



Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Químicas  
Departamento de la Tierra



# **Conflictos ambientales relacionados a la hidrogeología de humedales San Pedro-Coronel y carreteras Puente industrial y Pie de Monte**

**Memoria para optar al título de Geóloga**

**Belén Carmen Cartes Vega**

**Profesor Patrocinante:**

Dr Ricardo Figueroa Jara

**Profesores comisión:**

Msc. Liubow N. González Martínez

Msc. Abraham Elias González Martínez

**Concepción, 2021**

## ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Caso de estudio.....	3
1.2 Ubicación y acceso .....	5
1.3 Objetivos generales .....	7
1.3.1 Objetivos específicos .....	7
1.4 Agradecimientos.....	7
2 METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	8
2.1 Delimitación de las cuencas .....	9
2.2 Definición de acuíferos .....	9
2.3 Método Balance hídrico .....	10
2.3.1 Fórmula de Thornyhaite.....	11
2.3.2 Método empírico de Thornyhaite y Matter .....	12
2.3.3 Método de Número de Curvas .....	13
2.4 Modelo 3D del Subsuelo .....	15
2.5 Modelamiento de Aguas Subterráneas .....	15
3 MARCO METEOROLÓGICO .....	17
3.1 Uso de las aguas superficiales .....	19
4 MARCO GEOMORFOLÓGICO .....	22
4.1 Geomorfología regional.....	23
5 MARCO GEOLOGÍA.....	30
5.1 Rocas Metamórficas .....	30
5.1.1 Serie Oriental .....	31
5.1.2 Serie Occidental .....	33
5.1.3 Unidad Patagual-El Venado.....	34
5.2 Rocas Estratificadas.....	36
5.2.1 Formación Pilpilco.....	37
5.2.2 Formación Curanilahue.....	38
5.2.3 Estratos Molino El Sol (Plioceno-Pleistoceno) .....	40
5.3 Depósitos Cuaternarios.....	42
5.3.1 Definición, distribución y relaciones estratigráficas.....	42
5.3.2 Edad y ambiente de depositación .....	45
6 MARCO GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	46
7 RESULTADOS .....	48
7.1 Red hídrica.....	48
7.2 Lagunas y humedales .....	51
7.3 Delimitación de las subcuencas hidrográficas.....	53
7.4 Series de Suelo .....	55
7.4.1 Grupo Hidrológico por Serie de Suelo .....	60
7.4.2 Uso de Suelo .....	62
7.5 Balance Hídrico.....	65
7.5.1 Evapotranspiración.....	65
7.5.2 Escorrentía Superficial.....	69
7.5.3 Recarga.....	72
7.6 Unidades Hidrogeológicas.....	76

7.6.1	Unidad Basamento Metamórfico .....	77
7.6.2	Unidad Sedimentarias .....	77
7.6.3	Unidad Depósitos Pleistoceno-Eoceno .....	79
7.7	Definición de Acuíferos .....	81
7.7.1	Características hidráulicas del acuífero .....	83
7.8	Cuña Salina .....	85
7.9	Modelo Visual Modflow .....	88
7.9.1	Construcción de modelo conceptual .....	88
7.9.2	Construcción de la geometría.....	88
7.9.3	Condiciones de Borde .....	88
7.9.4	Pozos .....	94
7.9.5	Isolíneas .....	95
7.9.6	Dirección y velocidades del flujo subterráneo .....	96
7.9.7	Limitaciones de la modelación .....	96
7.10	Modelo Visual Modflow San Pedro de la Paz .....	97
7.10.1	Construcción geométrica.....	97
7.10.2	Condiciones de Borde .....	98
7.10.3	Lagunas .....	98
7.10.4	Constand Head.....	99
7.10.5	Conductividades.....	100
7.10.6	Pozos .....	100
7.10.7	Isolíneas .....	101
7.10.8	Dirección y velocidades del flujo subterráneo .....	102
7.10.9	Balance de masa .....	103
8	DISCUSIÓN .....	107
8.1	Efectos en el balance hídrico .....	107
8.2.1	Efectos en la subcuenca los Batros .....	110
8.2.2	Efectos en la subcuenca Junquillar- La Posada .....	108
8.2	Efectos en Modelo Modflow .....	109
8.2.1	Mejoramiento de suelo y excavación .....	110
8.2.2	Terraplenes .....	110
8.2.3	Conductividad .....	111
8.2.4	Velocidad y dirección de las aguas subterráneas .....	111
8.2.5	Nivel Freático.....	113
8.3	Alternativas y sugerencias a las carreteras Pie de Monte y Puente Industrial.....	116
9	CONCLUSIONES.....	117
10	REFERENCIAS .....	119
11	PAGINAS WEB .....	125

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Datos de población, caudal superficial y precipitaciones promedio durante el período del 2011- 2015 en las distintas macrozonas del país.....	2
Tabla 2	Uso del agua extraída en las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz .....	4
Tabla 3	Número de curva de escorrentía.....	14
Tabla 4	Estaciones pluviométricas próximas al área de estudio .....	17
Tabla 5	Resumen precipitaciones mensuales, promedio entre 1980 a 2017 (Anexo 2) ...	19
Tabla 6	Resumen de los parámetros morfológicos e hidrológicos de las lagunas del área de estudio, durante invierno.....	52
Tabla 7	Área de series de suelo dentro de la zona de estudio.....	58
Tabla 8	Características hidráulicas de series de suelo.....	59
Tabla 9	Área de los usos de suelo dentro de las series de suelo.....	62
Tabla 10	Evapotranspiración real promedio por subcuenca y detalle por serie de suelo dentro de la subcuenca.....	65
Tabla 11	ETR (mm/a) promedio por serie de suelo.....	68
Tabla 12	Escorrentía (mm/a) promedio por subcuenca y series de suelo pertenecientes a la subcuencas.....	69
Tabla 13	Escorrentía promedio en mm/a, por serie de suelo.....	71
Tabla 14	Recarga promedio (mm/a) por subcuenca y serie de suelo presente en la subcuenca.....	73
Tabla 15	Recarga (mm/a) por serie de suelo.....	75
Tabla 16	Parámetros determinados en cada grupo de ensayo de bombeo .....	84
Tabla 17	Nomenclatura de los conceptos integrados para el balance de masa .....	104
Tabla 18	Sectores en que se divide el proyecto Puente Industrial.....	105
Tabla 19	Valores de ETR, escorrentía y recarga de la subcuenca Los Batros, antes y después del cambio de uso de suelo por las carreteras .....	107
Tabla 20	Valores de ETR, escorrentía y recarga de la subcuenca Junquillar- La Posada antes y después del cambio de uso de suelo por las carreteras.....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación área de estudio.....	6
Figura 2	Polígonos de Thiessen.....	18
Figura 3	Mapa regional esquemático de zonas geomorfológicas.....	23
Figura 4	Mapa geomorfológico del área de estudio .....	26
Figura 5	Mapa de distribución de terrazas marinas.....	29
Figura 6	Mapa rocas metamórficas .....	31
Figura 7	Mapa rocas estratificada.....	36
Figura 8	Mapa de depósitos cuaternarios. ....	43
Figura 9	Mapa geología estructural .....	47
Figura 10	Mapa de pendientes en porcentaje y curvas de nivel del área de estudio.....	48
Figura 11	Mapa Red hídrica con principales.....	50
Figura 12	Mapa subcuencas .....	54
Figura 13	Mapa de serie de suelos.....	57
Figura 14	Conductividades (cm/h) de series de suelo.....	59

Figura 15	Triángulo de texturas.....	60
Figura 16	Mapa de los grupos hidrológico correspondientes a grupos hidrológicos .....	61
Figura 17	Mapa de usos de suelo en el área de estudio .....	62
Figura 18	Evapotranspiración real por subcuenca (mm/a) .....	67
Figura 19	Evapotranspiración real por serie de suelo (mm/a) .....	68
Figura 20	Escorrentía por subcuenca (mm/a) .....	70
Figura 21	Escorrentía por serie de suelo (mm/a) .....	72
Figura 22	Recarga por subcuenca (mm/a).....	74
Figura 23	Recarga por serie de suelo (mm/a) .....	76
Figura 24	Mapa con Acuíferos y sondajes representativos.....	82
Figura 25	Catastros de pruebas de bombeo en el área .....	83
Figura 26	Esquema simplificado de intrusión salina y captaciones próximas a la costa.....	85
Figura 27	Vista en planta de cuña salina y estaciones geofísicas .....	87
Figura 28	Distribución de información para la geometría del modelo.....	89
Figura 29	Modelo tridimensional de toda el área de estudio en interfase de 3D- Explore de Visual Modflow.....	90
Figura 30	Niveles estáticos utilizados en el modelo I de Visual Modflow .....	91
Figura 31	Perfil AB de conductividad hidráulica .....	93
Figura 32	Mapa de pozos para todo el área de estudio .....	94
Figura 33	Mapa piezométrico de toda el área de estudio. Isopiezas cada 1m .....	95
Figura 34	Mapa dirección de aguas subterráneas (flechas), y geología de la zona .....	96
Figura 35	Zona utilizada para el modelo II, exclusivamente San Pedro de la Paz.....	88
Figura 36	Constad head, lagunas y carreteras Pie de Monte y Puente industrial.....	100
Figura 37	Mapa de los pozos en el área de San Pedro de la Paz.....	101
Figura 38	Mapa de isolíneas en San Pedro de la Paz, cada 0,5 m para el modelo II .....	105
Figura 39	Mapa de dirección de aguas subterráneas del modelo II.....	103
Figura 40	Sectores del proyecto Puente industrial .....	106
Figura 41	Puntos críticos asociados a desbordes del estero y anegamientos.....	108
Figura 42	Esquema de un terraplén utilizado en carreteras.....	111
Figura 43	Mapas con isolíneas del modelo III para los casos .....	112
Figura 44	Nivel freático en invierno para el Modelo III.....	113
Figura 45	Nivel freático en invierno con disminución en 0,3 m la topografía.....	114
Figura 46	Nivel freático en invierno modelo III con aumento en 1 m la topografía.....	115
Figura 47	Trazado de los diferentes proyectos viales en San Pedro de la Paz .....	116

## ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1	Porcentaje de usos de suelo.....	64
Gráfico 2	Balance de masa detallado del acuífero de San Pedro de la Paz.....	107

## ÍNDICE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Panorámica desde el borde sureste de Laguna Chica de San Pedro de la Paz...	27
Fotografía 2	Plataforma de abrasión actual. Playa Blanca, Coronel .....	29
Fotografía 3	Afloramiento de Estratos Molino El Sol.....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

1	Mapa de distribución de Macrozonas de Chile, fuente: Atlas del Agua, 2016 DGA....	126
2.a	Tabla con precipitaciones anuales en años normales, según estación meteorológica períodos 1931-1960 y 1961-1990 .....	127
2.b	Tabla de precipitaciones promedio anuales en mm/año durante el 2006-2010 y 2011-2015 .....	128
3	Caudal medio mensual de los principales ríos de cada región, según estación fluviométrica 2015.....	130
4	Tabla con habitantes por región desde el 2011 al 2015, fuente Instituto nacional de estadística Chile, 2015.....	132
5	Trazado de Puente Industrial y Carretera Pie de Monte.....	133
6	Precipitaciones mensuales promedio entre 1980 a 2017 en las estaciones.....	134
7	Temperaturas promedio mensuales entre los años 1983 a 2017.....	141
8	Granulometría de las series de suelo de Ciren (1999).....	142
9	Porcentaje de uso de suelo dentro de cada serie de suelo.....	1433
10	Área de series de suelo y porcentaje de uso en las subcuencas.....	144
11	Descripción litológica de los sondajes en la zona.....	150
12	Columna estratigráfica de los sondajes de ENACAR en Parque Escuadrón y Lomas Colorada; y los de la empresa Bo Paper.....	170
13	Perfiles Gravimétricos utilizados en la caracterización del basamento en el modelo de Visual Modflow v2011.....	174
14	Tabla del catastro de niveles estáticos, obtenidos en terreno y extraídos de derechos de agua.....	176
15	Ensayos de bombeos con valores de caudal, nivel estático y dinámico, además de transmisividad y conductividad.....	187
16	Distribución de los diferentes valores de permeabilidad horizontal (KH) y vertical (KV) en el acuífero (Extraído de Gorma, 2020) .....	200
17	Transmisividad del acuífero en la zona de estudio (extraído de Gormaz, 2020) .....	201
18	Rangos de conductividades hidráulicas (K) y permeabilidades (k) según tipo de roca o deposito no consolidados.....	202
19	Caudal otorgado utilizado en Modflow .....	203
20	Niveles estáticos utilizados en el modelo de II de Visual Modflow v2011.1, área San Pedro de la Paz.....	207
21	Mapa de uso de suelo en subcuenca Los batros con modificación de carretera Puente Industrial y Pie de Monte.....	208

## RESUMEN

El área de estudio se ubica en la región de Biobío (  $36^{\circ}49'56''$  –  $37^{\circ}04'14''$  latitud Sur y los  $73^{\circ}04'47''$  –  $73^{\circ}13'55''$  longitud Oeste), en las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz, litológicamente se constituye primero por rocas metamórficas de edad paleozoicas y Pérmico-Triásico, pertenecientes a las Series Occidental y Oriental y la Unidad Patagua el Venado, rocas más jóvenes y afectadas por un metamorfismo de muy bajo grado. Ambas unidades afloran en la codillera Nahuelbuta, es decir, en el extremo oriental del área de estudio y presentan una importancia hidrogeológica muy baja, debido a que se componen de filitas, esquistos y metapelitas, rocas de permeabilidad muy baja. El segundo tipo litológico presente son rocas sedimentarias de las formaciones Pilpilco, Curanilahue y los estratos Molino el Sol. Las formaciones Pilpilco y Curanilahue se ubican al sur del área de estudio, y corresponden a areniscas de grano fino a medio y lutitas con niveles de carbón; cuya importancia hidrogeológica se puede clasificar como baja. En cambio, los estratos Molino el Sol son cuarzoarenitas semiconsolidadas, de grano medio a grueso, su poca cohesión y granulometría permite que tenga una importancia hidrogeológica media. El tercer y último tipo litológico está conformado por los depósitos cuaternarios, compuestos de arenas de grano fino a grueso, heterogéneamente distribuidas en la cuenca, alcanzando una potencia máxima de hasta los 200 m en la zona sur del área, las que se reconocen como la unidad hidrogeológica más eficiente y la que conforma los acuíferos presentes en el área de estudio. El catastro de captaciones dentro del acuífero es de 72 pozos, con valores de caudal de extracción que fluctúan entre 0,08 l/s a 110,00 l/s y un promedio de 16,30 l/s. Los objetivos de la investigación son evaluar el impacto ambiental en la hidrogeología de los proyectos: Puente industrial y Pie de Monte. Para esto se desarrolló un modelo 3D con el software Visual Modflow para la comuna de San Pedro de la Paz. Considerando que solo se tuvo acceso al estudio ambiental del Puente industrial (2017), se utilizó esta información para definir dos escenarios posibles, uno donde se disminuirá la cota topográfica en 0,3 m aproximadamente debido la técnica de mejoramiento de suelo y excavación. Y la otra alternativa evaluada donde aumente la cota topográfica en aproximadamente 1 m producto del uso de terraplenes y relleno de superficie. Con estas consideraciones se observó en la simulación que no hubo cambios en la dirección de aguas subterráneas, pero si en el nivel freático. Para el caso de aumento de cota se observa que la zona sureste del modelo, sector Los Guindos, y en el sector de Boca sur viejo, el nivel freático que intercepta la superficie del terreno disminuiría, lo que es desventajoso para la asociación de Productores de Hortalizas de San Pedro de la Paz, debido a que se dificultara el consumo de aguas por parte de las raíces de las hortalizas. Mientras en el escenario de excavaciones y mejoramiento de suelo, se reduce en 0,3 m la topografía. Observando que en el sector de Boca sur viejo la superficie de intersección entre el nivel freático y la topografía se amplía, lo que se traduce en encharcamientos en el sector. Mediante un balance hídrico se observó que producto de los proyectos viales la subcuenca Los Batros aumenta en 0,14 mm/a la escorrentía superficial, disminuye en 0,12 mm/a su recarga y en 0,03 la evapotranspiración real. La subcuenca Junquillar- La Posada aumenta en 0,21 mm/a su escorrentía superficial y disminuye su recarga en 0,4 mm/a, su evapotranspiración real no tiene variaciones. Es necesario orientar las políticas urbanas a conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brindan espacios como humedales, que son favorables para la recarga del acuífero y además de incentivar la fiscalización de los caudales otorgados en el área.

# 1 INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para la vida humana y para todos los ecosistemas presentes en la Tierra. Aproximadamente 96,5% de este componente que podemos encontrar en la superficie del planeta es salada, mientras el 3,5% restante corresponde a agua dulce. Esta última se encuentra en su mayoría como hielo en los polos o cimas de montañas; apenas el 0,6% se encuentra en superficies accesibles, tales como ríos, arroyos, lagos o almacenada en el subsuelo en acuíferos (DGA, 2016). Esta situación conlleva diversos problemas de acceso y disponibilidad en el mundo relacionados con el agua para consumo humano.

A este problema natural de distribución del agua, se añaden otros relacionados con la acción humana y el aumento de la población, tales como sequías, el cambio climático y otros efectos sobre la calidad de agua potable, lo que acentúa la disminución de cantidad o calidad del elemento disponible, al grado de generar efectos nocivos para la salud humana y/o la actividad económica. Sobre esto, cabe mencionar que las crisis hídricas se encuentran entre los cinco principales riesgos mundiales de los últimos siete años, según el Foro Económico Mundial (Kammeyer, 2018).

Pero la crisis por escases de agua en el planeta no afecta a todas las regiones por igual, pues está subordinada a la geología, geografía y meteorología de la zona, entre otros factores. En el caso específico de Chile, el país cuenta con importantes reservas de agua, sin embargo, presenta una distribución geográfica desigual entre las macrozonas (Anexo 1). Esto se debe principalmente a las diferencias de clima y precipitaciones a lo largo del territorio, como se resume en la Tabla 1.

Es así como la macrozona Austral se caracteriza por tener un clima templado-frío con temperaturas que disminuyen hacia el Sur, presencia de fiordos y golfos y la mayor cantidad de lagos y lagunas del país, presentando también la menor densidad de población. Y cuenta con 20 cuencas de acuerdo al “Inventario de Cuencas Hidrográficas” de la DGA (Anexo 1).

La macrozona Sur cuenta con importantes recursos hídricos, con 26 cuencas hidrográficas de acuerdo al “Inventario de Cuencas Hidrográficas” de la DGA, tiene un clima mediterráneo apropiado para el desarrollo de la industria forestal y agropecuaria.

Se destaca la cuenca hidrográfica del Biobío, la cual da origen al río del mismo nombre, cuyo ancho de cauce supera los 2 km.

La macrozona Central tiene un clima mediterráneo y cuenta con 16 cuencas hidrográficas de acuerdo al “Inventario de Cuencas Hidrográficas” de la DGA. Debido a las precipitaciones y deshielos de la macrozona, presenta unos de los suelos más fértiles de Chile.

La macrozona Norte se caracteriza por un clima árido de pocas precipitaciones que aumentan en dirección sur, por lo que la mayor parte de sus ríos son de régimen esporádicos. De acuerdo al “inventario de Cuencas Hidrográficas” de la DGA cuenta con 39 cuencas hidrográficas. Es importante mencionar que en esta zona se concentran 78% de empresas dedicadas a la extracción de minerales y metales del país, de las que se calcula requieren un caudal de 10,41 m<sup>3</sup>/s, lo que supera ampliamente al de los cursos de agua superficiales de dicha macrozona, provocando la agudización del problema del agua en el norte del país (DGA, 2016).

**Tabla 1: Datos de población, caudal superficial y precipitaciones promedio durante el periodo del 2011- 2015 en las distintas macrozonas del país**, tabla resumen de los Anexos 2, 3 y 4. Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas Chile, 2016 y Dirección General de Aguas, 2016

Macrozonas	Extensión	Caudal superficial Promedio (m <sup>3</sup> /s)	Precipitación (mm/año)	Población promedio
Norte	Cuenca Lluta a Cuenca Choapa	1,91	207,74	442.767,84
Centro	Cuenca río Petorca a Cuenca río Maule	41,54	524,78	2.716.882,4
Sur	Cuenca río Itata a Cuenca río Palena	206,94	1.160,64	1.054.768,9
Austral	Cuenca río Palena a Cuenca río San Juan	234,42	625,43	134.598,7
Promedio		121,20	629,65	1.087.254,46

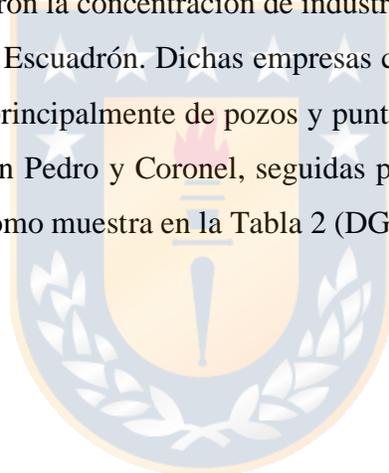
De acuerdo al registro de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), de los años 1931 a 1960 las precipitaciones a lo largo del país fueron en promedio de 15.664,5mm/año, y entre los años 1961 a 1990 fueron de 16.073,2 mm/año (Anexo 2a). Mientras que desde 2006 al 2010, se registran un promedio de 13.798,3 mm/año. La disminución en las precipitaciones entre los 2013 - 2015 ha sido más drástica que en los años anteriores (anexo 2b). Se estima que en promedio la cantidad de agua lluvia en el país entre el 2011-2015 representa solo un 4% de la caída en promedio entre 1961 a 1990.

Esto, en conjunto con el explosivo aumento demográfico de los últimos años, a junio de 2015 se estimó en 18.006.407 habitantes y para 2020 se estima que la población de Chile bordearía los 19 millones de habitantes (INE, 2015), muestra que la relación entre disponibilidad y demanda de

agua se vuelve cada vez más compleja para la seguridad hídrica, definida como “capacidad de una población para salvaguardar a nivel de cuenca, el agua en cantidades y calidad para sostener la salud de la gente y de los ecosistemas, así como para asegurar la protección eficaz de vidas y economía del país” (Jiménez-Cisneros y Blanca, 2015).

### **1.1 Caso de estudio**

La comuna de Coronel, ubicada en la provincia de Concepción, es un buen ejemplo de estrés hídrico, debido a que presenta una intensa industrialización; en ella existe un puerto y varias instalaciones pesqueras, además de dos centrales termoeléctricas. A lo anterior se suma la habilitación de parques industriales en el sector norte de la comuna (cordón industrial Escuadrón), los que posibilitaron la concentración de industrias en prácticamente toda la Bahía de Coronel y al frente a la Playa Escuadrón. Dichas empresas consumen gran cantidad de agua para sus procesos, la que extraen principalmente de pozos y punteras, representando el mayor número de captaciones de agua en San Pedro y Coronel, seguidas por el consumo de agua potable, y en tercer lugar el uso de riego, como muestra en la Tabla 2 (DGA, 2018).



**Tabla 2: Uso del agua extraída en las comunas de Coronel y San Pedro de la Paz,** de un total de 89 captaciones de agua subterránea. Fuente: Dirección General de Aguas, 2018.

Comuna	Coronel	San Pedro de la Paz	Total General
Industrial	21	4	25
Agua potable	19	4	23
Riego	15	2	17
Red de incendios	1	0	1
Riego y Bebedores	1	0	1
Red Humedad	1	0	1
Domiciliario	12	1	13
Sin información	7	1	8
<b>Total General</b>	<b>77</b>	<b>12</b>	<b>89</b>

A este contexto se añade el aumento demográfico en el sector: entre los años 1982 a 2002 se registró un incremento en la población en un 18,51%, y en los diez años posteriores (2002-2012) el aumento fue de 52,6%, pasando de 80.447 a 121.655 habitantes. Dicha situación conllevó un proceso de expansión de la comuna de Coronel hacia a la ciudad de Concepción, el que se vio intensificado desde mediados de la década de los noventa por el boom inmobiliario en todo el sector Noroeste de la comuna. Lo anterior en muchos casos implicó compactar y rellenar humedales de gran valor para el ecosistema y para el almacenamiento de recursos hídricos, afectando también zonas destinadas a la actividad agrícola urbana, como se ha observado con el desarrollo inmobiliario desde el by pass Coronel hasta San Pedro de la Paz y hoy el caso del nodo hortícola en San Pedro de la Paz, específicamente en los sectores de salida del estero los batros, Boca Sur y Michaihue.

Otro aspecto estimulado por el crecimiento industrial y el incremento de población fue el tránsito y la congestión vehicular, debido a que gran parte de la población de Coronel y San Pedro de la Paz trabaja o estudia en Concepción o Talcahuano. La congestión se agrava por la ya mencionada presencia de actividad industrial, pues esta requiere de camiones de carga para movilizar materias primas y productos. Esta situación acarrea serios conflictos de atochamiento vehicular en puntos específicos de la conurbación. Una de las situaciones más críticas se evidencia en la ruta 160, que conecta las comunas de Lota, Coronel y San Pedro de la Paz. En esta se construyó un Bypass en 1992, y en la actualidad considera un gran número de modificaciones en diferentes etapas de estudio y factibilidad. Un ejemplo de estas es el proyecto Puente industrial, el que contempla el cuarto viaducto sobre el río Biobío, que privilegiaría especialmente el transporte de carga, conectando de forma directa con la Ruta 160. Este proyecto se encuentra con licitación aprobada

desde el 2018, siendo previamente rechazado el 2006, debido a que el estudio de impacto ambiental indica hallazgos de cerámica arqueológica, además de conflictos con terrenos de horticultores.

Mientras el proyecto carretera Pie de Monte, que se encuentra en etapa de estudio preliminar cuenta con una licitación programada para el 2021. Este comprende 24,4 km y conectaría desde el proyecto Puente Industrial hasta el Bypass Coronel (Anexo 5). Estos dos proyectos representan un alto riesgo para los humedales de la zona y, por ende, para el sistema hidrogeológico de la cuenca.

Por otra parte, la DGA en función de la calidad y disponibilidad de agua, declaró “Zona de Prohibición” para nuevas exploraciones de aguas subterráneas en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Coronel norte y Coronel sur. Es decir, es una zona con riesgo hídrico, por lo que los proyectos viales y cambios de uso de suelo deben estar orientados a la sustentabilidad de los ecosistemas benéficos para los acuíferos y su extensión ecosistémica superficial, como son los humedales.

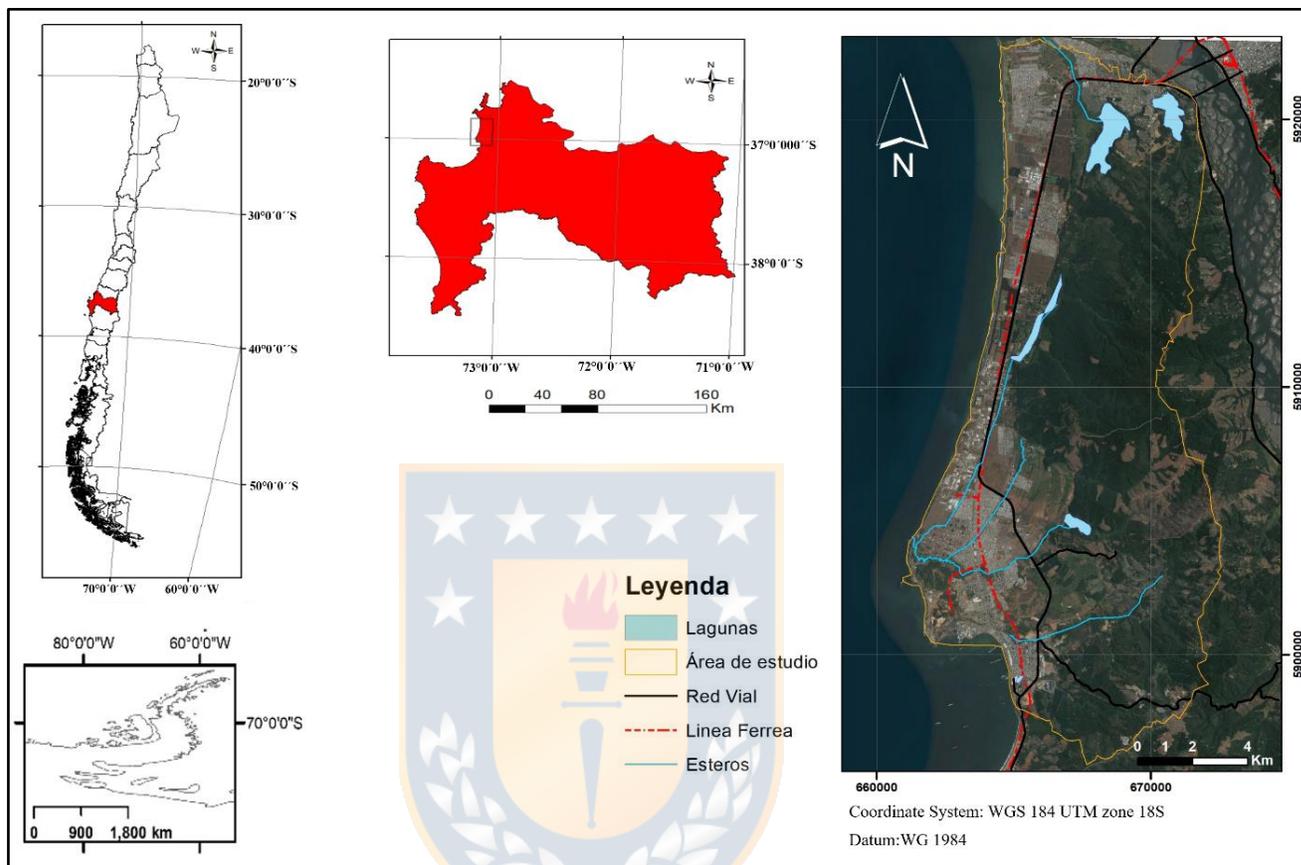
## 1.2 Ubicación y acceso

El área de estudio se encuentra en la provincia de Concepción dentro de la región del Biobío, entre las latitudes  $36^{\circ}49'42''\text{S}$ -  $37^{\circ} 3'24''\text{S}$  y longitudes  $73^{\circ} 2'60''\text{O}$ - $73^{\circ}13'42.00''\text{O}$ . Se ubica al Sur de la ciudad de Concepción, limitando al norte con el río Biobío (afluente principal de la cuenca hidrográfica en la que está inserta el área de estudio), al extremo occidental con el océano Pacífico, al oriente con la cordillera Nahuelbuta, y en el caso de la parte noroeste, limita nuevamente con el río Biobío. Se extiende al Sur hasta una línea imaginaria dada por la latitud  $37^{\circ} 3'24''\text{S}$  (Figura 1). Las localidades principales dentro de esta son San Pedro de la Paz y Coronel.

De acuerdo con el catálogo de cuencas de la DGA (2016), se encuentra inserta en la subcuenca hidrográfica denominada: “Cuenca costera entre río Biobío y Río Manco”.

Se ubican aquí los sectores hidrológicos de aprovechamiento común denominados Coronel norte y Coronel sur, los que presentan una prohibición desde el 2018 de explotación de agua subterránea, debido a que la demanda de aguas supera el volumen sustentable para la cuenca,

estimando una disminución en el nivel de agua de los acuíferos que compromete la calidad de vida de la comunidad y del ecosistema.



**Figura 1:** *Ubicación área de estudio*, la imagen del centro corresponde a la región del Biobío donde destaca el área de estudio y la imagen de la derecha es un zoom del área de estudio con las rutas de acceso y, principales esteros y cuerpos de agua.

### **1.3 Objetivo General**

Evaluar cambios en la disponibilidad de agua en los acuíferos en los sectores de Coronel y San Pedro de la Paz, como consecuencia de los proyectos viales.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

- Definir la(s) cuenca(s) y acuíferos involucrados en el área de impacto del proyecto Carretera Pie de Monte y Puente industrial
- Modelar el flujo y caudal de las aguas subterráneas en la subcuenca de estudio y evaluar si existen cambios con la construcción de los proyectos anteriormente mencionados.
- Realizar un balance hídrico para la subcuenta actual, y otro hipotético con el cambio del uso de suelo producto de la construcción de la carretera.
- Relacionar la información obtenida de los diferentes acuíferos identificados, esteros y humedales con el proyecto carretera Pie de Monte y Puente industrial.
- Proponer una alternativa viable en relación a los resultados.

### **1.4 Agradecimientos**

Agradecer primero que todo, al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM) proyecto ANID/FONDAP/15130015 por darme la oportunidad de recibir apoyo económico para mi investigación, como a mi profesor patrocinante Dr. Ricardo Figueroa Jara profesor de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción e investigador del CHRIAM por su excelente disposición. Luego agradecer a los docentes y funcionarios del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción, específicamente al Ingeniero encargado de la Oficina y Laboratorio de Geomática Luis Vásquez Rivas quien me asesoró con una disposición increíble a todo lo referente a software utilizados en la investigación

y, por último, agradecer a mi familia, compañeros y compañeras de universidad y amigos por brindar el apoyo emocional, muy importante por lo demás.

## **2 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

El trabajo contó con la aplicación de una serie de modelos hidrológicos y de sistemas de información geográfica para delimitar las áreas de estudio, estas requieren de información primaria, la cual corresponde principalmente a:

- “Estudio Hidrológico e hidrogeológico Escuadrón-Coronel” desarrollado por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., en 1992 para la DGA. A su vez este tiene como principal fuente “Proyecto Itata, Estudio Hidrológico y Situación Actual Agropecuaria” efectuado por la asociación de profesionales PROITATA en 1992.
- El informe de habilitación profesional para optar al título de: Ingeniero Civil, realizado por Juan Sanhueza en 1996 “Estudio de la Potencialidad del Acuífero en la zona del parque industrial de Coronel”.
- Estudio agrologico de la VIII Región realizado por Ciren, 1999 “Descripciones de suelos, Materiales y Símbolos”.
- El informe realizado por Liubow Nikolaivn con Fernando Ortiz el 2009, solicitado por la Empresa Agroinversiones Ltda., “Diagnóstico de la interfase agua dulce – agua salada, costa del sector escuadrón, área industrial Agroinveriones S.A Coronel, VIII Región del Biobío”.
- El informe técnico “Actualización Estudio Hidrogeológico Parque Escuadrón” realizado por la DGA, 2018.
- La memoria de título de Camilo Gormaz el 2020 “Caracterización hidrogeológica, hidrogeoquímica y vulnerabilidad de la cuenca Costera entre el río Biobío y estero Manco, región del Biobío, Chile”

## 2.1 Delimitación de las cuencas

Para definir las cuencas hidrográficas afectadas por la construcción de la carretera Pie de Monte y Puente industrial, se utilizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) del área de estudio generado mediante el software ArcMap, con el que se confeccionó un Shape de las microcuencas presentes.

## 2.2 Definición de acuíferos

La definición de los acuíferos se realizó por medio de la utilización bibliografía, principalmente el estudio del parque escuadrón realizado por la DGA el 2018 y la memoria de título de Gormaz 2020. Donde ambos estudios utilizan el concepto de ensayos de bombeo para la definición de los parámetros elásticos del acuífero.

De acuerdo Castañeda, 2019 “Una prueba de bombeo es un método de estimar el funcionamiento, capacidad y la zona de influencia de la extracción de agua mediante un pozo, además de determinar las características de un acuífero determinado (por ejemplo, el almacenamiento, la transmisividad, la extensión y la presencia de límites o barreras de flujo y posibles conexiones con fuentes superficiales)”

Debido al número de ensayos de bombeo en la memoria de Gormaz (2020), es que se eligió para definir los parámetros elásticos. Mientras la delimitación espacial se realizó considerando ambos estudios.

Gormaz (2020) utiliza el software AquiferTest para analizar ensayos de bombeo, con los métodos Neuman (1970 en Gormaz, 2020) y Theis (1935 en Gormaz, 2020) con corrección de Jacob

- Método de Neuman: método que grafica el descenso versus el tiempo, es utilizado en acuíferos libres donde el descenso es despreciable comparado con el espesor saturado del acuífero.

$$\text{Fórmula 1: } s(r, t) = h_0 - h(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u_A, u_B, \Gamma)$$

$W(u_A, u_B, \Gamma)$ : Función de Pozo en sistema no confinado.

$$\text{Fórmula 2: } u_A = \frac{r^2 S}{4 T t} \text{ Para el descenso inicial o de corto plazo.}$$

$$\text{Fórmula 3: } u_B = \frac{r^2 S_y}{4 T t} \text{ Para el descenso final o a largo plazo.}$$

$$\text{Fórmula 4: } \Gamma = \frac{r^2 K_v}{h_0^2 K_h}$$

r = Radio de del cono de depresión

$h_0$  = espesor saturado inicial

$S_y$  = Capacidad especifica

$K_h$  = Conductividad horizontal

$K_v$  = Conductividad vertical

- Método de Theis con corrección de Jacob: En el caso de sistemas acuíferos no confinados o libres se puede utilizar toda la teoría existente para acuíferos confinados (Theis). En este caso, si se dispone de información de descensos en el acuífero libre versus tiempo es posible realizar la siguiente corrección:

$$\text{Fórmula 5: } s' = \frac{s-s^2}{2h_0}$$

donde s es el descenso medido en un pozo de observación o de bombeo,  $h_0$  es el espesor saturado del acuífero libre, y s' es el descenso equivalente en un acuífero confinado.

Este valor de descenso corregido es ingresado en la fórmula de Theis para régimen impermeable

$$\text{Fórmula 6: } T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$

Donde

$$\text{Fórmula 7: } W(u) = \frac{\int_u^\infty e^{-x} dx}{x}$$

$$\text{Fórmula 8: } u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

### 2.3 Balance Hídrico

Los procesos de transferencia de volumen de agua en diferentes estados entre la litósfera, atmósfera e hidrósfera mantienen un equilibrio dinámico denominado balance hidrológico, el cual considera que cierta fracción del total de agua que proviene de las precipitaciones no infiltra a la zona saturada, sino que regresa a la atmósfera por evaporación y/o transpiración, en el área de estudio el promedio anual de las precipitaciones corresponde a 1.120,23 mm/año (Anexo 6). El resto se puede transformar en escorrentía superficial, o bien, infiltrar en el terreno a acuíferos o embalses subterráneos (Ordoñez, 2011). La porción del agua de lluvia que se infiltra y desciende por gravedad en el subsuelo hasta alcanzar el nivel freático se le denomina recarga (FCIHS,

2017). Un balance hídrico cuantifica la cantidad de agua que ingresa y sale de una cuenca hidrográfica.

El balance hídrico se realiza mediante la plantilla Excel Easy v3.0 (Vázquez-Suñé y Castro, 2002), que utiliza fórmulas tales como la de Thornnywaite (1948) con la que calculan la evapotranspiración potencial, el método de Thornthwaite y Matter (1948) con el que se calcula la evapotranspiración real, reserva útil e inicial y el método de Numero de curvas con el que se calcula el valor de laminación y esorrentía.

Para realizar el balance hídrico se evaluaron las series de suelo de cada subcuenca de manera independiente y las series de suelo del área total.

### 2.3.1 Fórmula de Thornyhwaite

Este método es utilizado para calcular la evapotranspiración potencial, que se entiende como la cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua, dada la fórmula (9)

Fórmula 9:  $ETP = K \times \varepsilon$

donde:

ETP: evapotranspiración potencial en mm/mes

K :  $(N/12) \times (d/30)$

N: número máximo de horas de sol, según la latitud

D: número de días del mes

$\varepsilon$  : evapotranspiración potencial media en mm/día (Fórmula 4)

Los datos que se ingresan como entrada en la planilla son la temperatura media mensual, entre los años 1980 a 2018 (Anexo 6 y 7), utilizada en la fórmula 10 para calcular el índice de calor mensual

Fórmula 10:  $i = (t/5)1,514$

Valor de índice de calor anual, es:

Fórmula 11:  $I = \Sigma i$

Siendo  $\Sigma i$  la suma de los doce índices mensuales del año considerado

La evapotranspiración potencial media en mm/día es:

Fórmula 12:  $\varepsilon = 16(10t/I) a$

donde:

$\varepsilon$  - evapotranspiración potencial media en mm/día

t - temperatura media diaria del mes °C

I - índice de calor anual, resultado de la fórmulas 10 y 11

Fórmula 13:  $a = (0,675 \times 10^{-6} \times I3) - (0,771 \times 10^{-4} \times I2) + (1,792 \times 10^{-2} \times I) + 0,49$

### 2.3.2 Método empírico de Thornthwaite y Matter

Método que es utilizado para obtener la evapotranspiración real y la reserva de cada serie de suelo, para ello clasifica los meses en secos ( $P-ETP < 0$ ) y en húmedos ( $P-ETP > 0$ ) según las entradas superen o no a las salidas. Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas, ( $P > ETP$ ) el agua sobrante se almacenará en el suelo; por el contrario, cuando las salidas son mayores que las entradas, la reserva del suelo se reducirá. Sin embargo, es necesario definir la capacidad del suelo (CC) como la máxima capacidad de retención del suelo y cuando esta se supera el agua añadida en "exceso" escurrirá superficialmente o se infiltrará. Dando paso al concepto de reserva máxima como la cantidad de agua por unidad de superficie que el suelo es capaz de almacenar en su perfil.

La reserva de agua utilizable (RAU) es la cantidad de agua que un suelo contiene en un momento dado; varía entre cero (suelo seco) y la capacidad de campo. Se calcula la evapotranspiración real, los excedentes y déficit de agua de acuerdo a la fórmula 15, donde se requiere datos físico-químicos de los suelos y profundidad de la zona radicular, que deben ser ingresados como input de entrada a la plantilla.

Fórmula 15:  $P = ETR + EX + \Delta R$

donde:

- P: precipitación en mm
- ETR: evapotranspiración real en mm
- EX: Excedentes de agua (Escorrentía + infiltración) en mm
- $\Delta R$ : incremento en la reserva de agua utilizable por las plantas en mm

Los parámetros hidrológicos del suelo se obtienen con el triángulo de texturas de suelo, en base a las granulometrías descritas por las series de suelo presentes.

### 2.3.3 Método de Número de Curvas

Este método es desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos en el año 1972, aplicable exclusivamente a cuencas de área de no más de 250 km<sup>2</sup>, la cuenca de estudio cuenta con aproximadamente 200 km<sup>2</sup>.

Entrega información acerca de los coeficientes de escorrentía e infiltración generados en una cuenca en función a los tipos de uso y series de suelo del terreno. La escorrentía superficial se entiende como la parte del ciclo hidrológico en la que el agua precipitada circula sobre la superficie, iniciando el retorno hacia el mar o para llegar a algún reservorio superficial. Los factores fisiográficos que influyen en este fenómeno son: uso y serie de suelo, pendiente topográfica y humedad del suelo, entre otros (Schulz y García, 2015).

Este modelo requiere de los siguientes datos:

- Superficie de la cuenca: obtenida a partir de un Shape de subcuencas hidrográficas de elaboración propia a partir de un ráster de elevación (DEM) de resolución de 5 m
- Serie y usos de suelos, con sus respectivas áreas: obtenidos a partir de Shape de uso y series de suelo de la octava región elaborado por el EULA, 2019.
- Precipitaciones y temperatura, obtenidas de la Dirección Nacional de Meteorología, entre los 1980 a 2018 (Anexo 6 y 7).

El valor de laminación o abstracción potencial máxima (S), corresponde al valor máximo de precipitación que se convierte en escorrentía (Chow *et al.*, 1994) y se obtiene con el método número de curvas (CN), el que consiste en obtener un numero adimensional de escorrentía estandarizado, que varía de 0 a 100; donde un CN= 0 implica una superficie que infiltra el total del agua de lluvia, mientras los CN= 100 implica un terreno donde el total de agua de las precipitaciones se transforma en escorrentía superficial.

La fórmula para obtener el valor de laminación en mm, a partir del CN es (USDA, 1986):

Fórmula 16:  $S=25400/CN-254$

Los valores de CN son función del uso y grupo hidrológico de cada serie de suelo, estos están tabulados, como se observa en Chow *et al.*, (1994).

**Tabla 3: Número de curva de escorrentía** para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (Chow y otros, 1994).

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
<b>Tierra cultivada</b>	Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	Con tratamientos de conservación	62	71	78	81
<b>Pastizales</b>	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
<b>Vegas de ríos</b>	Condiciones óptimas	38	58	71	78
<b>Bosques</b>	Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
<b>Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.</b>	Óptimas condiciones: cubierta de pasto >75%	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta de pasto del 50-75%	49	69	79	84
<b>Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)</b>		89	92	94	95
<b>Distritos industriales (72% industriales)</b>		81	88	91	93
<b>Residencial</b>					
<b>Tamaño promedio del lote</b>	<b>Porcentaje promedio impermeable</b>				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
<b>Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.</b>		98	98	98	98
<b>Calles y carreteras:</b>					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

## 2.4 Modelo 3D del Subsuelo

Para generar un modelo 3D del subsuelo que sea representativo a los parámetros hidrogeológicos y espesores reales del terreno, se requiere el uso de ArcGIS y AutoCAD.

Con el primer software se extraen la topografía de un ráster de elevación (DEM) de resolución 5m, la que es exportada a AutoCAD donde el software permite crear el número de capas que se ajuste mejor a la hidrogeología de la zona, número elegido en base a las litologías observadas en los sondeos (Anexo 14). La profundidad a la que se encuentra el basamento fue extraída a partir los perfiles gravimétricos del informe técnico de la DGA, 2018.

Estas capas se les asignan valores transmisividad y coeficiente de permeabilidad, de acuerdo a bibliografía y ensayos de bombeo. El objetivo de este modelo 3D es que sirva de base para el modelamiento de aguas subterráneas.

## 2.5 Modelamiento de Aguas Subterráneas

Para realizar el modelo de aguas subterráneas que contempla caudal y dirección, se utilizó el software Visual Modflow v2011.1, el cual usa una base tridimensional de datos georeferenciados, obtenida a partir de un ráster de elevación (DEM) con resolución de 5 m del área de estudio, en conjunto con el modelo 3D del subsuelo realizado en la etapa de pre terreno.

Delimitada la cuenca en el software, se ingresan los parámetros de balance hídrico; recarga y evapotranspiración calculadas en el capítulo 7.5.

