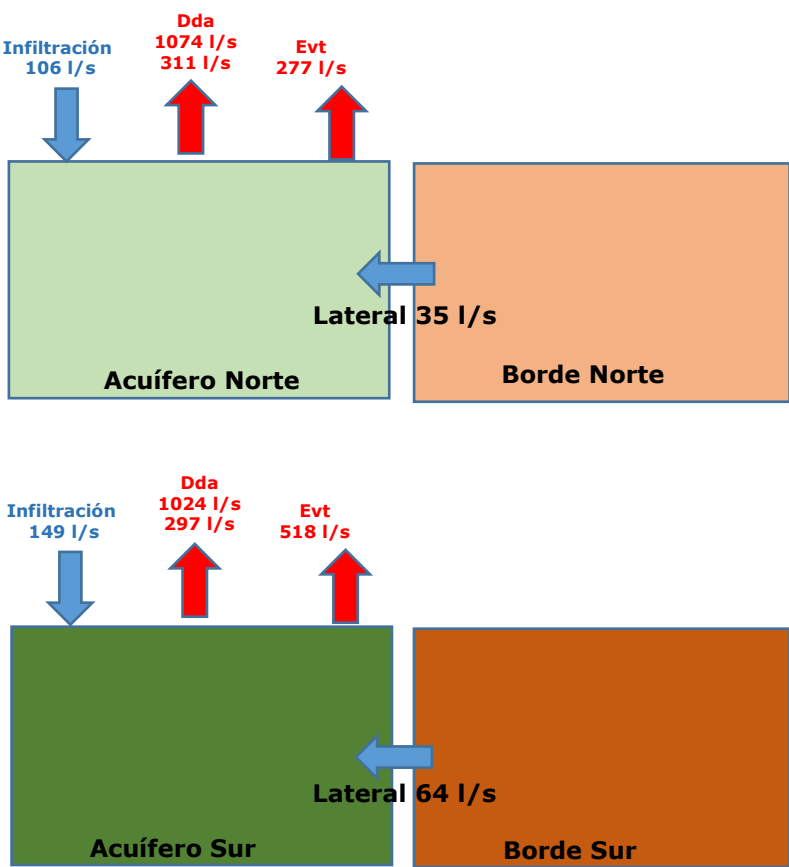
Niveles de agua subterránea

En base al Catastro elaborado para la Etapa 1, se midieron los niveles de aguas subterráneas en el área del Parque Industrial Escuadrón, los cuales son someros y fluctúan entre 1,2 m a 5,74 m.

Del análisis del Plano de Isofreáticas elaborado, se detecta un sector de niveles deprimidos en torno a Coronel, con niveles que descienden hasta los 4,0. m.