Otros parámetros a ingresar son:

- Ríos: Para los cuales es necesario tener un valor de cota para superficie y fondo del río, el ancho del cauce y la conductividad.
- Lago: Para el que se necesita la cota del espejo de agua y fondo del lago, precipitación y evaporación del cuerpo de agua, caudal de entrada y salida del lago, ancho del lago y conductividad del fondo.
- Constad Head: Este parámetro se refiere a la cota de los niveles estáticos de diferentes pozos (Anexo 14). La diferencia de altura entre estos puntos genera un potencial hidráulico y de acuerdo Werner (1996) el flujo de agua subterránea en un acuífero es

causado por un potencial hidráulico, también denominado nivel piezométrico o presión de agua subterránea.

Se realizan tres modelos: área total, área exclusiva de San Pedro de la Paz y finalmente área asociada al cambio de uso de suelo producto de las carreteras Pie de Monte y Puente industrial.



### 3 MARCO METEREOLÓGICO

La región del Biobío se considera una zona de transición entre un clima templado cálido con estaciones secas y lluviosas a un clima templado lluvioso (Yáñez, 2018). Las precipitaciones fluctúan entre 1.200 mm y 2.000 mm anuales de norte a sur en la región (Inzunza, 2014). La estación seca es muy variable, concentrándose principalmente entre los meses de diciembre a Marzo (Sanhueza, 1996).

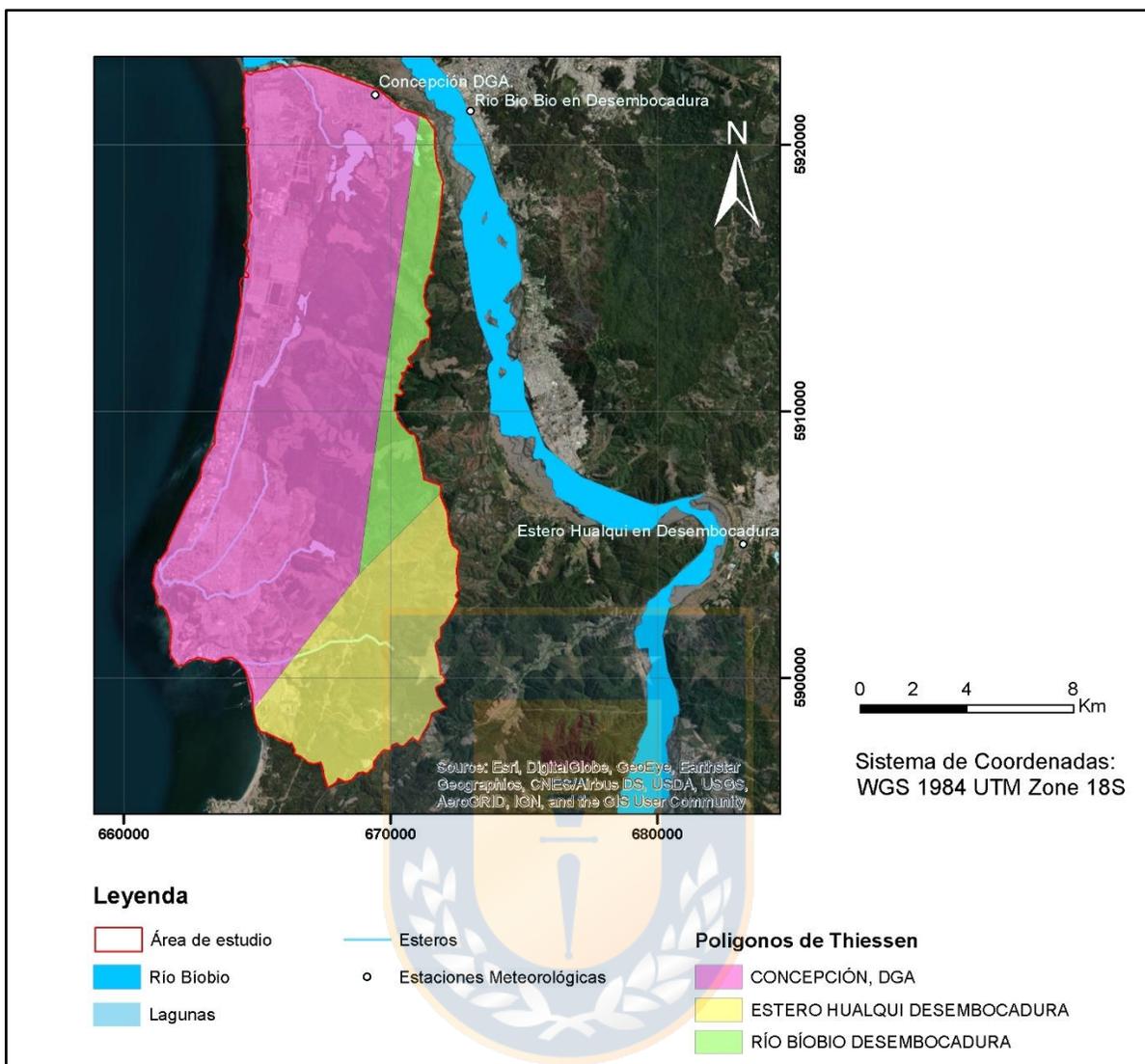
Debido a la cercanía con el mar y la presencia de la cordillera Nahuelbuta, las lluvias en el área ocurren todos los meses del año, cuando los vientos húmedos que soplan de mar al continente son obstruidos por la cordillera.

El régimen de temperatura también está afectado por la cercanía al mar, presentando poca variación térmica, donde la temperatura media anual es de 12°C, con máximas de 18°C en verano (enero) y mínimas de 7°C en invierno (Julio) (Sanhueza, 1996).

Las estaciones meteorológicas más cercas se pueden observar en la Tabla 4 y Figura 2.

**Tabla 4:** Estaciones pluviométricas próximas al área de estudio, Fuente: web de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Estación	X (m)	Y (m)	Cota ms.n.m.	Área de los polígonos de Thiessen (Km <sup>2</sup> )
Concepción Carriel Sur	674041,7	5929238	12	0,00
Concepción DGA.	669439,0	5921865	28	129,80
Río Biobío en Desembocadura	672821,0	5921211	16	22,8
Estero Hualqui en Desembocadura	683228,0	5905021	30	38,12
Carampangue	655815,0	5875294	10	0,00
Talcahuano	660815,3	5928632	100	0,00



**Figura 2: Polígonos de Thiessen.** Imagen muestra las estaciones pluviométricas (exceptuando la estación Talcahuano) utilizada en los cálculos.

El propietario de las estaciones es la DGA, a excepción de la estación Talcahuano que le pertenece a la DMC. Además, la estación Talcahuano cuenta con un registro de precipitaciones mensuales desde 1946 a 1980, mientras el resto cuentan registro de 1980 a 2017 (Anexo 6). Debido a lo anterior, se excluye esta estación dentro de los cálculos realizados.

Las precipitaciones mensuales promedio para el área total se calculan ponderando los valores de cada estación, respecto a su distribución y representatividad en el área de estudio, mediante el método de los polígonos de Thiessen (Tabla 5).

**Tabla 5: Precipitaciones mensuales, promedio entre 1980 a 2017 (Anexo 2).** Valores de las estaciones de la Figura 2; ponderados con el método de Thiessen para el área de estudio. Fuente la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Meses	P (mm)	T (°C)	Horas de luz
Abril	68,87	12,3	11,25
Mayo	167,36	11,1	10,15
Junio	207,70	9,5	9,55
Julio	178,57	8,8	9,85
Agosto	147,58	9,3	10,85
Septiembre	79,80	10,2	11,9
Octubre	53,67	11,9	13,2
Noviembre	31,80	13,8	14,2
Diciembre	24,74	15,6	14,75
Enero	17,59	16,7	14,5
Febrero	20,98	16,0	13,60
Marzo	26,94	14,6	12,45

### 3.1 Uso de las aguas superficiales

El sistema de agua potable de la ciudad de San Pedro de la Paz es atendido por dos empresas de servicios sanitarios, ESSBIO S.A y AGUAS SAN PEDRO S.A. Actualmente, en los sectores rurales de esta comuna no existen asentamientos poblacionales y, por lo tanto, no existen servicios de agua potable rural. Desde hace 3 años aproximadamente el sector de Lomas Coloradas, que era considerado servicio rural, ha sido incorporado dentro del territorio atendido por ESSBIO S.A.

La zona atendida por ESSBIO S.A se abastece mediante punteras localizadas en la ribera sur del río Biobío, en Puente Viejo. Las aguas captadas son reguladas, previa cloración en el estanque Laguna Chica, para entregarse al consumo y a otros puntos de regulación.

Estas aguas reciben como único tratamiento una desinfección bactericida, mediante la aplicación de gas cloro, para posteriormente ser enviadas mediante impulsión al estanque de regulación Laguna Chica (el cual alimenta a los sectores camino a Santa Juana, Villa San Pedro y Huertos Familiares), al estanque Laguna Grande y a dos plantas elevadoras que abastecen a los estanques Idahue y Andalué.

El sector de Lomas Coloradas tiene su propio sistema de abastecimiento. Este considera pozos de captación, sistema de filtración y desinfección, sistema de regulación y red de distribución independiente de San Pedro.

De esta manera la red de distribución de agua potable se encuentra sectorizada en 7 sub-sectores independientes:

- i) Sector Villa San Pedro – Huertos Familiares
- ii) Sector Candelaria – Boca Sur – Michaihue
- iii) Sector Andalué
- iv) Sector Camino a Santa Juana
- v) Sector Idahue Alto
- vi) Sector Idahue Bajo
- vii) Sector Lomas Coloradas

El terreno atendido por Aguas San Pedro S.A. se abastece exclusivamente mediante aguas subterráneas, a través de pozos de captación y baterías de punteras ubicados en dos recintos de captación; uno en el sector del Parque Industrial Coronel y el otro en el sector La Foresta. En general, como tratamiento, se cuenta con plantas de filtros para el abatimiento de fierro, manganeso y turbiedad, así como también de sistema de cloración para la desinfección. El territorio servido por esta empresa se divide en dos sectores: sector San Pedro y sector Parque Industrial Coronel, con sistemas de redes y producción independientes. El territorio que involucra a la comuna de San Pedro de la Paz queda incluido dentro del denominado sector San Pedro (Varela, 2008).

Por otro lado, actualmente el sistema de agua potable en Coronel se abastece desde tres sistemas independientes pero interconectados entre sí, los cuales son:

- i) Sistema de punteras Calabozo y Los Maquis
- ii) Laguna Quiñenco (captación superficial)
- iii) Sistema de punteras Lagunillas

El 80% del agua potable consumida en Coronel proviene de captaciones de aguas subterráneas, y solo 20% proviene de captaciones superficiales (laguna Quiñenco). Las aguas captadas por el sistema de punteras Calabozo y Los Maquis son conducidas hasta los estanques Corcovado, donde sus aguas son cloradas y entregadas para el consumo. La captación Quiñenco toma sus aguas en la laguna del mismo nombre, mediante una planta elevadora ubicada en un muelle. Desde allí, las aguas son impulsadas para luego ser conducidas gravitacionalmente por una aducción hasta el estanque La Peña. La aducción es reforzada en su tramo final, aprovechando la

cañería de impulsión de antiguos sondajes que servían de abastecimiento, pero que se abandonaron hace algún tiempo. Por último, el sistema de punteras Lagunillas capta sus aguas del subsuelo situado al norte de la confluencia de los esteros de Calabozo y la Mora. Las aguas son impulsadas al mismo estanque la Peña desde donde, mezcladas con las de la laguna Quiñenco, son distribuidas a los estanques y finalmente a la ciudad de Coronel (Sanhueza, 1996).



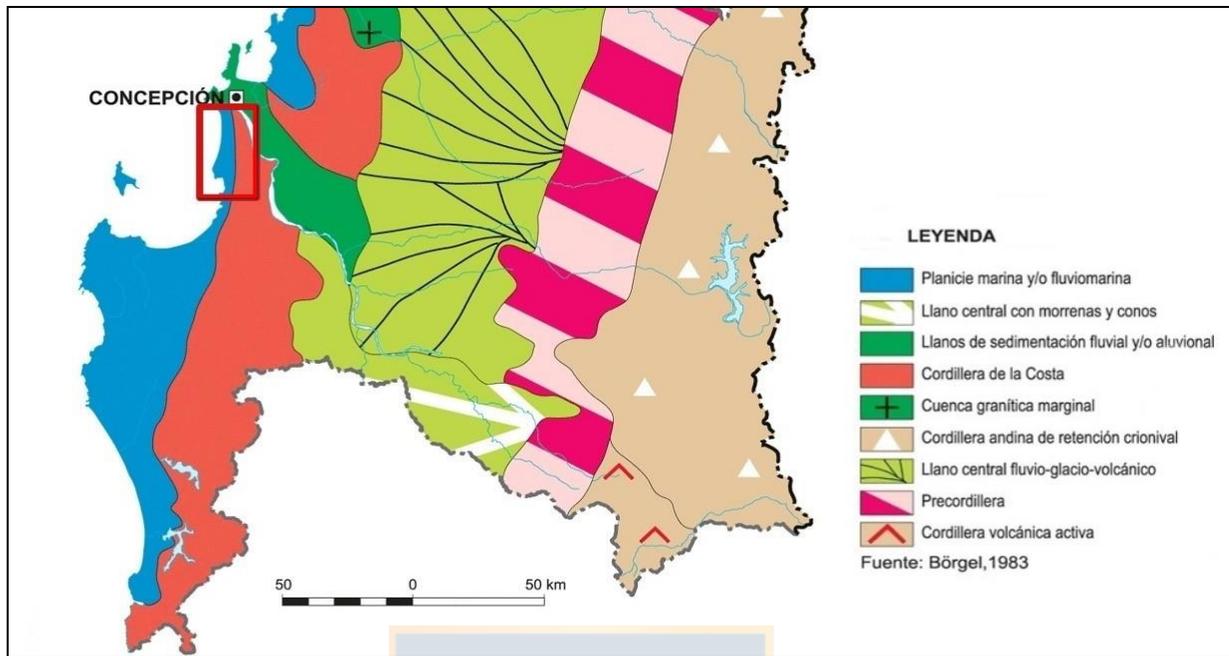
#### 4 MARCO GEOMORFOLÓGICO

Las formas del relieve en Chile continental se definen por cinco unidades geomorfológicas principales (figura 3), dispuestas cercanas a una orientación N-S y paralelas al margen continental. Estas son, de Este a Oeste: la cordillera de los Andes, precordillera, depresión intermedia, cordillera de la Costa y planicie litoral.

Diversos agentes modeladores afectan al territorio chileno de forma diferencial. En base a lo anterior, Börgel (1983) divide el territorio en cinco agrupaciones regionales y las define por sus rasgos comunes (figura 3). Estas corresponden a:

- i) Región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas.
- ii) Región de las planicies litorales y cuencas del sistema montañoso andino-costero.
- iii) Región central de las cuencas del llano fluvio-glacio-volcánico.
- iv) Región central lacustre y del llano glacio-volcánico.
- v) Región patagónica y polar del inlandsis antártico.

El área de estudio se ubica en la porción norte de la cuarta zona geomorfológica, la que se caracteriza por una progresiva dificultad en la distinción entre la depresión intermedia y la llanura costera, debido a las bajas elevaciones de la cordillera de la Costa que, en su porción sur, se muestra con suaves lomas y con lagos generados a partir de la formación de cuencas de origen tectónico e influencia glaciario (Börgel, 1983).



**Figura 3:** *Mapa regional esquemático de zonas geomorfológicas* adaptado de Börgel, (1983). El rectángulo rojo indica el área de estudio.

#### 4.1 Geomorfología regional

El área de estudio comprende dos unidades geomorfológicas principales: planicies litorales y cordillera de la Costa, que en la región recibe el nombre de cordillera de Nahuelbuta.

Las planicies litorales se desarrollan en el extremo oeste como un conjunto de zonas relativamente planas, con desniveles no mayores a 30 m y anchos variables desde los 2 km hasta cortarse con los acantilados costeros. Su distribución está determinada por la tectónica y la presencia del río Biobío que, en su desembocadura, ejerce un fuerte control (tanto morfológico como sedimentario) que interrumpe la continuidad de estas planicies generando amplias llanuras fluvio-deltáicas. En esta unidad geomorfológica se desarrolla la mayor parte de la urbanización, que representa ambientes de alta fragilidad ambiental en especies de humedales y campos dunares (Rojas *et al.*, 2017).

La cordillera de Nahuelbuta incluye importantes altos topográficos, alzándose hasta los 1300 m.s.n.m., aunque en el área de estudio su altura máxima es de 500 m.

La litología y tectónica son los factores de formación de este relieve, y su modelado lo otorgan los sistemas fluviales, dependiendo de las características de las rocas. Por su altura y extensión, actúa como barrera climática y divisoria de aguas importante dentro de la región.

Dentro de estas unidades geomorfológicas, encontramos relieves menores de oeste a este son (Figura 4):

**Playa:** La playa actual cuenta con extensiones de 18,6 km de largo, y ancho que fluctúa entre 30 m y 40 m en verano y 20 m en invierno, debido a la estacionalidad climática (Martínez *et al.*, 2016). Las arenas son medianas a gruesas y están compuestas por cuarzo plagioclasa, hematita y magnetita (Martínez *et al.*, 2016).

De acuerdo a investigaciones recientes, la línea litoral de la playa Escuadrón presenta una tasa media de avance de 0,60 m/año para el período 1978-2013, sin embargo, en algunos tramos como frente a la desembocadura y a Coronel, presentan una tendencia erosiva de -0,20 m/año (Martínez *et al.*, 2016).

**Llanura Litoral:** Conjunto de formas planas adyacentes al mar que se prolongan bajo este y son de poca altura. Se extienden de forma continua de norte a sur, con un ancho variable entre 1 y 6 Km desde el mar al pie de la cordillera de Nahuelbuta (Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2011). El material que conforma la llanura litoral es sedimento de origen volcánico proveniente del volcán Antuco, acarreado por el río Biobío. Existe una fuerte acción del viento, debido a que no se presentan relieves altos que actúen como barrera, lo que permite la formación de cordones de dunas.

La génesis de esta unidad se debe a la depositación de arenas al pie de los acantilados que formaban los cerros de la cordillera de Nahuelbuta, debido al ingreso de mar durante el Pleistoceno Superior Reciente (Cuaternario), imprimiendo líneas de paleocosta. Actualmente se aprecian suaves ondulaciones en el terreno, las que anteriormente fueron bermas costeras.

Esta sucesiva depositación de material terminó por obstruir los desagües de las quebradas y valles cordilleranos, embalsando las aguas y dando origen a gran parte de los cuerpos lacustres, ejemplos de estos son las lagunas de San Pedro de la Paz (Laguna Grande y Laguna Chica), laguna Junquillar, La Posada y Quiñenco. De acuerdo a Cáceres y Ramírez (2012) estos cuerpos de agua están asociados a la obstrucción de sus desagües producto de la sedimentación de arcillas, limos y arenas muy finas con contenido de materia orgánica.

**Llanura de Inundación:** Se encuentra en la parte Noroeste del área de estudio, asociada al curso del río Biobío. Se origina por las crecidas del río y la depositación de principalmente

arena proveniente de la cordillera de los Andes como de material erosionado de las cercanías.

**Llanura aluvial:** Conjunto de formas que se desarrollan aledañas a la cordillera de Nahuelbuta, donde se establecen lagos y humedales holocenos que actúan como receptores del drenaje. Corresponden a la depositación de materiales aluviales, asociándose en San Pedro de la Paz al estero Los Batros. Sus alturas no superan los 5 m y genéticamente corresponderían a un antiguo desagüe de áreas bajas y pantanosas delimitado por cordones marinos y, por lo tanto, de antiguas líneas de costa (Ilabaca, 1994).

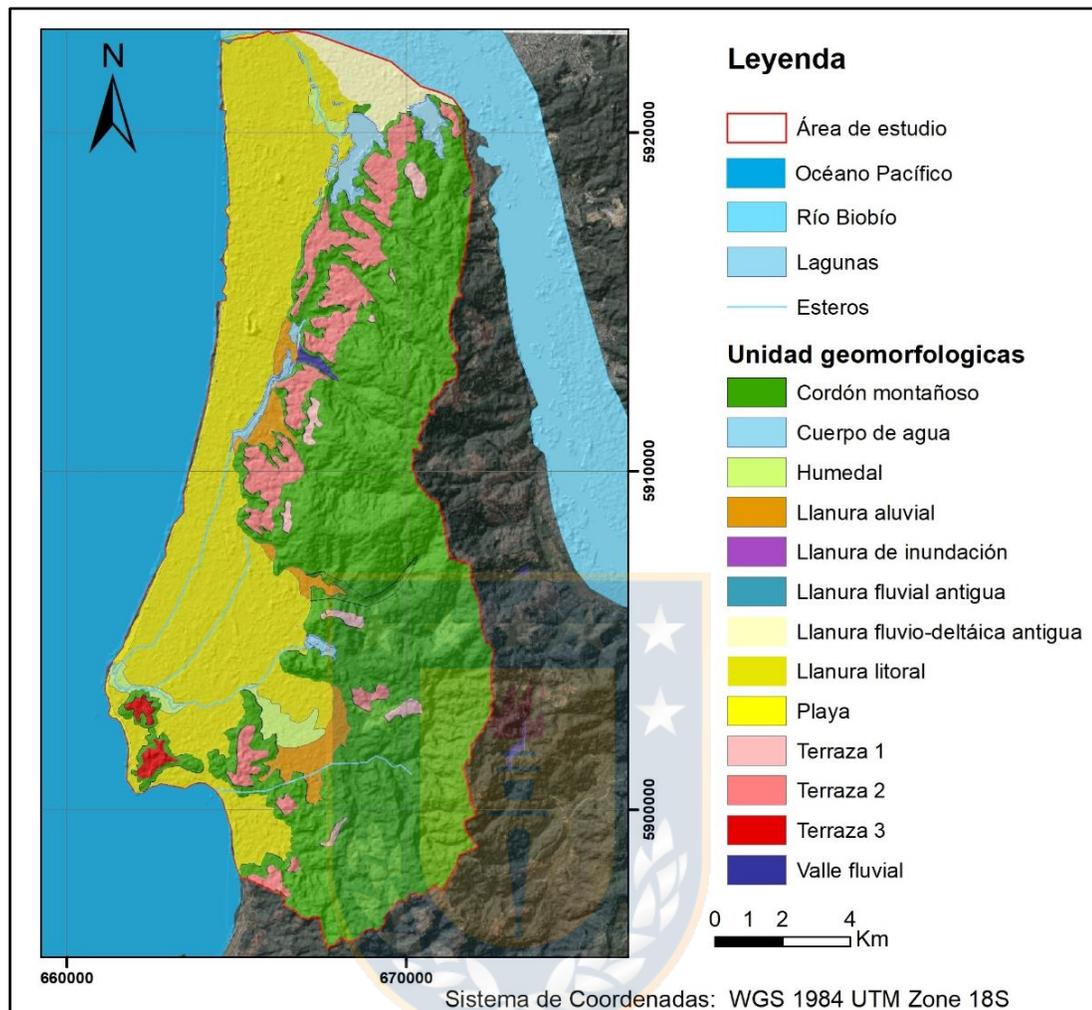
**Valle Fluvial:** Valles en “V” originados por la incisión fluvial, producida por el importante alzamiento de la Cordillera Nahuelbuta. Estos desembocan al océano por el oeste y al río Biobío por el este, alimentando su caudal.

**Llanura fluvial antigua:** Llanuras de origen fluvial desarrolladas por acción del río Biobío en la zona norte y este del área, principalmente formada por arenas provenientes de la cordillera de los Andes. Tienen geometría de banco de arena, el que habría sido formado por depositación del río y acción de olas y corrientes (Bertrán *et al.*, 2001).

**Llanura Fluvio-deltaica antigua:** Amplias llanuras formadas por el material transportado por el río Biobío, el que es sedimentado en su desembocadura por la pérdida de energía facilitada por la fisiografía de un delta previo en el área (Ilabaca, 1979), y depositada en un ambiente de delta estuarial (Beltrán *et al.*, 2001).

**Cordones Dunares:** Tienen un origen principalmente eólico, de edades pleistocenas a holocenas, ubicadas en la porción más oriental de las playas de forma paralela a la línea de costa. Se pueden observar dentro del área en Boca Sur. Su morfología permite clasificarlas como dunas transversales, y actualmente se encuentran cubiertas de vegetación. Según Veyl (1961) pueden llegar a tener entre 20 y 30 m de profundidad.

**Terraza Marina:** Corresponden a superficies elevadas que presentan poca variación topográfica y fueron formadas en un tiempo determinado. En la zona, estas formas son discontinuas a lo largo del borde costero, y se forman por transgresiones marinas, que producen el retroceso del acantilado costero. Para que las terrazas preserven su forma escalonada entre una y otra, es necesario que exista un alzamiento de al menos 0,2 mm/año (Pedoja *et al.*, 2014 en Jara-Muñoz *et al.*, 2017), condición existente durante el Cuaternario y fines del Neógeno.



**Figura 4:** Mapa geomorfológico del área de estudio. Fuentes: Rojas *et al.*, 2017 y Municipalidad de Coronel, 2011.

Es posible distinguir al menos tres superficies aterrazadas (Figura 4 y 5), dos de las cuales, corresponderían por correlación geográfica y topográfica a las descritas por Kaizuka *et al.* (1973), nombradas como terraza Las Nochas (T1) y terraza Cañete (T2), ambas de edad pleistocena. Estas poseen una elevación de alrededor de 200 y 500 m s.n.m. respectivamente. Sin embargo, en la zona de estudio estas superficies se reconocen a niveles de 100 y 200 m.s.n.m., cambio de altura que se produce al sur de Lota, causado posiblemente por estructuras ENE-WSW, sumado al alzamiento y subsidencia local. Además, se reconoce un tercer nivel a los 50 m (T3).

La terraza 1 es un nivel que aparece en áreas pequeñas distribuidas a lo largo de toda la zona. Presenta un *shoreline angle* a una altura que varía entre los 225 y 175 m s.n.m. (Kaizuka *et al.*,

1973) y la traza de sus remanentes se disponen en una orientación NNE-SSW. Esta terraza es la más antigua reconocible en el área y al coincidir espacialmente con la terraza Las Nochas de edad 330 Ka (Melnick *et al.*, 2009).

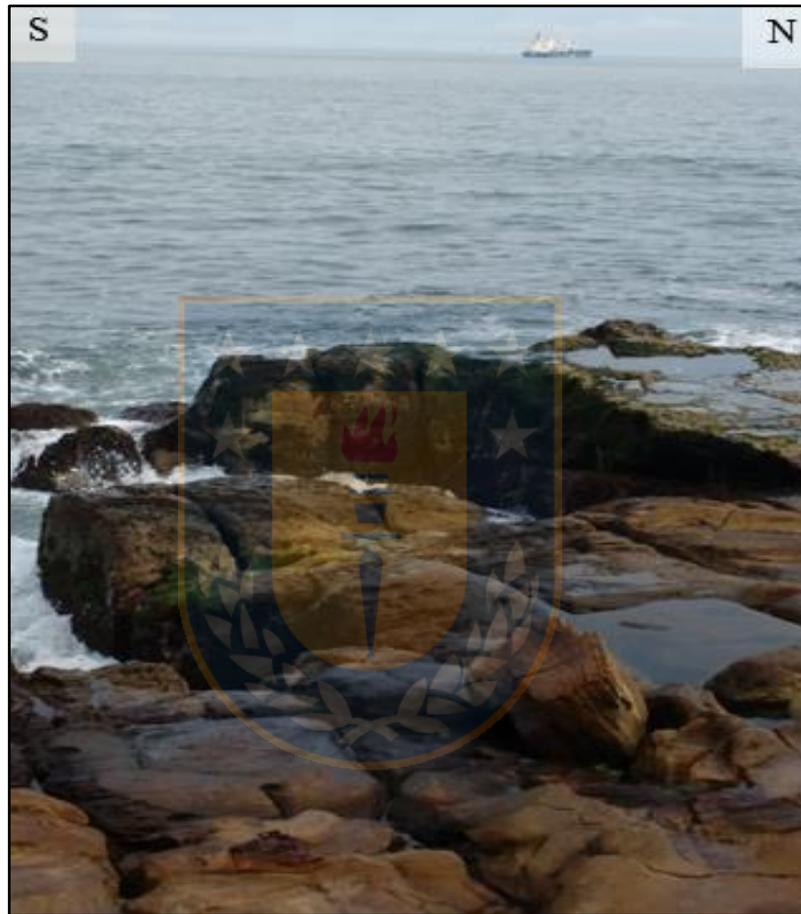
La terraza 2 es la mejor definida y más constante en el área. Principalmente se ubica en la zona norte, rodeando a las lagunas de San Pedro de la Paz (fotografía 1) y por la costa bordeando a las llanuras litorales de Coronel y Lota. Presenta un *shoreline angle* que varía su altura entre los 100 y 60 m s.n.m., nivel que se correlaciona bien con la terraza Cañete, con una edad de 125 Ka correspondiente al último periodo interglacial (Kaizuka *et al.*, 1973; Melnick *et al.*, 2009).



**Fotografía 1:** *Panorámica desde el borde sureste de Laguna Chica de San Pedro de la Paz.* Se distingue la terraza dos en rojo (18H 670.196 m E/5.919.579 m S). Extraída de Geología de Campo II, 2018.

La terraza 3 se distingue entre Lota y Coronel como un nivel relativamente plano que se asociaría con una terraza de abrasión más reciente y menos extensa que las previamente mencionadas, su altura va de los 30 a 50 m s.n.m (fotografía 2)

Una particularidad de este relieve es la presencia de profundas quebradas, o valles muy estrechos, que drenan encajonadamente hacia las lagunas y hacia el corredor anegable de contacto entre la llanura litoral y el pie del abrupto. Algunas de estas quebradas son muy profundas y extensas, se orientan desde el sur oriente hacia el norponiente, e interrumpen la continuidad de las plataformas.



**Fotografía 2:** *Plataforma de abrasión actual. Playa Blanca, Coronel*  
(18H 665.178 m E/5.896.980 m S). Extraída de  
Geología de Campo II, 2018.

Los suelos de estas terrazas marinas están constituidos por elementos granulares finos que corresponden a materiales residuales originados por alteración química del basamento metamórfico. Los procesos de alteración han originado una cobertura de material superficial suelto arcilloso, que va disminuyendo en profundidad (Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2011).

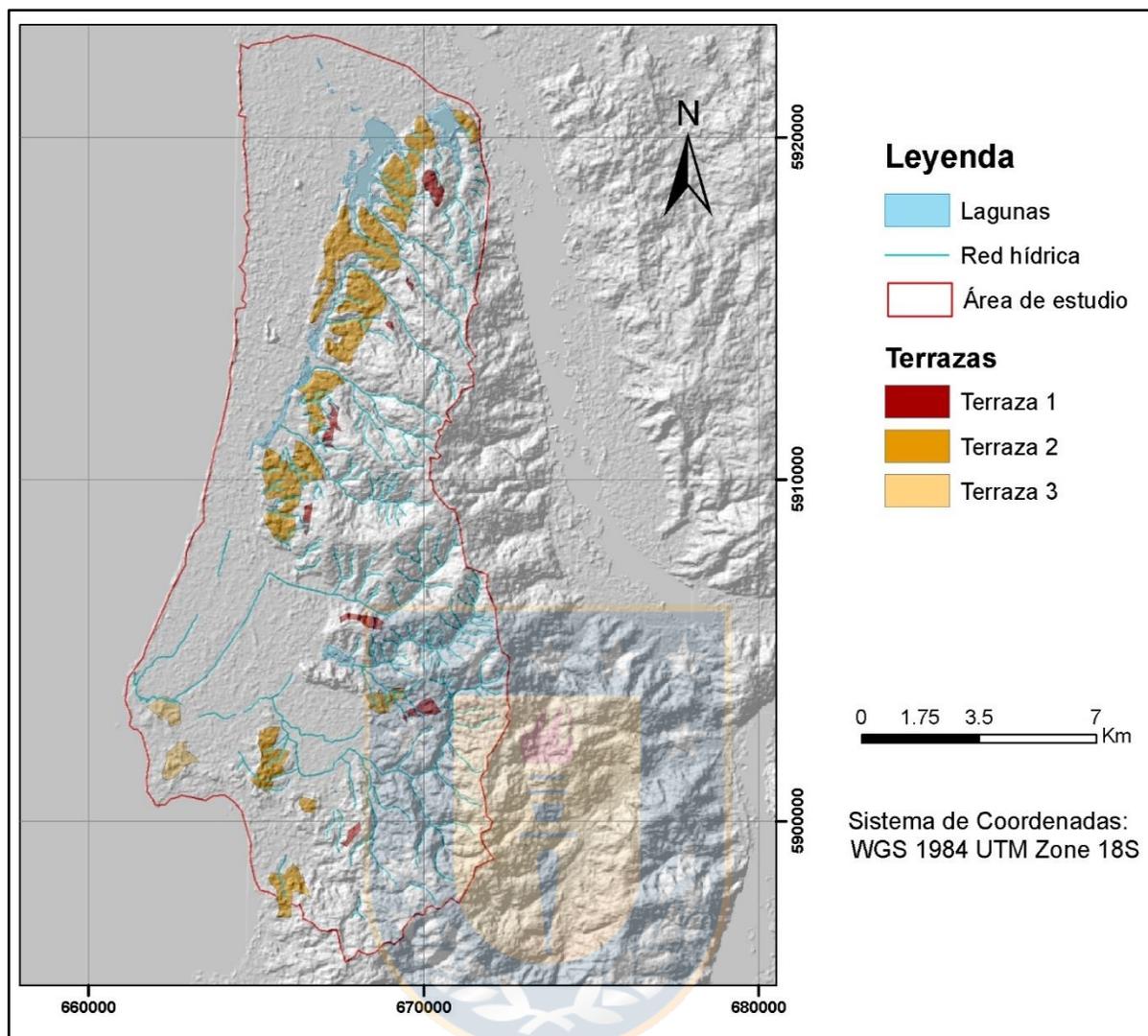


Figura 5: *Mapa de distribución de terrazas marinas* (modificada de Geología de Campo II, 2018).

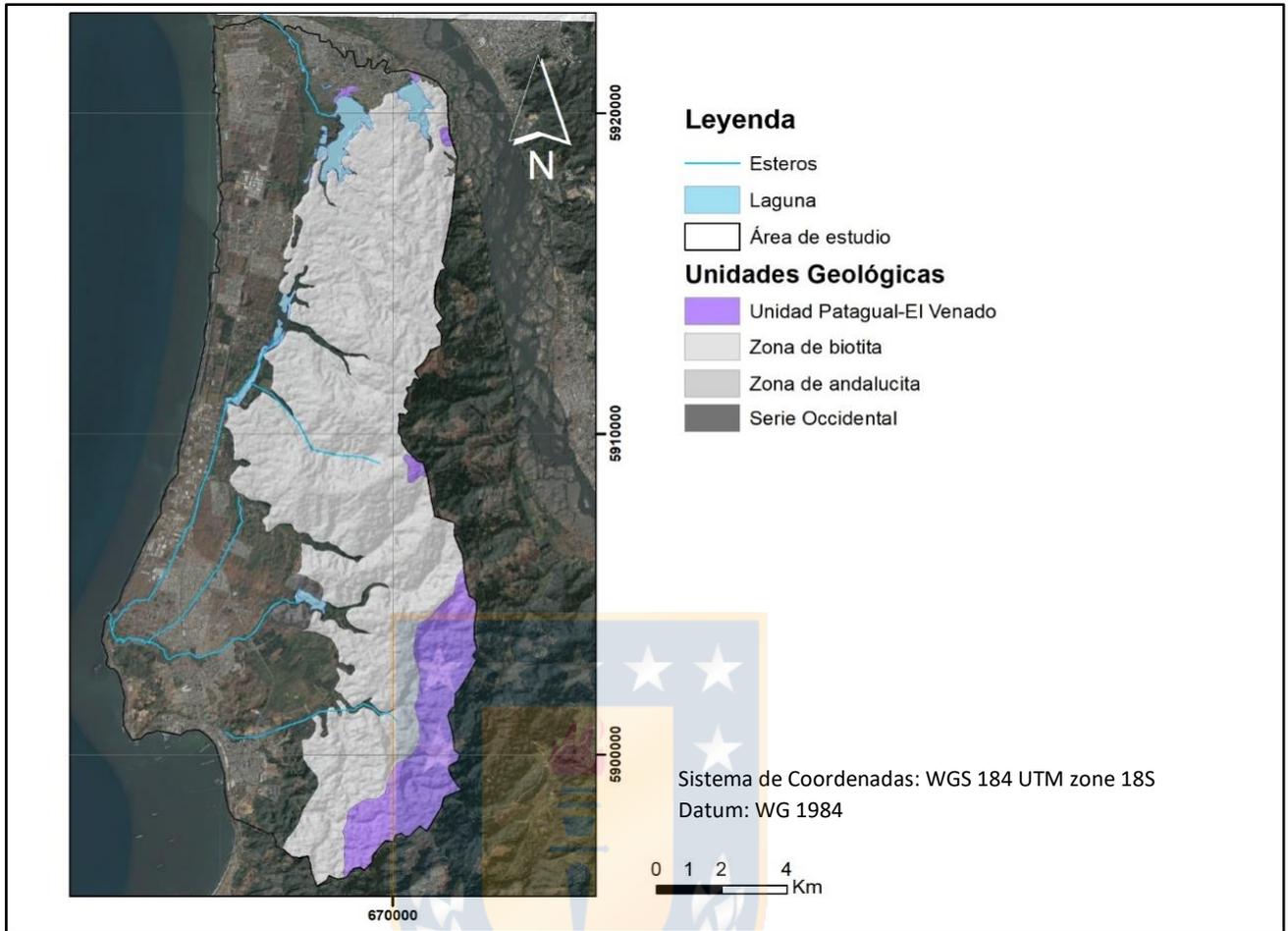
## 5. MARCO GEOLÓGICO

En este apartado se indagará sobre la geología del área de estudio, las que se dividen en rocas metamórficas, rocas estratigráficas y depósitos cuaternarios

### 5.1 Rocas Metamórficas

Dentro del área, las rocas metamórficas corresponden al Basamento Metamórfico y a la Unidad Patagual-El Venado, las que ocupan una superficie de 104,34 km<sup>2</sup> (Figura 6). Aguirre *et al.*, (1972) definen el basamento metamórfico como rocas metamórficas que se extiende desde los 34° a los 41° S, y proponen una división en dos series: Serie Occidental y Serie Oriental. Por otro lado, Mardones *et al.*, (2012) definen la unidad Patagual-El Venado como rocas metamórficas de bajo grado, las cuales constituirían un cinturón metamórfico pareado en un ambiente de subducción.





**Figura 6:** Mapa de las rocas metamórficas (elaboración propia)

### 5.1.1 Serie Oriental

#### Definición, distribución y relación de contacto

Dentro del área, la Serie Oriental aflora en la cordillera de Nahuelbuta en una franja norte a sur entre la Laguna Chica de San Pedro de la Paz hasta la laguna Quiñenco, y de Oeste a Este entre Escuadrón y Palco Grande (García, 2004). La base de esta unidad es desconocida y su techo lo constituyen parcialmente secuencias del Cretácico, Paleógeno y Neógeno, que sobreyacen en discordancia angular y de erosión (Gajardo, 1981).

## **Petrografía**

Esta unidad está compuesta principalmente de intercalaciones de metarenitas y metapelitas, con cantidades menores de rocas calcosilicatadas, las cuales están afectadas por dos tipos de metamorfismo: Barroviano y Buchan (Vásquez, 2001).

El metamorfismo regional tipo Barroviano es de presión y temperatura intermedia, mientras el de tipo Buchan es de baja presión y alta temperatura. Este último se sobrepone al de tipo Barroviano y es generado por la intrusión del Batolito Costero. Debido a esta intrusión, se generó una zona de migmatitas y tres zonas mineralógicas que se distribuyen en forma paralela desde el contacto con el intrusivo: zona de Sillimanita, zona de Andalucita y zona de Biotita. En el área de estudio solo se encuentra la zona de Biotita y restringidamente en la parte sur del mapa, la zona de Andalucita. El grado de metamorfismo que presentan estas rocas varía desde facies esquistos verdes a granulita, a medida que se acerca al contacto con los intrusivos (Geología de Campo II, 2018).

## **Protolito**

De acuerdo a Aguirre *et al.*, 1972 el protolito corresponde a secuencia de psamitas, mientras Vásquez (2001) propone a una sucesión de rocas pelíticas y psamíticas. Bandel & Quinzio (1999), basados en huellas fósiles encontradas entre las localidades de Punta de Parra y Lirquén, sugieren un ambiente periglaciario, específicamente el fondo de un lago. Por su parte, Cartes (2004), apoyándose en trazas fósiles de Nereites, propone que el ambiente de sedimentación es de tipo marino profundo, donde el talud aportaba sedimentos a través de corrientes turbidíticas.

## **Edad y condiciones de metamorfismo**

Dataciones radiométricas realizadas en la cordillera de Nahuelbuta arrojan una edad de 316 Ma para el último evento metamórfico (Hervé *et al.*, 1976), producido por la intrusión del batolito costero Paleozoico. Willner *et al.* (2005) asignan una edad de inicio de un evento breve de metamorfismo de contacto de alta temperatura (400°-700°C) a los  $301 \pm 1$  Ma. La edad del protolito es Devónico, por la presencia de trilobites, crinoidea, tetracorales y nautiloideos (Rebolledo *et al.*, 1994, en Cartes, 2004).

### 5.1.2 Serie Occidental

#### Definición, distribución y relación de contacto

Esta serie está compuesta por metapsamopelitas con lentes métricos a kilométricos de metabasitas, pertenecientes a las facies de esquistos verdes y localmente esquistos azules (Willner *et al.*, 2005). Dentro del área aflora de manera reducida y discontinua al oeste de la cordillera de Nahuelbuta, próximo a la laguna de Quiñenco (Geología de Campo II, 2018). Las facies metamórficas presentes en esta serie son por lo general esquistos verdes, sin embargo, localmente se han encontrado evidencias de metamorfismo de altas presiones, que alcanza la facies esquistos azules (Willner, 2005).

#### Petrografía

La Serie Occidental está constituida principalmente por metaturbiditas (metapelitas y metapsamitas) y metabasitas en proporciones variables, con metachert, serpentinita y cuerpos de sulfuros de menas de manera subordinada (Hervé, 1988), ocasionalmente atravesadas por vetillas plegadas de cuarzo de segregación (Vásquez, 2001). Los afloramientos tienen un aspecto masivo de grano grueso, presentando tonalidades verdosas y textura porfidolepidoblástica. En cuanto a su composición mineralógica, se observa la presencia de epidota, clorita, actinolita, biotita y cuarzo, además de porfiroblastos de albita.

#### Protolito

Willner *et al.* (2005) proponen que el protolito de la Serie Occidental deriva de una secuencia de pelitas, grauvacas, cherts y rocas volcánicas básicas provenientes de la parte superior de la placa oceánica subductada y predominantemente de la placa continental cabalgante. Posteriormente, estos formaron parte de un complejo de acreción y subducción (Hervé, 1988).

#### Edad y condiciones de metamorfismo

Los procesos de deformación que afectan a estas rocas son coincidentes con el inicio de la subducción cerca de los 320 Ma (Willner *et al.*, 2005). Este proceso inicia la acreción frontal, causando acortamiento horizontal y el desarrollo de pliegues y foliaciones sub-verticales (S1). De

acuerdo a dataciones en Gloyny *et al.*, 2005 la acreción basal de la Serie Occidental es datada con una edad de 250 Ma a 245 Ma. Esta provocó un acortamiento vertical y el desarrollo de la foliación transposicional subhorizontal penetrativa (S2) (Richter *et al.*, 2007). La acreción frontal, que provoca el S1 afectando a ambas series, ocurre durante el Carbonífero inferior. La acreción basal, generadora de la foliación S2, que igualmente afecta a ambas series, tuvo un inicio en el Carbonífero superior (Gloyny *et al.*, 2005).

### 5.1.3 Unidad Patagual-El Venado

#### **Definición, distribución y relación estratigráfica**

Comprende rocas metamórficas de bajo a muy bajo grado de metamorfismo relacionado a enterramiento. Mardones *et al.*, (2012) definen esta unidad como metapelitas intercaladas con secuencias gruesas metapsamíticas y venas de cuarzo de segregación, altamente alteradas y deformadas con pliegues apretados y fallados. De acuerdo a este mismo trabajo, estas rocas han sido incluidas tanto en la Serie Oriental como en la Formación Santa Juana, pero se les ha clasificado como rocas metamórficas, por la transformación polimórfica de muscovita, illita, clorita y caolinita.

Aflora dentro del área de forma discontinua en la cordillera de la Costa, específicamente en la localidad de Palco, y de forma local se encuentran afloramientos de menores dimensiones en el sector norte del área de estudio, en San Pedro de la Paz. Subyace en discordancia angular erosiva a la formación Santa Juana y no se reconoce el contacto de su base con el basamento metamórfico, sin embargo, se estima que estas se disponen en contacto por inconformidad (Mardones *et al.*, 2012).

#### **Litología y potencia**

Comprende rocas metamórficas con bajo grado de metamorfismo, en su mayoría metapelitas, cuyas texturas varían entre lepidoblástica a granolepidoblástica, con predominancia de la primera. En general su color es grisáceo a verdoso claro y están alteradas pervasivamente a arcillas y a óxidos e hidróxidos de hierro, motivos por los cuales sus superficies adquieren colores pardo anaranjados y violáceos. Mineralógicamente presentan cristales de micas orientadas, muscovita y biotita, además de algunos cuarzos dentro de la matriz fina de la roca.

También forman parte de esta unidad en menor medida metapsamitas de textura granoblástica a granolepidoblástica.

### **Edad y correlaciones**

Su edad comprende el rango entre el Pérmico y Triásico Medio. Lo anterior en función a las relaciones de contacto que presenta con el basamento metamórfico y la formación Santa Juana. Mardones *et al.* (2012) la correlaciona con las formaciones pérmicas Huentelauquén y Totoral, además de los estratos Los Hornillos, definidas por Thiele & Hervé (1984) en el norte de Chile.

### **Ambiente de sedimentación**

De acuerdo a Mardones *et al.* (2012) los sedimentos que conforman las rocas de esta unidad serían aportados por erosión, principalmente de la Serie Oriental y de los Granitoides de Concepción, la que se habría depositado en el antearco, en una cuenca de retro-cuña formada por la exhumación del basamento, que genera subsidencia flexural en la corteza. Estos sedimentos fueron acumulados en un ambiente reductor para permitir la formación de cristales de pirita.