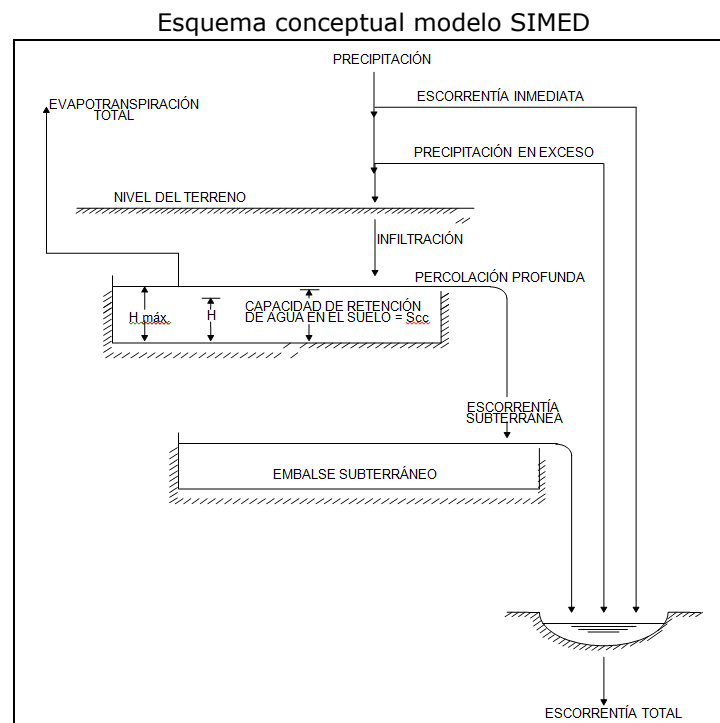
Componente	Descripción
Direcciones de flujo	Se tienen escurrimientos predominantemente NE.
Parámetros acuíferos	<p><u>Permeabilidad</u>: Se tienen valores de permeabilidad que fluctúan entre 0,002 a 0,4 cm/s y 0,002 cm/s.</p> <p><u>Coeficiente de Almacenamiento</u>. En el Expediente ND-0803-1030 de Pesquera Grimar, en base a la granulometría presente se estimó un valor de 0,26 para el coeficiente de almacenamiento.</p> <p>En el Expediente ND-0803-1416, para el APR Lomas Coloradas, se calculó el coeficiente de almacenamiento en $2,32 \times 10^{-5}$.</p> <p><u>Transmisividad</u>: Se tienen valores de 62,2 m²/día (Comercializadora Azul Profundo), de 499 m²/día (Pesquera Grimar) y de 744 m²/día para el APR Lomas Coloradas.</p> <p><u>Radios de Influencias</u>: Se tiene valores para el radio de influencia de dos solicitudes de derechos de aguas analizas, de 12,43 m a 13,32 m (Comercializadora Azul Profundo) y de 128,65 m. (Pesquera Grimar)</p>
Recarga	<p>El mecanismo principal de recarga para el acuífero del área de estudio es principalmente vía precipitaciones y de forma subordinada de aportes vía la laguna La Posada. Se han estimado valores de recarga por sector, los que se exponen a continuación:</p> <p><u>Acuífero Norte:</u></p> <p>Infiltración: 106 l/s</p> <p>Recarga Lateral por Flujo: 35 l/s</p>

	<p><u>Acuífero Sur:</u></p> <p>Infiltración: 149 l/s</p> <p>Recarga Lateral por Flujo: 64 l/s</p>
Descarga	<p>Se ha sectorizado las descargas por sector acuífero:</p> <p><u>Acuífero Norte:</u></p> <p>Demanda Registrada por Consumo, agrícola e Industrial: 1074 l/s</p> <p>Demanda No informada por Consumo, agrícola e Industrial: 311 l/s (1)</p> <p>Total Demanda: 1385 l/s</p> <p>(1) Se consideró un 29%</p> <p><u>Acuífero Sur:</u></p> <p>Demanda Registrada por Consumo, agrícola e Industrial: 1024 l/s</p> <p>Demanda No informada por Consumo, agrícola e Industrial: 297 l/s (1)</p> <p>Total Demanda: 1321 l/s</p>
Intrusión Salina	<p>Mediante la realización de 50 estaciones TEM distribuidos en 7 perfiles transversales EW y uno longitudinal de dirección NS, se identificó la presencia de la cuña salina, la cual presenta un claro avance hacia el este. Se identificaron dos estados de avance de la cuña, la más cercana al borde costero con espesores superiores a 40 m y la que se desplaza hacia el este con espesores inferiores a 40 m, según se indica en Figura adjunta (Planta de Cuña Salina).</p> <p>Hacia el sector del Perfil 7, donde se emplaza la Planta de Aguas San Pedro, se evidencia un mayor desplazamiento de la cuña salina.</p>