El grado de metamorfismo está dado por las condiciones de presión y temperatura a las cuales son sometidas las rocas, donde los límites son variables y difusos. Las rocas de la unidad muestran evidencias de deformación, marcada por tres planos de foliación, es decir, tres eventos de deformación. El primero está descrito por los planos de estratificación presente en las rocas, mientras que la segunda por la orientación de las micas y el tercera por su crenulación.

## **5.2 Rocas Estratificadas**

Las rocas estratificadas cubren 17,11 km<sup>2</sup> dentro del área de estudio y tienen edades desde Paleoceno al Plioceno (figura 7).

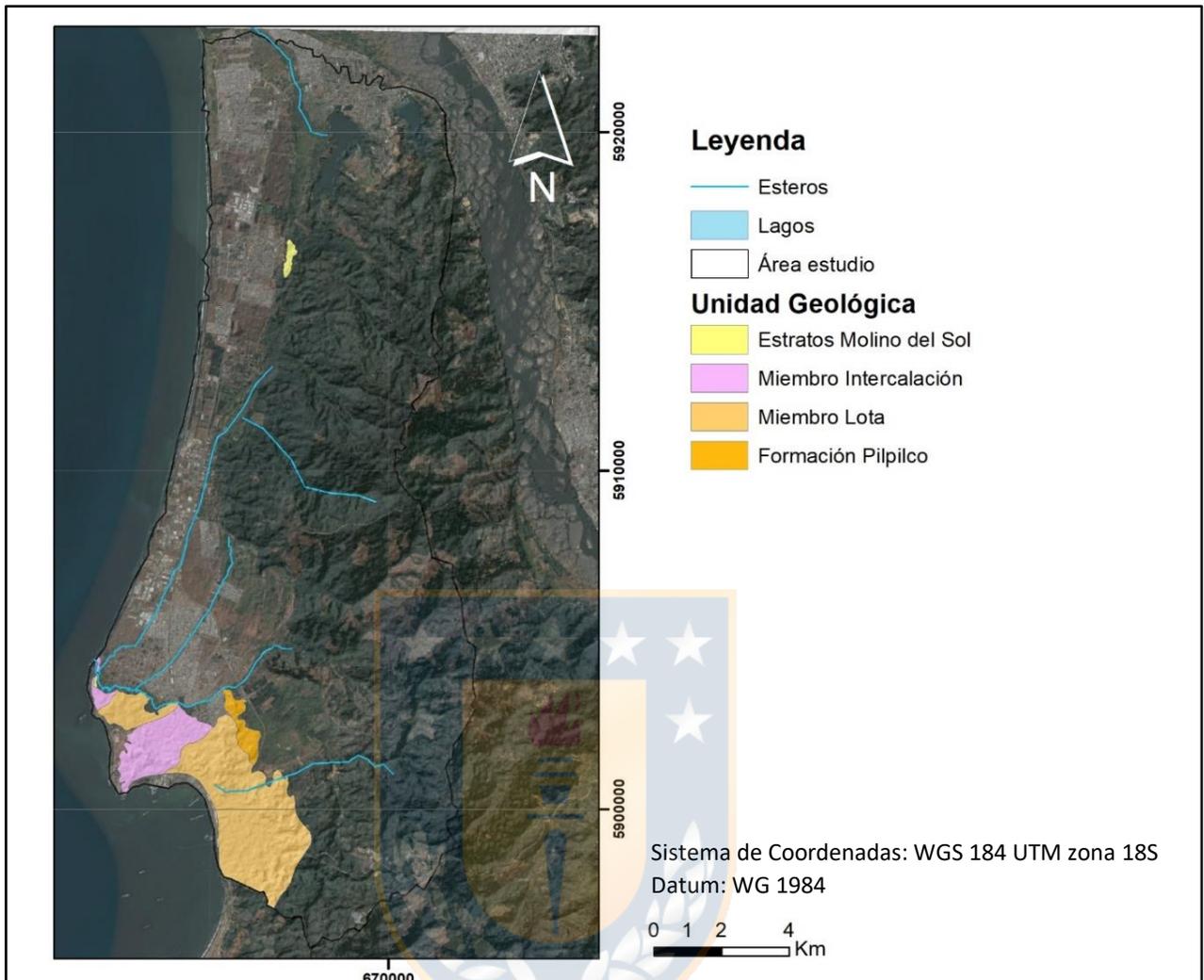


Figura 7: Mapa rocas estratificadas. Esteros principales y lagunas (elaboración propia).

### 5.2.1 Formación Pilpilco

#### Definición, distribución y relaciones estratigráficas

Fue definida en primera instancia por Muñoz-Cristi en el año 1946 como una subdivisión basal del piso Curanilahue, para ya en el año 1968 ser definida como formación. El nombre deriva del río Pilpilco, ubicado al sur de Curanilahue (Pineda, 1983). Se distribuye en el sur del área de estudio, específicamente en el *Bypass* de Coronel y en playa Negra. Se dispone discordantemente sobre el basamento metamórfico; fuera del área de estudio se puede encontrar en inconformidad con el basamento metamórfico o discordante sobre formaciones del Cretácico, e infrayace de manera concordante a la Formación Curanilahue.

### **Litología y potencia**

La unidad se compone principalmente por areniscas verdes de grano medio a grueso, algo arcillosas (Pineda, 1983) y en ciertos casos, conglomerados finos (Muñoz-Cristi, 1968). La potencia es de aproximadamente 150 metros, pero existen pequeñas variaciones (Muñoz-Cristi, 1968).

En la zona de Playa Negra fue posible observar areniscas gris verdosas de estructura masiva con trazas fósiles de *Ophiomorpha*. En un sondaje profundo realizado en la Mina Schwager, a pocos kilómetros al sur del área, la unidad presenta una potencia de 28,2 m, y está compuesta de base a techo por arcillolitas carbonosas y areniscas conglomerádicas, ambas litologías con estructura masiva.

### **Edad**

Según Ruiz y Tavera (1945 en Pineda, 1983), en Laraquete y Colico Sur se han encontrado niveles fosilíferos de *Lutraria cf. Araucana*, *Maetra Carbonaria* y *Tellina Carbonaria*, por lo que la edad mínima de la Formación Pilpilco es Eoceno. Sin embargo, Muñoz-Ramírez & otros (2008) detallan ejemplares de odontospídido *Palaeohypotodus*, que sugieren una edad Paleoceno.

### **Ambiente de sedimentación**

Corresponde a una secuencia de facies litorales y en parte continentales que se deposita concordantemente sobre el Cretácico. Dadas las características transicionales de esta unidad, indica condiciones de sedimentación de borde de cuenca. Además, se reconoce que hacia el Este se pasa gradualmente a facies continentales, con lo que indica que los depósitos más orientales corresponden al borde oriental de la cuenca (Pineda, 1983). El mar transgredió sobre una planicie aluvial costanera, constituida por el basamento metamórfico donde se desarrollan alternadamente medios continentales pantanosos y fluviales con niveles marinos litorales (Pineda, 1983), razón por la cual se deposita esta unidad en inconformidad sobre el basamento.

## 5.2.2 Formación Curanilahue

### Definición, distribución y relaciones estratigráficas

Fue descrita inicialmente por Sylvester y Sanhueza (1948) y, posteriormente, por Chotin (1969), como una unidad marino-continental con mantos de carbón. Muñoz Cristi (1959) le asignó el rango de formación, con localidad tipo en la zona de Curanilahue, en la parte oriental de la meseta de Arauco (Pineda, 1983). Actualmente, se divide en tres miembros que de base a techo son: miembro Lota, miembro Intercalación y miembro Colico, con un espesor máximo de 400 m (Bonilla y Chávez, 1976 en Ferraris, 1981).

Está constituida principalmente por areniscas, en parte conglomerádicas y arcillas asociadas a mantos carboníferos, intercalándose areniscas verdes fosilíferas (Pineda, 1983). Los miembros Lota y Colico son areniscas y limonitas continentales, mientras que el miembro Intercalación es de origen marino (Ferraris, 1981). Aflora dentro del área en el sur de la costa de Coronel y fuera del área en el sector de Lota y Curanilahue-Pilpilco, con manteos entre 20° y 25° al NW. Sobreyace concordantemente a la formación Pilpilco y subyace o engrana, lateralmente, a las formaciones Boca Lebu y Trihueco (fuera del área). Esta formación se encuentra parcialmente cubierta, en discordancia de erosión, por mantos de arenas cuarcíferas del Cuaternario (Gajardo, 1972 en Mendoza, 2001). En el área de estudio fue posible identificar los Miembros Lota e Intercalación de dicha unidad.

### Litología y potencia

El miembro Lota de la Formación Curanilahue se compone de areniscas gruesas basales, sobre las que se encuentran areniscas de grano medio a fino intercaladas con arcillas asociadas a mantos de carbón (Muñoz Cristi, 1946). Presenta 9 mantos de carbón intercalados con lutitas, indicativos de un ambiente continental (Mendoza, 2001).

En terreno se observan dos miembros de la formación Curanilahue: Lota e Intercalación. El miembro Lota se define como una secuencia de rocas siliciclásticas de origen netamente continental, compuesta por fangolitas y fangolitas arenosas en intercalaciones irregulares, areniscas fangosas, cuarzo arenita amarillenta con restos vegetales y niveles de carbón que varían a un color verdoso hasta sublitarenita gris verdosa de grano fino a medio e incluso rudita arenosa. Dentro de su composición, abunda el cuarzo y el feldespato, junto con restos orgánicos; presentan

diferencias en la cantidad de tipos de líticos. El color varía entre verdoso a gris y pardo amarillento, lo que lleva a Palma Heldt & Quinzio (2006) a atribuir una variación gradual con la formación Pilpilco. En cuanto a su potencia, los niveles finos pueden ser centimétricos o llegar hasta 2 m de espesor, mientras que las areniscas pueden alcanzar los tres metros. En terreno se observa un espesor máximo de 15 m. Estas características son similares a la descripción de la parte inferior del miembro Lota hecha por Grez (1979), aunque este autor le asigna hasta 176 m de potencia.

El miembro Intercalación se define como una secuencia de rocas siliciclásticas de origen marino, de areniscas gris verdosas a pardo amarillentas de grano fino a medio con niveles locales de litoarenitas y ruditas arenosas con trazas fósiles, niveles de concreciones de hasta 50 cm de espesor y estructuras sedimentarias tales como estratificación cruzada y paralela. Al igual que el miembro anterior, los clastos se componen de cuarzo, feldespatos y líticos en su mayoría, aunque hay mayor grado de redondez en los clastos y una menor cantidad de matriz en las rocas en general. Es diferenciable del miembro anterior por la ausencia de niveles carbonosos o restos vegetales, encontrándose ambos en contacto neto y concordante, además de la presencia de glauconita. En terreno se observó un espesor máximo de 20 m, aunque Grez (1979) le asigna de 40 a 60 m de potencia.

### **Edad**

La edad de la formación Curanilahue es asignada al Eoceno Inferior (Tavera, 1942 en Pineda, 1983), sobre la base del contenido fosilífero del miembro Intercalación, siendo los más característicos *Turritella angusta* y *Tellina subfalcata* (Pineda, 1983).

### **Ambiente de depositación**

Gajardo (1981) define el ambiente de depositación como marino-continental. El miembro Lota, debido a la presencia de materia orgánica, niveles de carbón y restos de hojas, corresponde a un ambiente netamente continental. De todas maneras, los niveles locales de conglomerados indican eventos transgresivos de carácter local. La presencia de *Halogaracidites harrisi* en muestras de polen indica un clima lluvioso (Troncoso & Barrera, 1980), lo que junto a muestras del Reino Fungi y estudios de Gallardo (1995) y Palma Heldt (2010) permite interpretar al miembro Lota como una llanura deltaica con presencia de pantanos, clima tropical y bosques sombríos y

húmedos. Respecto al miembro Intercalación, es posible establecer un ambiente marino de alta energía con una profundidad que varía de somera a intermedia, gracias a los icnofósiles de la facie Skolithos, la laminación paralela y en artesa y las concreciones. Muñoz-Cristi (1968) identifica distintos fósiles marinos, como *Leda oryrrinchia*, *Tellina carbonaria* y *Mytilus stratus* que, junto a la presencia de glauconita, le permiten identificar el ambiente del miembro Intercalación como marino costero con episodios transgresivos que varían entre *foreshore* a *shoreface*.

### **5.2.3 Estratos Molino El Sol (Plioceno-Pleistoceno)**

#### **Definición, distribución y relaciones estratigráficas**

Esta unidad es definida informalmente por Mendoza (2001), y está compuesta por arenas silíceas semiconsolidadas con contenidos de arcillas variables altamente meteorizados y erosionados. Aflora en una franja más o menos continua de dirección NS a N20°E, de aproximadamente 3 km de ancho a lo largo del área costera de la región del Biobío y de la península de Arauco. (Mendoza, 2001). Su localidad tipo se encuentra en el sector de Molino El Sol, ubicado al noreste de la localidad de Ramadillas (Mendoza, 2001). En la zona de estudio aflora en sectores como Lomas Coloradas y Boca Maule, con manteos entre 0° y 5°E, sobreyaciendo en inconformidad al basamento metamórfico.

#### **Litología y potencia**

Corresponden principalmente a arenas no consolidadas, con alto porcentaje de cuarzo. En San Pedro de la Paz (Fotografía 3) se estimó un espesor mínimo de 14 m. Las rocas varían granulométricamente desde rudita a fango, predominando el tamaño arena. Estas presentan colores blanco amarillento a pardo amarillento, identificándose como areniscas fango conglomerádicas con mala selección. En terreno se observó que Composicionalmente corresponden a subarcosas, con alto porcentaje de cuarzo (85% aproximadamente), bajo contenido de arcilla y presencia de lentes milimétricos a centimétricos de materia orgánica.



**Fotografía 3:** *Afloramiento de Estratos Molino El Sol.* Localidad San Pedro de la Paz (18H 667.060 m E/5.916.609 m S) (extraída de Geología de Campo II, 2018)

### **Edad**

Estos depósitos se encuentran en discordancia a la Formación Curanilahue, por tanto, la edad máxima que es posible asignarles es Oligoceno. Teniendo en cuenta además las variaciones del nivel del mar entre el Mioceno Superior y Plioceno Inferior producto de la tectónica de bloques en la cuenca de Arauco (Henríquez, 2006), permitiría asignar la depositación de estas arenas, que representan un paleoborde costero, a este lapso de edad. Sin embargo, en terreno fue posible observar que estas rocas se encuentran poco cohesionadas y con manteos que no sobrepasan los 5°E, es decir, son estratos posteriores a la fase tectónica Quechua, con un rango de edad Plioceno – Pleistoceno.

### **Ambiente de sedimentación**

La presencia de laminación paralela y la buena selección de sus granos permite interpretar un ambiente de alta energía, continuo en el tiempo, por lo que, lo más probable es que se encuentre depositado en ambiente fluvial, cercano a su desembocadura y posteriormente, distribuida por acción del oleaje en las diferentes zonas costeras de la región, durante la génesis de una terraza de abrasión marina, en una época de estabilidad prolongada de la línea de costa (Mendoza, 2011), razón por la cual se conservan minerales más resistentes como el cuarzo. Los sedimentos

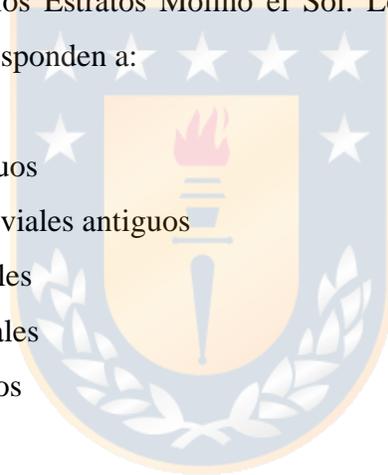
proviene de las rocas graníticas del Batolito de la costa, rocas con alto contenido en cuarzo, representando un paleoborde costero (Mendoza, 2001).

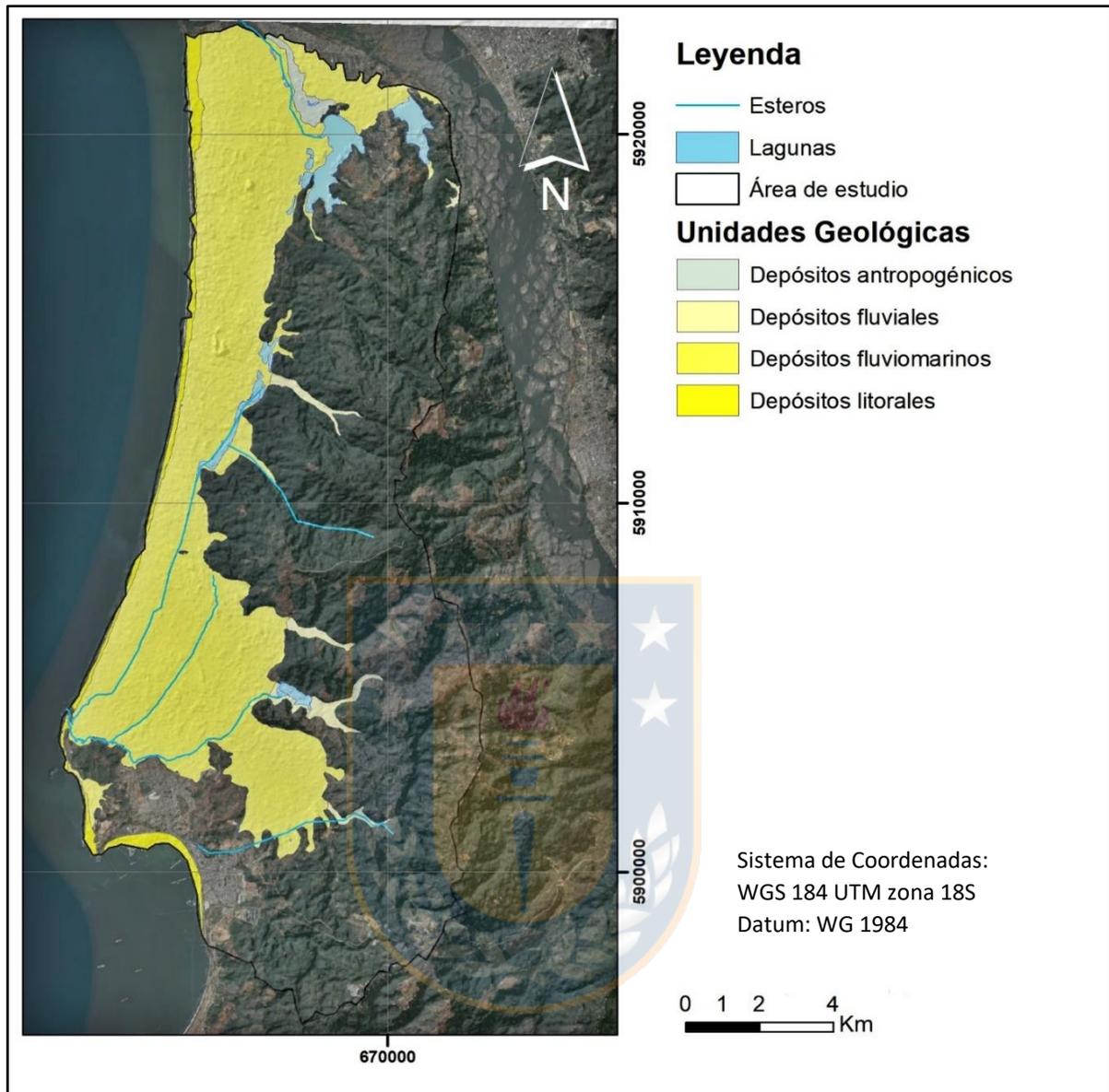
### 5.3 Depósitos Cuaternarios

#### 5.3.1 Definición, distribución y relaciones estratigráficas

Corresponden a depósitos no consolidados de origen marino y fluvial, y a rellenos humanos. En general estos depósitos están compuestos por limo, arena y grava, formados por la meteorización de rocas pre existentes. Su distribución en el área de estudio abarca una superficie de 75,87 km<sup>2</sup>, paralela a la línea de la costa y cercano a lagunas y esteros . Sobreyacen en inconformidad a las rocas del basamento metamórfico, en discordancia angular a la formación Pilpilco y Curanilahue, y de manera concordante a los Estratos Molino el Sol. Los depósitos cuaternarios se pueden observar en la figura 8 y corresponden a:

- Depósitos marinos antiguos
- Depósitos fluviales y aluviales antiguos
- Depósitos marinos actuales
- Depósitos fluviales actuales
- Depósitos antropogénicos





**Figura 8:** *Mapa de depósitos cuaternarios*; distribución de los depósitos no consolidado en el área de estudio (elaboración propia).

### **Depósitos marinos antiguos (Plm): Pleistoceno-Holoceno**

Corresponden a arenas semi-consolidadas a no consolidadas que cubren antiguas terrazas de abrasión marina. Isla *et al.* (2012) señalan que estos depósitos se habrían formado a por la progradación de bermas sucesivas de playas, relacionadas a procesos de transgresión marina ocurridos durante el Holoceno. Estos mismos autores sugieren espesores de 5 a 6 metros para los depósitos, sobre los que se asientan los principales poblados de la zona de estudio. Estos cubren

las zonas donde se emplazaban las antiguas plataformas de abrasión marina y paleocostas (Molina, 2017). Su composición varía de Norte a Sur: desde San Pedro de la Paz hasta Playa Negra, se compone litológicamente de arenas basálticas; en Playa Blanca las arenas cambian totalmente la composición, presentando cuarzo como mineral principal, además de líticos metamórficos y volcánicos.

### **Depósitos fluviales y aluviales antiguos (Plflu): Pleistoceno-Holoceno**

Corresponden a sedimentos semi-consolidados que cubren antiguas terrazas fluviales, y se componen de arena que varía desde muy fina a gruesa, sin plasticidad, con escaso limo y buena selección, subredondeadas, alternadas con depósitos coluviales (Cáceres y Ramírez, 2014). Se distribuyen principalmente al norte del área de estudio, entre las lagunas Grande y Chica y el río Biobío.

### **Depósitos fluviales actuales (Hflu): Holoceno**

Corresponden a depósitos no consolidados que se encuentran rellenando valles fluviales, asociados a esteros y quebradas como el estero Villa Mora, laguna La Posada y la quebrada Quiñenco. Se caracterizan por ser mal seleccionados, con granulometría que varía de arena muy fina a fina, y estar compuestos por cuarzo y minerales ferromagnesianos en menor medida. Estos depósitos sobreyacen a los depósitos fluvio-marinos en concordancia. Además, el río sigue depositando material terrígeno y antropogénico (plásticos) actualmente.

### **Depósitos litorales actuales (Hm): Holoceno**

Depósitos marinos y eólicos de arena no consolidados y dunas que se distribuyen en las zonas costeras, cuyas coloraciones y composiciones son similares a los depósitos fluvio-marinos. Los tamaños de los sedimentos varían de arena fina a media, con bajo contenido de limos y presencia de cuarzo y micas, además de minerales ferromagnesianos. Presenta Compacidad suelta a media, a menos de 10 m de profundidad y compacta a muy compacta, bajo los 10 m (Cáceres y Ramírez, 2014). Estos depósitos se distribuyen de forma paralela a la actual línea de costa.

### **Depósitos antropogénicos (Han): Holoceno**

Corresponden a depósitos de relleno cuyo origen es por actividad humana. Estos se observan en San Pedro de la Paz, en la zona occidental de la población Candelaria, alrededor del estero los Batros y en la ciudad de Coronel. Son depósitos de composición y espesor muy variados. Contienen, entre otros materiales, arenas, limos arcillas, escombros de construcción, residuos domiciliarios, restos orgánicos y escorias de fundición. Los espesores varían entre 1 y 12 m en algunos terraplenes de calles y puentes. Se les asigna una edad holocena ya que fueron depositados por acción del ser humano moderno, dentro del siglo XX.

#### **5.3.2 Edad y ambiente de depositación**

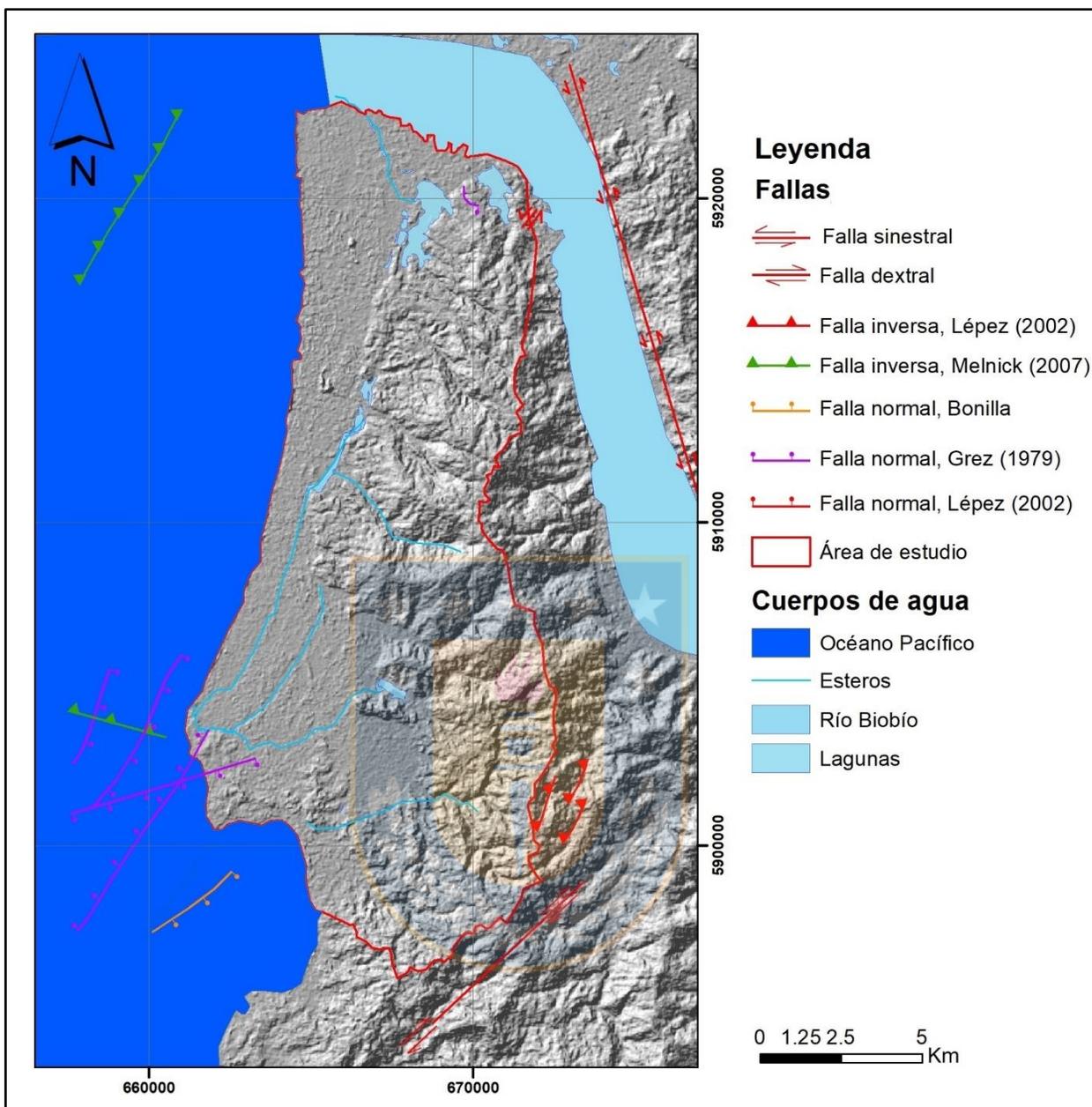
Se puede asignar edad Holoceno a estos depósitos, debido a su relación de contacto con los estratos Molinos el Sol y su grado de consolidación. Se diferencian entre sí en el ambiente de depositación. Por un lado, los depósitos fluviales antiguos habrían sido depositados en un ambiente fluvio-deltaico con material proveniente de las lavas del Volcán Antuco (Cáceres y Ramírez, 2014), mientras los depósitos fluviales actuales asociados a quebradas y esteros, provendrían de la erosión del batolito costero y en parte del basamento metamórfico. Por su parte, los depósitos marinos antiguos y actuales, se formaron luego de las transgresiones del Holoceno, por progradación al momento de iniciar la regresión, ocurriendo esta última producto del solevantamiento tectónico, evidenciado por las líneas de paleo costa (Isla *et al.*, 2012). Estas edades son respaldadas con dataciones en arenas litorales próximas al área de estudio (golfo de Arauco), con carbono -14 en caparzones rotos de bivalvos, obteniendo edades calibradas de  $8.010 \pm 90$  a  $3.870 \pm 80$  antes del presente (Isla *et al.*, 2012). En el sector de Playa Blanca, las arenas provienen de la erosión del Batolito Costero, por parte de pequeños cursos de agua y quebradas cercanas.

## 6 MARCO GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área de estudio se circunscribe tectónicamente en el golfo de Arauco, y se ubica entre dos zonas de falla: al norte la falla Biobío, la que controla el cauce del río homónimo, es de tipo transcurrente dextral (Leppez, 2002) y ha sido interpretada como una zona de debilidad de origen pre-andino; y al sur la falla Patagual-Pileo, de carácter siniestral (Gormaz, 2020). Las estructuras que presentan las rocas del área de estudio (figura 9) corresponden principalmente a fallas, las cuales afectan tanto a las rocas del basamento metamórfico, como a las rocas de las formaciones Pilpilco y Curanilahue. Molina (2017) registra fallas normales en las antiguas minas de carbón de la comuna de Coronel, mientras Wenzel (1982) propone un sistema de horst y graben que modela el afloramiento de las rocas del cenozoico en Coronel. En el sector de Andalué, San Pedro de la Paz, se observaron fallas normales con un componente en el rumbo, las que afectan al basamento metamórfico (Gormaz, 2020).

Se confeccionó un mapa estructural mediante observaciones de terreno y bibliografía, donde se observa que todas las fallas son del tipo normal o transcurrentes.

Las fallas normales presentan altos ángulos de manteo y en especial, las fallas que afectan a las secuencias sedimentarias del Paleoceno-Eoceno. De acuerdo a Wenzel (1982) estas se disponen en un sistema de horst y graben, lo que explica el basculamiento hacia el W de los mantos de carbón del miembro Lota de la Formación Curanilahue (Molina, 2017). Una falla importante a tener en cuenta es la falla Coronel, la cual atraviesa el centro cívico de la ciudad, de orientación N35°E y longitud de 5 km aproximadamente, y que presenta fallas secundarias probablemente asociadas a esta estructura mayor (Molina, 2017).



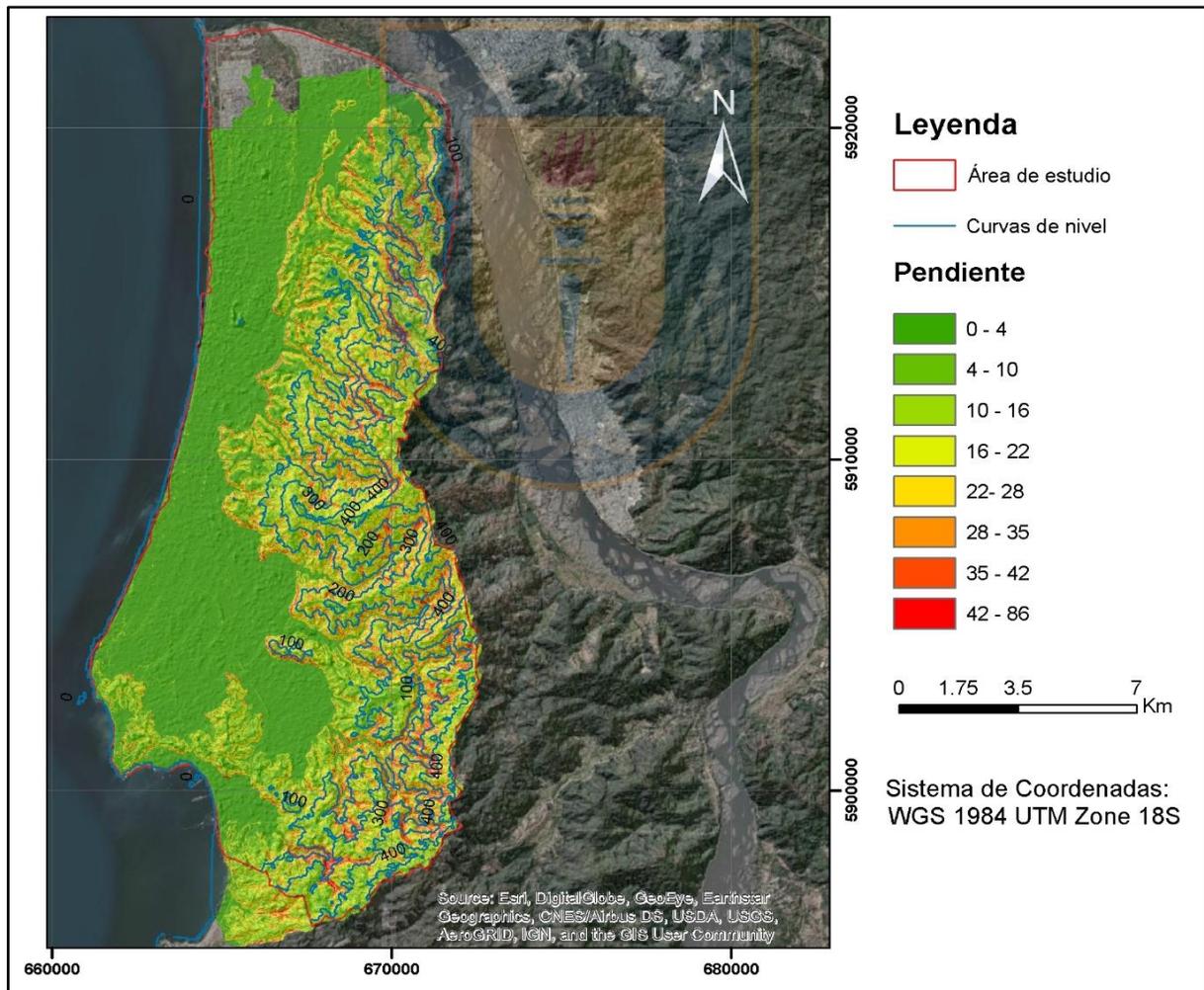
**Figura 9:** *Mapa geología estructural*, fallas dentro y próximas al área de estudio (extraída y modificada de Geología de Campo II, 2018)

## 7 RESULTADOS

### 7.1 Red hídrica

En general, el régimen hidrológico de los cursos de agua del área de estudio es de tipo pluvial, con crecidas rápidas durante los meses de mayores lluvias, y estiaje muy marcado en los meses de verano, estación en la que algunos cursos no se secan totalmente; se caracteriza por una red de drenaje ramificada (PRAS, 2018).

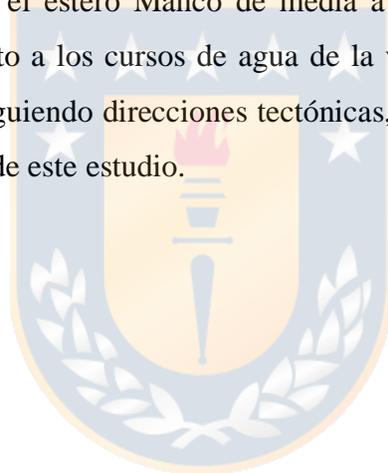
Los esteros son cortos y de pendientes pronunciadas, con cabeceras insertas en la cordillera Nahuelbuta a altitudes de 400 a 500 metros (Figura 10).

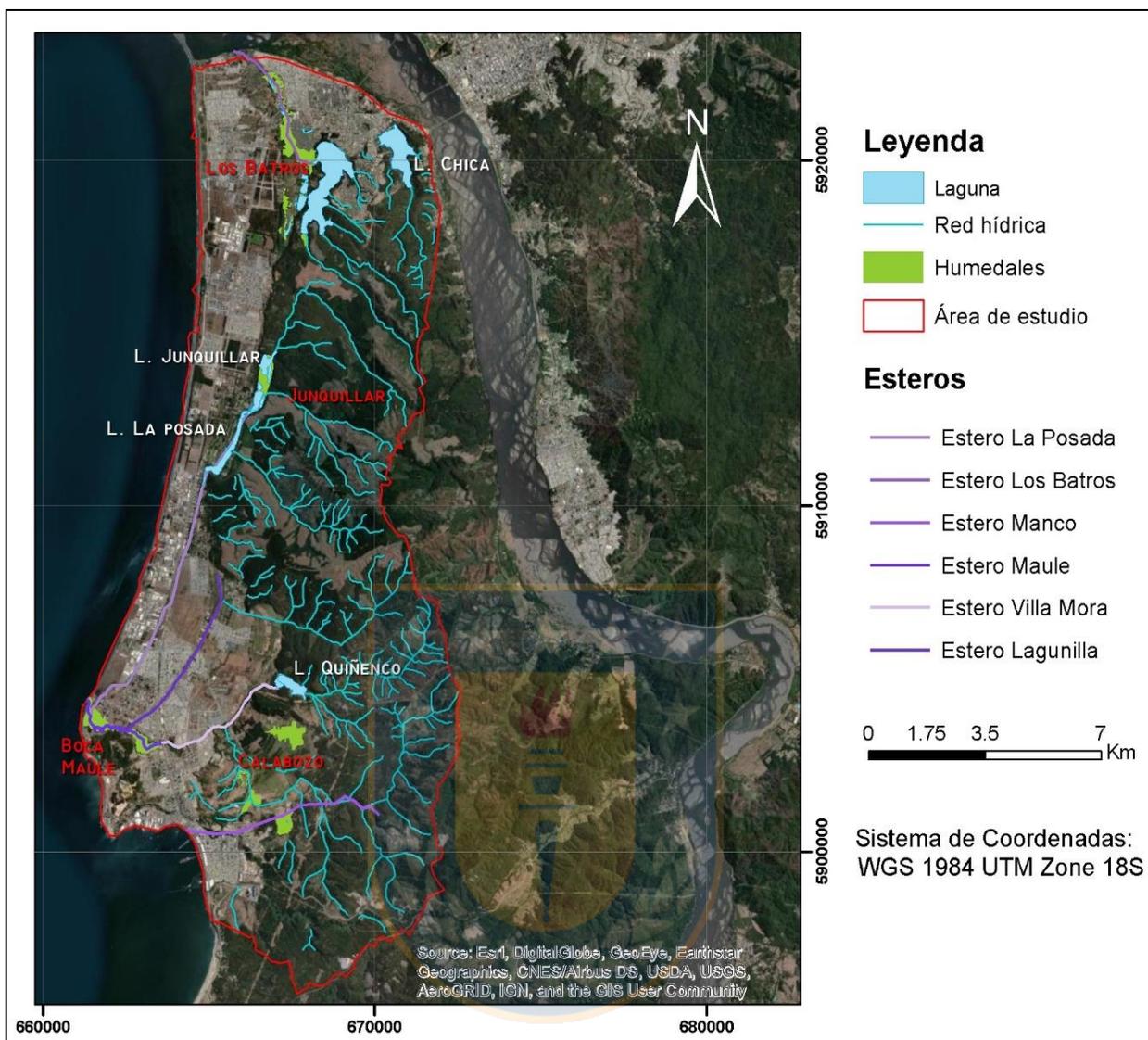


**Figura 10:** Mapa de pendientes en grados y curvas de nivel del área de estudio. (elaboración propia en base a Modelo de Elevación Digital de resolución de 5m).

En consecuencia, tienen cursos con crecidas muy rápida y fuerte energía. Los cursos de aguas principales que drenan hacia el Golfo de Arauco tienen direcciones de Este a Oeste. Destacando los siguientes esteros: Estero Los Batros, Estero Villa Mora, Estero Lagunilla, Estero Maule y Estero Manco (Figura 11).

El estero más al norte dentro del área corresponde al estero Los Batros, que drena agua de la Laguna Grande de San Pedro de la Paz, y está asociado el humedal Los Batros. El resto se localiza en Coronel, drenando aguas pluviales provenientes de diferentes subcuencas de la vertiente occidental de la Cordillera Nahuelbuta, con orientación N-S o de E-W. En el caso del estero Manco, en la zona sur de Coronel, coincide con las cotas más bajas del terreno, por tanto, drena tanto escurrimiento superficial como subterráneo de la llanura. Debido a esto se postula la existencia de un acuífero en el estero Manco de media a alta vulnerabilidad (IHS ingenieros Civiles Ltda. 2006). En cuanto a los cursos de agua de la vertiente Oriental de Coronel, tienen orientaciones de SW a NE siguiendo direcciones tectónicas, desembocando principalmente en el río Biobío y no forman parte de este estudio.





**Figura 11:** *Mapa de red de hídrica con principales esteros.* Nombres de humedales en rojo y de lagunas en blanco (elaboración propia).

## 7.2 Lagunas y humedales

En la parte norte de área se encuentra la comuna de San Pedro de la Paz, la que presenta tres lagunas: Laguna Grande, Laguna Chica y Junquillar; y dos humedales: Los Batros y Junquillar. En la parte central y sur del área se encuentra la ciudad de Coronel, donde se encuentran las lagunas La Posada y Quiñenco, siendo esta última la principal fuente de agua potable para la comuna de Coronel (Parra *et al.*, 2003). Por otro lado, los humedales de la ciudad son: humedal Calabozo, Lagunilla y Boca Sur

- **Laguna Chica de San Pedro:** Se emplaza en la punta norte de la cordillera Nahuelbuta, en la denominada quebrada Llacolén. En el Cuaternario reciente, esta quebrada tuvo conexión directa con el mar, pero fue obstruida por la deposición de las arenas del delta Biobío y por la formación de dunas y cordones litorales, dando origen a la laguna. Actualmente tendría un espejo de agua de 72 ha, la profundidad máxima de 18m, un largo de 1,78 km en su eje norte sur, y presenta un régimen pluvial (Parra *et al.*, 2011). No obstante, el área del espejo de agua no coincide con la calculada en base a la foto satelital de Digitalglobe 2017, que resulta en 83 ha.
- **Laguna Grande de San Pedro:** Se emplaza en el contacto entre los relieves bajos (plataformas marinas) y relieves altos (terrazas). La superficie del cuerpo de agua es de 162 ha, con una longitud en el eje norte sur de 2,7 Km y 13,5 m de profundidad. Sin embargo, se calcula un área de 163,5 ha, en base a imágenes satelitales de Digitalglobe 2017. Se alimenta de la Laguna Chica y de las aguas de los esteros y quebradas que bajan de los relieves altos de la cordillera de Nahuelbuta y de las terrazas marinas. En la parte norte, la laguna está represada por la sedimentación arenosa de la llanura fluvio marina y su desagüe se produce a través del humedal Los Batros (Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2011).
- **Laguna Junquillar:** Corresponde a un cuerpo de agua que tiene una profundidad media de 2,5 m aproximadamente y un área aproximada de 18 ha. Es drenado principalmente hacia la laguna La Posada ubicada en la comuna de Coronel. Esta se encuentra entre el faldeo Occidental de los cerros de la cordillera de Nahuelbuta (Altos de Catiray) y la playa de Escuadrón en el golfo de Arauco.
- **Laguna La Posada:** Se emplaza entre la ruta 160 y la cordillera de Nahuelbuta, tiene una profundidad máxima de 4,5 m y un área de 39 ha. Es alimentada por aguas pluviales proveniente

de las quebradas adyacentes, principalmente de la quebrada La Posada. Y es drenada principalmente por el estero La Posada, que a su vez desagua a la Laguna Junquillar.

**Tabla 6: Resumen de los parámetros morfológicos e hidrológicos de las lagunas del área de estudio**, durante invierno. Áreas en base a imagen satelital 2011; además de fuentes bibliográficas: Parra *et al* 1999 y Dellarossa *et al* 1976.

Parámetros	Laguna Chica de San Pedro	Laguna Grande de San Pedro	Laguna Junquillar	Laguna La Posada	Laguna Quiñenco
Área del lago (km <sup>2</sup> )	0,83	1,63	0,18	0,39	0,29
Profundidad media (m)	10,3	8,3	2,5	-	3,0
Profundidad máxima (m)	18,5	13,5	-	4,5	6,1
Volumen (km <sup>3</sup> )	0,00860	0,0128	0,0035	0,009	0,0009
Precipitaciones (mm/año)	1.120,23	1.120,23	1.120,23	1.120,23	1.120,23
Tiempo teórico de renovación (meses)	-	24,0	-		
Profundidad cripto depresión (m)	13	9,5	-	1,1	

Los cuerpos intermitentes dentro de la zona suelen formar humedales, debido a las características topográficas, hidrogeológicas y meteorológicas del lugar. Los principales humedales son: Los Batros, Junquillar, Boca Maule, Calabozo y otros menores asociados al estero Lagunilla y a cuerpos de agua encharcados (Figura 11).

- **Humedal Los Batros:** Corresponde a un ecosistema constituido por el estero Los Batros más el área de inundación asociada, cuya hoya hidrográfica es de aproximadamente 127,0 ha., su régimen de alimentación es cien por ciento pluvial y se encuentra regulado por la Laguna Grande de San Pedro (Parra *et al.*, 2011).
- **Humedal Junquillar:** Humedal que recibe aguas fluviales del estero la Posada y está espacialmente asociado a la laguna Junquillar. Se ubica en el límite sur de San Pedro de la Paz, a pocos kilómetros al este la ruta 160. Mediante fotos satelitales de Digitalglobe 2017, se calcula un área de 49,3 ha para este humedal.
- **Humedal Calabozo:** Humedal urbano tiene una superficie de aproximadamente 300 hectáreas y se localiza en la planicie litoral del territorio comunal, entre la ladera poniente de la cordillera de Nahuelbuta y la Ruta 160 ByPass Coronel, en el sector denominado Calabozo. Este humedal es un importante receptor de aguas pluviales provenientes de las quebradas del macizo montañoso. Debido a su proximidad a la ciudad tiene el riesgo de ser invadido por construcción, lo que generaría inundaciones en el sector, dada su morfología

plana, baja pendiente y cercanía del nivel freático con la superficie (Municipalidad de San Pedro de la Paz, 2011).

- **Humedal Boca Maule:** Humedal costero palustre, recibe aguas fluviales de los esteros La Posada, Lagunilla y Maule, asociada espacialmente a este último. De acuerdo a imágenes satelitales de Digitalglobe 2017, este presenta un área de 73,3 ha. En el coexisten 69 especies diferentes de aves, mamíferos y anfibios, de los cuales 62 de ellas corresponden a especies de la fauna nativa y/o endémica de nuestro país, incluso algunas de ellas catalogadas como “casi amenazadas” o “vulnerables”. Debido a esto fueron postuladas 70,0 ha de este humedal como Santuario de la naturaleza (áreas las protegidas), siendo rechazado el 2015 desfavorablemente para la comunidad de Coronel (MMA, 2018).

### 7.3 Delimitación de las subcuencas hidrográficas

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por una divisora de aguas (parte más alta de las montañas), en los que se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común, llamado punto de salida de la cuenca. Este último puede ser un lago, formando una cuenca endorreica; o el mar, formando una cuenca exorreica (Cotler *et al.*, 2013).

Para el área de estudio se confeccionó, mediante ArcGIS y DEM de 5 m, un mapa de microcuencas, el cual contó con un total de 105 cuencas, de las cuales solo 11 presentan más de 1 km<sup>2</sup> de área. Es posible observar que las microcuencas de mayor extensión se hallan en la parte central del área de estudio, mientras que las ubicadas en la costa se son mucho más numerosas, pero con menores dimensiones.

Para facilitar la entrega de información, se agrupa el total de microcuencas en 7 cuencas de mayores dimensiones (Figura 12), teniendo en consideración la topografía, posición geográfica y, los cursos y cuerpos de agua principales insertos en estas.

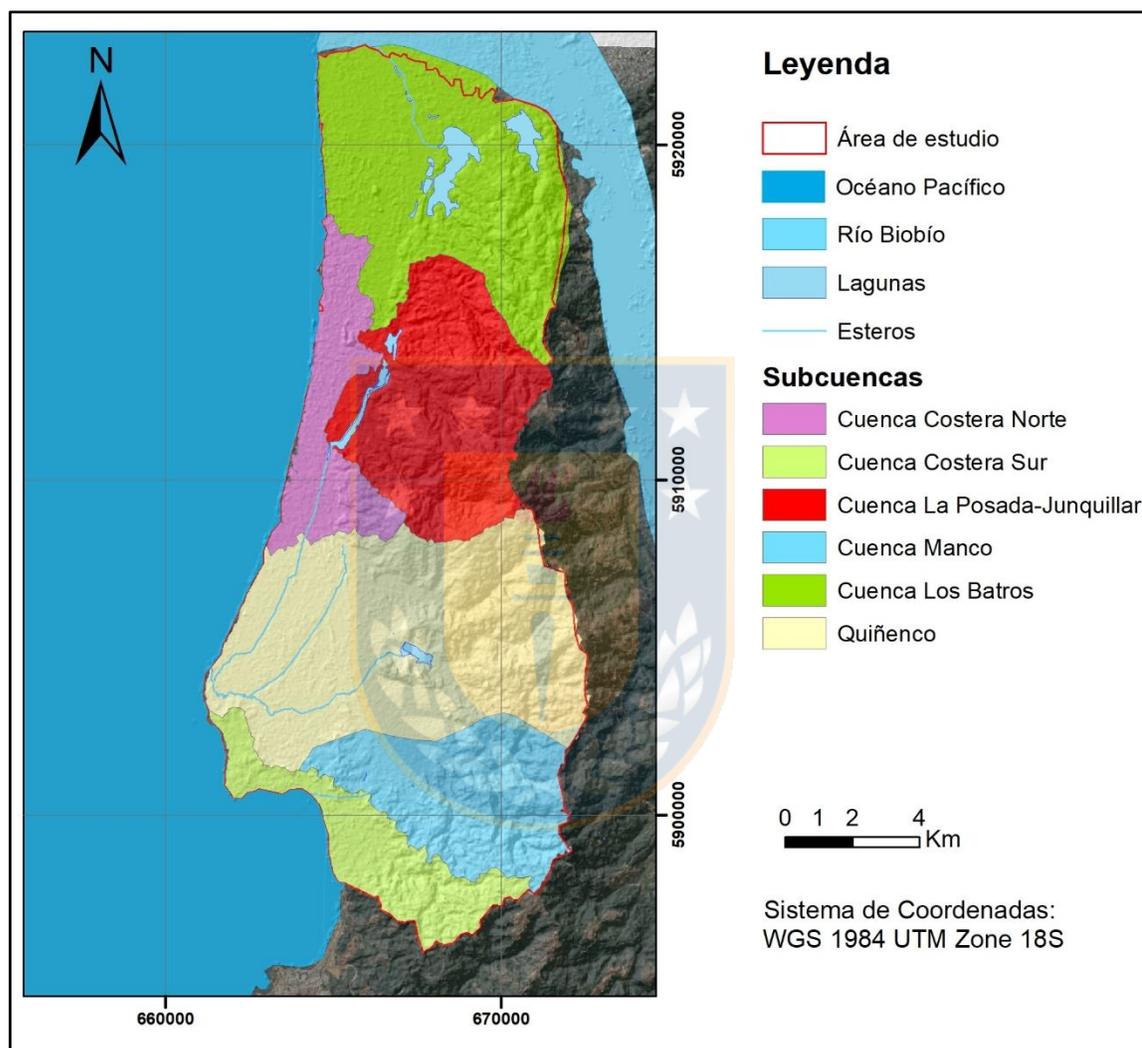
Las cuencas se nombraron de la siguiente manera:

- Cuenca Los Batros
- Cuenca Costera Norte
- Cuenca La Posada-Junquillar
- Cuenca Quiñenco

- Cuenca Costera Sur

- Cuenca Manco

Se dejó afuera las microcuencas presentes en el extremo E, debido a que la escorrentía costestudio.



**Figura 12:** *Mapa con subcuencas*, a partir de las microcuencas agrupadas y cuerpos de agua. (Elaboración propia)

#### 7.4 Series de suelos

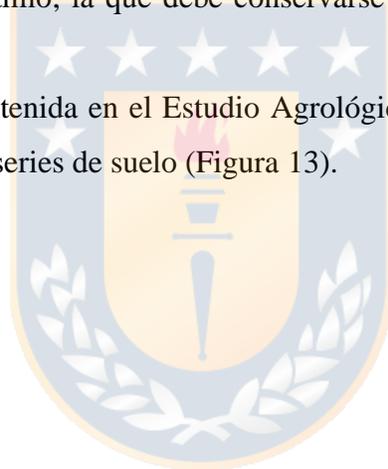
Para realizar un estudio hidrogeológico detallado es necesario conocer los tipos y usos de los suelos presentes en el área, pues estos presentan diferentes granulometrías, mineralogías y características hídricas que influirán tanto en la escorrentía superficial como en la infiltración de agua, es decir, en la recarga del acuífero.

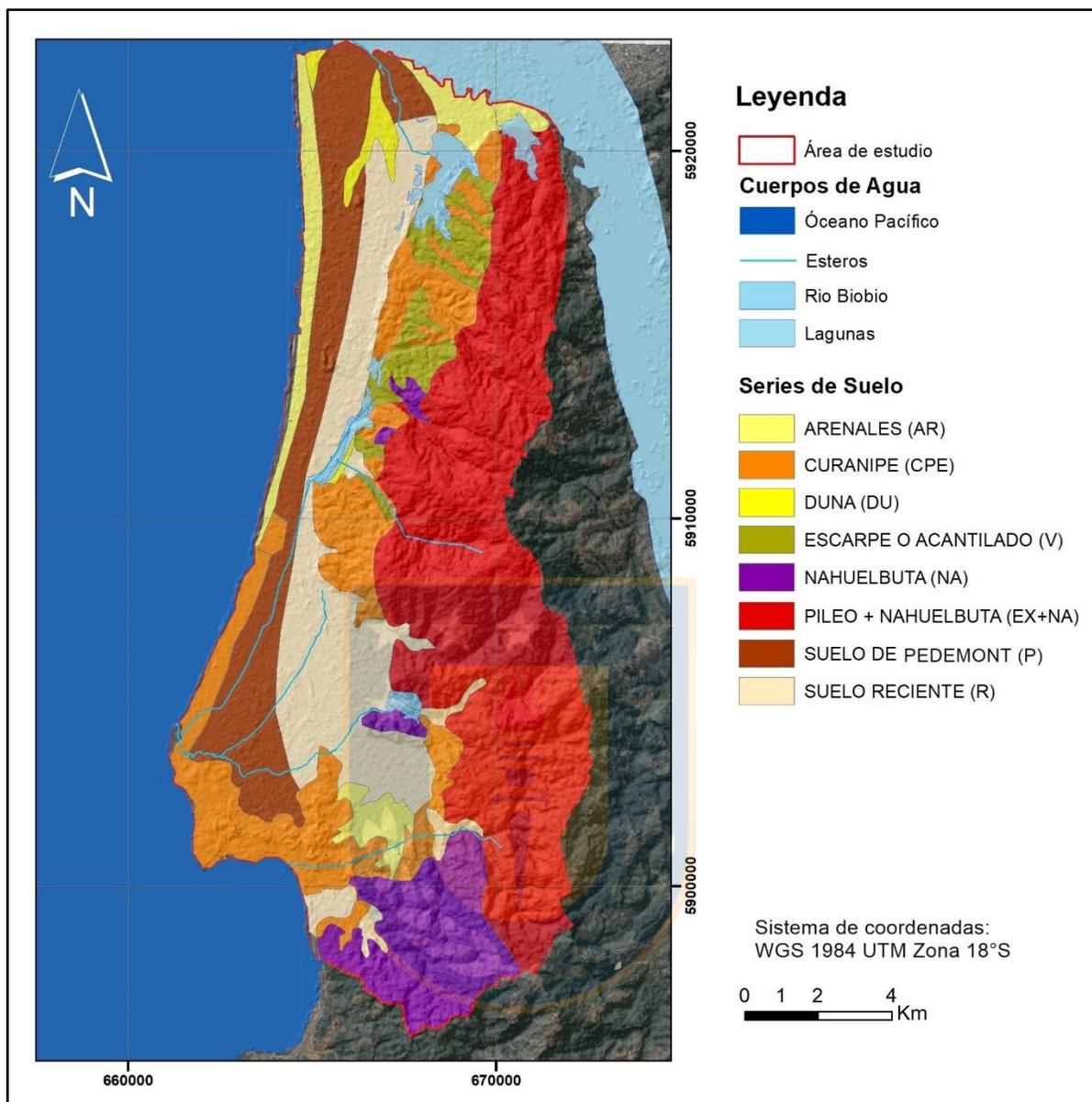
Una serie de suelo es una clasificación en edafología, que agrupa suelos con características físicas, químicas y biológicas similares. Es definida en un lugar determinado, sin embargo, es útil al momento de asignar propiedades fisicoquímicas e hídricas en otro suelo con características de terreno similares. Debido a esto es una herramienta útil al momento de realizar cambios en el uso de suelo de un sector. Este estudio considera 7 series de suelo en base a Ciren (1999) y Martínez (2004), las que corresponden a:

- **Serie Arenales:** Suelos aluviales, recientes, profundos (90 a 150 cm), de escaso desarrollo, derivados de las arenas volcánicas y con textura gruesa en todo el perfil. Su drenaje es bueno a excesivo, con permeabilidad rápida a muy rápida y escurrimiento superficial lento (Ciren, 1999).
- **Serie Curanipe:** Suelos profundos, bien evolucionados, de textura franco-arcillosa y color pardo rojizo. Ocupan posición de terrazas marinas y presentan un buen drenaje; de buena porosidad y permeabilidad moderada (Ciren, 1999).
- **Serie Nahuelbuta:** Suelos profundos (80 a 200 cm) formados a partir de rocas metamórficas, con textura arcillosa y de color pardo rojizo oscuro. Ocupa posiciones escarpadas con pendientes sobre 20%; aquellas con pendiente de 30 a 50% muestran una erosión y drenaje excesivo (Ciren, 1999).
- **Serie Pileo + Nahuelbuta:** Suelos formados *in situ* a partir de rocas graníticas, son bien evolucionados, de texturas arcillosas en todo el perfil, color pardo rojizo amarillento en la superficie y color rojo amarillento en profundidad. Descansan sobre un sustrato constituido por roca granítica muy meteorizada y rica en cuarzo y feldespatos, ocupando una posición topográfica de cerros y lomajes. Ocasionalmente, presentan cristales y gravilla granítica tanto en la superficie como en profundidad. La profundidad efectiva del suelo fluctúa entre profunda y moderadamente profunda, ocasionalmente delgada y asociada al grado de erosión que presentan estos suelos. Son suelos de buen drenaje y sólo en los sectores suavemente ondulados y/o deprimidos presentan abundantes concreciones ferromangánicas.

- **Serie de Duna:** Corresponde a terrenos arenosos, de topografía ondulada pero que han sido estabilizados y/o mantiene cubierta herbácea pobre. Textura arenosa fina, no presenta plastisidad. Entre los 17 y 110 cm de profundidad es adhesivo en húmedo. Proviene de areniscas andesíticas y basálticas, y presentan un drenaje excesivamente bueno.
- **Suelo Reciente:** Corresponde a terrenos de texturas franco arenosa a arena francosa, muy delgados, planos y con microrelieve moderado y de drenaje excesivo (Martínez, 2004).
- **Suelo Pedemont:** Corresponde a sedimento de textura franca proveniente de erosión de la cordillera de Nahuelbuta. Se ubica en terrazas relictas, donde la topografía es ligeramente ondulada con 2 a 5% de pendiente (Martínez, 2004).
- **Escarpe y Acantilado:** Corresponde a quiebres abruptos, de pendiente superior a 60%. Gran parte de esta unidad está cubierta por vegetación arbustiva, especialmente en los sectores con influencia de clima marítimo, la que debe conservarse a objeto de evitar procesos erosivos acelerados (Ciren, 1999).

En base a la información contenida en el Estudio Agrológico de la VIII y VII Región (CIREN, 1999) se elaboró un mapa de series de suelo (Figura 13).





**Figura 13:** *Mapa de serie de suelos*; las nueve series de suelo descritas dentro del área de estudio  
(Elaboración propia en base a CIREN, 1999)

A partir del mapa de la figura 13 se obtienen las áreas de cada serie las que se puede observar la tabla 7.

**Tabla 7: Área de series de suelo dentro de la zona de estudio.**

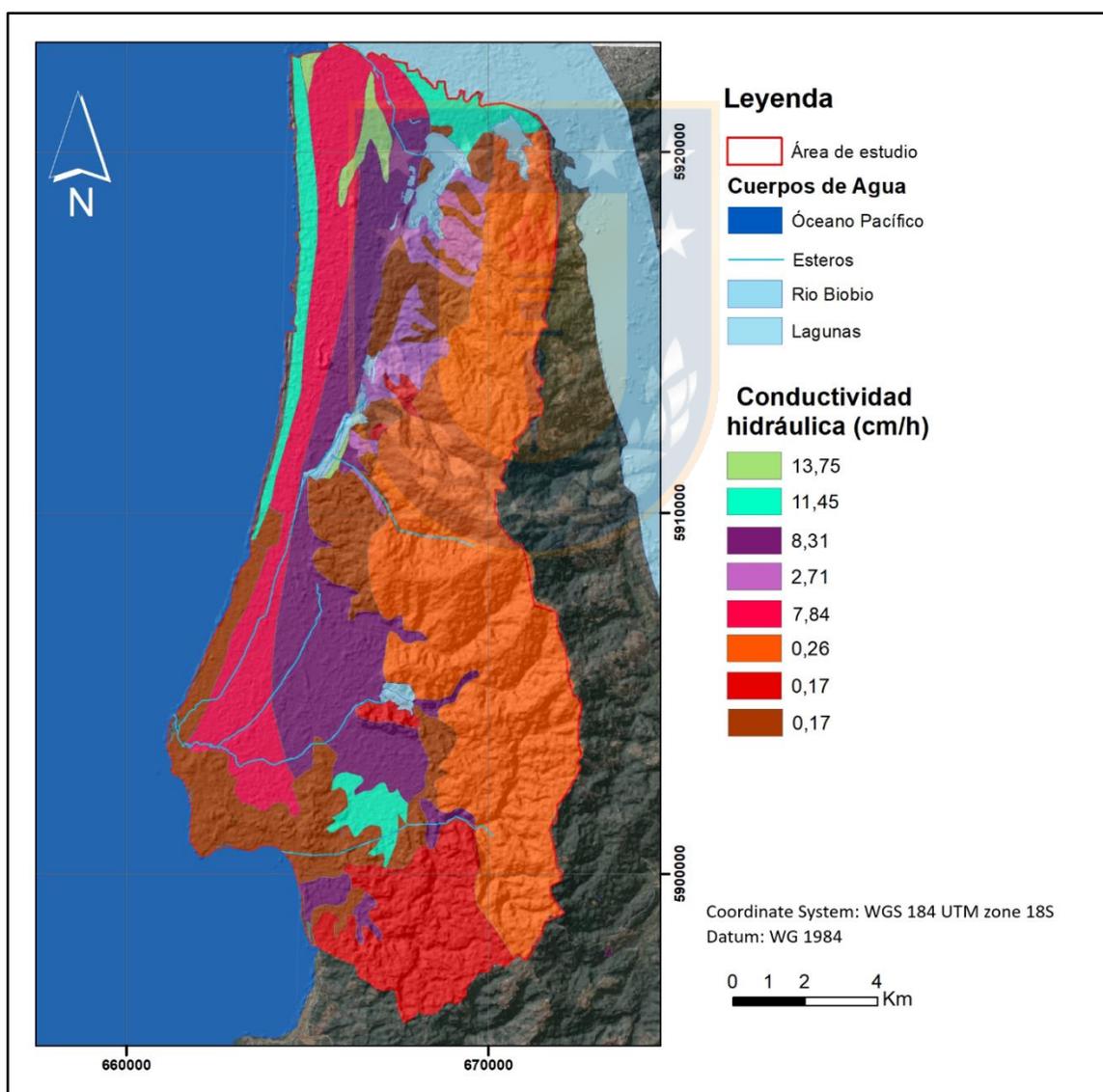
Serie de Suelo	Área (Ha)	%Área
ARENALES	1.262,81	3,70
CURANIPE	3.241,87	14,81
NAHUELBUTA	1.645,31	27,70
PILEO + NAHUELBUTA (EX+NA)	6.922,25	
ESCARPE Y ACANTILADO	745,26	0,93
SUELO RECIENTE	3.070,53	46,29
SUELO PEDEMONT	2431,49	5,55
DUNAS	185,40	0,93
TOTAL DE ÁREA	19.506,28	100

Se calcularon las características hidráulicas de cada serie de suelo, mediante el triángulo de las texturas del suelo propuesto por Saxton *et al* (1986), en base a la granulometría descrita en Ciren (1999) (Anexo 8). Las características hidráulicas calculadas son:

- Punto de marchitez permanente (Pm): grado de humedad en el suelo dado cuando las plantas no pueden absorber más agua.
- Capacidad de campo (Cc): grado de humedad en el suelo al momento en que ha perdido agua gravítica, es decir, corresponde al límite superior drenado.
- Densidad aparente (Dg): se utiliza para determinar la porosidad del suelo.
- Saturación (Sat): peso de agua en una muestra respecto al peso de la muestra seca.
- Conductividad hidráulica (Ch): o permeabilidad, es la facilidad con que un material deja pasar el agua en su interior (figura 14).
- Agua disponible (ad): diferencia entre CC-PM.

**Tabla 8: Características hidráulicas de series de suelo.** Fuente Saxton *et al* (1986).

Serie	Pto marchitez (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Capacidad de campo (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Saturación (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Conductividad hidráulica (cm/h)	Agua disponible (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
Arenales	0,02	0,08	2,3	0,13	11,45	0,05
Curanipe	0,25	0,37	1,28	0,52	0,17	0,13
Dunas	0,04	0,11	1,83	0,31	13,75	0,07
Nahuelbuta	0,27	0,4	1,26	0,53	0,17	0,13
Reciente	0,05	0,14	1,75	0,34	8,31	0,09
Pedemont	0,05	0,14	1,88	0,29	7,84	0,10
Escarpe	0,10	0,28	1,46	0,45	2,71	0,19
Píleo + Nahuelbuta	0,37	0,51	1,18	0,55	0,26	0,14



**Figura 14: Conductividades (cm/h) de series de suelo** (elaboración propia).

### 7.4.1 Grupo Hidrológico por Serie de Suelo

Se clasifica cada serie de suelo en un grupo hidrológico, mediante el triángulo propuesto por Saxton *et al.* (1986), ploteando la granulometría descrita en el Estudio Agrológico de la VIII y VII Región (CIREN, 1999) y en la memoria para optar al título de Gormaz (2020) para cada serie de suelo (Figura 15 y Anexo 8). La distribución de los grupos hidrogeológicos se puede ver en la figura 16.

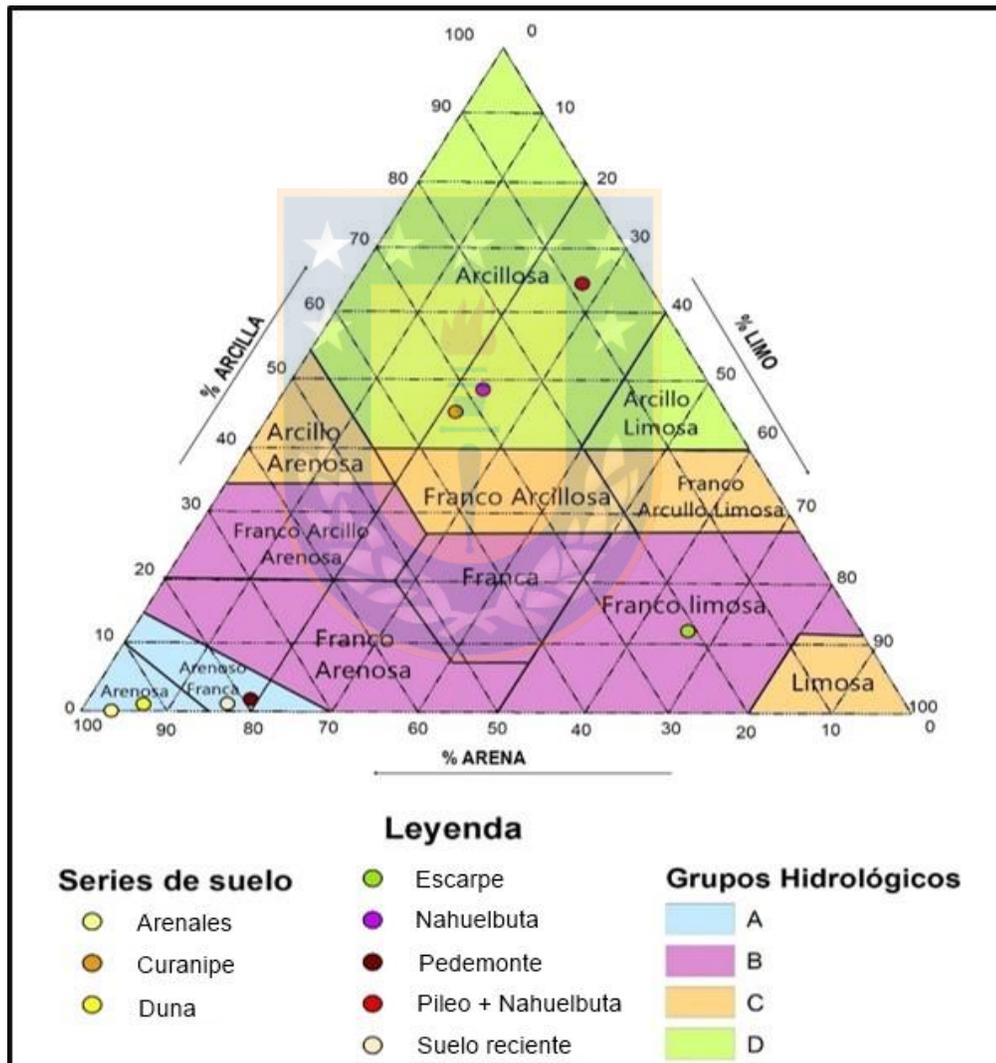


Figura 15: Triángulo de texturas correspondientes a grupos hidrológicos para cada serie de suelos: A, B y D (modificación de Saxton *et al.*, 1986).

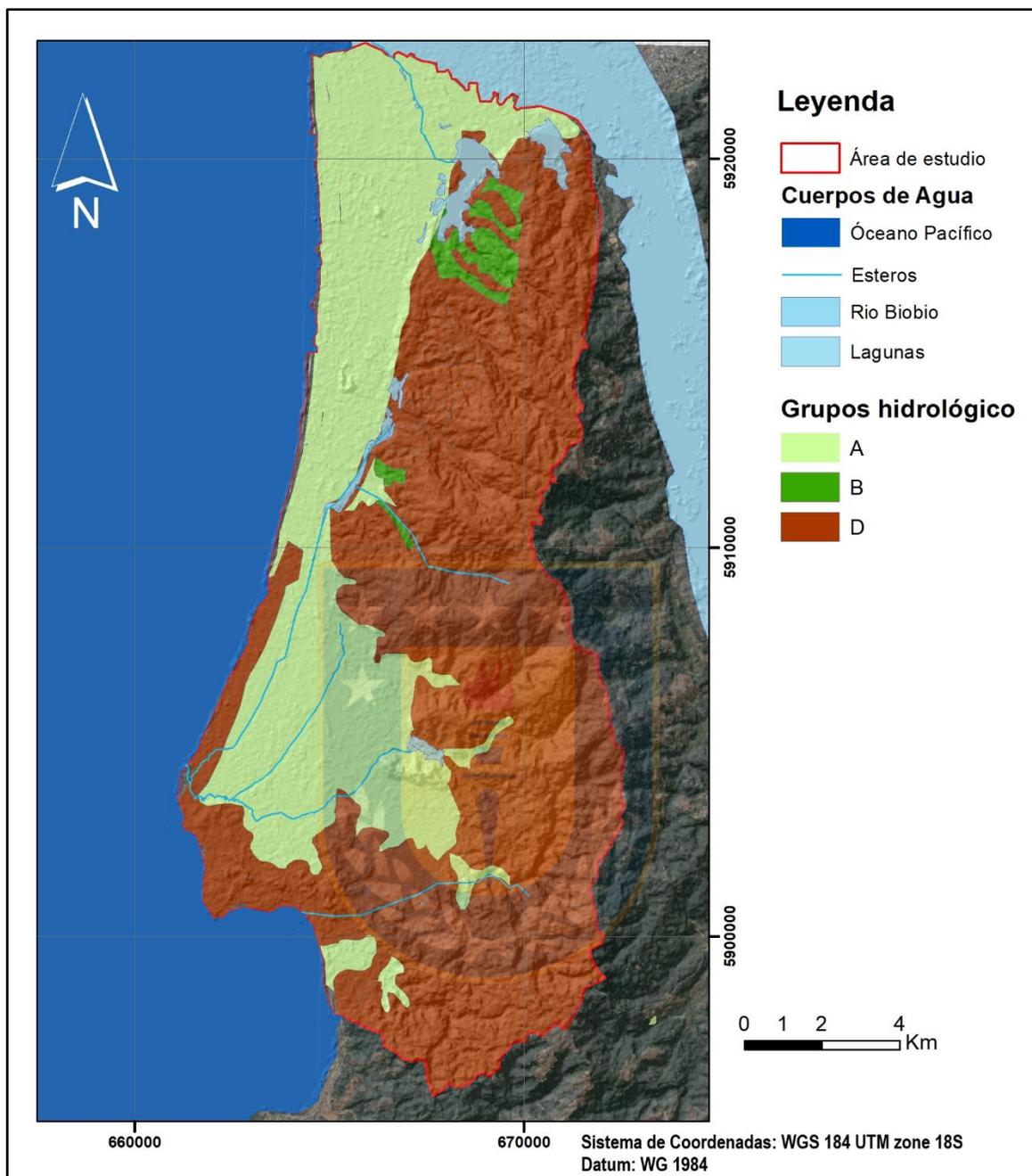


Figura 16: Mapa de los grupos hidrológico de cada serie de suelo. (Elaboración propia).

### 7.4.2 Uso de Suelo

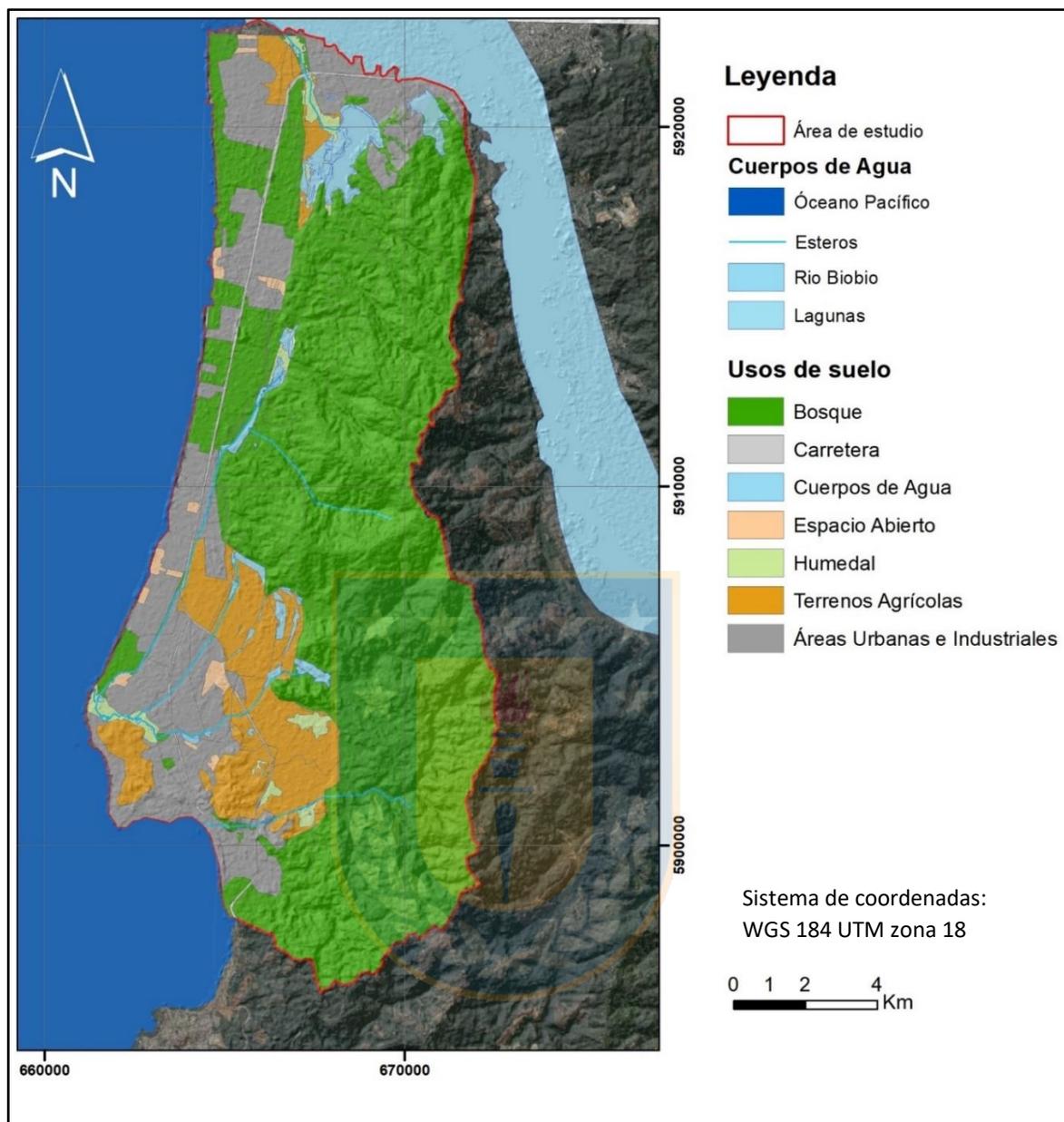
Uso de suelo es un término para referirse a la actividad (origen natural o antropogénico) que tiene un terreno. Cada vez que decidimos construir algo en un paisaje natural realizamos un cambio en el uso de suelo, y desplazamos una fracción de un ecosistema que cumplía una función, en otras palabras, prestaba un “servicio ambiental”.

Los usos de suelos presentes en el área de estudio se agruparon en: Bosques y plantaciones, Humedales, Áreas urbanas e industriales, Cuerpos de agua, Terrenos agrícolas y Carretera (Ruta 16). Especialmente la división se realizó a partir de un *shape* facilitado por el EULA 2019 (figura 17)

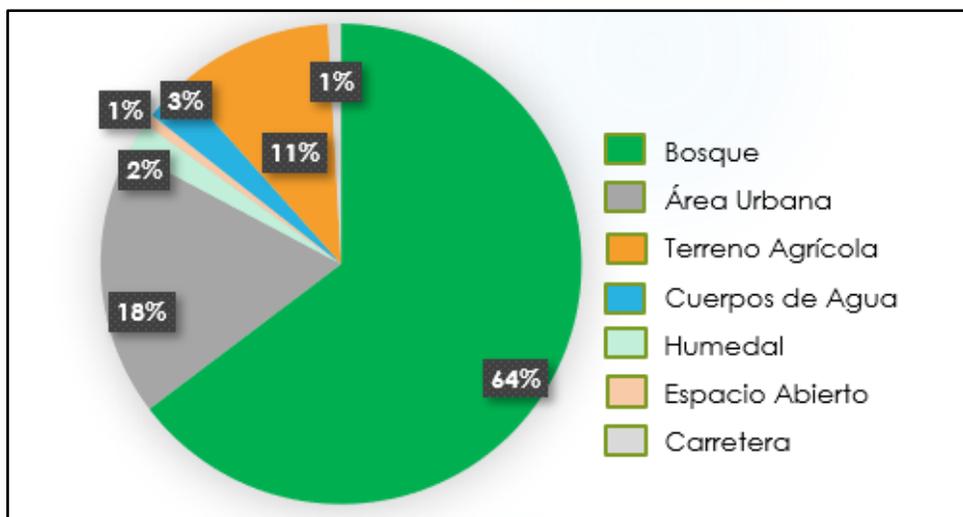
En la tabla 9 se puede ver el área en hectárea de cada serie de suelo dentro de un uso de suelo, se representan los usos de suelo en el gráfico 1

**Tabla 9: Área (km<sup>2</sup>) de los usos de suelo dentro de las series de suelo** (porcentaje de los valores dentro de las series como del área total en anexo 9). B: Bosque, AU: Área Urbana, H: Humedal, EA: Espacios Abiertos, CA: Cuerpos de Agua, TA: Terreno Agrícola y C: Carreter.

Usos de Suelos	B	AU	H	EA	CA	TA	C
Escarpe	6,80	0,31	0,26	0,00	0,39	0,00	0,00
Dunas	1,05	0,37	0,00	0,00	0,00	0,39	0,04
Suelo Reciente	10,34	7,24	2,12	0,46	1,35	11,11	0,26
Suelo Pedemont	4,20	15,47	0,88	0,36	0,02	1,85	0,81
Curanipe	15,02	8,27	0,69	0,36	1,89	5,90	0,13
Nahuelbuta	15,85	0,12	0,02	0,11	0,00	0,00	0,47
Píleo + Nahuelbuta	69,13	0,00	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00
Arenales	56,49	4,51	0,28	0,23	0,72	2,28	0,05
Total	126,89	36,29	4,23	1,51	5,57	21,53	1,76



**Figura 17:** *Mapa de usos de suelo en el área de estudio* (Elaboración propia).



**Gráfico 1: Porcentaje de usos de suelo** en toda la cuenca de estudio (elaboración propia).

Oliva (2020) en su memoria de título obtiene el porcentaje de uso de suelo para las áreas de expansión urbana durante el periodo 2006 al 2019, en las comunas de San Pedro de la Paz y Coronel, observando que en la primera aumenta la superficie urbana e industrial en 506 ha, principalmente a costa de praderas y matorrales. En el caso de Coronel el aumento de área urbana e industrial es de 558 ha, en este caso la expansión se hace a expensas principalmente de áreas desnudas y praderas.

Cambios de uso de suelo que intensifica el fenómeno de isla de calor e impermeabiliza la superficie, lo que trae como consecuencia un menor porcentaje de humedad ambiental, factor que propicia eventos de incendios o mega incendio considerando además el alto porcentaje de uso Forestal en el área de estudio.

## 7.5 Balance Hídrico

Como se abordó en el capítulo 2, un balance hídrico cuantifica la cantidad de agua que ingresa y sale de una cuenca hidrográfica.

Se evaluó la evapotranspiración real, la recarga y escorrentía por series de suelo, tanto en la superficie total de la cuenca como de manera separada por subcuenca.

### 7.5.1 Evapotranspiración Real

Existe la evapotranspiración potencial, que considera la humedad del suelo y la cobertura vegetal en condiciones óptimas, y la evapotranspiración real, que es la que ocurre efectivamente con las condiciones particulares de cada caso (Sánchez, 2017).

Se calculó la evapotranspiración real y potencial del área de estudio mediante la planilla *Excel Easy balance v3.0* (Vázquez-Suñé y Castro, 2002), utilizando los valores de capacidad de campo, saturación, punto de marchitez permanente y espesor de suelo de cada serie de suelo. Los resultados de cada subcuenca se resumen en la tabla 10 y se detalla en el Anexo 10 el porcentaje de uso de suelo y valores de laminación de cada serie de suelo dentro de la subcuenca.

**Tabla 10: Evapotranspiración real promedio por subcuenca y detalle por serie de suelo.** Valor promedio es resultado de la ponderación por el porcentaje de área de cada serie de suelo dentro de la subcuenca.

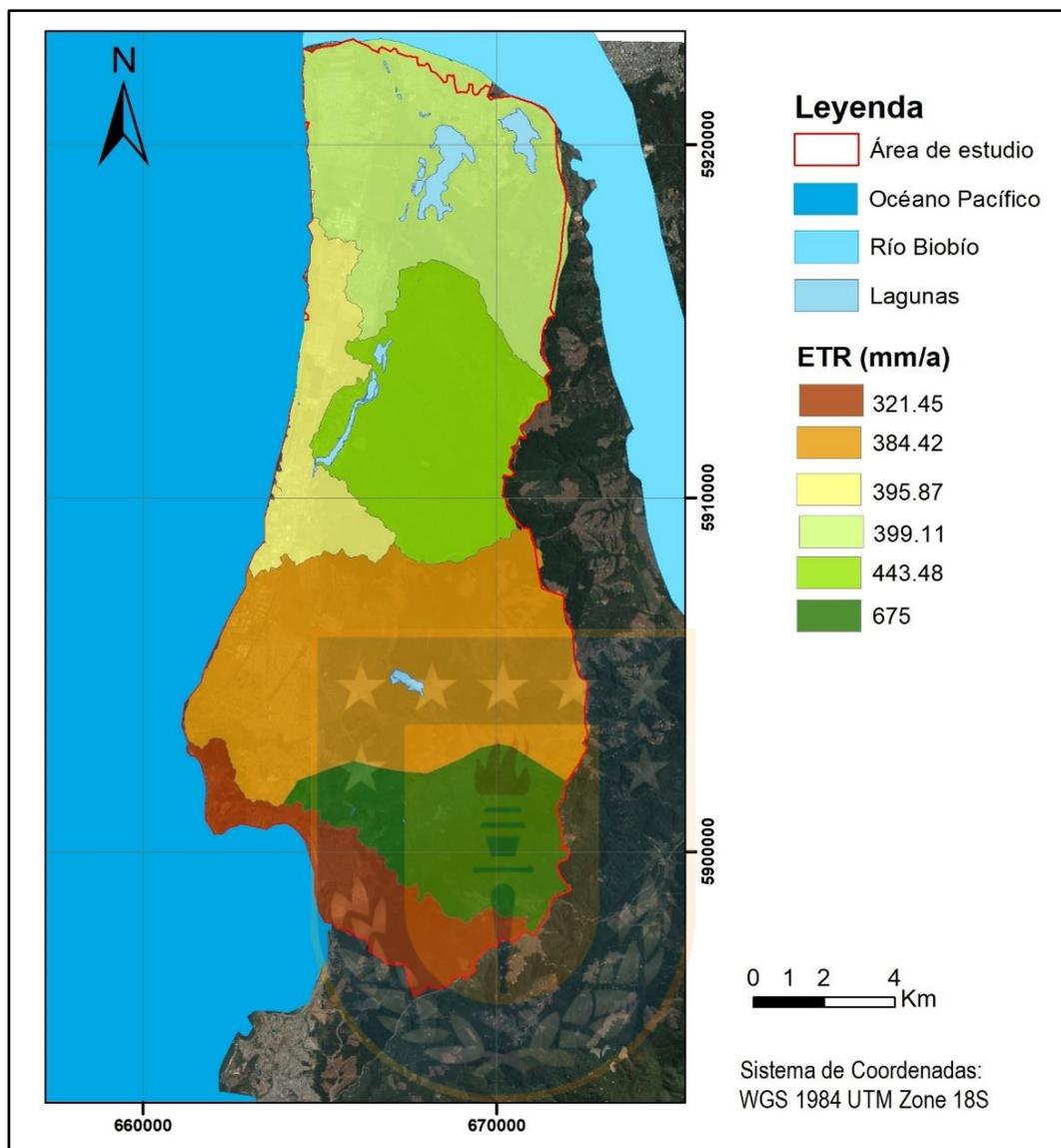
<b>Cuenca Costera Sur</b>	<b>ETR (mm/a)</b>	<b>Cuenca Manco</b>	<b>ETR (mm/a)</b>
Píleo+ Nahuelbuta	434,92	Curanipe	275,47
Curanipe	169,74	Nahuelbuta	434,92
Nahuelbuta	422,1	Arenales	397,17
Suelo Reciente	407,90	Píleo +Nahuelbuta	434,92
Suelo Pedemont	402,54	Suelo Reciente	407,9
Ponderado por área	331,0	Suelo Pedemont	402,54
		Ponderado por área	403,32
<b>Cuenca Quiñenco</b>	<b>ETR (mm/a)</b>	<b>Cuenca Costera Norte</b>	<b>ETR (mm/a)</b>
Curanipe	300,65	Curanipe	327,29
Nahuelbuta	437,10	Nahuelbuta	374,7
Arenales	397,17	Arenales	397,17
Píleo + Nahuelbuta	433,49	Suelo Reciente	407,90
Suelo Reciente	407,90	Suelo Pedemont	402,54
Suelo Pedemont	402,54	Ponderado de área	383,42
Ponderado por área	384,21		

<b>Cuenca Junquillar – La Posada</b>	<b>ETR (mm/a)</b>
Curanipe	357,61
Escarpe	470,63
Arenales	0,42
Nahuelbuta	276,95
Píleo + Nahuelbuta	474,96
Suelos Recientes	407,90
Suelo Pedemont	402,54
Ponderado por área	443,48

<b>Cuenca Los Batros</b>	<b>ETR (mm/a)</b>
Curanipe	227,12
Escarpe	470,46
Arenales	397,17
Píleo + Nahuelbuta	412,70
Dunas	401,90
Suelo Reciente	407,90
Suelo Pedemont	402,54
Ponderado por área	399,11

En el análisis por subcuencas se observa que la subcuenca Junquilla – La Posada presenta el valor más alto de la evapotranspiración real igual a 443,48 mm/a. Presenta un 97% de su superficie utilizada como bosque y menos de 1% de área urbana. Aproximadamente 83% de la superficie corresponde a suelos del grupo D (Píleo + Nahuelbuta, Curanipe y Nahuelbuta). La segunda con mayor evapotranspiración es la subcuenca Manco, con 403,32 mm/a; esta cuenca presenta un 75% de superficie de bosque y 2,30% de uso de área urbana o carretera, además la superficie de series de suelo arcillosas corresponde a aproximadamente un 78,8%.

La subcuenca Costanera Sur tiene 331,00 mm/a de evapotranspiración real, que corresponde al menor valor dentro del área de estudio, esta presenta una superficie significativamente mayor de uso urbano igual al 30,39%. El valor de ETR de cada subcuenca se observa en la figura 18.

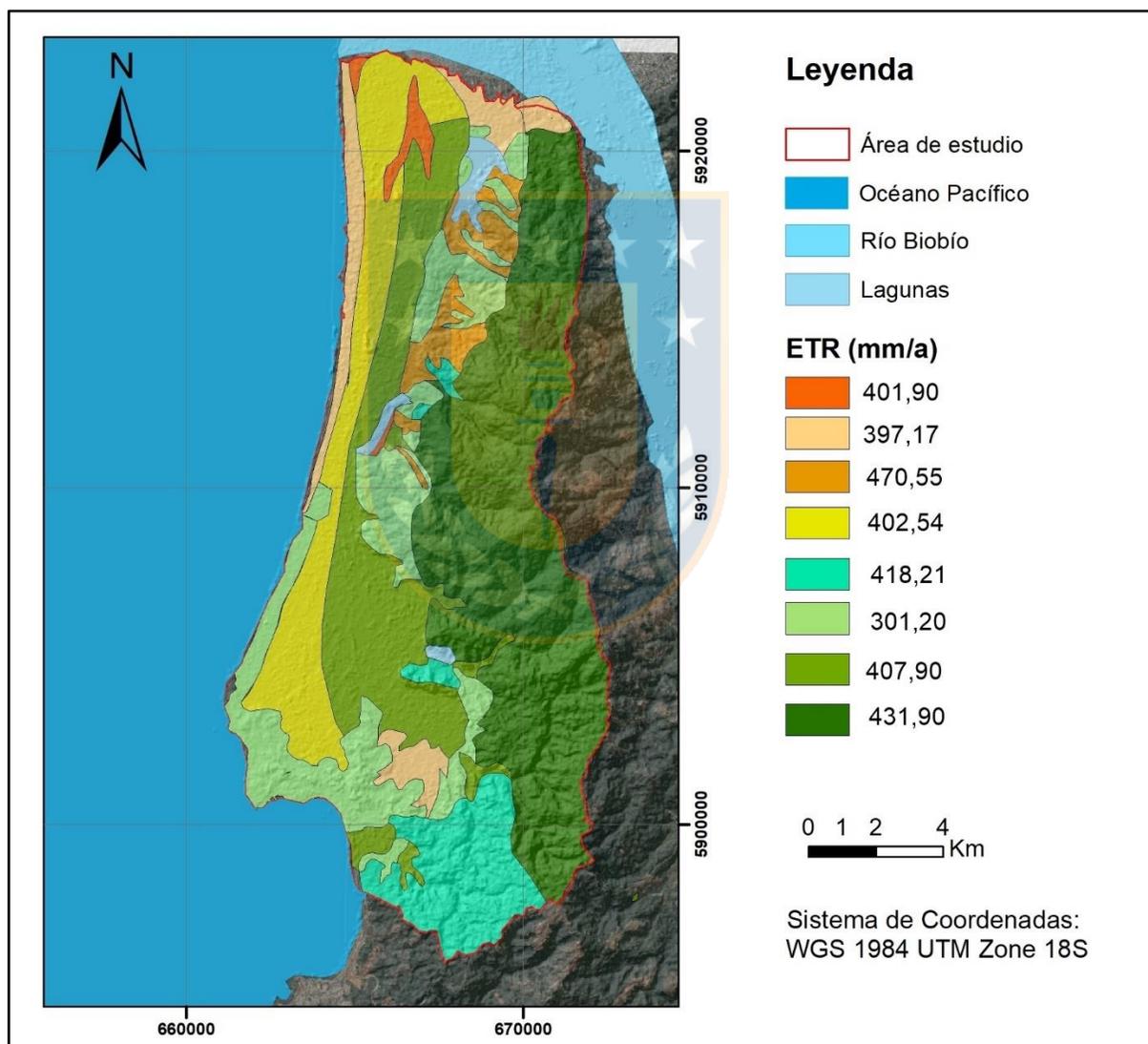


**Figura 18:** *Evapotranspiración Real por subcuenca* dentro de área de estudio (elaboración propia)

En un segundo análisis, se calculó la evapotranspiración real anual para las series, obteniendo que las series Escarpe y Píleo + Nahuelbuta obtienen los valores más elevados, 470,55 mm/a y de 431,90 mm/a respectivamente. Y las series con menor ETR corresponden a las series Arenales y Curanipe, con 397,17 mm/a y 301,20 mm/a respectivamente, series con granulometrías diferentes. Los valores se resumen en la tabla 11 y se pueden observar en la figura 19.