Componente	Descripción																
Balance de Aguas Preliminar	Un balance de aguas preliminar basado en las estimaciones de recarga y descarga se presenta a continuación.																
Las condiciones de frontera	Este	<p>Los límites Este de los acuíferos Norte y Sur corresponden a la unidad geomorfológica del nacimiento de la Cordillera de Nahuelbuta, la cual presenta un alto emplazamiento de explotación silvioagropecuaria.</p>  <p>El diagrama ilustra el balance hídrico para dos acuíferos, Norte y Sur, en la zona Este. Cada acuífero está representado por un rectángulo (verde para el Norte y verde oscuro para el Sur), y su borde correspondiente por un rectángulo adyacente (naranja claro para el Norte y naranja oscuro para el Sur). Los flujos se indican con flechas: flechas azules hacia abajo representan la infiltración; flechas rojas hacia arriba representan la descarga directa (Dda) y la evaporación (Evt); y flechas azules horizontales representan el flujo lateral desde el borde hacia el acuífero.</p> <table><tr><th>Acuífero</th><th>Infiltración (l/s)</th><th>Dda (l/s)</th><th>Evt (l/s)</th><th>Lateral (l/s)</th></tr><tr><td>Acuífero Norte</td><td>106</td><td>1074</td><td>277</td><td>35</td></tr><tr><td>Acuífero Sur</td><td>149</td><td>1024</td><td>518</td><td>64</td></tr></table>	Acuífero	Infiltración (l/s)	Dda (l/s)	Evt (l/s)	Lateral (l/s)	Acuífero Norte	106	1074	277	35	Acuífero Sur	149	1024	518	64
Acuífero	Infiltración (l/s)	Dda (l/s)	Evt (l/s)	Lateral (l/s)													
Acuífero Norte	106	1074	277	35													
Acuífero Sur	149	1024	518	64													

6.1. Modelo SIMED.

El modelo SIMED (Simulación de Escorrentía Diaria) es un modelo elaborado para la DGA, el cual utiliza datos de lluvias diarias y evapotranspiración mensual sobre la cuenca y un conjunto de parámetros que permiten calcular, en las expresiones matemáticas usadas, las diferentes variables que intervienen en los procesos hidrológicos, es decir, la infiltración de la lluvia, la lluvia efectiva, la evapotranspiración y percolación profunda del suelo, el flujo base, la escorrentía directa y la escorrentía total. Se presenta en anexo resumen con información del modelo.



7. PROYECTO SIG.

En el desarrollo de este trabajo se realizó un Sistema de Información Geográfica (SIG), que permite tener una representación cartográfica del catastro realizado. De esta forma, las coberturas que se han utilizado y desarrollado, se escogieron, primeramente, de las solicitadas en las bases del proyecto y en segundo lugar de la información que se levantó exclusivamente para este proyecto. Es así como se han utilizado las siguientes coberturas:

✓ Coberturas:

- DEM Aster (Raster).
- Imágenes Satelitales Google Earth.
- Mapa Gestión Ambiental de Coronel (ArcGis Online).
- Plan Regulador Comunal de Coronel (ArcGis Online).
- Uso de Suelos (ArcGis Online).
- Delimitación de cuencas.
- Ubicación de pozos, descargado del Catastro Público de Aguas (DGA).
- Base Mapoteca RHYMA Ltda.

✓ Coberturas realizadas para el proyecto.

- Catastro de pozos en terreno.
- Área de Estudio.
- Vértice IGM.
- Puntos de referencia.
- Zonas Urbanas.
- Zonas Rurales.
- TEM.
- Gravimetría.

Algunas de las coberturas antes mencionadas se generaron a partir de la base de información de esta consultora, mientras que otras se levantaron por medio de imágenes satelitales de google earth e imágenes raster como son las DEM Aster y en terreno mediante equipo GPS Geodésico y RTK.

Para el desarrollo de este proyecto, se dibujaron los urbanos de San Pedro de La Paz y Coronel en imagen satelital google earth, y se definieron estas como zonas urbanas, el área rural se definió como todo lo que no es urbano. Dentro de la zona rural existe una zona denominada sectores naturales, cuya característica es la vegetación silvestre, para esta capa se ocupará la cobertura de usos de suelo de CONAF.

Con la información recolectada y utilizada en este proyecto se realizarán diversos planos según se vayan requiriendo en el proyecto.

Esta información se levantó en Datum WGS 84, coordenadas UTM, huso 18, en el software ArcGis 10.1, se creara una geodatabase con la información que se usará para el proyecto.