**Tabla 11: ETR (mm/a) promedio por serie de suelo.**

Serie de suelo	ETR (mm/a)
Pfleo + Nahuelbuta	431,90
Curanipe	301,20
Pedemont	402,54
Reciente	407,90
Arenales	397,17
Dunas	401,90
Escarpe	470,55
Nahuelbuta	418,21



**Figura 19: Evapotranspiración real por serie de suelo, expresada en mm/a (elaboración propia)**

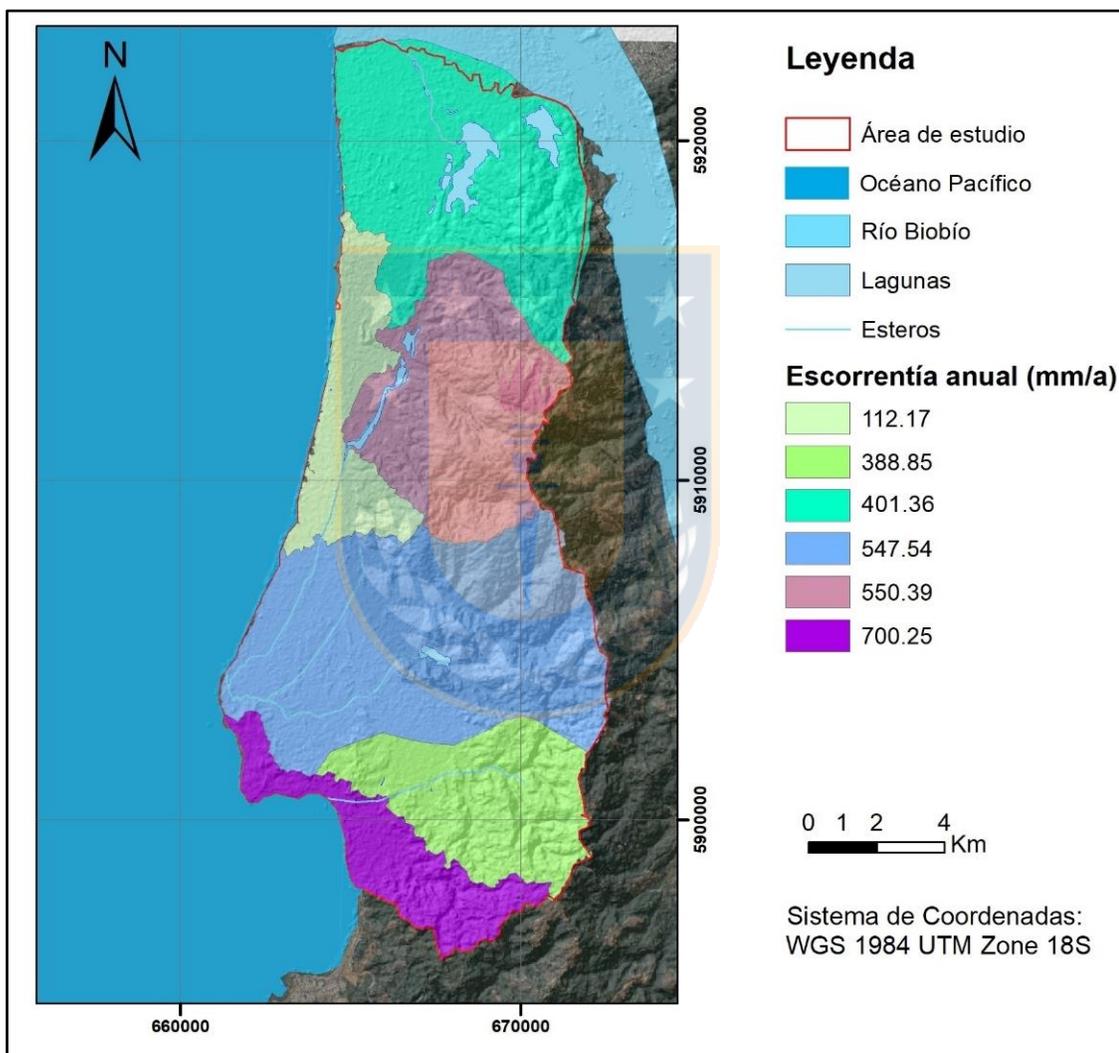
### 7.5.2 Escorrentía Superficial

La escorrentía superficial se calculó mediante la planilla *Excel Easy balance v3.0* (Vázquez-Suñé y Castro, 2002) para cada subcuenca y serie de suelo (Anexo 10), los valores detallados de cada subcuenca se pueden ver en la tabla 12.

**Tabla 12: Escorrentía (mm/a) promedio por subcuenca y valor de cada series de suelo dentro de la subcuenca**

<b>Cuenca Costera Sur</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>	<b>Cuenca Manco</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>
Píleo + Nahuelbuta	674,86	Píleo + Nahuelbuta	674,86
Curanipe	953,25	Curanipe	844,75
Nahuelbuta	672,97	Nahuelbuta	421,74
Suelo Reciente	283,10	Arenales	390,34
Promedio	699,11	Suelo Reciente	101,71
<b>Cuenca Quiñenco</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>	Suelo Pedemont	296,83
Curanipe	816,08	Ponderado por área	601,13
Nahuelbuta	559,81	<b>Cuenca Costera Norte</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>
Arenales	50,43	Curanipe	780,65
Píleo + Nahuelbuta	678,39	Nahuelbuta	745,51
Suelo Reciente	380,96	Arenales	56,72
Suelo Pedemont	259,95	Suelo Reciente	92,91
Ponderado por área	545,62	Suelo Pedemont	146,66
<b>Cuenca Junquillar– La Posada</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>	Ponderado por área	295,32
Curanipe	762,62		
Escarpe	522,90	<b>Cuenca Los Batros</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>
Nahuelbuta	843,27	Curanipe	893,10
Arenales	1038	Suelo Pedemont	202,22
Píleo + Nahuelbuta	558,00	Suelo Reciente	111,45
Suelo Reciente	92,20	Arenales	134,50
Suelo Pedemont	71,42	Dunas	89,17
Ponderado por área	550,39	Escarpe	502,68
		Píleo + Nahuelbuta	706,90
		Ponderado por área	401,36

Se observa que el valor más elevado de escorrentía anual corresponde a la subcuenca Costera Sur, con 699,11 mm/a, esta presenta 32,55% de superficie utilizada como áreas urbanas y 87% de series de suelo pertenecientes a los grupos hidrológicos D (suelos arcillosos). Por otro lado, la subcuenca Costanera Norte es la que presenta el menor valor de escorrentía igual a 295,32 mm/a y solo 4,96% de superficie utilizada como área urbana. Mientras el porcentaje de serie de suelo pertenecientes al grupo hidrológico A es de 72%.



**Figura 20:** *Escorrentía anual por subcuenca* (elaboración propia).

Al calcular la escorrentía por serie de suelo, se puede observar que la serie de suelo con menor escorrentía superficial es la serie Dunas con 89,58 mm/a, seguida por Arenales con 133,57 mm/a, ambas series presentan elevado porcentaje de granulometría tamaño arena. Mientras la serie con mayor escorrentía corresponde a la serie Curanipe con 810,53 mm/a. Por su parte, las series Píleo + Nahuelbuta y Nahuelbuta presentan una escorrentía anual de 574,31 mm/a y 686,27 mm/a respectivamente, pese a exhibir una granulometría similar. La diferencia podría estar relacionada con el porcentaje de áreas urbanas, siendo de 25,6% en Curanipe y de menos de 1% para Nahuelbuta y para Píleo + Nahuelbuta. Los resultados se pueden observar en la tabla 13 resumen y en la figura 21.

**Tabla 13:** Escorrentía anual promedio en mm/a, por serie de suelo.

<b>Series de Suelo</b>	<b>Escorrentía (mm/a)</b>
Píleo + Nahuelbuta	681,70
Curanipe	816,70
Pedemont	195,34
Reciente	193,62
Arenales	133,57
Dunas	89,58
Escarpe	522,07
Nahuelbuta	686,27

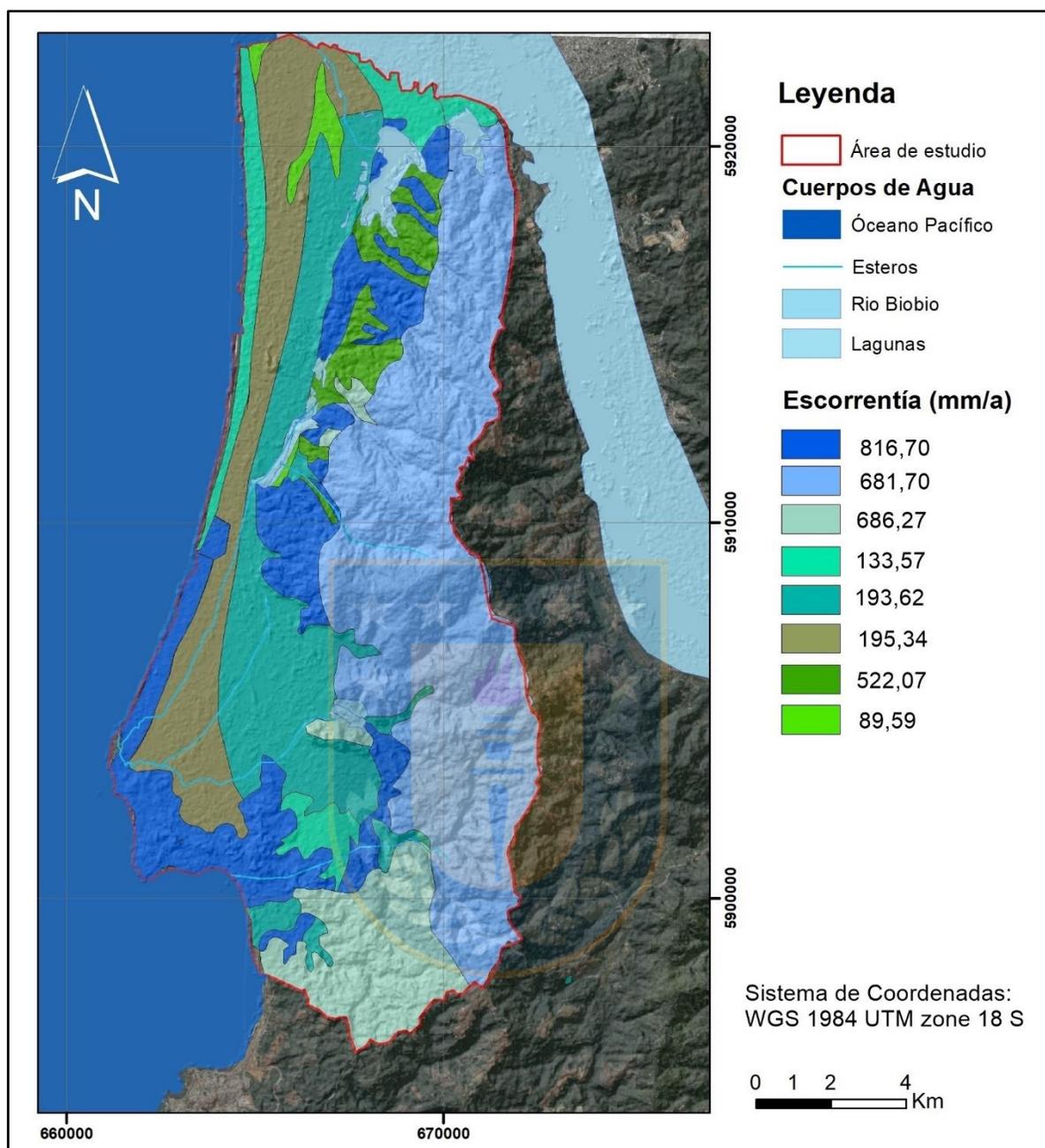


Figura 21: Mapa de escorrentía por serie de suelo, expresado en a/mm (elaboración propia)

### 7.5.3 Recarga

Para su cálculo se utilizó la planilla Excel Easy balance v3.0 (Vázquez-Suñé y Castro, 2002). La recarga es función de los siguientes parámetros:

- Tipo de suelo
- Uso de suelo

- Volumen y tiempo de precipitación

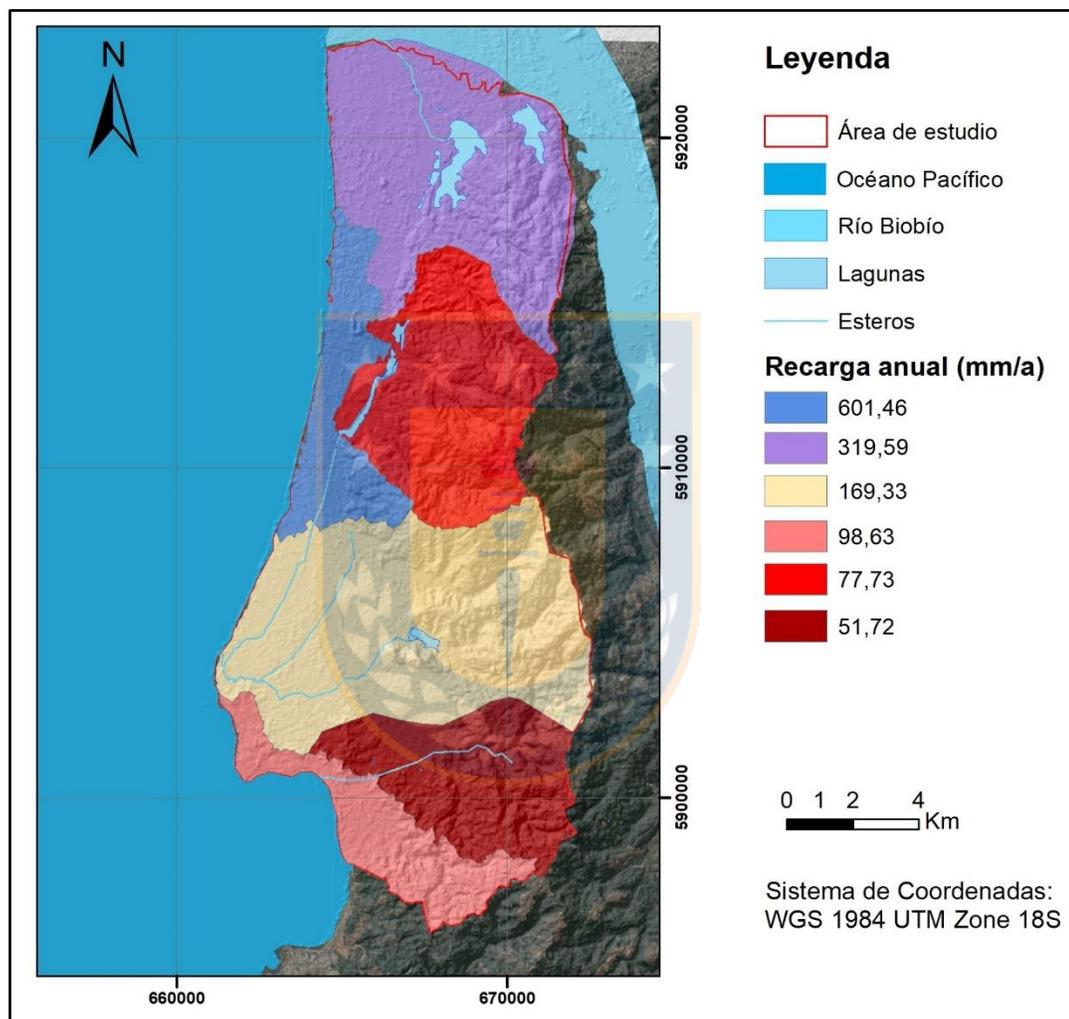
El cálculo se realizó para las series de suelo de toda el área de estudio como para las subcuencas (Anexo 10). En la tabla 14 se puede ver la recarga anual por subcuenca y en la figura 22 su distribución.

**Tabla 14: Recarga anual (mm/a) por subcuenca y serie de suelo presente en la subcuenca.**

<b>Cuenca Costera Sur</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>	<b>Cuenca Manco</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>
Píleo + Nahuelbuta	10,44	Curanipe	0,80
Curanipe	0,00	Nahuelbuta	24,2
Nahuelbuta	25,20	Arenales	332,7
Suelo Reciente	429,23	Píleo +Nahuelbuta	10,34
Suelo Pedemont	646,30	Suelo Reciente	610,62
Ponderado por área	91,1	Suelo Pedemont	420,85
		Ponderada área	49,95
<b>Cuenca Quiñenco</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>	<b>Cuenca costera Norte</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>
Curanipe	3,50	Curanipe	12,29
Nahuelbuta	123,33	Nahuelbuta	0,06
Arenales	672,62	Arenales	666,33
Píleo + Nahuelbuta	8,35	Suelo Reciente	619,42
Suelo Reciente	331,37	Suelo Pedemont	571,02
Suelo Pedemont	438,27	Ponderado por área	441,49
Ponderado por área	167,15		
<b>Cuenca Junquillar- La Posada</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>	<b>Cuenca Los Batros</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>
Curanipe	0,00	Curanipe	0,00
Escarpe	126,70	Suelo Pedemont	515,47
Nahuelbuta	0,00	Suelo Reciente	606,00
Arenales	0,00	Arenales	588,56
Píleo +Nahuelbuta	5,70	Dunas	629,16
Suelo Reciente	620,12	Escarpe	147,09
Suelo Pedemont	646,26	Píleo + Nahuelbuta	0,64
Ponderado por área	93,00	Ponderado por área	319,59

La subcuenca con menor recarga es la subcuenca Manco y sigue la subcuenca costanera Sur con 49,95 mm/a y 91,00 mm/a respectivamente (figura 22). La primera subcuenca presenta un 89,33% de superficie de suelo arcilloso y la segunda subcuenca presenta 83,00%. Mientras la subcuenca Costanera Norte tiene la mayor recarga igual a 441,49 mm/a, se atribuye este valor a

la mayor presencia de series de suelo del grupo A, aproximad ante 72%. Se observa que el efecto de superficie urbanizada no es tan relevante como la granulometría del suelo. El segundo valor más alto de recarga lo tiene la subcuenca Los Batros igual a 319,59 mm/a, subcuenca con un valor significativamente menor de series de suelo del grupo A (aproximadamente 52%).



**Figura 22:** Recarga anual de cada subcuenca, expresada en mm/a (elaboración propia)

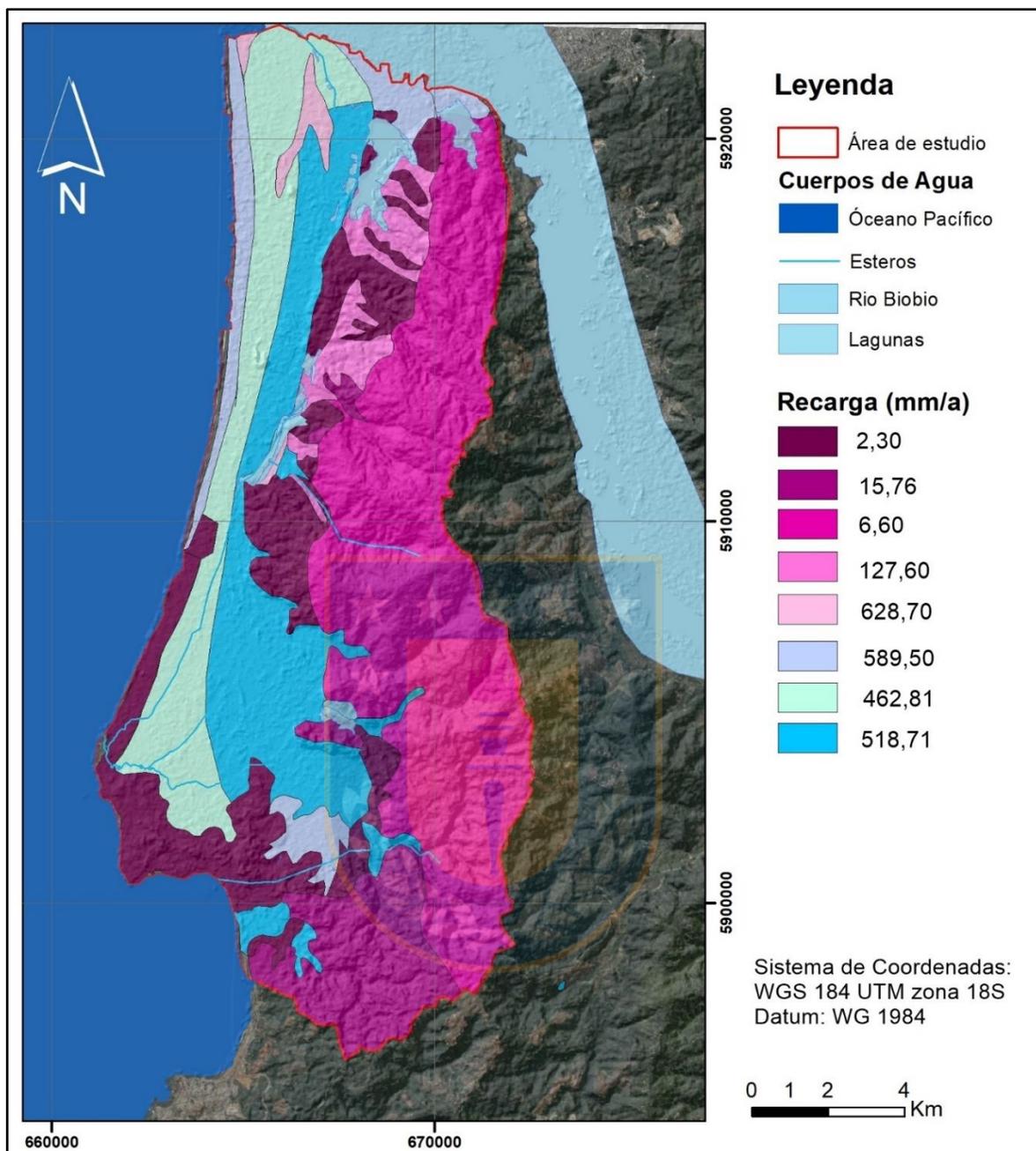
El valor de recarga de cada serie de suelo dentro de la cuenca de estudio se observa en la tabla 15. Coincidiendo que las series con mayor porcentaje de arena, es decir, las series de suelo Arenales y Dunas con una recarga igual a 628,70 y 589,50 mm/a respectivamente. Los menores valores

corresponden a Curanipe y Píleo + Nahuelbuta, ambas series de poco porcentaje de arena y ubicadas principalmente en la cordillera Nahuelbuta.

**Tabla 15: Recarga (mm/a) por serie de suelo.**

<b>Series de Suelo</b>	<b>Recarga (mm/a)</b>
Píleo + Nahuelbuta	6,6
Curanipe	2,30
Pedemont	462,81
Reciente	518,71
Arenales	589,50
Dunas	628,70
Escarpe	127,6
Nahuelbuta	15,76





**Figura 23:** Mapa de recarga por serie de suelo, expresado en mm/a (elaboración propia).

## 7.6 Unidades Hidrogeológicas

De acuerdo con Arrizaga (2010), las unidades hidrogeológicas están limitadas espacialmente, tanto en superficie como en profundidad, y geológicamente hablando constituyen un sistema

homogéneo. Dentro del área de estudio y con el fin de caracterizar los acuíferos, se determinaron 3 unidades hidrogeológicas, las que difieren en geología y permeabilidad.

De base a techo, la primera unidad se relaciona con rocas metamórficas de baja permeabilidad, las que afloran en la cordillera de Nahuelbuta, al este del área, y localmente en las planicies litorales. La siguiente unidad se relaciona con las formaciones sedimentarias del Cenozoico, las que también presentan una baja permeabilidad, aflora al sur del área y en zonas específicas de la costa. Finalmente, la unidad más reciente y de mayor permeabilidad corresponde los depósitos del Plioceno – Holoceno, los que afloran en la costa, planicies costeras, valles y quebradas.

### **7.6.1 Unidad Basamento Metamórfico**

Corresponde a rocas metamórficas de bajo y alto P/T, de edad Carbonífero y pertenecientes al basamento metamórfico, principalmente a pizarras, esquistos de biotitas y metapelitas. Estas rocas presentan una porosidad eficaz escasa, entre 1 - 3%, lo cual le confiere una baja permeabilidad, no obstante, es posible que debido al fracturamiento y meteorización *in situ* aumente su potencial para incorporar, almacenar y transmitir agua subterránea (Hauser, 1995); antes bien, como estos fenómenos actúan principalmente en superficie, la permeabilidad secundaria que adquiere es restringida. Esta unidad corresponde aun acuífugo, incapaz de almacenar y transmitir agua, siendo el límite impermeable que sella la cuenca (basamento).

### **7.6.2 Unidad Sedimentarias**

Esta unidad está conformada por rocas sedimentarias de edades que van desde el Paleoceno al Plioceno, pertenecientes a las formaciones Curanilahue, Pilpilco y Estratos Molinos el Sol. Dichas rocas son en general siliciclásticas, variando su tamaño de grano de arcilla a arena muy gruesa, con niveles puntuales de conglomerado y carbón (miembro Lota).

Para caracterizar esta unidad hidrogeológica se utilizó la estratigrafía obtenida desde los expedientes de derecho de aprovechamiento de aguas de la Dirección General de Aguas (DGA) y sondeos realizados por ENACAR. Se puede observar la distribución de los sondeos en la figura 24, que van desde los 1 a 263 m de profundidad aproximadamente, siendo las perforaciones

realizadas por la Empresa Nacional del Carbón (ENACAR), los sondajes más profundos y relevantes para la caracterización.

En función de los espesores y litologías descritas en los sondajes, se divide el área de estudio en 3 sectores: Norte, Centro y Sur.

- Sector Norte: Caracterizado en base al sondaje E.B.R. 5 de 195,48 m de profundidad realizado ENACAR y al sondaje de la empresa Bo Paper (antiguamente llamada Norske Skog) de 100m de profundidad. Se observa que en este sector la unidad sedimentaria está ausente en las columnas. E infra yace a los depósitos cuaternarios en inconformidad
- Sector Centro: Caracterizado en base al sondaje E.B.R. 4 de 94,16 m de profundidad realizado por ENACAR en el año 1975. Se aprecia la ausencia de rocas sedimentarias en profundidad, es decir, los depósitos cuaternarios se encuentran en inconformidad sobre el basamento. Además, se observa que la potencia de los depósitos cuaternarios en el sondaje alcanza 87 m, donde 78 m corresponden a arenas medias a gruesas mal seleccionadas en las que se desarrolla un acuífero libre, y en los últimos 9 m se observa un nivel de arcilla que actuaría como base del acuífero.
- Sector Sur: Se caracterizó este sector en base a los sondajes E.B.R.2 y E.B.R.3 realizados por ENACAR en el año 1975.

El sondaje E.B.R.2 se encuentra en el límite con el sector centro, tiene 145,88 m de profundidad, los cuales corresponden a 126 m de depósitos cuaternarios, 14 m de conglomerado de cuarzo y pizarra, y 5.88 m corresponden a arcilla verde azulada, que se identifica como material triturado de la formación Curanilahue o Pilpilco. La existencia de pizarras sobre arcilla de la formación del cenozoico se podría explicar por la presencia de fallas normales descritas por Grez (1979) o fallas inversas descritas por Melnick (2007) pocos kilómetros al SW.

El sondaje E.B.R. 3 263,27 m de profundidad se ubica al sur del anterior, y en él se distinguen, de techo a base, 63 m de arena con intercalaciones de arcilla y restos de conchas de edad cuaternaria, 28 m de la formación Curanilahue (miembro Lota) con presencia de mantos de carbón, 152 m de la formación Pilpilco, diferenciada de la formación Curanilahue por su porcentaje de arcilla y tonalidades verdosas, y finalmente 8,27m de cuarcita perteneciente al basamento metamórfico.

Se excluye de esta unidad a la formación Quiriquina, que no aflora en el área, pero sí al norte y sur de ella. Pese a que Wenzel (1982) identifica esta formación en profundidad en al interior de la antigua mina Schawager, se descarta su presencia en profundidad en el sector de estudio debido a su ausencia en los sondajes del Anexo 11 y 12. La misma razón se presenta para excluir a la unidad Patagual el Venado.

Las rocas de esta unidad se encuentran cementadas y compactadas, a excepción de los estratos Molinos del Sol, que tienen una permeabilidad que varía entre 0,01 a 10 m/día (Sanders, 1998, en Custodio y Llamas, 1983), siendo inferior a los depósitos Cuaternarios. En general, las rocas de las formaciones del cenozoico tienen una permeabilidad secundaria producto de las fallas y fracturas. Debido a ello se le asigna un bajo potencial hidráulico a la unidad.

### **7.6.3 Unidad Depósitos Pleistoceno-Eoceno**

Los depósitos cuaternarios, que han sido descritos de manera detallada anteriormente en la sección 5.3, están constituidos principalmente de arenas de grano muy fino a muy grueso, con niveles menores de arcilla y grava. Su origen es fluvial, eólico, litoral y en algunos casos antropogénico. La distribución de esta unidad abarca una superficie de 70,2 km<sup>2</sup> dentro del área, cubriendo las planicies litorales y parte de las terrazas fluviales, que son las áreas donde se asientan la mayor cantidad de población dentro del estudio. La porosidad total de estos depósitos varía entre 25 y 60%, y su permeabilidad varía entre 0,01 y 100 m/día (Sanders, 1998). Debido a todos los factores anteriores se puede postular que esta unidad permite el desarrollo de un acuífero libre de gran superficie, y de acuerdo a los sondajes y perfiles gravimétricos realizados por la DGA (2018), los espesores de sedimentos pueden alcanzar hasta los 200m.

## **7.7 Definición de Acuíferos**

Como se analizó en la sección anterior, los depósitos cuaternarios dentro del área sobreyacen a toda la secuencia sedimentaria y al basamento, constituyendo acuíferos libres. Estos se dividen en 4: Norte, Centro, Sur y Confinado (figura 24). Estos acuíferos tienen litología y granulometrías heterogéneas que van desde grava a limo, predominando el tamaño arena, y son separados

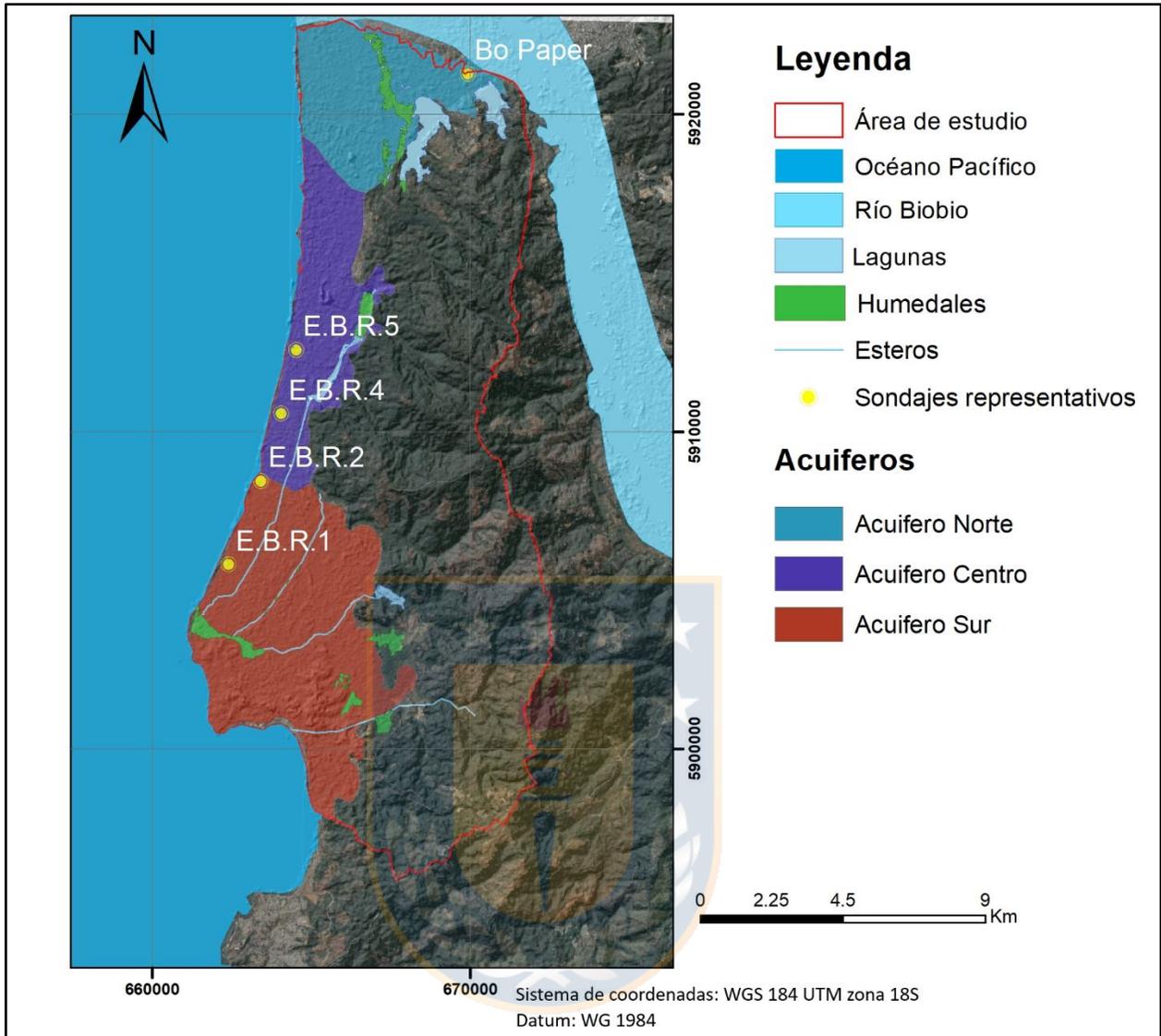
principalmente en función de la geometría de los macizos rocos, que pueden ser basamento metamórfico o rocas cenozoicas. Estas presentan bajo a muy bajo potencial hidráulico y actúan como base para los acuíferos.

- **Acuífero Norte:** Este acuífero es descrito en base principalmente al sondaje de la empresa Bo Paper (antiguamente llamada Norske Skog), ubicado en San Pedro de la Paz, próximo a la Laguna Chica de San Pedro, y que tiene 100m de espesor. Corresponde a un acuífero libre de 25 km<sup>2</sup> aproximadamente, el cual coincide espacialmente con la subcuenca San Pedro. Se puede constatar a través de los perfiles gravimétricos que la profundidad máxima del acuífero es alcanzada en el límite sur del sector, donde el basamento presenta una profundidad de 250 m, la que disminuye de manera progresiva hacia el norte. En el sondaje de la empresa Bo Paper se observa un espesor de 95 m para el acuífero, estando constituido de base a techo por arena grises, con un tamaño de grano que varía de arena gruesa a fina, y en los últimos 15 m incluso con la presencia de finos como arcilla y limos. La disminución de grano de base a techo también se puede apreciar en el resto de los sondajes de la zona norte (Anexo 12).
- **Acuífero Centro:** Este acuífero es descrito principalmente en base a los sondajes E.B.R 5 y E.B.R 4 realizados por ENACAR en 1978, los perfiles gravimétricos y TEM realizados por la DGA (2018). Corresponde a un acuífero libre que se emplaza en depósitos no consolidados de orígenes fluviales y litorales, cubriendo un área de 20,54 km<sup>2</sup>, que espacialmente coincide con la cuenca La Posada-Junquillar y la cuenca Costera Norte. En los sondajes E.B.R 5 y E.B.R 4 se describen espesores de 39 m y 78 m respectivamente, ambos formados principalmente por arena de grano medio a gruesa subredondeada, con líticos volcánicos y fragmentos de cuarzo y mal seleccionada. Mientras los perfiles TEM realizados por Rhyma Ingeniería SpA (2017) informan de un espesor entre 100 m y 120 m, y el nivel piezométrico se encuentra en, un rango de profundidad entre 1,15 m y 5,40 m.
- **Acuífero Sur:** La caracterización de este acuífero se hace principalmente en base al sondaje E.B.R 1 y E.B.R 2, los que tienen 263,00 m y 145,88 m de profundidad respectivamente, y los perfiles gravimétricos realizados por empresa Bo Paper. Corresponde a un acuífero libre de 41,88 km<sup>2</sup>, que coincide espacialmente con las cuencas Quiñenco, Costera Sur, Manco y Sur. De acuerdo a los sondajes, el espesor es de 44 m a 42 m, constituido por arenas mal seleccionadas de grano medio a grueso de color gris oscuro azulado con fragmentos de

cuarzo. Se considera separarlo del acuífero Centro debido a la geometría del basamento descrita en los perfiles gravimétricos de la empresa Bo Paper, donde se observa un ascenso del basamento, llegando casi a la superficie entre el límite del acuífero Sur y Centro. Además, se observa en los sondeos del Anexo 12 que existe evidencia de relleno (gravas a arcilla y plástico), el cual solo existe en esta zona del área de estudio y que pueden llegar a tener espesores entre 1 m y 12 m en algunos terraplenes de calles y puentes (Geología de Campo II, 2018).

En el área sur se propone la posibilidad de un acuífero confinado en base al sondeo E.B.R.1, en el que se describe un paquete de arena de grano medio a grueso, entre capas de arcilla limosa micromicasea verdoso y limolita arcillosa con un espesor de 52,0 m, sin embargo, el desconocimiento de su extensión lateral este acuífero solo corresponde aun supuesto.





**Figura 24:** *Mapa con Acuíferos y sondajes representativos*, realizados por ENACAR y Bo Paper (elaboración propia).

### 7.7.1 Características hidráulicas del acuífero

Las propiedades hidráulicas de los acuíferos fueron extraídas de la memoria de título de Gormaz (2020), donde el autor analiza 234 ensayos de bombeos (figura 25).

Los ensayos de bombeo corresponden a un método de análisis de captaciones de agua y el acuífero que lo contiene, en el que se evalúa el nivel piezométrico en función del tiempo, considerando un caudal de extracción variable o constante. Su importancia radica en la

suministración de información relevante del acuífero respecto a sus parámetros elásticos, tales como Transmisividad, Coeficiente de Almacenamiento y Permeabilidad.

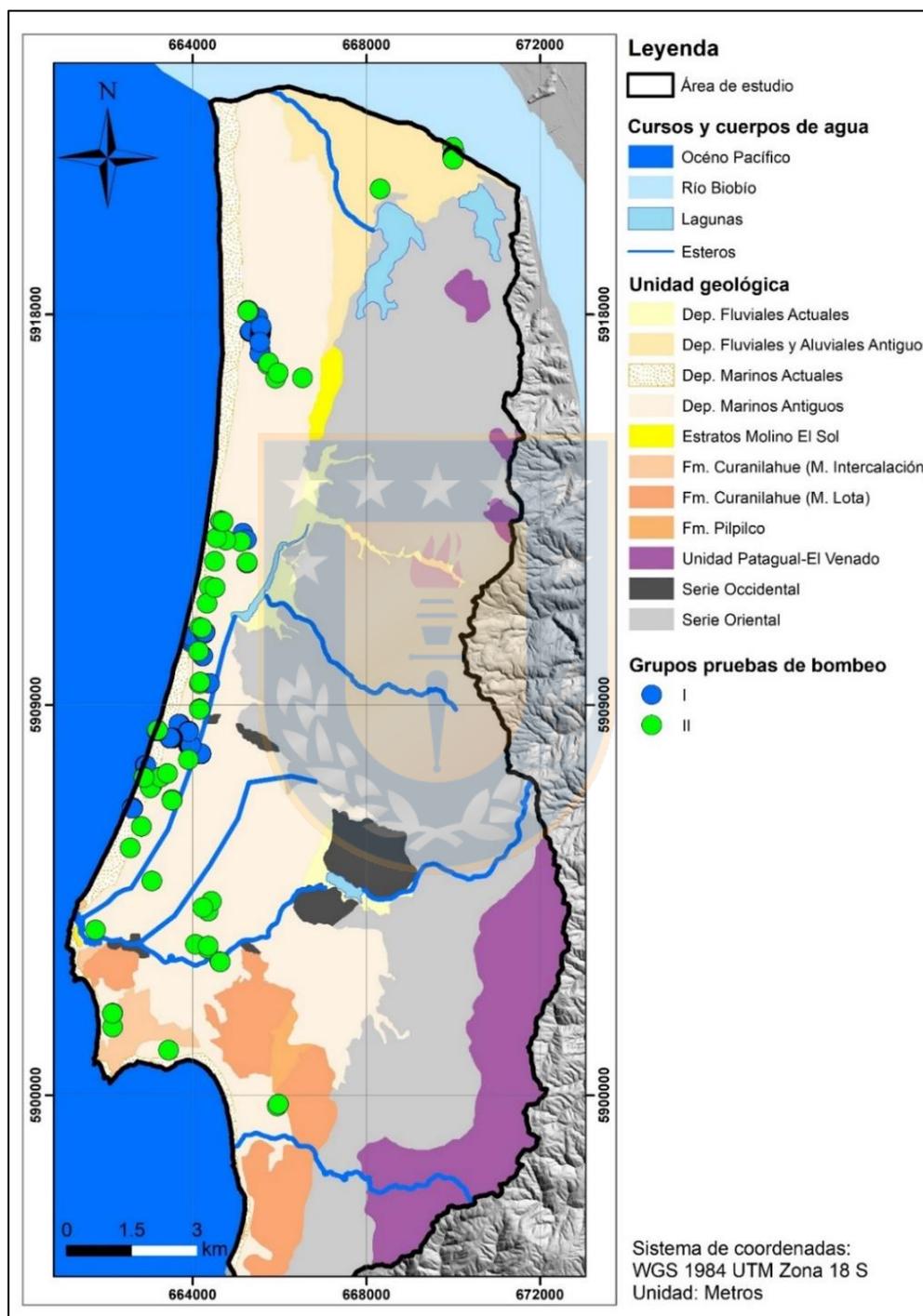


Figura 25: Catastros de pruebas de bombeo en la zona de estudio (extraído de Gormaz, 2020).

**Tabla 16: Parámetros determinados en cada grupo de ensayo de bombeo** (Extraída de Gormaz, 2020).

Grupos	Método	Parámetros determinados
<b>I</b>	Neuman	-Transmisividad (T) en m <sup>2</sup> /día -Razón K <sub>v</sub> /K <sub>H</sub> -Producción específica (S <sub>y</sub> ) -Razón S <sub>y</sub> /S
<b>II</b>	Theis con corrección de Jacob	Transmisividad (T) en m <sup>2</sup> /día

### Permeabilidad

La permeabilidad es el caudal de agua que circula por una sección de acuífero con altura a la unidad, anchura a la unidad, bajo un gradiente hidráulico unitario. Representa la facilidad que tiene una roca para que el agua circule a su través (Villarroya F., 2009).

Este parámetro es función de la naturaleza de los suelos y de su grado de saturación, como ya se mencionó anteriormente estos son heterogéneos en sus granulometrías y cohesión, por tanto, también en su permeabilidad, existiendo coeficientes de permeabilidad horizontal (K<sub>h</sub>) y vertical (K<sub>v</sub>) dentro de un acuífero.

Gormaz (2020) aplica el método de Neuman para determina la relación K<sub>v</sub>/K<sub>h</sub>, donde K<sub>v</sub>: permeabilidad vertical y K<sub>h</sub>: permeabilidad horizontal, considerando K<sub>x</sub>=K<sub>y</sub>, para el ingreso de datos al software Visual Modflow v2011.1.

Las que varían de 0,86 m/d a 187,50 m/d para K<sub>h</sub> y 0,002 m/d a 187,50 m/d para K<sub>v</sub>, como se observa en la (Anexo 16), donde autor realizó una interpolación de los valores de permeabilidad con el método Krigging simple.

### Transmisividad

La transmisividad es definida como el producto entre la permeabilidad del acuífero y el espesor del acuífero.

$$T=K*b$$

Donde “b” es el espesor del acuífero (m) y “K” la permeabilidad del acuífero (m/día).

Parámetro que indica la factibilidad del agua para circular horizontalmente por una formación geológica (Sánchez, 2017).

Los valores de transmisividad (T) obtenidos de los expedientes del informe de la DGA (2018) se localizan principalmente en la Ruta 160 a la altura del desagüe de la laguna la Posada, igual a 62,2 m<sup>2</sup>/d a 744,0 m<sup>2</sup>/d.

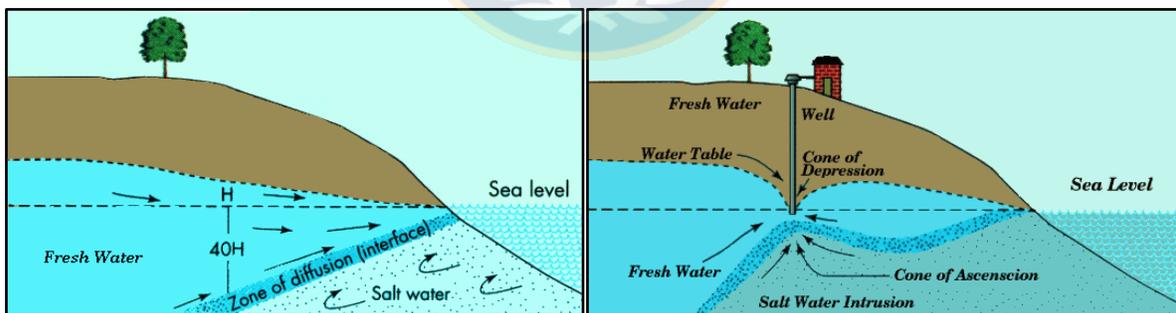
Mientras en Gormaz (2020) analiza los ensayos de bombeo del Anexo 15, obtiene valores que varían entre  $85,7\text{m}^2/\text{d}$  a  $20.000,0\text{ m}^2/\text{d}$ , la distribución de estos valores se pueden observar en el Anexo 17.

## 7.8 Cuña Salina

En los acuíferos costeros ocurre de manera natural el fenómeno de salinización de las aguas subterráneas en la zona de contacto con el mar. Cuando los niveles de extracción superan a la capacidad de recarga de dichos acuíferos, es decir, se está un escenario de sobreexplotación del recurso hídrico subterráneo, la zona de contacto se desplaza hacia el continente, dando origen al problema de contaminación de aguas subterráneas conocido como Intrusión Salina (figura 26).

La interfase agua dulce - salada por lo general es difusa, pero puede producirse de forma concentrada a través de rasgos litológicos, estructurales o geomorfológicos.

Ghyben- Herzberg en 1985 basado en el equilibrio estático de columnas de agua de diferente densidad, indicaron que en zonas costeras el agua salada se encontraba bajo el suelo no a nivel del mar, si no a mucha más profundidad. Esta distribución fue atribuida al equilibrio hidrostático que existe entre los dos fluidos (agua dulce y de mar) de distintas densidades, donde el agua dulce presenta una menor densidad.



**Figura 26:** Esquema simplificado de intrusión salina y captaciones próximas a la costa. (extraído de Liubow *et al*, 2009).

Las hipótesis de Ghyben- Herzberg acepta ciertas simplificaciones e idealizaciones, tales como:

- Existencia de un equilibrio hidrostático implica que no existe flujo, lo que en general no es cierto.

- La intrusión salina está limitada por la longitud del acuífero y la elevación del nivel freático.
- La superficie de separación entre el agua dulce y salada es plana.
- No existen pérdidas de carga del agua de mar en su avance tierra adentro.
- Se considera que en la interfase los dos fluidos son inmiscibles, es decir, no existe una zona de mezcla entre ambos.

Sin embargo, la interacción de dos líquidos miscibles, como el agua dulce y agua salina da una zona de mezcla, no un límite brusco.

En el informe de la DGA (2018) evidencian la existencia de una cuña salina ubicada en el sector de Parque Escuadrón (Figura 27), mediante campañas geofísica de transiente Electromagnético (TEM) se verificó la existencia de la cuña salina la que tiene un espesor que fluctúa entre 10 a 30 m, que disminuye su espesor en dirección este, y se encuentra desde los 40 m de profundidad.



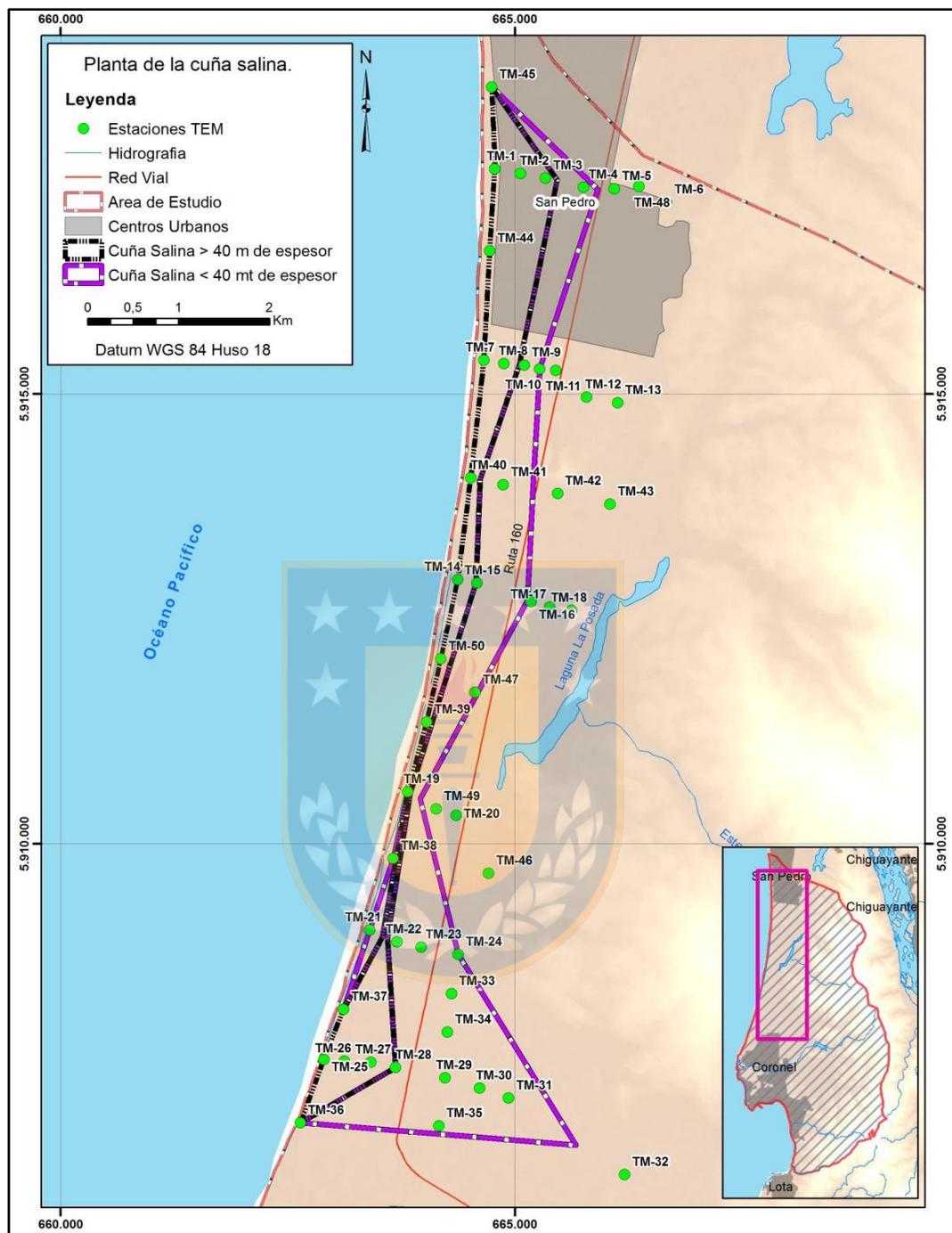


Figura 27: Vista en planta de cuña salina y estaciones geofísicas, extraído DGA, 2018.

En la memoria de título de Sanhueza, 1996 se observa el fenómeno de intrusión salina en muestras extraídas Frioexport, durante un ensayo de bombeo realizado en 1992, las muestras de agua presentan un aumento del 73% desde el inicio en  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$ .

Destacando que Sanhueza (1996) evalúa la relación  $Cl/HCO_3$  en 6 industrias, de la cual solo Frioexport muestra un considerable aumento de  $Cl/HCO_3$  en el transcurso de bombeo. Esto se explica debido a su cercanía con la costa, a solo 350 m.

Inzunza (2019) expone mediciones de Cloruro en las aguas potables de la comuna de Coronel, observando que valores superan con creces la normativa Chilena que establece un límite de 400 mg/l. Alcanzando valores que van desde 912,5 mg/l Lagunilla 3 y hasta 959 mg/l en Coronel centro, Maule, Camilo Olavarría, Yobilo y Lo Rojas.

El problema anterior es preocupante puesto que altas concentraciones de Cloruro aceleran la velocidad de corrosión de los metales presentes en el sistema de distribución de agua (OMS, 2016) y suponen problemas para la salud de las personas que consumen esta agua.

## 7.9 Modelo Modflow

### 7.9.1 Construcción de modelo conceptual

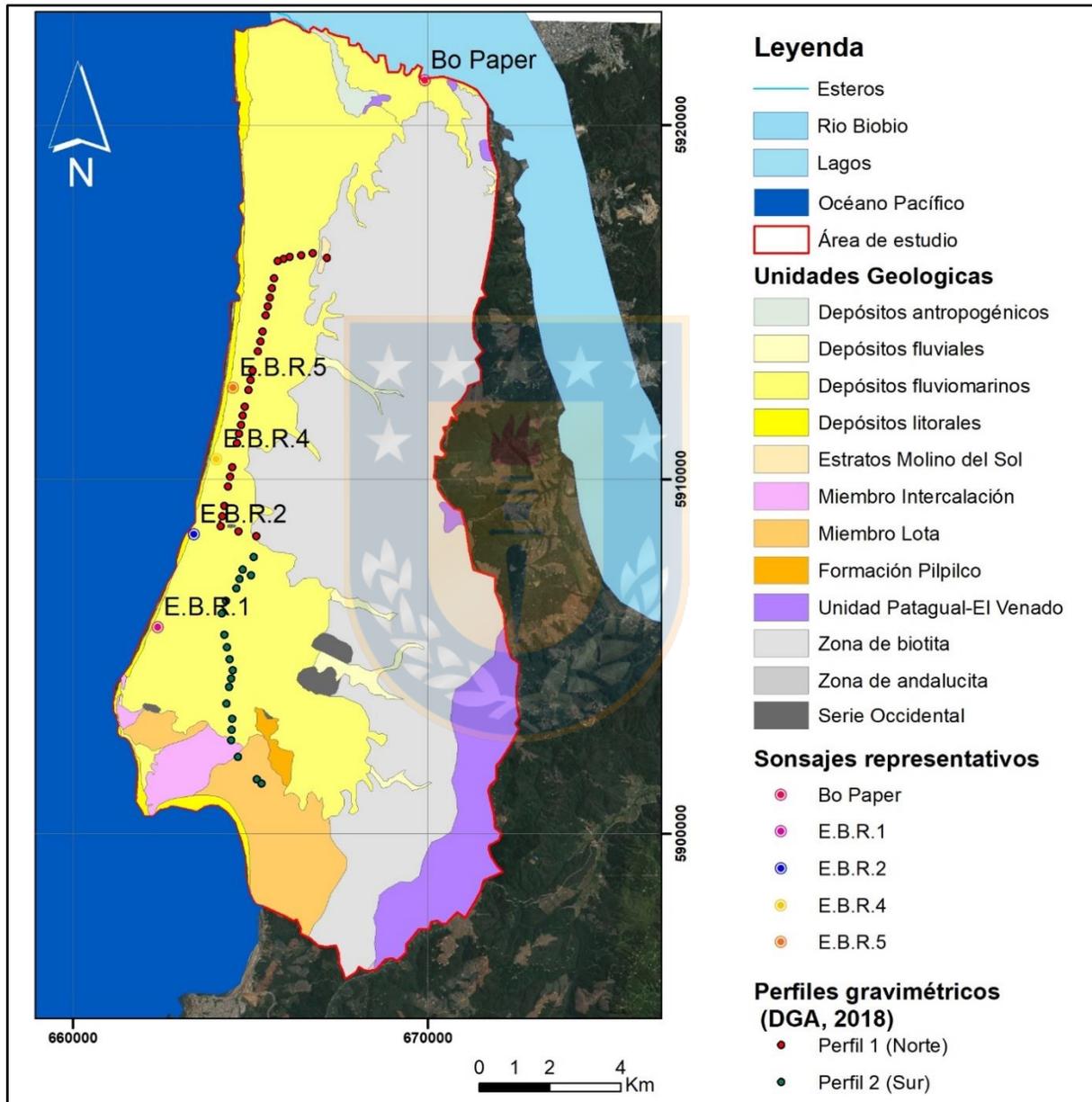
Se realizó el modelo 3D con el software Visual Modflow v2011.1, lo primero fue diseñar un modelo conceptual, que está formado por 3 capas o Layer, las que de techo a base son:

- Layer 1: Capa que agrupa todos los depósitos cuaternarios, considera los 4 acuíferos descritos en el capítulo 8,3, con espesores que varían de 0 a 200 m.
- Layer 2: Capa que agrupara a las Formaciones Pilpilco y Curanilahue además de los Estratos Molinos del Sol, con un espesor de 110 m en la zona centro del área y de 200m en la zona Sur. Considerando este Layer o capa ausente en la zona norte.
- Layer 3: Capa que corresponde al basamento metamórfico, unidad de menor permeabilidad.

### 7.9.2 Construcción de la geometría

El modelo del acuífero tiene un espesor máximo de 200 m en el Sur del área y en general se observa un aumento de espesor en dirección a la costa, el que varía como se observa en el Anexo 19, el área del modelo es de 12,7 km x 22,5 km. La topografía se obtuvo de un DEM de 5 m de resolución, con alturas máximas en el extremo Este del área, es decir, en la cordillera Nahuelbuta con cotas de hasta 465 ms.n.m, el resto del área se presenta relativamente plana, con cotas

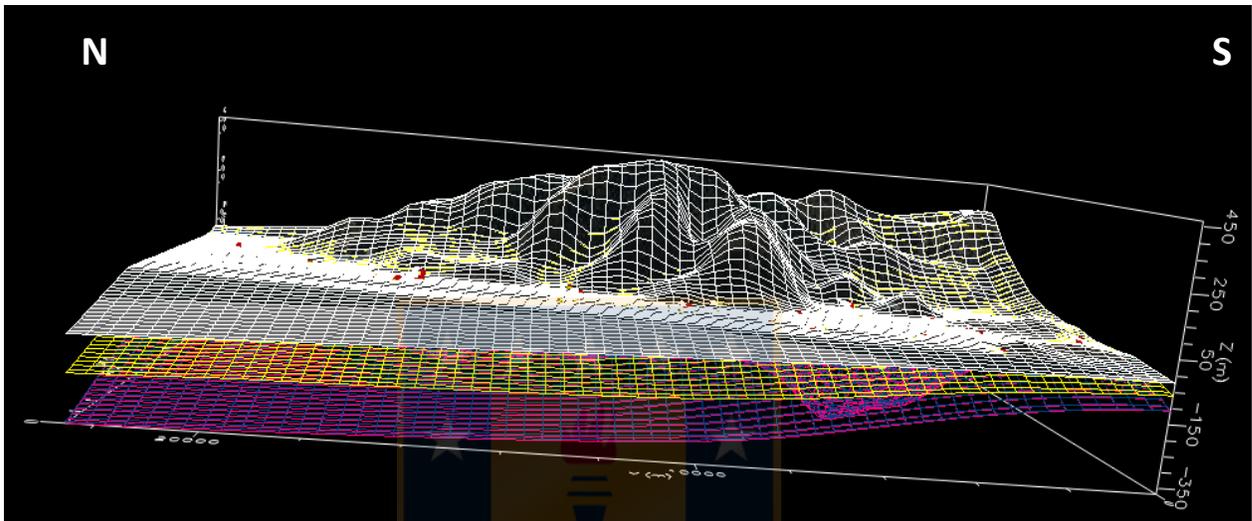
menores en el sector norte que en el sur. Con el software AutoCAD 2015, se diseñó la parte inferior del modelo, es decir, el basamento en función de los perfiles de gravimetría realizados por la DGA (2018) (Anexo 13), los sondajes realizados por ENACAR (Anexos 12 y 11) y la geología de la zona (Figura 28).



**Figura 28:** *Distribución de información para la geometría del modelo;* sondajes de mayor profundidad extraídos de Liubow *et al* (2009), perfiles gravimétricos extraídos de DGA (2018) y geología del área (elaboración propia)

El basamento al Sur del área llega hasta los -345 ms.n.m y en la parte noroeste llega a -263 m s.n.m.

Visto de planta el modelo se divide en 60x60 celdas, donde cada una tiene una dimensión de 211 x 382 m. La cantidad de celdas fueron elegidas por ser el máximo número que permite el software, las capas y geometrías de estas se pueden ver en la figura 29.



**Figura 29:** Modelo tridimensional de toda el área de estudio en interfase de 3D- Explore de Visual Modflow, con una escala 1:8, grilla blanca es topografía (límite superior del 1º Layer), grilla amarilla es límite superior del 2º Layer y base del 1º Layer, grilla morada base del 2º Layer y techo del basamento Metamórfico (elaboración propia).

### 7.9.3 Condiciones de Borde

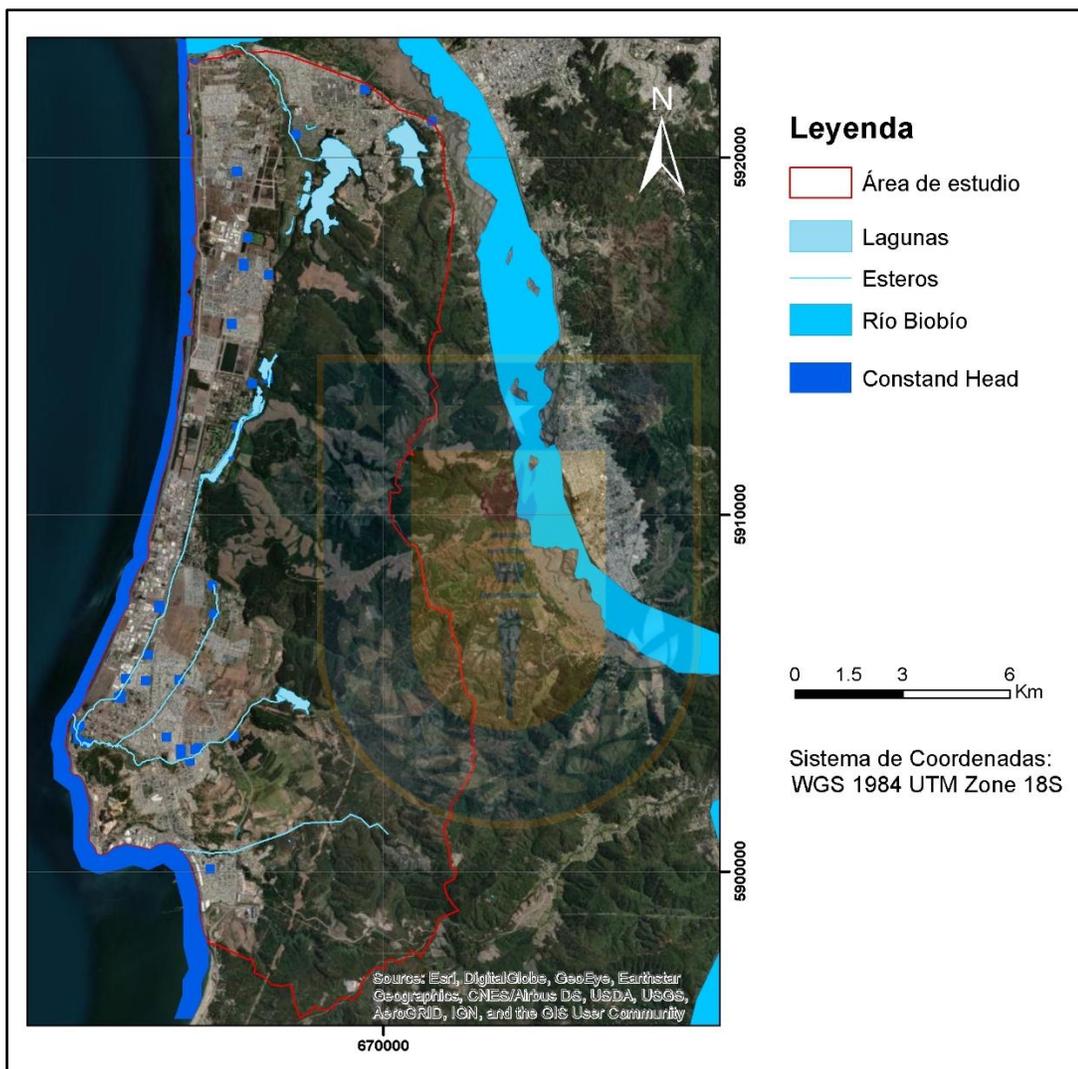
En este capítulo se evalúan las condiciones de borde para el modelo, es decir, nivel de agua subterráneo, barreras impermeables, ingreso de ríos y lagos.

Se ingresan al modelo los constad head o niveles de agua de los derechos de agua (Anexo 19) de acuerdo a la latitud y longitud que registran, y se crea una fila de dos celdas de espesor, a la orilla del mar que se les otorga un constad head de 0 ms.n.m, a fin de generar un gradiente hidráulico.

De acuerdo a los derechos de agua extraídos de la memoria de Gormaz (2020), la cota promedio del nivel estático es 2,6 ms.n.m en verano (Enero-Marzo) y de 3,06 ms.n.m en invierno (Junio-Agosto), con una máxima de 6,94 ms.n.m, registrada tanto en verano como invierno, y la mínima

a -1,44 ms.n.m, es excluido el Pozo1415 de ESSBIO S.A de la confección del modelo, ya que su nivel estático es de -4,26 ms.n.m, valor anómalo.

Además, se desactivan las celdas donde se represente basamento Metamórfico y Unidad Patagual - El Venado, además de la zona de mar adentro.



**Figura 30:** Niveles estáticos utilizados en el modelo I de Visual Modflow (elaboración propia).

## Ríos

Para el modelo se excluyó el río Biobío, por desconocimiento de su interacción con el acuífero e insuficiencia de datos. Considerando solo 4 esteros, los cuales varían su caudal y ancho de cauce dependiendo de las precipitaciones y que son intermitentes tanto en verano como en invierno, y como estos presentan dimensiones que no modifican las conductividades de los acuíferos se considera para todos los siguientes esteros:

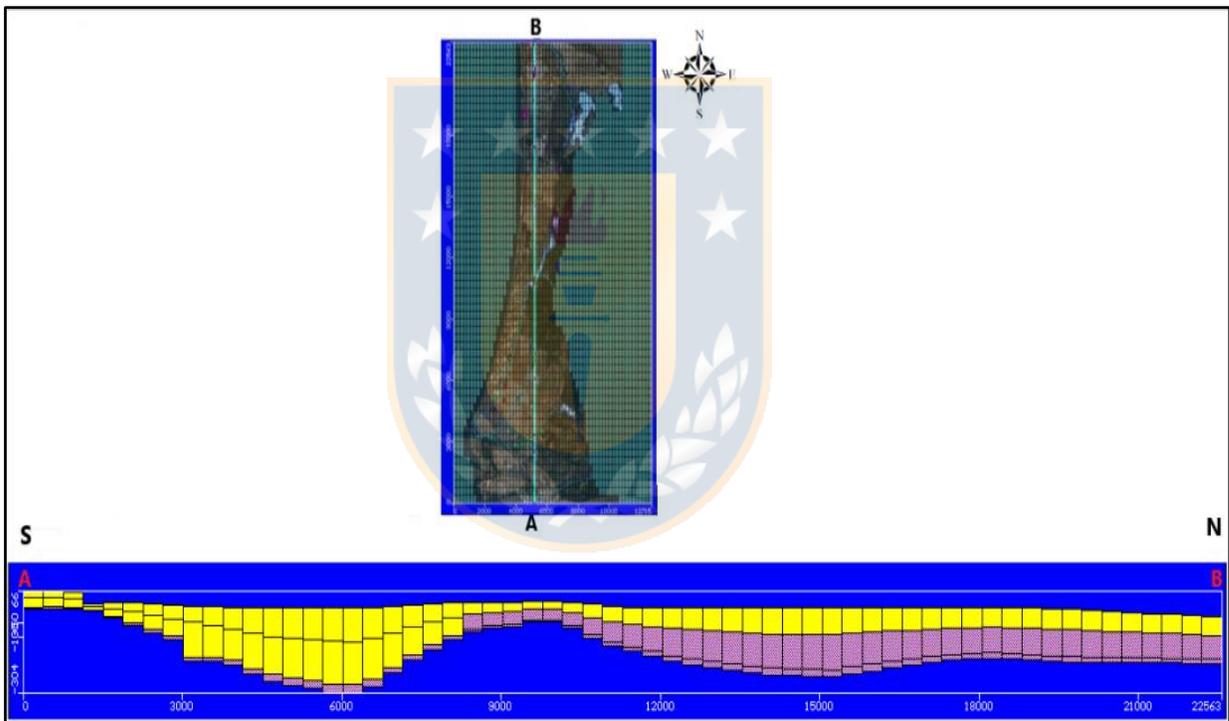
- Estero los Batros: De acuerdo a observaciones de terreno y fotos aéreas el ancho de cauce del estero es de 2 a 3 m de ancho en verano y de hasta 100m en invierno. Presenta una cota de 2,85 m.s.n.m. y de 0,70 m.s.n.m. en el inicio del río y en desembocadura en el río Biobío (Parra *et al.*, 2013).
- Estero Lagunilla: De acuerdo a observaciones de terreno y mediciones de fotos aéreas, el cauce del estero es de 6 a 10 m en invierno y hasta 80m en verano. Con cotas de 31 y 19 m.s.n.m para la cabecera, en las faldas de la cordillera Nahuelbuta, y en el desagüe con el estero Maule.
- Estero la Posada: De acuerdo a observaciones de terreno y mediciones de fotos aéreas, el cauce del estero es de 10 a 13 m en verano y hasta 100m en invierno. Con cotas de 17,2 y 5,8 m.s.n.m para la cabecera, desagüe de la laguna la Posada, y la desembocadura en el estero Maule.
- Estero Maule y Estero Villa Mora: Estos dos esteros fueron ingresados como uno solo, con un ancho de cauce de aproximadamente 30 m, de acuerdo a observaciones de terreno realizadas en invierno en el sector de la desembocadura y de hasta 90 m en fotos satelitales. Con cotas de 17,1 y 2,6 m.s.n.m en la cabecera, desagüe de la laguna Quiñenco, y desembocadura humedal Boca Maule.

## Lagos

Los datos de entrada para las lagunas son: precipitaciones y evapotranspiración, caudal de ingreso y desagüe, conductividad de fondo (m/s) y cota de espejo de agua y fondo, debido a la escala del trabajo los datos bibliográficos no convergen, estos datos se evalúan el capítulo 9.4, para el caso de la subcuenca Los Batros.

### Permeabilidades o Conductividades

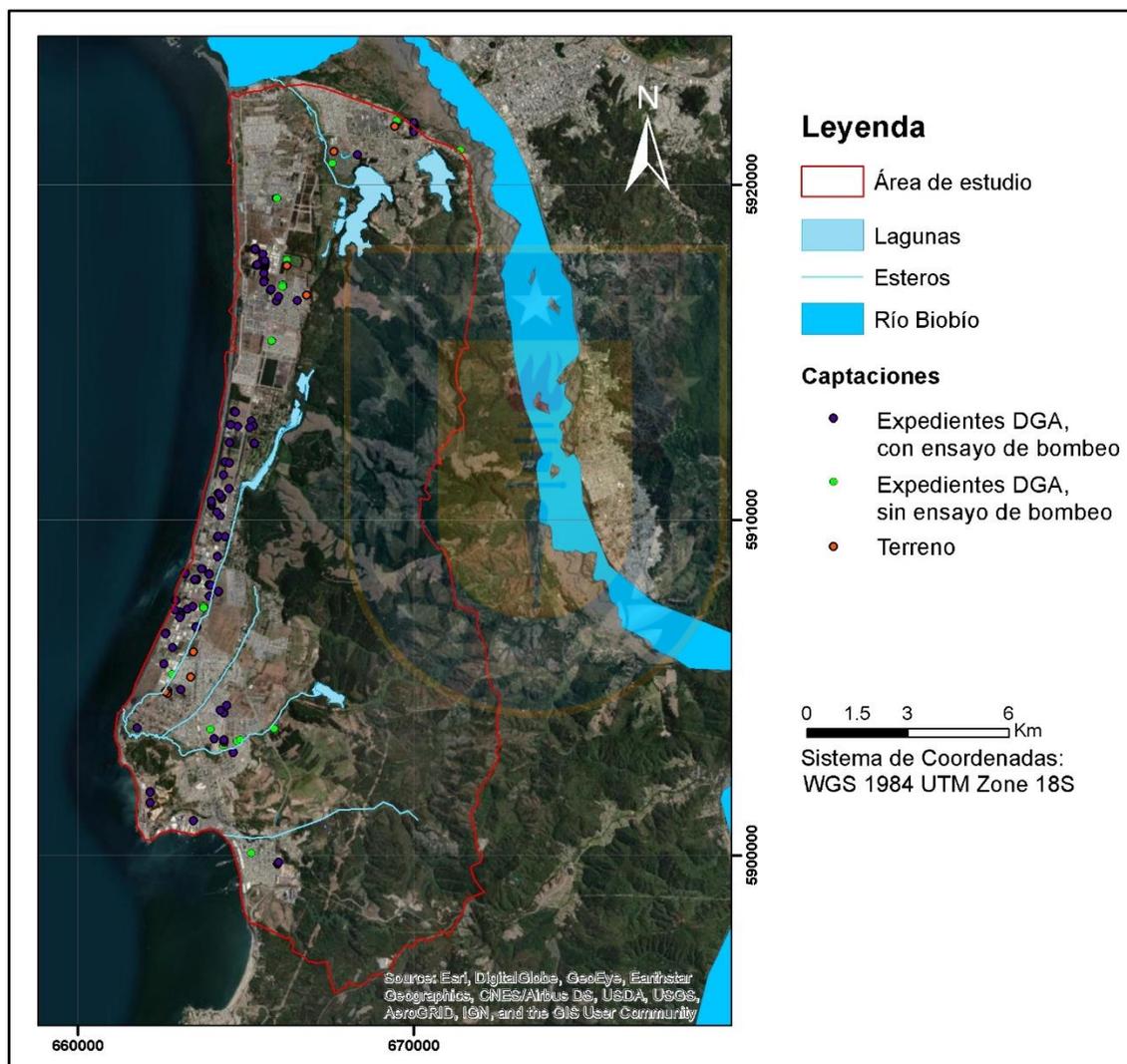
Se ingresaron permeabilidades distintas por layers. En el primer Layer (acuífero) se tiene un valor 63 m/d de permeabilidad horizontal (KH) y 48 de vertical (KV) valor corresponde a promedio de las conductividades del Anexo 15, extraído de la memoria de Gormaz, 2020. Para el segundo layer (unidad de rocas estratificadas) el que se caracteriza por tener una permeabilidad baja o muy bajo, se ingresó con 0,12 m/d de KH y 0,01 m/d de KV en función de los rangos de conductividades observados en hydrogeologists without borders.org (Anexo 18), finalmente el basamento se representó con celdas desactivadas, debido a que su permeabilidad es prácticamente nula y actúa como barrera (figura 31).



**Figura 31:** Perfil AB de conductividad hidráulica (sur a norte), con valores de, celdas amarillas, con 63 m/d de conductividad horizontal y 48 m/d conductividad vertical, y Celdas rosadas con 0,12 m/d conductividad horizontal y 0,01 m/d conductividad vertical. (elaboración propia)

### 7.9.4 Pozos

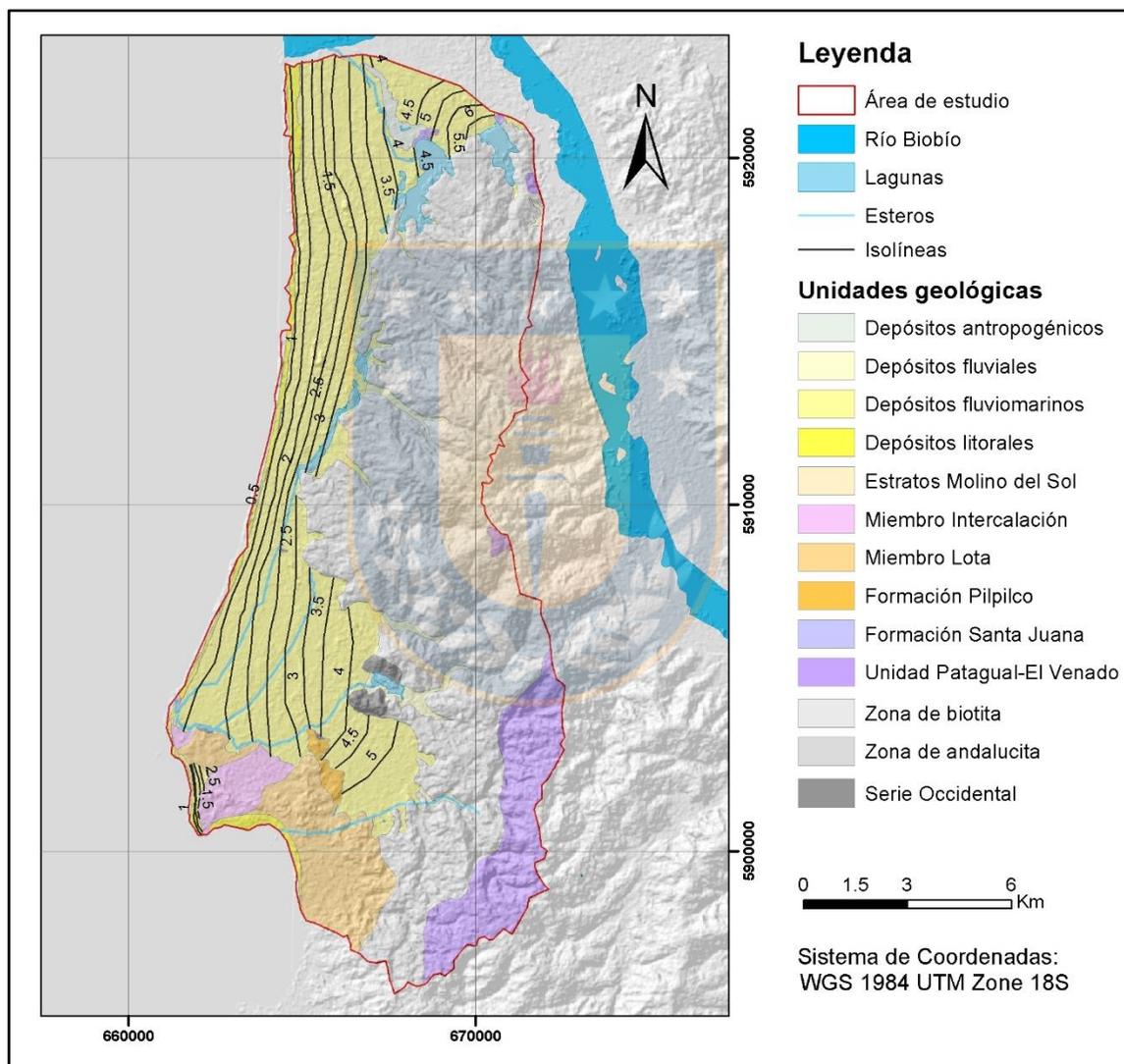
Se ingresan un total de 72 pozos (figura 32), los que presentan profundidades entre 5.9 m a 99,9 m y caudales de extracción que fluctúan entre 0,08 l/s a 110 l/s, con un promedio de 16,30 l/s (Anexo 19), los que fueron extraídos de Gormaz (2020). En total en el área se extrae un total de 2.541,7 l/s.



**Figura 32:** Mapa de pozos para toda el área de estudio. Puntos amarillos representan los 72 pozos del Anexo 19 (elaboración propia).

### 7.9.5 Isolíneas

El programa traza las isolíneas del acuífero (figura 33), se observa que las isopiezas aumentan desde 0 en la zona costera en dirección E llegando hasta los 6,5 m.s.n.m. en el sector Noreste de San Pedro de la Paz. La variación entre isolíneas puede deberse a las diferencias de litologías y de espesores dentro de área de estudio.



**Figura 33:** Mapa piezométrico de toda el área de estudio. Isopiezas cada 1m se observa geología (elaboración propia)

### 7.9.6 Dirección y velocidades del flujo subterráneo

En general la dirección de las aguas subterránea es de E-W principalmente existiendo una tendencia E-N en el área norte de San Pedro y N-W en el sur de Coronel (figura 34). Estas se desplazan con diferentes velocidades dependiendo de la litología y, por ende, estas difieren por zona, aunque en el modelo Visual Modflow v2011.1 se homogenizaron las conductividades hidráulicas por Layer para facilitar la construcción del modelo. Con esta condición la velocidad de aguas subterráneas en el área es de 1,6 – 5,0 m/s.

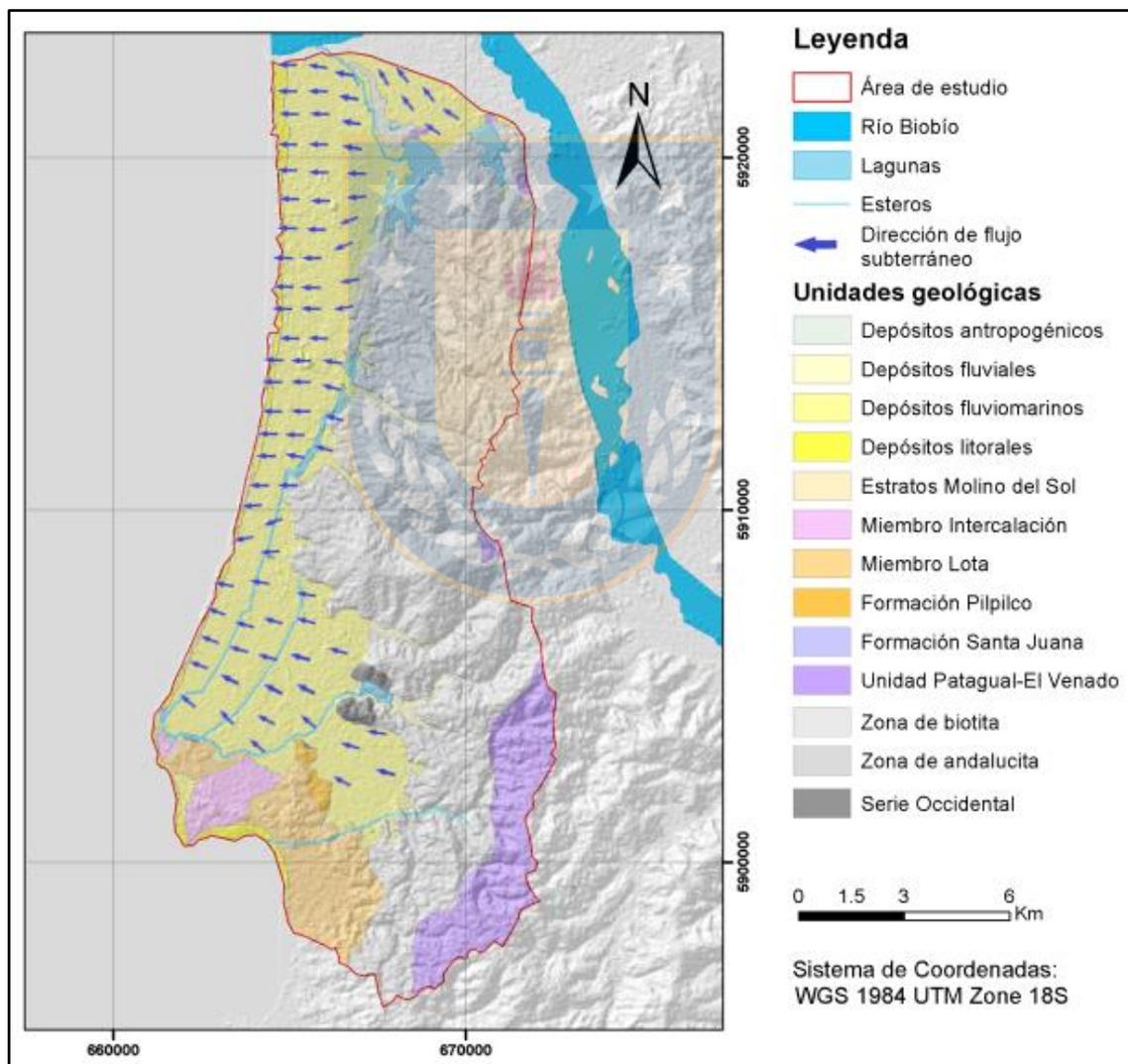


Figura 34: Mapa dirección de aguas subterráneas (flechas), y geología de la zona (elaboración propia)

### **7.9.7 Limitaciones de la modelación**

El área modelada con Visual Modflow v2011.1 es muy grande, generando que la escala no permita incluir todas las condiciones hidrogeológicas de la zona, donde cada celda tiene un tamaño de 211 x 382m, dificultando registrar variaciones del nivel estático o conductividad que coexistan a pocos metros de distancia, una misma celda. Para las conductividades se pondero un valor para el 1° Layer (Anexo 15) y para el 2° Layer se eligió la conductividad de rocas sedimentarias de tamaño arena fina-media (Anexo 18).

En el caso de los constad head, como existía una alta densidad de información (pozos), en los casos que estos se ubicaran en una misma celda, se obtenía un promedio de sus niveles estáticos. Otra simplificación es la representación solo de 4 esteros, excluyendo esteros menores y la influencia del río Biobío, que pese a ser un afluente de gran caudal y dimensiones, se desconoce su interacción con acuífero. Se omiten las lagunas debido a que el modelo no converge. Lo cual puede tener relación con la escala.

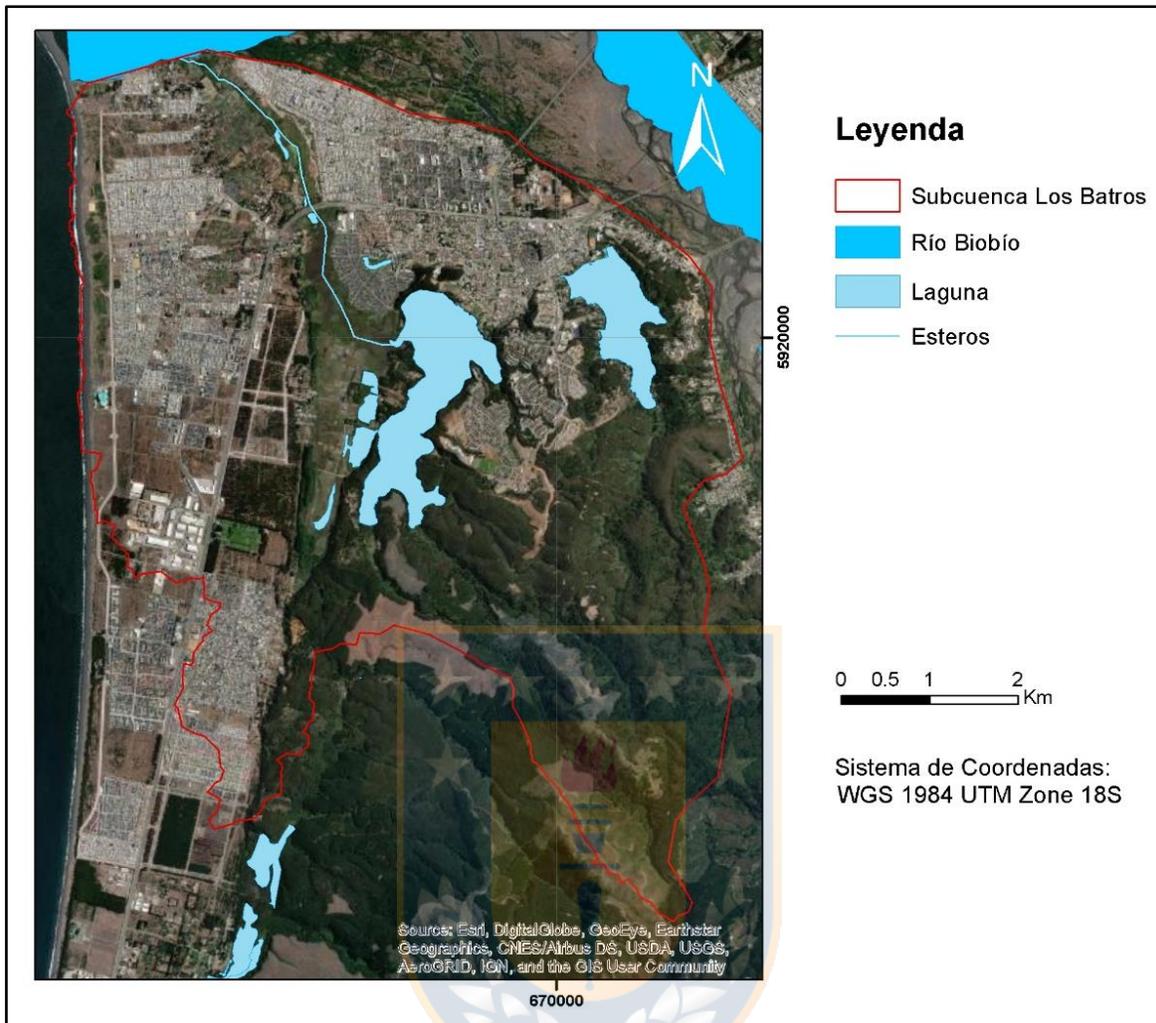
### **7.10 Modelo Visual Modflow San Pedro de la Paz**

Considerando las limitaciones que se presentaron en el modelo I, debido a la escala de trabajo y en función del objetivo del presente trabajo, se decidió realizar un segundo modelo exclusivo para el área de San Pedro, por lo demás zona que será afectada por el cambio de uso de suelo (producto de la carretera Puente industrial).

#### **7.10.1 Construcción geométrica**

El modelo abarca el área de la figura 35 de aproximadamente 3474,6 Ha. Está constituido por 50 x 50 celdas, donde cada celda tiene una dimensión de 165 x 114 m. Presenta un espesor máximo de 180 m en el noroeste y va disminuyendo hacia el este hasta 0 m, donde aflora basamento.

Conceptualmente está formado por un único Layer que representa la unidad de depósitos cuaternarios y dentro de este mismo se desactivaron las celdas pertenecientes al basamento metamórfico.



**Figura 35: Zona utilizada para el modelo II, exclusivamente San Pedro de la Paz (elaboración propia)**

### 7.10.2 Condiciones de Borde

En este capítulo se evalúan las condiciones de borde que no han sido presentadas en el capítulo 9.3, es decir, se excluyó ríos debido a que se utilizaron los mismos datos que para el modelo I.