Geodatabase.

La Geodatabase está compuesta por 3 Feature Dataset, en los cuales están las diversas coberturas que se han utilizado en el SIG, estas son:

i. Carta Base:

Nombre Cobertura	Tipo	Descripción
Ciudades.	Polígono	Muestra las ciudades más importantes del área de estudio.
Comunas	Polígono	Muestra las comunas y las identifica por región y provincia a la cual pertenece.
Cuencas.	Polígono	Muestra la cuenca DGA identificándola por nombre y código.
Curvas de Nivel.	Polilínea	Muestra las curvas de nivel.
Hidrografía.	Polilínea	Muestra la hidrografía del área de estudio. Cuenta con tipos de hidrografía y nombres de esta, además de definir las cuencas, sub cuencas y subsubcuencas a la que pertenece.
Lagos.	Polígono	Muestra los lagos del área de estudio junto a la hidrografía principal
Red Vial.	Polilínea	Muestra los caminos existentes en el área de estudio, diferencia entre tipo de carpeta, además cuenta con los roles de las rutas
Región del Biobio	Polígono	Muestra la Región del BioBio, en la cual se encuentra el área de estudio.
Sub subcuencas	Polígono	Muestra la Subsubcuenca DGA identificándola por nombre y código.

ii. Levantamiento:

Nombre Cobertura	Tipo	Descripción
Área de Estudio.	Polígono	Muestra el área de estudio definido por el proyecto.
Captaciones Subterráneas CPA	Puntos	Muestra las captaciones identificadas por el Catastro público de Aguas (CPA).
Cca_Costera_Zona_Norte	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Cca_Costeras_Zona_Sur	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Cca_entre_Lag_La_Posada_y_est_Villa_Mora	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Cca_Estero_Manco	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Cca_Laguna_La_Posada	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Cca_Villa_Mora	Polígono	Muestra las microcuencas definidas por el software y agrupadas para el estudio.
Evapotranspiracion_Real	Polilínea	Muestra las líneas de evapotranspiración a nivel regional.
GPS.	Puntos	Muestra la ubicación de los puntos de base de GPS que se utilizaron durante el levantamiento del catastro
Gravimetría L1	Puntos	Muestra los puntos georreferenciados donde se instalaron los instrumentos para realizar la gravimetría
Gravimetría L2	Puntos	Muestra los puntos georreferenciados donde se instalaron los instrumentos para realizar la gravimetría
IGM.	Puntos	Marca la ubicación del punto Geodesico del IGM denominado CACH y utilizado para la triangulación de las bases GPS que se utilizaron durante el catastro.
Influencia Urbana	Polígono	Muestra la zona de influencia de las áreas urbanas dentro de la zona de estudio.
Isofreáticas.	Polilínea	Muestra las curvas de profundidad del agua subterránea.
Isoyetas_VIII	Polilínea	Muestra las curvas de precipitación anual en la región.
Microcuencas_SIG	Polígono	Muestra las microcuencas generadas por el SIG
Pozos Catastrados.	Puntos	Muestra los pozos que se levantarán durante el catastro.
RHN_Fluvio	Puntos	Muestra la ubicación de las estaciones de la Red Hidrométrica Nacional de medición Fluviométrica que utiliza la DGA, las identifica por código, nombre y tipo.
RHN_Meteo	Puntos	Muestra la ubicación de las estaciones de la Red Hidrométrica Nacional de medición Meteorológica que utiliza la DGA, las identifica por código, nombre y tipo.
RHN_Subt	Puntos	Muestra la ubicación de las estaciones de la Red Hidrométrica Nacional de medición de aguas subterráneas que utiliza la DGA, las identifica por código, nombre y tipo.
TEM Parque Escuadrón.	Puntos	Muestra los puntos georreferenciados donde se instalaron los instrumentos para realizar la medición de la Transiente Electromagnética (TEM).
Unifilar_Cca_1	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 1
Unifilar_Cca_2	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 2
Unifilar_Cca_3	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 3
Unifilar_Cca_4	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 4
Unifilar_Cca_5	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 5
Unifilar_Cca_6	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de análisis 6