### 7.10.3 Lagunas

Laguna Grande: Caudal de salida de 19,4 m<sup>3</sup>/s (Parra *et al*, 2013), debido a la falta de información sobre el caudal de entrada, se decide ajustar el modelo con diferentes valores, observando que con valores de 10 a 19,4 m<sup>3</sup>/s las isopiezas no se modifican de manera

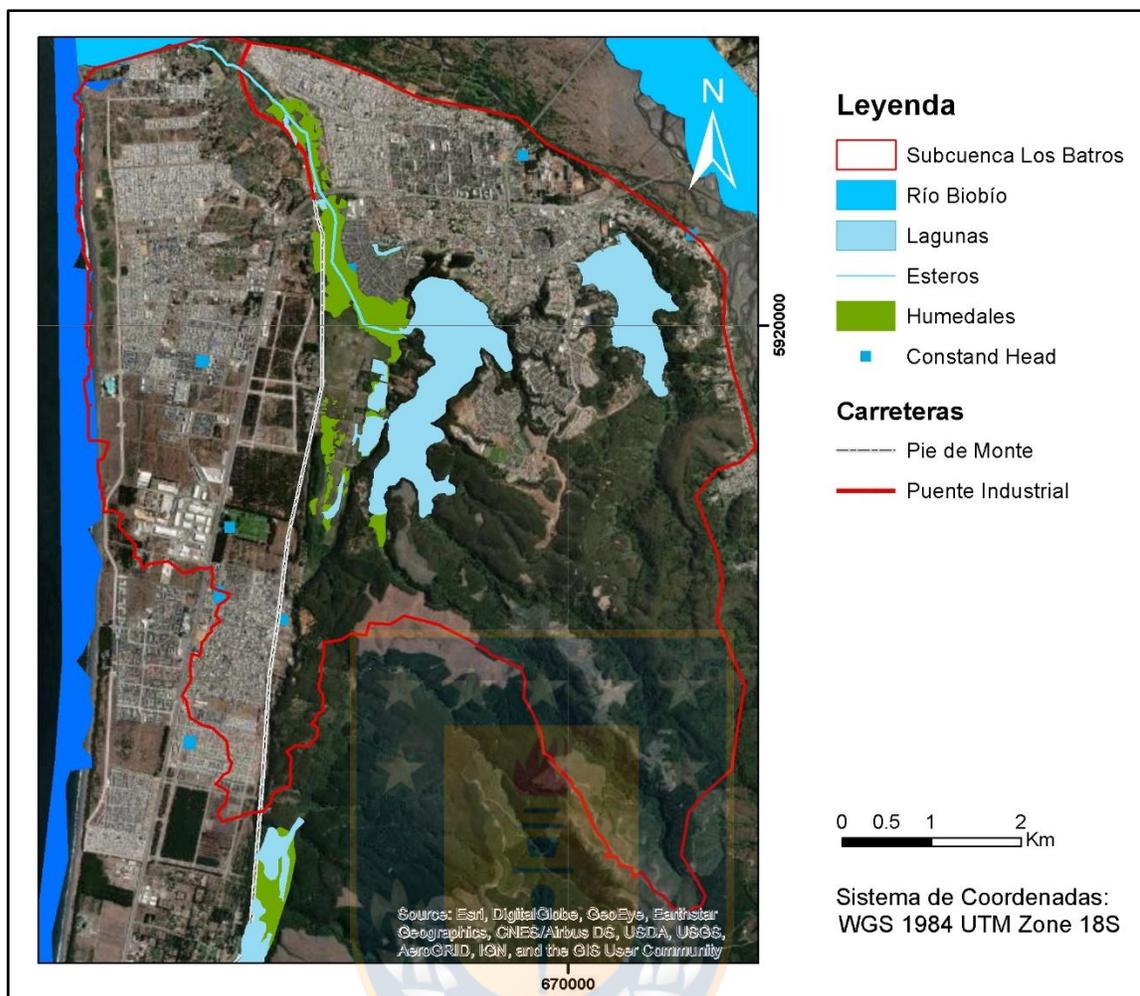
desproporcional con respecto I. Un ancho máximo de la laguna de 1500 m (Parra *et al*, 2013). Cota del espejo de agua 2,85 m.s.n.m y cota de fondo promedio de la laguna de -1 m.s.n.m.

Laguna Chica: Debido a que no se registra información sobre los caudales de ingreso o salida, se calibra el modelo con diferente rango observando que desde 8 a 19 m<sup>3</sup>/s, las isopiezas se trazan de manera coherente, sin embargo, para el modelo se utilizó el caudal de 8 m<sup>3</sup>/s tanto para salida como para entrada, considerando que esta laguna tiene un volumen mucho menor que la Laguna Grande. El ancho máximo de la laguna es de 870 m. Cota promedio para el espejo de agua es 40 m.s.n.m y cota promedio para el fondo es de 29 m.s.n.m.

#### **7.10.4 Constand Head**

Se ingreso al igual que en el modelo anterior, una columna de un ancho de 3 celdas para un constad Head de 0 m.s.n.n, lo que equivale aproximadamente a 450 m. El resto de los constand head fueron extraídos de 18 pozos dentro del área del modelo II (Anexo 20), los que registran niveles que varían de 2 a 12 m en invierno y de 4,50 a 4,80 m en verano, dichos valores expresados en cota son -1,88 a 9,44 m.s.n.m en invierno y de 1,26 a 2,34 m.s.n.m en verano, destacando la existencia de un pozo con cota negativa para el nivel freático, el que se encuentra en la proximidad del río Biobío.

Sin embargo, estos 16 datos tienen una distribución que permitió ingresar solamente 7 constan head diferentes, pues, en una celda coexistía más de un registro (figura 36).



**Figura 36:** *Constad head, lagunas y carreteras y tizado de las carreteras Pie de Monte y Puente industrial* (elaboración propia).

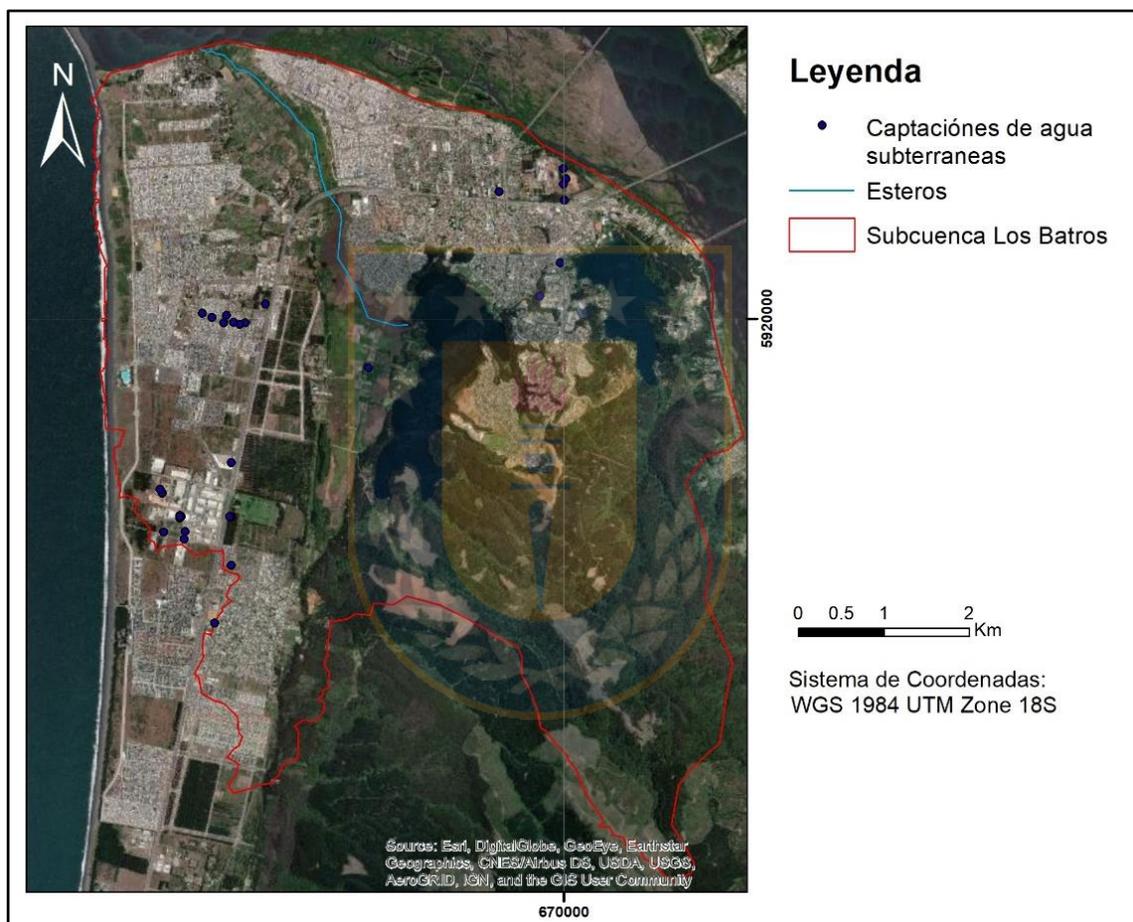
### 7.10.5 Conductividades

La conductividad que se utilizó para el modelo II fue de 31,4 m/d conductividad horizontal y 28,7 m/d conductividad vertical, la que se obtuvo como promedio de los valores arrojados en ensayos de bombeo del Anexo 15. Se utiliza este único valor para facilitar el cálculo en el programa, que puede registrar errores con las variaciones reales de conductividad del acuífero.

### 7.10.6 Pozos

Existe 16 pozos en el área de estudio, sin embargo, estos son ingresados al modelo como 3 debido a su distribución y resolución del modelo (figura 37).

Estos pozos tienen derechos de agua y el nivel estático varía entre 0,30 l/s a 100,00 l/s, con un promedio de 15,79 l/s y un total de 600,00 l/s aproximadamente. No se descarta la presencia de más pozos no registrados en la zona.

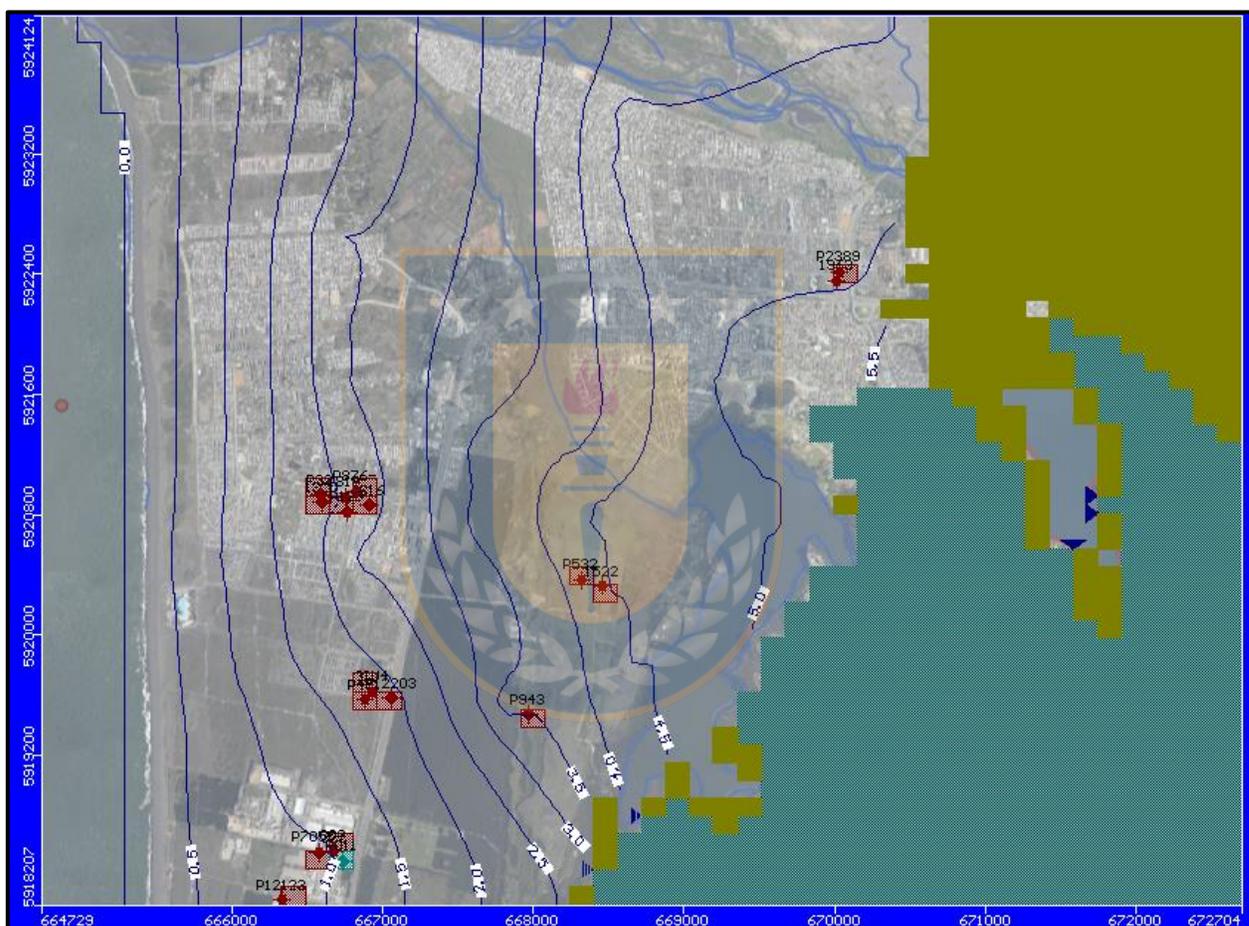


**Figura 37:** Mapa de los pozos en el área de San Pedro de la Paz; 16 pozos presentes en el área, los que se ingresan como 3 familias distintas al Visual Modflow de acuerdo a su distribución (elaboración propia).

### 7.10.7 Isolíneas

Las isolíneas varían de 5,5 ms.n.m en el área noroeste, próximas a la Laguna Chica y disminuyen hasta 0 en la franja litoral (figura 38) siguiendo aproximadamente el relieve topográfico. Además,

cabe destacar que el programa registra isolíneas de hasta 35 m.s.n.m, las que no son trazadas en el mapa, debido a que son las que circunscriben la laguna Chica, zona que se encuentra a más de 35 m.s.n.m e inserta en el basamento metamórfico, lo que se traduce en un espesor reducido del acuífero en esa zona (suelo), que no permite la unión de estas con el resto del acuífero, celdas café son zonas secas dentro del acuífero, dichas isolíneas que no son dibujadas indicarían que en la proximidad de la laguna Chica pueden existir punteras que funcionen con poca profundidad.

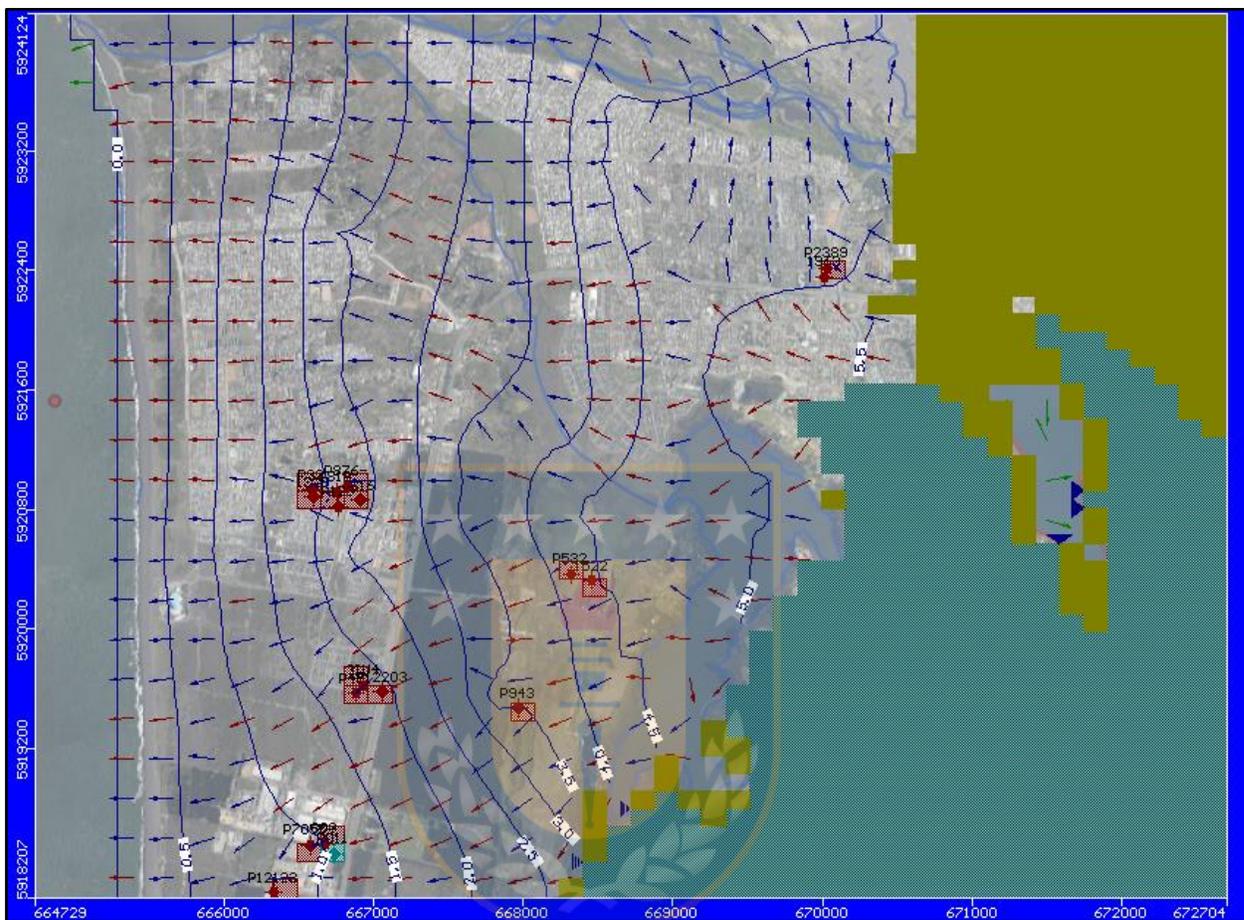


**Figura 38:** *Mapa de isolíneas en San Pedro de la Paz*, cada 0,5m en vista en planta del modelo II Visual Modflow, celdas café = áreas secas del acuífero y celdas verde = basamento metamórfico (elaboración propia).

### 7.10.8 Dirección y velocidades del flujo subterráneo

La dirección de las aguas subterráneas es predominantemente E-W, donde la franja litoral actúa como desagüe, sin embargo, en la zona noroeste del mapa, próximo a la laguna Chica, existe una

componente noroeste, donde las aguas subterráneas desembocarían en el río Biobío (figura 39). La velocidad entregada por el programa para las aguas es de 0,6 m/d.



**Figura 39:** *Mapa de dirección de aguas subterráneas del modelo II.* Flecha indican dirección de aguas subterráneas e isolíneas son 0,5 m a 6,0 m. (elaboración propia)

### 7.10 .9 Balance de Masa

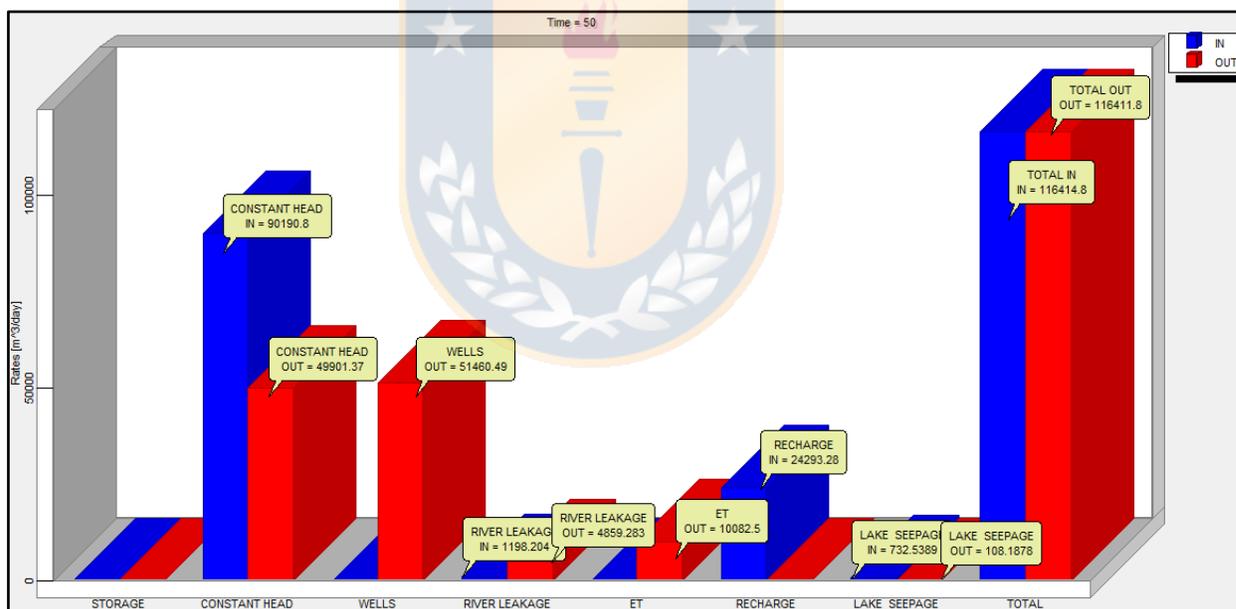
Se obtiene para la comuna de San Pedro de la Paz mediante Visual Modflow 2011.v el balance de masa en el acuífero, es decir, el caudal de agua que ingresa y el de salida del acuífero. La nomenclatura utilizada por el software se observa en la tabla 17.

**Tabla 17: Nomenclatura de los conceptos integrados** para el balance de masa de una cuenca.

Conceptos	Significado
<i>Constant Head</i>	Borde de altura constante de agua
<i>ET</i>	Evapotranspiración real
<i>Recharge</i>	Recarga
<i>Wells</i>	Pozos de extracción (Anexo 15)
<i>Lake SEEPAGE</i>	Filtración de lago
<i>River Leakage</i>	Filtración del río

Los resultados se obtuvieron a partir de los diferentes parámetros ingresados como, permeabilidades, coeficiente de almacenamiento, niveles estáticos, recarga, evapotranspiración real, caudal de entrada y salida para las lagunas y Constant Head.

Porcentualmente la diferencia corresponde a un 0,0%, lo que significa que el caudal de entrada y salida es prácticamente el mismo. En el gráfico 2 se observa de manera detallada los caudales que aportan o extraen agua del acuífero.



**Gráfico 2: Balance de masa detallado del acuífero de San Pedro de la Paz** (elaboración propia).

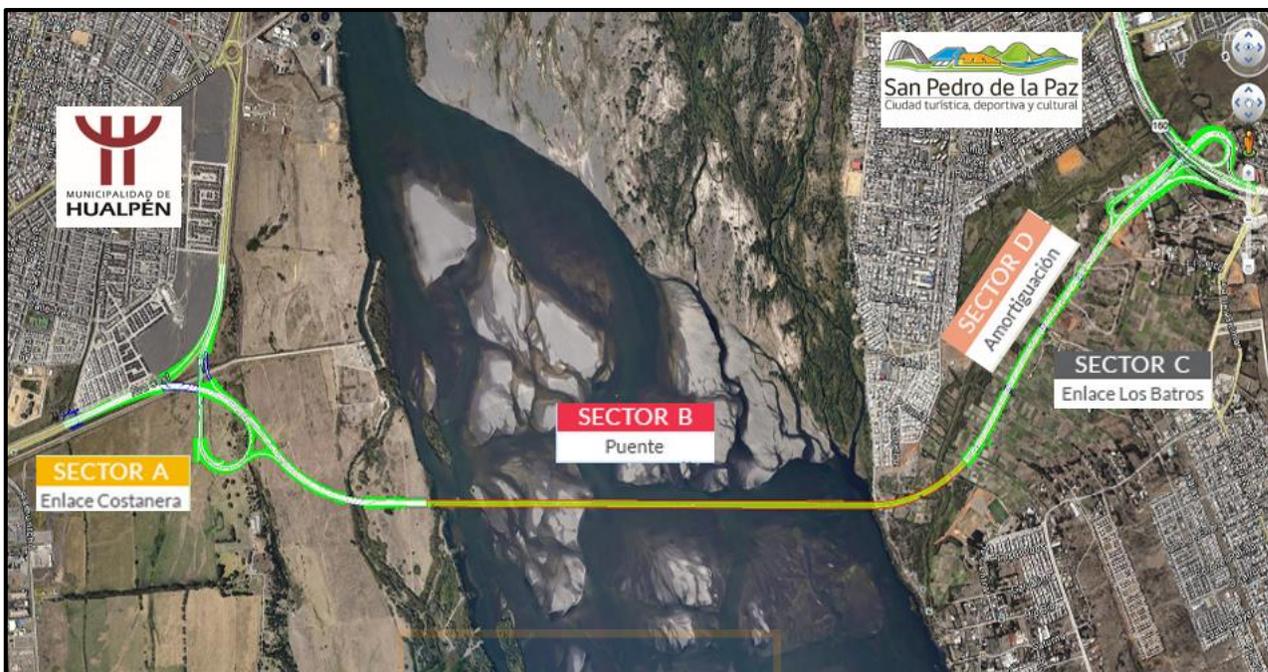
El software indica que el caudal de Salida es de aproximadamente 116411,8 m<sup>3</sup>/d y el de entrada es de 116414,78 m<sup>3</sup>/d, siendo la diferencia igual a 2,98 m<sup>3</sup>/d, indicando el incremento de agua en el acuífero, sin embargo, es importante mencionar que el caudal de extracción de los pozos para este modelo es igual a 51560,49 m<sup>3</sup>/d.

### 7.11 Antecedentes de los proyectos Puente industrial y carretera Pie de Monte

Los proyectos viales Puente industrial y su conexión carretera Pie de Monte se encuentran en etapas diferentes de desarrollo, en el caso del Puente industrial se encuentra con la licitación y estudio de impacto ambiental aprobados desde el 2018 y en el caso de la carretera Pie de Monte el estudio ambiental fue aprobado el 2020 y quedó a cargo de la consultora POCH AMBIENTAL S A, sin embargo, la información de detalle de dicho proyecto aún no se encuentra disponible. Razón por la que se analizó con Visual Modflow v2011.1 exclusivamente el tramo del proyecto Puente industrial denominado Sector D y C (tabla 18), como se puede ver en la figura 40. Debido que solo este proyecto cuenta con un estudio de impacto ambiental con diseño de carretera.

**Tabla 18:** Sectores en que se divide el proyecto Puente Industrial (Fuente: [www.Puenteindustrial.cl](http://www.Puenteindustrial.cl), 2019).

Sector	Descripción
A	Enlace costanera – Ribera norte río Biobío
B	Puente industrial
C	Ruta entre Ribera sur río Biobío - R160 - Enlace Los Batros
D	Area de amortiguación



**Figura 40:** Sectores del proyecto industrial. Son 4 sectores en los que se divide el megaproyecto (Fuente: [www.Puenteindustrial.cl](http://www.Puenteindustrial.cl), 2019).

Los proyectos viales atraviesan parte de la llanura de inundación del estero y humedal Los Batros en el sector al Este de la población de Candelaria, y el humedal y laguna Junquillar, por lo que modificar la topografía y extraer vegetación en ese sector está prohibido de acuerdo a la Ordenanza ambiental de la Municipalidad de San Pedro de la Paz (2015), sin embargo, la municipalidad puede autorizar y fijar las condiciones de construcción. En el Plan de Desarrollo Comunal o PLADECO, vigente del 2018 a 2021, se plantea la zona C y D como área de riesgo de inundación fluvial.

La segunda modificación al Plan Regulador Comunal (2019) sostiene que las vialidades propuestas deben revisarse con el objeto de evitar que estas afecten innecesariamente las quebradas de la Cordillera de Nahuelbuta.

En este contexto se realizó un Plebiscito comunal en San Pedro de la Paz, para incentivar la participación ciudadana en el plan regulador de la comuna, donde el 90% de los votantes estuvieron a favor de proteger las lagunas y humedales, sin embargo, este no alcanzó el quórum mínimo (>51%) para ser vinculante.

## 8 DISCUSIÓN

### 8.1 Efectos en el Balance hídrico

En este capítulo se realiza un balance hídrico con la planilla Excel Easy balance v3.0 (Vázquez-Suñé y Castro, 2002) para cuantificar la diferencia en la recarga, escorrentía y evapotranspiración real producto de cambio de uso de suelo ocasionado en la construcción de los proyectos viales: Carretera Pie de Monte y Puente industrial, su trazado se puede ver en el Anexo 5.

#### 8.1.1 Efectos en la subcuenca los Batros

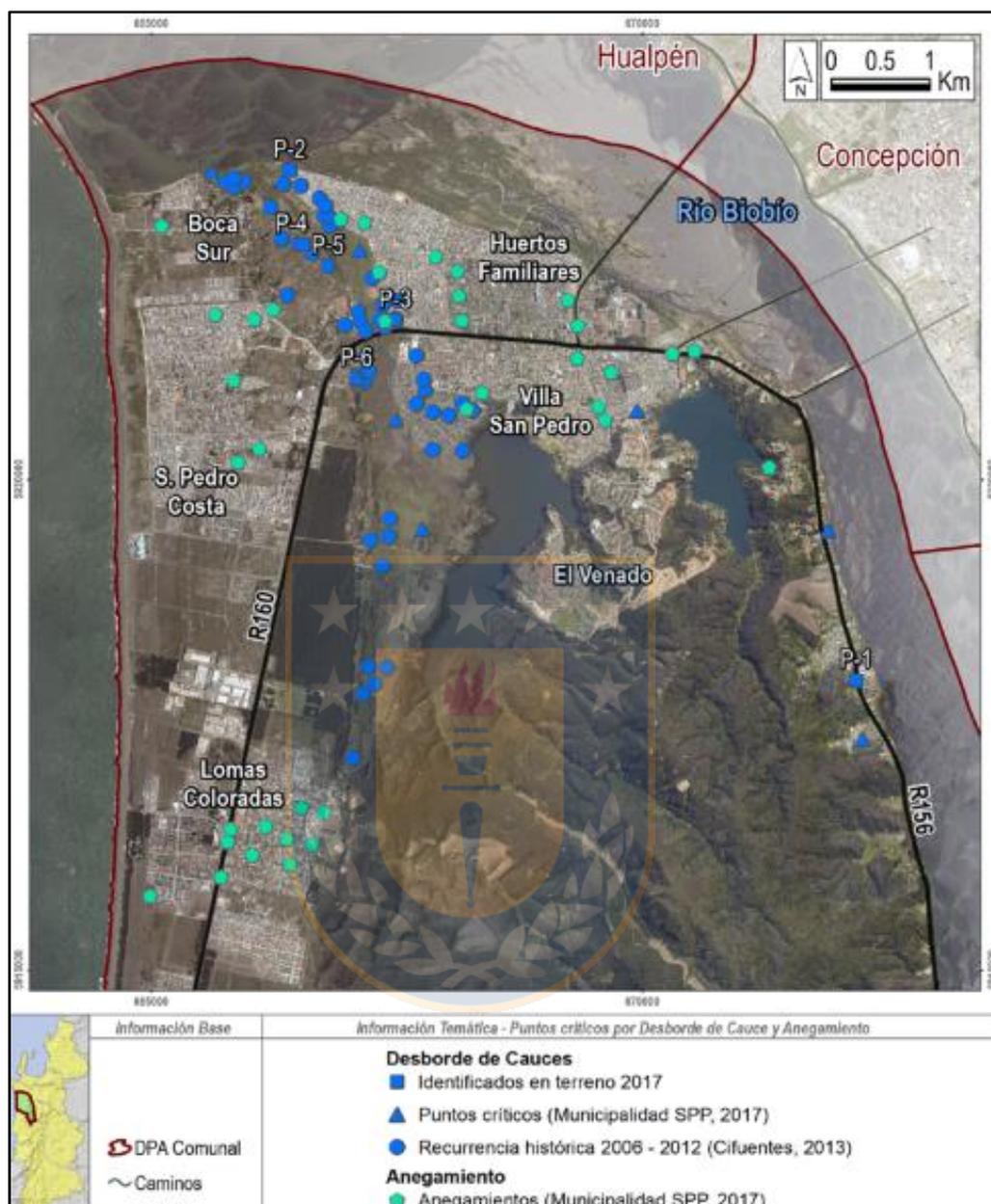
En esta subcuenca de 46,27 km<sup>2</sup> aproximada que incluye las lagunas Chica y Grande de San Pedro, donde la laguna Grande de 1,63 km<sup>2</sup>, con un estero de desagua llamado estero Los Batros y con él un humedal asociado del mismo nombre de 1,15 km<sup>2</sup>. La ETR, escorrentía y recarga calculado en el capítulo 7.5 para la subcuenca es de: 319,59 mm/a 399,11 mm/a y 319,59 mm/a, respectivamente. Si se considera la modificación de uso de suelo productos de las carreteras puente industrial y Pie de Monte, se aumentaría de 0,32 km<sup>2</sup> de carretera a 0,93 km<sup>2</sup> y se reduce en aproximadamente 0,05 km<sup>2</sup> el área del humedal, alcanzando una superficie de 1,03 km<sup>2</sup>. La modificación de los usos de suelo dentro de la subcuenca se puede observar en el anexo 22.

**Tabla 19: Valores de ETR, escorrentía y recarga para caso actual y caso con proyectos viales dentro de la subcuenca Los Batros.**

	ETR (mm/a)	Recarga (mm/a)	Escorrentía (mm/a)
Con carreteras	399,08	319,47	401,49
Sin carreteras	399,11	319,59	401,35
Diferencia	-0,03	-0,12	0,14

Se observa que la escorrentía aumentaría en 0,14 mm/a, la recarga disminuiría 0,12 mm/a y la evapotranspiración real solo disminuye 0,02 mm/a.

La construcción de una carretera implica retirar vegetación del humedal y fragmentarlo, lo que sumado al aumento de escorrentía tendría repercusiones en los asentamientos cercanos, favoreciendo inundaciones o anegamiento. Existiendo en el sector de los Batros antecedentes de anegamiento y desborde del estero (figura 41).



**Figura 41:** Puntos críticos asociados a desbordes del estero y anegamientos (Extraído de Rojas & Link, 2018).

### 8.1. 2 Efectos en la subcuenca Junquillar

En esta subcuenca de 34,99 km<sup>2</sup> cuenta con dos lagos: Junquillar de 0,18 km<sup>2</sup> y La Posada de 0,39 km<sup>2</sup>. Esta subcuenca se caracteriza un elevado uso de su superficie como bosque, un 97,25%

y prácticamente nada de carreteras, solo 0,005 km<sup>2</sup>. En el capítulo 7.5 se calcularon los valores de ETR, escorrentía y recarga en: 443,48 mm/a, 555 mm/a y 200 mm/a, respectivamente, para esta subcuenca. Si se considera la modificación de uso de suelo productos de la carretera Pie de Monte, se aumenta a 0,564km<sup>2</sup> de superficie pavimentada.

**Tabla 19:** Evapotranspiración real, escorrentía y recarga de la subcuenca Junquillar-La Posada antes y después del cambio de uso de suelo producto de las carreteras.

	ETR (mm/a)	Escorrentía (mm/a)	Recarga (mm/a)
Sin Carretera	443,48	550,39	78,13
Con Carretera	443,48	550,60	77,73
	0,00	-0,21	0,40

En esta subcuenca la diferencia entre los valores de ETR, escorrentía y recarga es baja, si solo se consideran los efectos del cambio de uso de suelo en el trazado de la carretera y no los que podría generar en la vegetación aledaña a la carretera. Por otro lado, estos proyectos suelen traer obras anexas como nuevos proyectos inmobiliarios y sus accesos, por lo cual es solo una parte del impacto.

## 8.2 Efectos en Modelo Modflow

Para poder cuantificar los efectos de las carreteras anteriormente mencionadas en el acuífero de la zona afectada por la obra vial se realizó un modelo de menor escala, el que tiene un área de 8,92 km<sup>2</sup>, donde el largo es ampliamente mayor al ancho, al igual que en las carreteras.

Este modelo contiene los mismos parámetros que el modelo II, con la diferencia de la dimensión y espesor del Layer, el que fue reducido a un máximo de 60 m, debido a que las implicancias de una carretera repercutirán principalmente en las aguas superficiales y de manera poco significativa en las aguas subterráneas, y lo que se pretende visualizar de mejor manera lo ocurrido en los primeros metros del acuífero y también variaciones de centímetros en el nivel del freático.

Debido a que no existe una licitación aun para el proyecto Pie de Monte y en el caso del Puente industrial existe una licitación y estudio de impacto ambiental aprobados, realizado por la Sociedad Concesionaria Puente Industria S.A (2017), donde exponen la necesidad de realizar excavaciones y rellenos para la construcción de terraplenes. En consecuencia, a que el estudio no tiene la información de detalle sobre las profundidades o ubicaciones donde se realizaran las

excavaciones o los rellenos, se evaluaron dos opciones, la primera una disminución de 0,3 m con respecto a la cota inicial (zonas donde se realizarán excavaciones y mejoras de suelo) y la otra donde se aumentó en 0,8 m la cota del trayecto, que representa las zonas donde se rellenara y construcción terraplenes.

### **8.2.1 Mejoramiento de suelo y excavación**

El primer caso evaluado, es la opción donde se disminuye la topografía de la carretera, producto del excavaciones y mejoramiento de suelo, y posterior relleno que al compactarse consigue una cota menor a la previa al procedimiento, considerando que transitaran vehículos de alto peso.

De acuerdo al trabajo de título de Gutiérrez & Valenzuela (2018) para la realización del parque Los Batros, ubicado en el sector D del proyecto, se habría realizado una excavación de 1,2 m en la zona, con retiro de escombros y posterior relleno de mismo espesor que excavación, producto de la compactación habría disminuido la cota hasta 30 cm en algunos sitios del parque donde la compactación fue mayor, situación que reproduciremos en la primera simulación para el sector C. Complementario a lo señalado por Gutiérrez & Valenzuela (2018), el Manual de carreteras (MOP, 2010) sostiene que para carreteras medianas las excavaciones tienen una profundidad mínima de 0,3 m a 1,5 m y en caso que el suelo contenga mucha materia orgánica, podrá ser removido hasta 0,90 m de la zona de material húmedo. El informe de la carretera Puente industrial no entrega esta información necesaria para indicar específicamente en que zonas la remoción de material deberá ser mayor. Por lo que se infiere que, al ser una zona con alto contenido de materia orgánica y vegetación, es necesaria la técnica de mejora de suelo (excavación y posterior relleno).

### **8.2.2 Terraplenes**

El segundo caso evalúa el aumento de la cota del terreno producto del uso de terraplenes, los que consisten en tierra de relleno que soporte de mejor manera la carga vehicular y formar un plano de apoyo adecuado para la obra. Considerando que es una zona de humedales, debe instalarse un cimiento, como se ve en la figura 42, de acuerdo a la memoria de título de Ingeniero civil de Navarro (2010) la coronación tiene un espesor de a lo menos 0,6 m y sobre esta, se instala una

subbase, de material granulado entre 0,12 a 0,3 m y finalmente pavimento. Como la zona es relativamente plana, se le atribuyó un aumento de 0,8 m de cota para la trayectoria producto del espesor del terraplén.

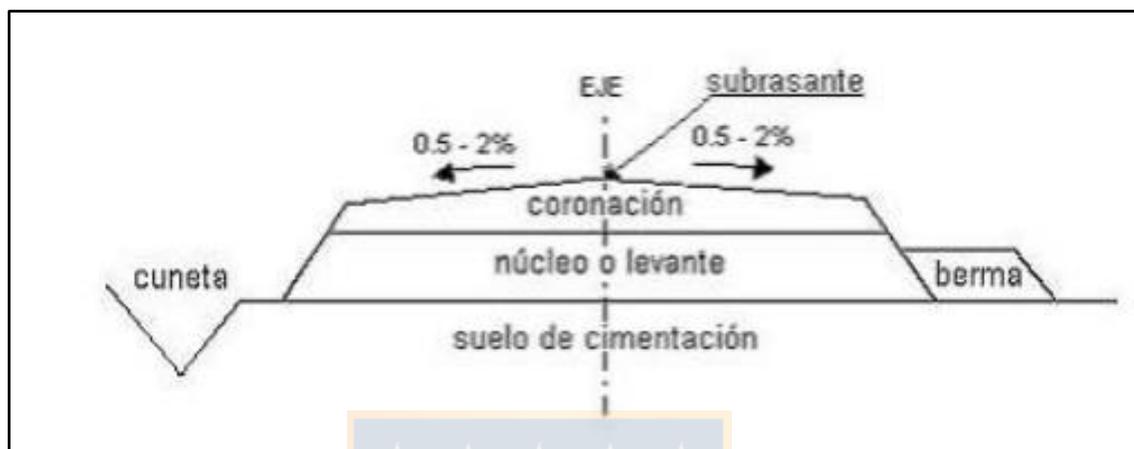


Figura 42: Esquema de un terraplén utilizado en carreteras (Extraído de Navarro, 2010).

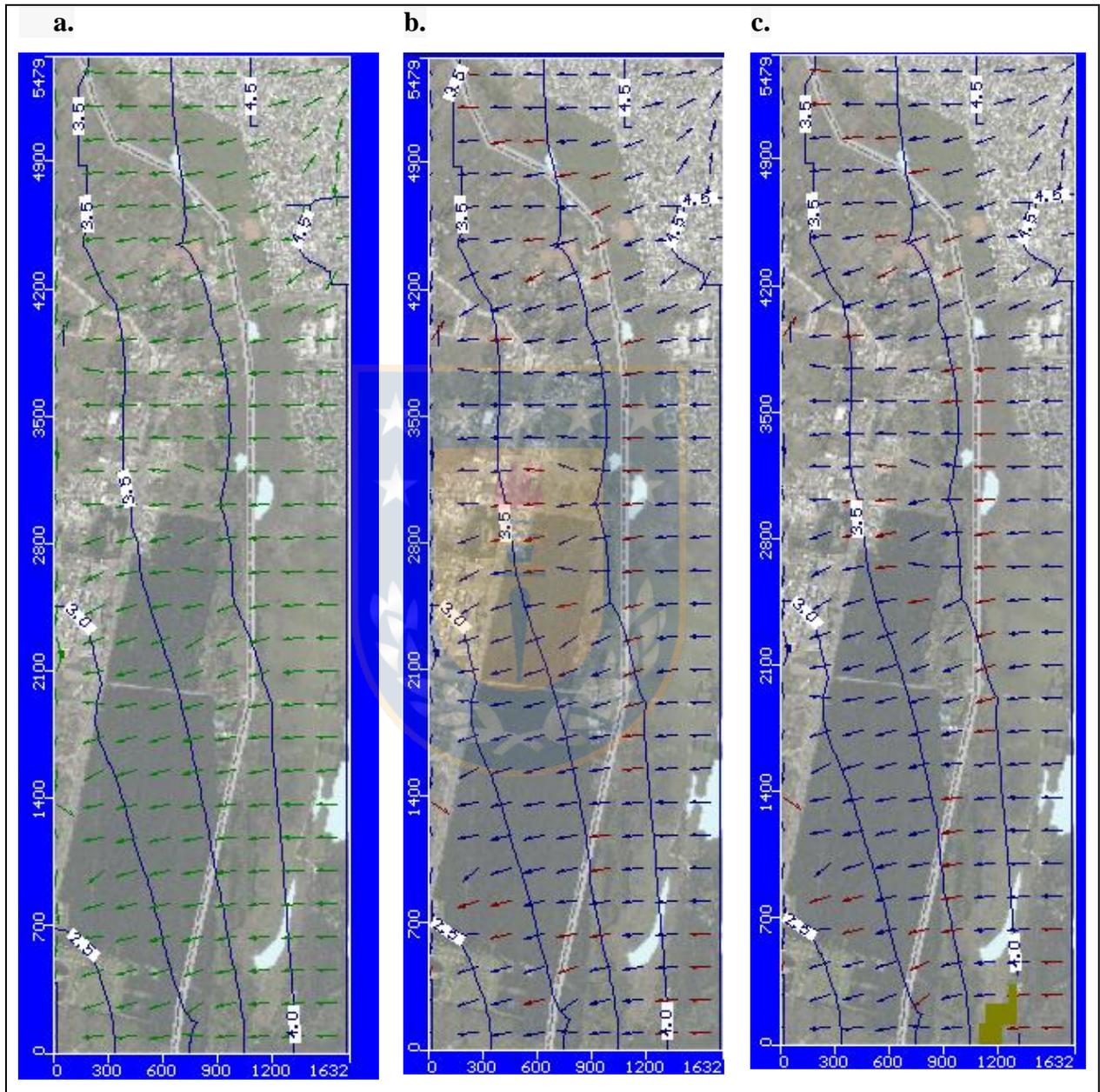
### 8.2.3 Conductividad

El modelo III utiliza la misma conductividad que el modelo II, es decir, 31,4 m/d para conductividad horizontal y de 27,8 m/d para conductividad vertical, con la exceptuando el trayecto de la carretera, al que se le asigna una conductividad de 1,0 m/d horizontal y 0,1 m/d vertical, simulando el área pavimentada. Para ello se dividió el único Layer, y así utilizar dicho valor de conductividad para los primeros 5 m.

### 8.2.4 Velocidad y dirección de las aguas subterráneas

El modelo sin y con las dos modificaciones evaluadas; disminución de cota en 0,3m del terreno y aumento de cota en 1 m, presentan un componen principal de dirección E-W. Localmente en el extremo noroeste del área el flujo subterráneo tiene una dirección N-E y en el extremo suroeste del área donde presenta una dirección S-W. La modelación evidencio que la velocidad de agua subterránea no varía con las modificaciones del terreno, manteniéndose en 0,41 m/d. La única diferencia notoria se observa para el caso con terraplenes, mostrando en el extremo sureste del modelo, se seca en la superficie cuando se aumenta en 1 m la cota del camino (figura 43), esto

debido principalmente a la pendiente generada al modificar la topografía, aumentando a escorrentía y disminuye la recarga en el sector los Guindos.