Nombre Cobertura	Tipo	Descripción
Unifilar_Cca_7	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de analisis 7
Unifilar_Cca_8	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de analisis 8
Unifilar_Cca_9	Polilínea	Unifilar correspondiente a la cuenca de analisis 9
Uso de Suelos	Polígonos	Muestra el uso de suelos presentes en el área de estudio.

iii. Máscara:

Mascara	Polígono	Es una máscara para ocultar o rellenar los bordes del país y darle efectos de mar
---------	----------	---

Con estos features se han desarrollado los planos que se muestran en este informe, esta base aún está en desarrollo, se puede ver en los anexos la geodatabase junto a un modelo digital de elevación (GDEM ASTER) y un modelo sombreado, que permite una mejor apreciación del relieve del sector.

Imágenes Raster ASTER GDEM y SRTM.

El ASTER (Advance Space Borne Thermal Emisión and Reflection Radiometer) es un sensor de imágenes construido por el METI de Japón (Ministry of Economy, Trade and Industry), e instalado en el satélite Terra de la NASA. El ASTER GDEM tiene cobertura global, entre los 83º Latitud Norte y los 83º Latitud Sur. Con una resolución nominal de 30 m en planimetría. Es el sucesor de SRTM, y su diferencia fundamental es que el MDE (Modelo Digital de Elevación) se genera a partir de la estereoscopía de las bandas 3N (Nadir) y 3B (Back).

Este DEM Aster, está en formato Raster y su resolución es de 30 mt., por pixel. Se distribuye en cuadrángulos de 1º X 1º (111,11 Km x 111,11 Km aprox), en formato GeoTiff o Tiff Georreferenciado, en coordenadas geográficas Lat/Long, con Datum WGS 84.

Además, se removieron automáticamente los pixeles con nubes y las imágenes se promediaron antes de correlacionar, de forma de tener un valor promedio libre de ciertos problemas. Los errores en la vertical (errores medios cuadráticos que van de 10 a 25 metros) fueron evaluados con gran cuidado sobre USA y Japón, y para el resto del mundo se realizó un muestreo.

El objetivo del SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtener un modelo digital cuasi global de elevaciones con una uniforme calidad y alta resolución. Fue realizado en cooperación entre la National Aeronautics and Space Administration (NASA), el German Aerospace Center (DLR), la Agencia Espacial Italiana (ASI) y el National Geospatial Intelligence Agency (NGA).

Los datos de interferometría por radar de apertura sintética (InSar por su acrónimo en inglés) fueron obtenidos en once días (11 al 22 de febrero de 2000) por dos sistemas de radar

montados en el transbordador espacial Endeavor. Cada sistema de radar consistió de dos antenas separadas a unos 60 m. El Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA, operó un sistema en banda C en modo ScanSAR cubriendo un ancho de faja de 225 Km, logrando un MDE en un rango de latitudes desde 56° S a 60° N.

Las bandas C y X fueron procesadas independientemente. La primera banda fue distribuida públicamente, con resolución espacial de 1" de arco (~30 m) para Estados Unidos y reducida a 3" (~90 m) para el resto del mundo, actualmente se han abierto las resoluciones de 30 m para todo el mundo.

Análisis mediante SIG.

En esta etapa se desarrollaron análisis de las cuencas existentes en el área de estudio, se calcularon las propiedades morfométricas de las cuencas del área de estudio.

En primera instancia se identificaron las microcuencas existentes en el área de estudio, para esto se trabajó con modelos digitales de elevación (DEM) y las coberturas del área de estudio, con esto se calcularán los siguientes procesos:

- 1) Área.
- 2) Perímetro.
- 3) Cotas.
 - a) Máxima.
 - b) Mínima.
- 4) Centroide.
 - a) X Centroide.
 - b) Y Centroide.
 - c) Z Centroide.
- 5) Curvas Hipsométricas.
- 6) Frecuencia de Altitudes.
- 7) Altitud.
 - a) Altitud media.

b) Altitud más frecuente.

c) Altitud de frecuencia media.

8) Pendiente promedio.

Este proceso se puede ver en la Geodatabase que se desarrolló para estos cálculos.

Además con la base de captaciones de aguas subterráneas se calcularon las cotas de niveles estáticos, y con esta se desarrollaron las curvas isofreáticas, las cuales interpola, mediante el modelo de kriging, las líneas de cotas con la información existente.

8. CONCLUSIONES.

Este punto corresponde a las conclusiones obtenidas, tanto de resultados obtenidos, como de lecciones aprendidas en los trabajos ejecutados. Las conclusiones se irán colocando en orden a los puntos tratados en el cuerpo del informe.

RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES Y TRABAJOS DE TERRENO

✓ **Recopilación y análisis de antecedentes**

La Dirección General de Aguas, es quién concentra la mayor cantidad de estudios relevantes para el trabajo, y se pueden agrupar, principalmente, en los temas de **hidrología e hidrogeología**.

Con respecto a la información hidrometeorológica y de aguas subterráneas que genera la operación de la Red Hidrométrica Nacional (RHN), podemos ver claramente la falta de control, principalmente en lo que se refiere a meteorología, variable clave, para la estimación de escorrentía y recarga. La información levantada de la RHN, será procesada y trabajada en la Etapa 2 del estudio.

Dadas las características costeras, de la zona de estudio, la información cartográfica levantada ha sido de suma importancia, ya que esta información permitirá en la Etapa 2, generar los análisis morfológicos de las cuencas.

Se ha podido encontrar información relacionada a Geofísica, la que ha sido relevante para la logística en los trabajos de geofísica asociados a la Etapa 2.

Una fuente de información importante ha sido por Planes Comunales de las comunas de interés, San Pedro de la Paz y Coronel, dado que en ellos podemos encontrar información más local de algunos temas de interés, como es la geología y análisis de riesgos naturales. En este sentido, la información en línea SIG de ambas comunas sirvió para enriquecer y planificar los trabajos de terreno.

A la fecha se solicitó a SISS los planes de desarrollo de las empresas sanitarias que operan en la zona de estudio. Esta información será incluida al momento de llegar.

✓ **Catastro de captaciones subterráneas**

Los trabajos de terreno asociados a la elaboración del catastro se dividieron en dos etapas:

1. Levantamiento de puntos de referencia.
2. Levantamiento de las captaciones de aguas subterráneas y llenado de ficha.

Inicialmente estos trabajos darían comienzo la segunda semana de octubre. Esto no ocurre así, debido a que la ejecución de las PACs se pospone una semana por acuerdo entre la Inspección Fiscal y la consultora, y era de vital importancia, que la PAC se realizara antes del catastro.

Dentro de la planificación inicial se estimó trabajar una semana completa, sin embargo, esto no pudo ser así debido a la composición de los usuarios del agua, que en su gran mayoría correspondían a industrias, lo que aumentaba el tiempo de ejecución de los trabajos, debido a los procesos de seguridad de cada empresa (charlas de seguridad) y a la imposibilidad de ingresar los fines de semana.

Se observó, que en la práctica, existe una problemática seria, relacionada entre las empresas sanitarias y algunos usuarios (personas naturales) del sector urbano, por la existencia de punteras sin autorización. Esta problemática externa, generó tal desconfianza que los propietarios no permitieron el acceso, existiendo, no pocos casos con personas hostiles.

En la zona urbana, los trabajos de levantamiento de terreno, estuvieron acompañados por don Orlando Tapia, presidente de la Junta de Vecinos, contacto realizado en la PAC. El antes referido indicó que la mayoría de las propiedades cuentan con extracción de aguas subterráneas, lo que no pudo ser constatado, dado que no se permitió la entrada a medir ni georreferenciar las captaciones.

Un tema importante fue la inconsistencia o no correspondencia de las coordenadas existentes en el Catastro de Aguas, ya que, por ejemplo, fue imposible ubicar un derecho ubicado en una zona urbana de Coronel, también según las coordenadas que estaban en el catastro público de aguas existía una captación de aguas subterráneas a 200 mt del punto GPS 2, ubicado en el nudo del by pass de Coronel, cuyo titular estaba al nombre de Infortal Ltda. Se recorrió el sector en reiteradas ocasiones y no se pudo encontrar ninguna captación ni construcción en el sector.

✓ **Participación ciudadana**

La difusión de esta actividad se realizó mediante a través de prensa y de radiodifusión.

La difusión en prensa, se realizó en el diario El Sur, el día domingo 11 de octubre. La radiodifusión, se realizó en dos medios, radio Dinámica de Coronel y radio Energía FM de San Pedro de la Paz. En este proceso, se contó con el apoyo, fundamental, del delegado de aguas, señor Ariel Durán, quien permitió facilitar las labores de coordinación con los recintos para el desarrollo de las PACs.

Se observó una baja asistencia de usuarios de aguas en ambas actividades, la que se podría explicar según las características de la comunidad involucrada en la zona de estudio. Esto pues hay un alto componente urbano, donde existe una amplia cobertura operacional de las empresas sanitarias, lo que hace que gran parte de la comunidad no sufra problemas de abastecimiento de

agua, a diferencia de lo que ocurre en sectores donde hay una mayor componente rural. Además, hay una gran cantidad de industrias en el sector, siendo difícil para estas compatibilizar sus actividades con la asistencia a estos talleres.

Igualmente, y considerando la baja asistencia, fue posible generar contactos que facilitaron en cierta medida la ejecución de los trabajos de terreno.

Del municipio de Coronel, no asistieron representantes.

El mayor porcentaje de captaciones levantadas corresponde a punteras y pozos, con un 56% y 39% respectivamente.

El uso principal está dado industrial, agua potable y riego, con un 28%, 26% y 19% respectivamente.

Del total de captaciones levantadas el 82% se encontró en uso.

✓ **Sistematización de derechos de aguas subterráneas en CBR**

Se visitaron los Conservadores de Bienes Raíces de las comunas de San Pedro de la Paz y de Coronel. Se levantó la totalidad de la información existente, generando una base de datos, con la cual se construyeron los **arboles de los titulares de aguas subterráneas**.

Al levantar la información completa de los CBR antes señalados, se observó una gran cantidad de derechos anteriores al año 2005.

Según, el catastro, en la zona de estudio se identificaron 122, del levantamiento en los CBR tenemos un total de 123, derechos (originales)

ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

✓ Caracterización hidrológica

Se revisaron los antecedentes del estudio original, del cual se puede observar el comportamiento, hacia el año 1996. En ese tiempo, la RHN, no poseía puntos de control como en la actualidad, y se utilizó información de la DMC (Dirección Meteorológica de Chile).

Se utilizaron Modelos Digitales de Elevación para definir las cuencas y obtener sus propiedades. En particular se observa una dificultad para utilizar esta información, dada la baja pendiente de la zona costera y la alta intervención humana en dicho sector.

Se identificaron 6 zonas de interés.

- Cuencas costeras zona norte.
- Cuenca Laguna La Posada.
- Cuencas costeras entre Laguna La Posada y estero Villa Mora.
- Cuenca estero Villa Mora.
- Cuenca estero Manco.
- Cuencas costeras zona sur.

Para estimar los caudales medios anuales, se calculó la precipitación anual en cada una de las cuencas. Esto se realizó con:

- Balance Hídrico Nacional.
- Hipsometría y perfil de precipitaciones.
- Polígonos de Thiessen.
- Kriging.

La precipitación anual, promedio de las metodologías utilizadas, para las cuencas son:

- Cuencas costeras zona norte. 1001 mm/año.
- Cuenca Laguna La Posada. 1062 mm/año.
- Cuencas costeras entre Laguna La Posada y estero Villa Mora. 1011 mm/año.

- Cuenca estero Villa Mora. 1020 mm/año.
- Cuenca estero Manco. 1047 mm/año.
- Cuencas costeras zona sur. 1040 mm/año.

Para el análisis de la distribución mensual, se escogió la estación “estero Andalien en camino a Penco”. Se realizó el análisis de frecuencia para esta estación, con lo que se obtiene las curvas de variación estacional. Esta estación presenta un régimen pluvial, con caudales máximos entre junio y julio.

Se calcularon los caudales de crecidas utilizando el “Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas Sin Información”.

✓ **Geofísica**

Con esta técnica se ha podido visualizar claramente el basamento del área de estudio, interpretando que la profundidad de este es de aproximadamente 200 metros, aumentando en dirección sur del área de estudio, llegando a los 400 metros aproximadamente.

También se visualizaron geometrías preliminares del acuífero.

✓ **Caracterización hidrogeológica**

Geomorfológicamente, se observan dos grandes unidades, planicie litoral y montaña. Siendo la primera, con una alta densidad poblacional.

Se estimaron las líneas isofreáticas, resultando estas someras, siendo las mayores profundidades menores a 20 metros.

Se estimaron parámetros de los acuíferos, en forma preliminar, utilizando información de gabinete.

Con los trabajos de geofísica, se constata la existencia de una cuña salina, producto de la explotación de captaciones de aguas subterráneas en la zona costera.

Del análisis del Perfil longitudinal, se verifica que de norte a sur, en una franja distante a aproximadamente 25 m del borde costero, la cuña salina está presente y se distribuye homogéneamente.

MODELO HIDROGEOLÓGICO

Al analizar los resultados de todos los trabajos, tanto catastro de captaciones, campañas geofísicas (gravimetría y TEM), análisis de los estudios levantados, correlaciones estratigráficas, etc. En la zona de estudio se reconocieron 2 acuíferos (acuífero norte y acuífero sur), los que se distribuyen espacialmente según se indica en la figura siguiente.

La geometría del acuífero se definió con la siguiente información:

- Gravimetría y TEM.
- Definición de cuencas superficiales.
- Catastro de captaciones (CPA y catastro de terreno).
- Geología.
- Geomorfología.

En el **acuífero norte** tenemos:

- Precipitación media anual de 994 mm/año
- Caudal medio anual de 859 l/s (que corresponde al caudal generado por las cuencas hidrográficas que componen las zonas "acuífero norte" más "borde norte".)
- Infiltración entre 99 y 149 mm/año.
- Evapotranspiración + evaporación entre 289 y 255 mm/año.
- Entrada correspondiente a infiltración en "borde norte" de 30 mm/año.

En el **acuífero sur** tenemos:

- Precipitación media anual de 879 mm/año
- Caudal medio anual de 1696 l/s (que corresponde al caudal generado por las cuencas hidrográficas que componen las zonas "acuífero sur" más "borde sur".)
- Infiltración entre 65 y 99 mm/año.
- Evapotranspiración + evaporación entre 402 y 358 mm/año.
- Entrada correspondiente a infiltración en "borde norte" de 26 mm/año.

Los **caudales de consumo** para cada sistema se estimaron como los caudales registrados (derechos de aprovechamiento) más consumo no registrado (estimado en base a la proporción obtenida del catastro (29%)) son:

- Cuenca norte 1385 l/s.
- Cuenca sur 1321 l/s.

Se identificó mediante la campaña geofísica TEM la distribución espacial de la cuña salina. Se observa además, donde existe una mayor densidad de extracciones, un avance de esta.

Se identificaron 2 espesores de la cuña:

- Mayor que 40 metros.
- Menor o igual a 40 metros.

Se analizó el **modelo SIMED**, y se observó que para poder generar un modelo para la cuenca se hace necesario calibrar con caudales. Al no existir medición de caudales en la zona de estudio, estamos analizando una cuenca que sea representativa con el fin de calibrar el modelo en dicha cuenca y aplicarlo a la zona de estudio. Sin perjuicio

Sectorización acuífera de la zona de estudio