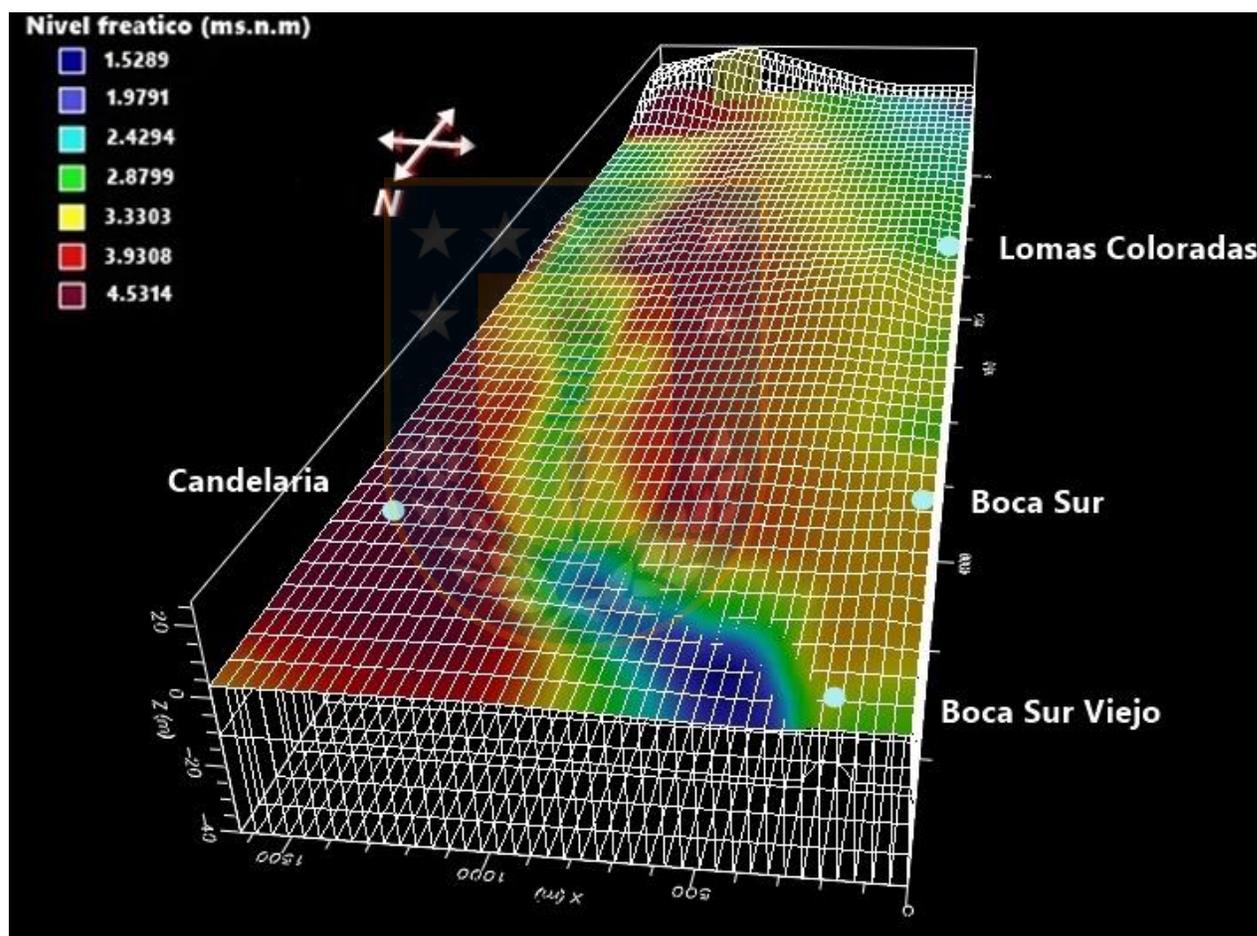


**Figura 43:** Mapas con isolíneas del modelo III para los casos: sin carretera (a), con excavación y mejoramiento de suelo (b) y uso de terraplenes y relleno (c). (elaboración propia)

### 8.2.5 Nivel Freático

Se observa que el nivel freático de la zona del humedal Los Batros se encuentra cerca de los 1,53 a 2,878 m.s.n.m., notando que es menor a medida se acerca a la desembocadura del estero Los Batros.

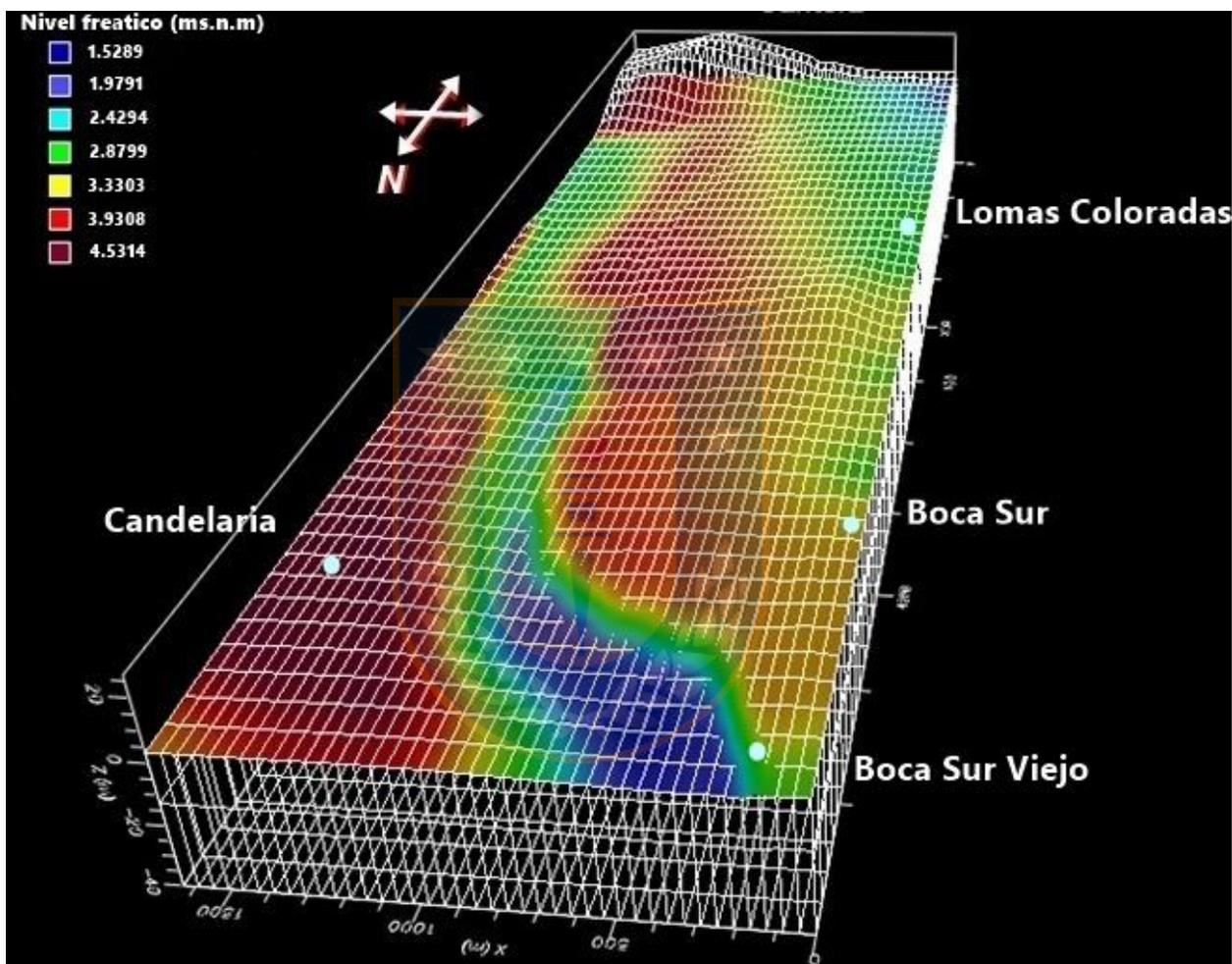
Se evidencia también, que el área interceptada por la topografía se ubica en el extremo noroeste del humedal (colindante con Boca Sur) como se puede ver en la figura 44.



**Figura 44:** Cota del nivel freático en invierno para el Modelo III. Grilla representa la topografía, sin modificación de superficie a una escala 1:10 (elaboración propia).

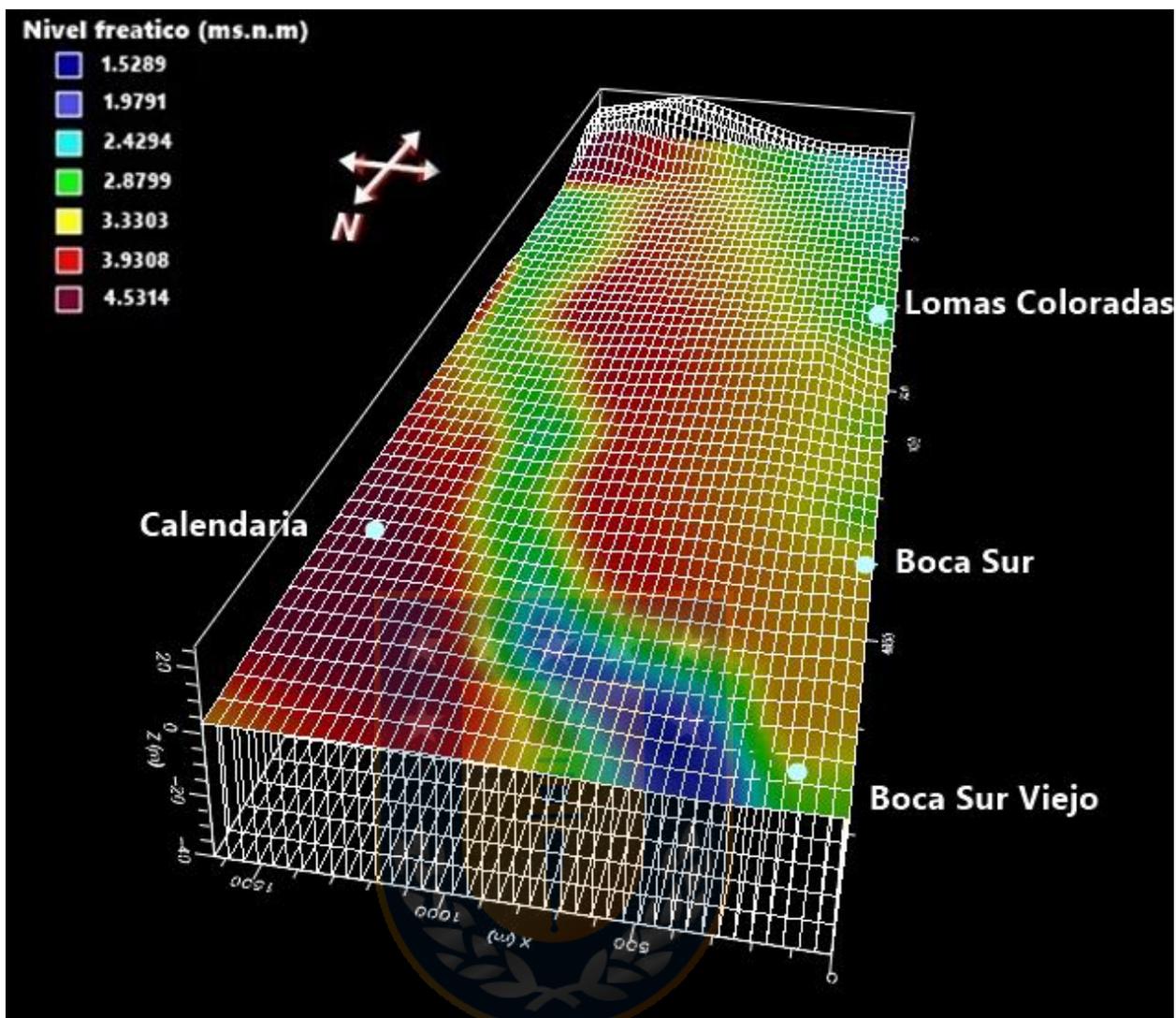
Cuando se realiza las modificaciones de topografía en función de las técnicas de construcción: mejoramiento de suelo y excavaciones o Terraplenes y relleno. Se observa que cuando se disminuye la topografía solo 0,3 m se extiende hacia el sur y se aumenta la superficie de

interacción de la topografía con el nivel freático, llegando a la altura de la localidad de Boca Sur con valores cercanos a los 2,88 m.s.n.m. cómo se puede observar en la figura 45, es decir, el nivel freático no disminuye ni aumenta de cota sustancialmente, si no que al estar próximo a la superficie las modificaciones topográficas pequeñas pueden producir su intersección con la topografía y volver más húmedas las zonas.



**Figura 45:** Cota del nivel freático en invierno con disminución en 0,3 m la topografía. Grilla representa topografía. Escala de 1:10 (elaboración propia).

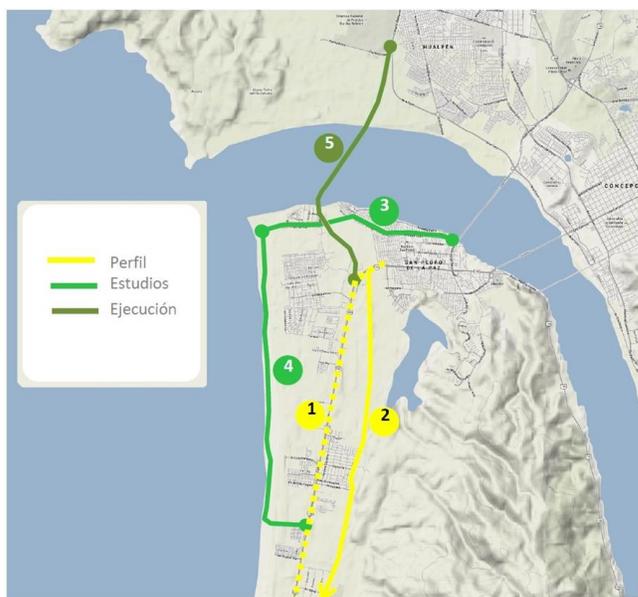
Mientras los resultados para el aumento de la topografía en 1 m, evidencia que se reduce el área interceptada por el nivel freático, dejando la limitada a la altura de Boca Sur Viejo con valores de 2,8 m.s.n.m., como se puede ver en la figura 46.



**Figura 46:** Cota del Nivel freático en invierno modelo III con aumento en 1 m la topografía. Grilla representa la topografía. Escala de 1:10 (elaboración propia).

### 8.3 Alternativas y sugerencias a las carreteras Pie de Monte y Puente Industrial

Como alternativa al proyecto Puente Industrial y carretera Pie de Monte, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) proponen la unión de dos vías: la Costanera del río Biobío y la Costanera Mar (figura 53) rutas existentes, pero no unidas, lo que impide que la Costanera Mar sea un acceso fácil para los vehículos que ingresan desde Concepción. Esta solución conectaría candelaria con Boca Sur y significaría un impacto prácticamente nulo al humedal y estero los Batros, debido a que solo tendría presencia a través de un puente en un sector puntual.



Gobierno de Chile - Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones

1. Corredor Transporte Publico
2. Pie de Monte
3. Costanera rio Biobío
4. Costanera Mar
5. Puente industrial

**Figura 47:** Trazado de los diferentes proyectos viales y rutas preexistentes en San Pedro de la Paz. Extraído de Arancibia & Ayala 2016.

Pero debido a que los proyectos Puente industrial y Pie de Monte ya tienen sus licitaciones aprobadas, y el Puente Industrial está en etapa de ejecución. Es necesario evaluar formas de minimizar el posible daño al ecosistema. La consideración más relevante es el reducir al máximo las modificaciones en la topografía del terreno, debido a que este tiene su nivel freático muy próximo a la superficie. Como mitigación a la fragmentación del medio, se propone implementar pasos subterráneos en las zonas donde se deban utilizar terraplenes, a fin de permitir el paso de la escorrentía superficial como la fauna, dichos túneles deben estar diseñados para albergar la misma flora que presentaba el humedal o paisaje circundante, a fin de cumplir su función de evitar la fragmentación del medio.

Una medida preventiva para el tema de la instrucción salina es realizar análisis químicos de las aguas, que contemplen los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , principalmente en las captaciones próximas a la costa y sobre todo en la zona del Parque industrial, medida que permitirá evaluar la necesidad de intervenir el acuífero, con técnicas de recarga artificial o recuperar los flujos hacia la costa que se ha pedido, que ayudaría a desplazar la cuña salina hacia el mar.

## 9 CONCLUSIONES

1. De acuerdo al balance hídrico de las subcuencas Junquillar - La Posada se observa que la evapotranspiración real no es afectada por los proyectos viales debido a la poca área que es intervenida, sin embargo, en la subcuenca Los Batros se observa que de 399,11 disminuye a 399,08; mientras la escorrentía superficial aumentaría de 401,35 a 401,49 mm/a para Los Batros y de mm/a para Junquillar – La Posada se tiene un incremento de 550,39 a 550,60 mm/a. La Recarga se vería disminuida en Los Batros de 319,59 mm/a a 319,47 mm/a y para la subcuenca Junquillar la variación es de 77,73 a 78,13. Al aumentar la escorrentía superficial y eliminar vegetación que favorece el encharcamiento de agua, se aumenta el riesgo de inundaciones para los asentamientos aledaños al proyecto, es decir, Boca Sur y Candelaria.
2. Debido a que el proyecto contempla el uso de terraplenes en el sector D (figura 40) y sitúa al estero los Batros al costado oeste de la carretera Puente industrial, se genera un escenario incierto para el desborde del estero en relación a sus alcances con la población Candelaria. Destacando que el actual PLADECO señala que el sector D y C se encuentran en zona de riesgo de inundación fluvial.
3. La disminución de la recarga del acuífero podría conllevar al desplazamiento de la cuña salina hacia el continente, debido a que al disminuir la recarga también lo hace el caudal de descarga del acuífero y se desequilibra la interfase agua dulce/salada. Determinar con los datos actuales como sería el desplazamiento exacto de la interfase producto de las carreteras no es posible, pero se puede sostener que la impermeabilización de la superficie puede llevar a problemas más severos de intrusión salina que los registrados actualmente, resaltando que las carreteras suelen tener proyectos inmobiliarios asociados que implican rellenos, compactación e impermeabilización de los suelos.

4. El software Visual Modflow v2011.1 permitió observar que los mayores efectos en las aguas subterráneas tienen relación al nivel freático. Se modelaron 2 situaciones; una donde la topografía disminuía en 0,3 m debido a excavaciones, produciendo que la zona de intersección del nivel freático con la superficie aumente y extendiera hasta Boca Sur Viejo (figura 45), propiciando riesgo de inundaciones en invierno. Mientras en el escenario de aumento de cota, específicamente 1 m debido al uso de terraplenes, la zona de intersección de nivel freático con la superficie se reduce y en el sector de Boca Sur y el nivel freático aumenta su profundidad. Además, en el sector de los Guindos el modelo indicó que debido a la modificación de la topografía al aumentar 1 m la cota de la superficie en el trayecto de la carreta se generaría en dicho sector una pendiente que impediría la infiltración de agua a las napas (figura 43).
5. La precisión de los resultados es buena, bajo las condiciones propuestas para las modificaciones de la topografía y del uso de suelo. Sin embargo, para el modelo de Visual Modflow v2011.1 podría aumentar la precisión de los resultados si se contara con dato de caudal para el estero la posada y, para la laguna La Posada y Junquillar (de entrada y salida) y, además el área exacta donde se utilizará terraplenes.
6. En el área existen antecedentes de una cuña salina, la cual fue detectada a 40 m de profundidad en el sector del Parque Escuadrón, sin significar un riesgo para las captaciones (en su mayoría punteras), es importante hacer la interrogante de cuanto es el avance que puede provocar la urbanización e impermeabilización de la cuenca. Como la fiscalización adecuada a los pozos industriales del sector para prevenir su avance.

## 10 REFERENCIAS

- AGUIRRE, L.; HERVÉ, F. & GODOY, E. 1972. Distribution of Metamorphic Facies in Chile: An Outline.
- ARANCIBIA & V.-AYALA, Y. 2016. Recursos naturales y urbano “Carreteras río Biobío / descongestión ruta 160 (participación ciudadana)”. Proyecto de magister en gestión integrada, Universidad de Concepción.
- BAEZA, A. & ARÁNGUIZ R., 2018. Atlas de riesgo naturales y antrópicos comuna de San Pedro de la Paz. región del Biobío, Chile.
- BANDEL, K. & QUINZIO, L. 1999. Paleozoic trace fossil from the Cordillera Costal near Concepcion, connected to a review of the Paleozoic history of central Chile.
- BÖRGEL, R. 1983. Geomorfología. Geografía de Chile, Tomo 2. Instituto Geográfico Militar. Santiago.
- CÁCERES, D. & RAMIREZ, P. 2012. Microzonificación sísmica y los fenómenos de licuefacción por efectos del sismo del 27 de febrero en la comuna de San Pedro de la Paz, Chile. Congreso Geológico Chileno, N° 13: 880-882pp. Antofagasta.
- CÁCERES, D. y RAMÍREZ, P. 2014. Microzonificación sísmica y fenómeno de licuefacción en la comuna de San Pedro de la Paz, Región del Bio-Bío, Chile. VII congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Concepción, Chile
- CARTES, I. 2004. Petrografía y Ambiente de Depositación de las Metapelitas Paleozoicas con Huellas Fósiles entre Tomé y Lirquen, VIII Región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito).
- CHOW, V., MAIDMENT, D. & MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada. McGraw- Hill, Bogotá, Colombia.
- CIREN-CHILE. 1999. Descripción de materiales y símbolos. Estudio Agroecológico VIII región. Centro de Información de Recursos Naturales. Santiago.
- COTLER H., GALINDO, A., GONZÁLEZ, I., PINEDA R. & RÍOS E., 2013, “Cuencas hidrográficas. fundamentos y perspectivas para su manejo”
- CUSTODIO, E. Y LLAMAS, M. R. 1983. Hidrología subterránea. Tomo I y II. Barcelona, España.
- DELLAROSSA V., UGARTE, E. & PARRA, O., 1976. “Estudio limnológico de las lagunas “Chica de San Pedro”, “La Posada” y “Los Mendez”. Aspectos cuantitativos del fitoplancton invernal y sus relaciones con algunas características físicas y químicas del ambiente”.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 2016 Atlas del agua. Santiago, Chile.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 2018. Informe técnico “Actualización estudio hidrogeológico parque Escuadrón”. Concepción, Chile.

FERRARIS, F. 1981. Mapas geológicos preliminares de Chile: Hoja Los Ángeles-Angol escala 1: 250.000 Región del Bío Bío. Mapas Geológicos Preliminares. N° 5. 26 pp. Chile.

GALLARDO, A. 1995. Caracterización petrográfica, estructural y análisis de facies, Miembro Lota, Formación Curanilahue, Mina Lota. ENACAR. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito). Concepción.

GALLI, C. 1967. Geología urbana y suelo de fundación de Concepción y Talcahuano, Chile. Informe final del Proyecto de Investigación N° 75 de la Comisión de Investigación Científica de la Universidad de Concepción.

GAJARDO, A. 1981. Hoja Concepción-Chillán, Mapas geológicos preliminares de Chile, escala 1:250.000. Mapas Geológicos Preliminares. N° 3. 32 pp. Santiago.

GARCÍA, Y. 2004. Aplicación de los métodos círculo de Mohr y programa Reactiva 2.4 en el análisis del stress en las estructuras mayores del área de la ciudad Concepción, Región del Bío-Bío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito):

GLODNY, J., LOHRMANN, J., ECHTLER, H., GRÄFE, K., SEIFERT, W., COLLAO, S., & FIGUEROA, O. 2005. Internal Dynamics of a Paleoacretionary Wedge: Insights from Combined Isotope Tectonochronology and Sandbox Modelling of the South-Central Chilean Forearc. *Earth and Planetary Science Letters*

GONZÁLEZ, L. Y ORTIZ, F. 2009 “Diagnóstico de la interfase agua dulce – agua salada, costa del sector Escuadrón, área industria agroinversiones s.a. Coronel, VIII región del Biobío”.

GONZÁLEZ, L. 2017 “Métodos ETP y ETR”. Guía de hidrogeología, Universidad de Concepción.

GORMAZ, C. 2020. Caracterización hidrogeológica, hidrogeoquímica y vulnerabilidad de la cuenca costera entre el río Biobío y estero manco, región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra. Concepción.

GREZ, E. 1979. Estratigrafía, Paleogeografía y estructura del yacimiento carbonífero submarino de Lota-Schwager. Congreso Geológico Chileno N° 2. Arica.

HAUSER, A. 1995. Carta Hidrogeológica de Chile, Hoja Talca. Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN. Chile.

HENRIQUEZ, A., 2006. Variaciones locales del nivel del mar en las cuencas neogenas de caldera, III region y Arauco, VIII región: deducción de tasas de alzamiento y subsidencia tectónica. Tesis para optar al grado de magister en ciencias, mención geología. Santiago, Chile.

- HERVÉ, F.; THIELE, R. & PARADA, M.A. 1976. Observaciones geológicas en el Triásico de Chile Central entre las latitudes 35°30' y 40°00' S. Congreso Geológico Chileno Vol. 18: 97-113pp. Chile.
- HERVÉ, F. 1977. Petrology of the Crystalline Basement of the Nahuelbuta Mountains, South Central Chile. Comparative studies on the geology of the Circum-Pacific Orogenic Belt in Japan and Chile. (T. Ishikawa y L. Aguirre eds.)
- HERVÉ, F.; GODOY, E.; PARADA, M. A.; RAMOS, V.; RAPELA, C.; MPODOZIS, C. & DAVIDSON, J. 1987. A general view on the Chilean-Argentine Andes, with emphasis on their early history. Circum-Pacific Orogenic Belts and Evolution of the Pacific Ocean Basin.
- HERVÉ, F. 1988. “Late Paleozoic subduction and accretion in southern Chile”. Vol. 11, (3): 183-188pp. Chile.
- IHS INGENIEROS CIVILES LTDA. 2006, “Estudio hidrogeológico e hidrológico para proyecto de instalación del complejo termoeléctrico Colbún, s.a.”
- ILABACA, P. 1979. Transgresión marina reciente en el litoral de Concepción. Antecedentes morfológicos. En Martínez, C., 2016. Crecimiento urbano sobre geformas costeras de la llanura de San Pedro, área metropolitana de Concepción.
- IÑIGO, L. 2018 Estudio de Impacto Ambiental: Concesión vial Puente Industria. Región del Biobío, Chile.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS DE CHILE, 2015, “Informe anual 2015”: 80-85pp .Santiago, Chile.
- INZUNZA J. 2014 “Guía de Meteorología Descriptiva” Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción.
- INZUNZA, C. 2019. Habilitación para optar al título de ingeniera ambiental, “Percepción de la calidad de agua domiciliar de Coronel”, Universidad de Concepción.
- ISLA, F.; QUEZADA, J.; MARTÍNEZ, C.; FERNÁNDEZ, A. y JAQUE, E. 2012. The Evolution of the Biobío Delta and the Coastal Plains of the Arauco Gulf, Biobío Region: the Holocene Sea-Level. Journal of Coastal Research. Vol. 1, N°28: 102–111. Florida.
- JARA-MUÑOZ, J.; MELNICK, D.; ZAMBRANO, P.; RIETBROCK, A.; GONZÁLEZ, J.; ARGANDOÑA, B. & STRECKER, M.R. 2017 Quantifying Offshore Forearc Deformation and Splay-Fault Slip using Drowned Pleistocene Shorelines, Arauco Bay, Chile. Journal of geophysical research: Solid Earth.
- JIMENEZ – CISNEROS, B. 2015, “Seguridad hídrica: retos y respuestas, la fase VIII del programa hidrológico internacional de la Unesco (2014-2021)”. Acua-Lac-Vol.7: 20-27
- KAIZUKA, S.; MATSUDA, T.; NOGAMI, M. & YONEKURA, N. 1973. Quaternary tectonic, and recent seismic cristal movements in the Arauco peninsula and it environs. geographical reports Tokio metropolitan University Vol.8: 1- 40pp, Tokio.

- KAMMAEYER, 2018 “Sequía y Escasez Hídrica: conceptos relacionados, situación actual y experiencia comparada en varios países para abordar el problema” Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: 2p. Santiago, Chile
- LÉPEZ, L. 2002. Análisis Estructural del Triásico de Santa Juana al sur y occidente del Río Bío-Bío, VIII Región, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra. Concepción.
- LUIS, J. VALVERDE, V., RIBERA, F., ESCUDER, R. & BURGOS, R., 2017. Memoria 2017. Fundación centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS). Catalunya, España.
- NAVARRO, G., 2010. Memoria para optar al título Ingeniero Civil “comparación técnico - económica de alternativa de trazado vial en viaducto versus terraplén”. Santiago, Chile.
- MARDONES, D., VELASQUEZ, R., MERINO, R., QUINZIO, L. & BONILLA, R., 2012. “Caracterización y condiciones de metamorfismo de una nueva unidad dentro del Paleozoico de la Cordillera de la Costa (Unidad Patagual-El Venado)”, Región del Biobío, Chile
- MARTÍNEZ. R., 2004. Mapa de reconocimiento de suelos de la VII Región del Biobío (Sector Sur), Memoria para optar al Título de Ingeniero Agrónomo Mención Manejo de Suelos y Agua.
- MARTÍNEZ C., ROJAS C, ROJAS O., QUEZADA J., LÓPEZ P. & RUÍZ V., 2016, “Crecimiento Urbano sobre Geoformas costeras de la llanura de San Pedro, área metropolitana de Concepción”. Concepción, Chile.
- MELNICK, D. 2007. Neogene Seismotectonics of the South-Central Chile margin. Memoria para optar al Grado de Doctor, Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad de Postdam (inédito).
- MELNICK, D.; BOOKHAGEN, B.; STRECKER, M. R. & ECHTLER, H. 2009. Segmentation of megathrust rupture zones from forearc deformation patterns over hundreds to millions of years, Arauco peninsula, chile. journal of geophysical research: solid earth. Olid Earth. Vol. 114p. Francia.
- MENDOZA, J. 2001. Distribución, caracterización, génesis y características tectónicas de los yacimientos arenas silíceas del área costera de la Octava Región, entre Coliumo y Los Álamos. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito).181pp. Concepción.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y CONSEJO PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y SOCIAL DE CORONEL (CRAS), 2018, “Programa para la recuperación ambiental y social de Coronel”
- MOLINA, P. 2017. Estudio geológico y estructural en el área carbonífera de Coronel, VIII región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito). 97pp. Concepción.
- MONREAL, R. RANGEL, M., MEDINA, R., GRIJALVA-MONTOYA, A., MINJAREZ-SOSA I., MORALES-MONTAÑO M. 2010. “Metodología para la definición de unidades hidroestratigráficas: caso del acuífero del valle del río Yaqui, Sonora, México”. México.

MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LA PAZ (2015) Ordenanza Municipal N° 53. Chile

MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LA PAZ (2018) Resumen ejecutivo PLADECO San Pedro de la Paz, ciudad parque 2018-2020. Chile.

MUÑOZ-CRISTI, J. 1946. Estado actual del conocimiento sobre la geología de la Provincia de Arauco. Anales Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago.

MUÑOZ-CRISTI, J. 1968. Contribución al conocimiento geológico de la región situada al sur de Arauco y participación de material volcánico en los sedimentos eocenos. El Terciario de Chile: zona central. Sociedad Geológica de Chile, Santiago.

MUÑOZ-RAMÍREZ C.; MOYANO, H. & PALMA-HELDT, S. 2008. Dientes fósiles de tiburones y rayas presentes en el área de la Bahía de Concepción, VIII Región, Chile Central. I Simposio Paleontológico Chileno, Santiago.

ORDOÑEZ, J. 2011 CARTILLA TÉCNICA: “Contribuyendo al desarrollo de una cultura del agua y la gestión integral del recurso hídrico”. Lima, Perú

PALMA-HELDT, S., FERNANDOY, F., RODRÍGUEZ M., LEPPE, M., QUINZIO, L. & SALAZAR, C., 2006. Registro palinológico del Cretácico Inferior de Península Byers, Isla Livingston, Shetland del sur, Antártica. En Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile

PALMA-HELDT, S. 2010. Consideraciones sobre las palinoespecies más frecuentes en el Paleógeno de la Cuenca de Arauco. Simposio de Paleontología de Chile N° 2: 40-41. Concepción, Chile.

PARRA, O., BASUALTO, S., URRUTIA, R. & VALDOVINOS, C. 1999 “Estudio comparativo de la diversidad fitoplanctonica de cinco lagos de diferentes niveles de eutroficación del área litoral de la región del Biobío”. Chile.

PARRA, O., VALDOVINOS, C., URRUTIA, R., CISTERNA, M., HABIT, E. & MARDONES, M., 2003, “La eutroficación de la laguna grande de San Pedro, Concepción Chile: un caso de estudio”. Chile.

PARRA O., VALDOVINOS C. & IBARRA J., 2013, “El territorio de la comuna de San Pedro de la Paz: potencialidades y restricciones de su patrimonio ambiental para un desarrollo sustentable”. Chile.

PINEDA, V. 1983. Evolución Paleogeográfica de la Península de Arauco durante el Cretácico Superior–Terciario. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica. Santiago.

REBOLLEDO, S. & CHARRIER, R. 1994. “Evolución del basamento paleozoico en el área de Punta Claditas, región de Coquimbo, Chile (31°-32°S).

RHYMA INGENIERÍA SPA. 2017. Actualización Estudio Hidrogeológico Parque Escuadrón. Concepción.

- RICHTER, P. P.; RING, U.; WILLNER, A. P. & LEISS, B. 2007. Structural Contacts in Subduction Complexes and their Tectonic Significance: The Late Palaeozoic Coastal Cretaceous Wedge of Central Chile. *Journal of the Geological Society* Vol. 164: 203-214pp. Chile.
- ROJAS, C.; MARTÍNEZ, M.; RUEDA, I. & DE LA FUENTE, H. 2017, Urbanización en humedal Los Batros, VIII región; Chile. Centro de desarrollo urbano sustentable (CEDEUS). 84pp. Concepción.
- SANCHEZ, J., 2017. Guía Evapotranspiración. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, España.
- SANHUEZA, J. 1996, Estudio de la potencialidad del acuífero en la zona del Parque Industrial de Coronel. Informe habitacional para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Concepción: 1-126pp. Concepción
- SAXTON, K., RAWLS, W., ROMBERGER, J. and PAPENDICK, R., 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of American Journal*. EE.UU.
- SCHULZ, C. y GARCÍA, R. 2015. Balance hídrico y recarga de acuíferos. Universidad Nacional de Salta. Argentina.
- STEHR A., ROJAS O., TASSARA A., MARTÍNEZ C., FÉLEZ J., TORRES R., SANHUEZA F., DOLORES M., DELPINO M., ECHAVEGUREN T., LINK O., MOLINA A., BAEZA C. & ARÁNGUIZ R., 2018. Atlas de riesgo naturales y antrópicos comuna de San Pedro de la Paz. región del Biobío, Chile.
- TRONCOSO, A. & BARRERA, E. 1980. Polen en el Eoceno de Osorno, Chile. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural*. Santiago.
- UNESCO, 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance de América del sur. Montevideo.
- VARELA G. ASESORÍA URBANA A LA MUNICIPALIDAD DE SAN PEDRO DE LA PAZ, 2018 . “Plan regulador comunal de San Pedro de la Paz estudio de factibilidad sanitaria”.
- VÁSQUEZ, P. S. 2001. Petrología y Geotermobarometría del Basamento Metamórfico de la Cordillera de la Costa entre los 36°30' S y 38°00' S. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción (inédito). 170pp. Concepción.
- VIADUCTO VERSUS TERRAPLÉNVIVERO, C. 2016. Alzamiento tectónico de la planicie litoral durante el Holoceno al sur del Río Biobío, Región del Biobío, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento Ciencias de la Tierra, Concepción.
- VEYL, C., 1961. Contribución al conocimiento de la Geología Regional de la provincia de Concepción.

WENZEL, O. 1982. Estratigrafía de las series carboníferas de Arauco. Congreso Geológico Chileno. Concepción

YAÑES, C. 2018 Propuesta declaratoria, santuario de la naturaleza “Humedal Los Batros - laguna Grande”, de San Pedro de la Paz.

ZELADA A.& MAQUIRE P. 2005. Expediente comunal. estudio modificación plan regulador comunal de Coronel. “Capacidad de uso del suelo”

## **11 PAGINAS WEB**

MUNICIPALIDAD DE CORONEL (2011) Lagunas de Coronel. <http://www.ecoronel.cl/atlas-ambiental-de-coronel/medio-fisico/hidrografia/lagunas/>





**Anexo 2a:** Tabla con precipitaciones anuales en años normales, según estación meteorológica períodos 1931-1960 y 1961-1990, elaboración propia fuente Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE) 2017.

Ubicación	Estación	Precipitaciones promedio en mm/año	
		1931-1960	1961-1990
Arica	Cacalluta	1,1	0,5
Iquique	Diego Aracena	2,3	0,6
Antofagasta	Cerro Moreno	4,9	1,7
Isla de Pascua	Mataverí	1.222,9	1.147,2
Copiapó	Copiapó	21,1	12,0
Vallenar	Vallenar	-	31,6
La Serena	La Florida	104,1	78,5
Valparaíso	Punta Ángeles	372,8	372,5
Viña del Mar	Jardín Botánico	330,2	436,1
Santiago	Quinta Normal	-	312,5
Santiago	Pudahuel	-	261,6
Juan Fernández	Juan Fernández	912,6	1.041,5
Curicó	General Freire	718,9	701,9
Chillán	Bernardo O'Higgins	1.022,5	1.107
Concepción	Carriel Sur	1.328,8	1.110,1
Temuco	Maquehue	1.308,4	1.157,4
Valdivia	Pichoy	2.264,7	1.871
Osorno	Caña Bajo	1.328,7	1.331,8
Puerto Montt	El Tepual	1.844,7	1.802,5
Coyhaique	Teniente Vidal	1.690	1.205,9
Balmaceda	Balmaceda	723,2	611,6
Punta Arenas	Pdte. Carlos Ibañez	462,6	375,7
Base Antártica	Eduardo Frei Montalva	-	797,2
<b>Promedio</b>		<b>15.664,5</b>	<b>16.073,2</b>

**Anexo 2b:** Tabla de precipitaciones promedio anuales en mm/año durante el 2006-2010 y 2011-2015, fuente Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE)

Ubicación	Estación	Precipitaciones promedio en mm/año				
		2006	2007	2008	2009	2010
Arica	Chacalluta	-	0,0	2,4	-	0,0
Iquique	Diego Aracena	0,2	0,0	-	0,2	0,0
Antofagasta	Cerro Moreno	7,7	0,2	0,0	2,1	1,4
Isla de Pascua	Mataverí	1.420,9	1.659,9	1.041,8	1.686,6	797,4
La Serena	La Florida	68,6	21,6	108,6	54,5	67,8
Valparaíso	Punta Ángeles	615,8	217,9	580,0	367,8	274,3
Santiago	Quinta Normal	335,6	168,4	350,8	276,8	259,5
	Pudahuel	275,9	134,4	223,9	207,5	161
Juan Fernández	Juan Fernández	1.081,8	1.014,5	1.034,2	1.065,6	896,1
Curicó	General Freire	754,3	351,4	674,0	562,7	375,7
Chillán	Bernardo O'Higgins	1.236,1	646,6	992,3	913,7	659,3
Concepción	Carriel Sur	1.313,8	779,4	1137	935,2	760,2
Temuco	Maquehue	1.422	988,8	1.050,4	1.219,5	860,6
Valdivia	Pichoy	2.099	1.261,5	1.995,1	1.950,1	1.491,8
Osorno	Cañal Bajo	1.637,6	885,4	1.028,1	1.345,6	1.041,3
Puerto Montt	El Tepual	1.920,7	1245,6	1.591,3	1.618,7	1.293,2
Coyhaique	Teniente Vidal	1.258,3	685,6	923	1.227,1	1.018,1
	Balmaceda	579,9	317,5	444,4	578,9	566,8
Punta Arenas	Pdte. Carlos Ibañez	464,7	427,2	366,2	366,1	306,6
Base Antártica	Eduardo Frei Montalva	626,8	464,6	698,8	698,8	450,4
<b>Total, promedio</b>		17.119,7	11.270,54	14.242,3	15.077,5	11.281,5

Ubicación	Estación	Precipitaciones promedio en mm/año				
		2011	2012	2013	2014	2015
Arica	Chacalluta	3,4	0,0	2,0	5,9	1,8
Iquique	Diego Aracena	0,0	0,3	0,0	0,0	4,4
Antofagasta	Cerro Moreno	6,6	0,6	0,0	1,2	38,6
Isla de Pascua	Mataverí	666,7	960,4	1109	996,6	978,4
La Serena	La Florida	158,6	25,8	39,4	82,8	111,0
Valparaíso	Punta Ángeles	292,0	371,9	279,1	279,8	333,5
Viña del Mar	Jardín Bótanico	295,0	395,4	282,4	360,3	-
Santiago	Quinta Normal	147,5	215,8	165,1	203,4	217,5
	Pudahuel	110,0	166,2	123,8	1.511,4	179,8
Juan Fernández	Juan Fernández	891,2	769,4	717,2	869,1	-
Curicó	General Freire	358,4	624,6	344,5	640,3	547,6
Chillán	Bernardo O'Higgins	884,7	886,5	673,7	968,9	982
Concepción	Carriel Sur	766	742,4	599,8	980,8	715,4
Temuco	Maquehue	1.065,7	955,0	778	592,5	1168
Valdivia	Pichoy	1.618,9	1.741,8	1493,7	1.801,7	1924,6
Osorno	Cañal Bajo	994,7	1.225	1.225	1.106,5	1185,4
Puerto Montt	El Tepual	1.680,5	1.526,7	1.595,4	1.507	1.432,9
Coyhaique	Teniente Vidal	873,1	1.095,1	1.052,5	1.057,0	1.039,0
	Balmaceda	405,8	641,0	463,6	448,7	453,9
Punta Arenas	Pdte. Carlos Ibañez	433,3	296,0	368,5	281,1	421,0
Base Antártica	Eduardo Frei Montalva	595,9	399,0	302,1	1064,4	817,5
<b>Total promedio</b>						

**Anexo 3:** Caudal medio mensual de los principales ríos de cada región, según estación fluviométrica 2015.

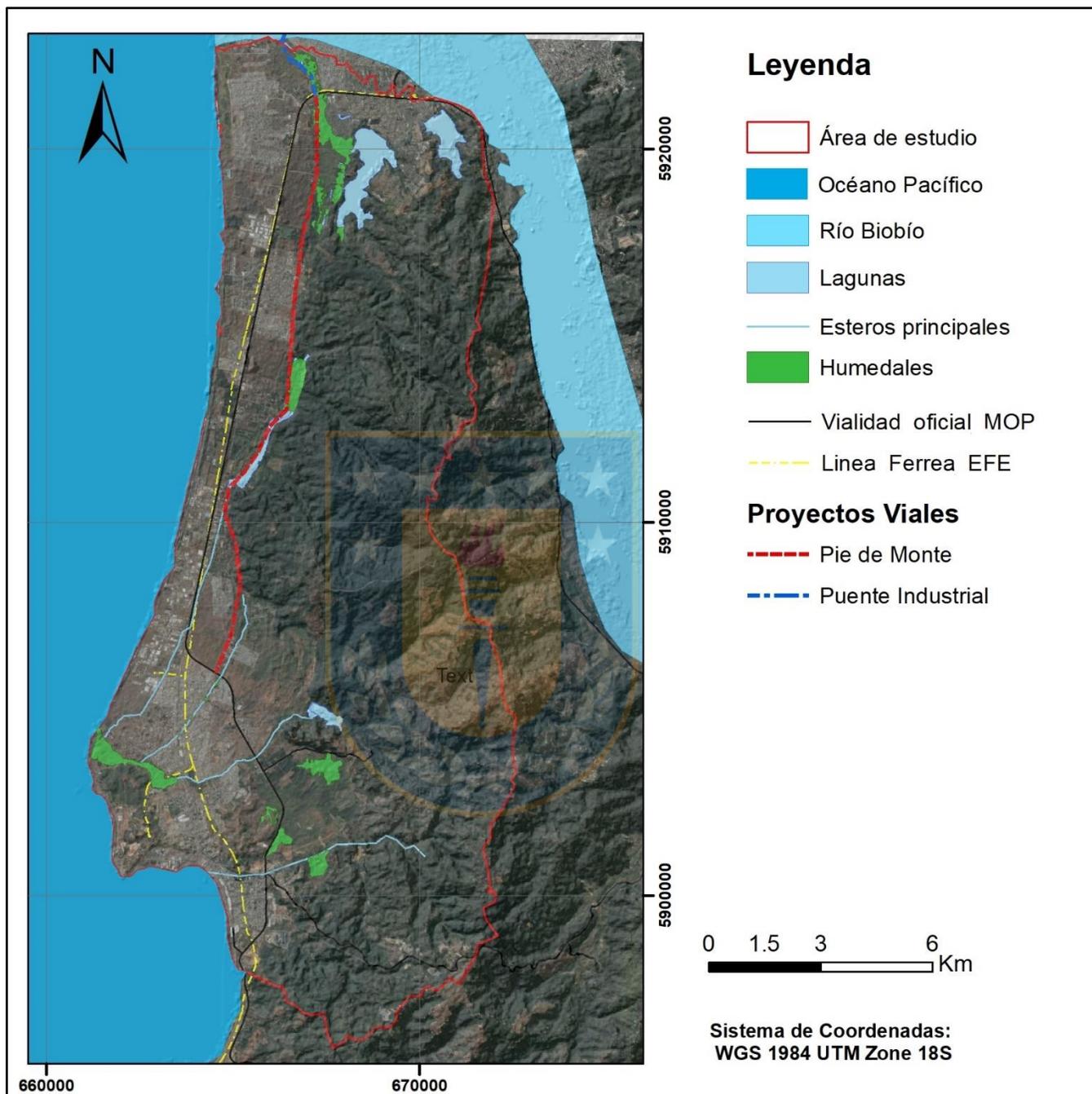
Región	Nombre del Río y Estación	Caudal medio mensual (m <sup>3</sup> /s) 2015						
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
Arica y	Río Lluta en panamericana	0,25	4,08	9,26	1,57	-	-	
Parinacota	Río San José en Ausipar	0,9	1,27	3,3	1,13	0,89	0,85	
Antofagasta	Río Salado en Sifón Ayquina	0,35	0,13	0,68	0,36	-	-	
	Río Loa en Finca	0,1	0,4	1,11	0,61	0,61	0,7	
Atacama	Río Copiapo en la Puerta	0,5	1,5	0,75	-	-	-	
	Río Huasco en Algodones	0,53	0,91	1,5	2,64	1,86	2,44	
Coquimbo	Río Elqui en Algarrobal	2,05	2,05	3,04	2,79	2,61	2,73	
	Río Grande en Puntilla San Juan	0,04	0,03	0,81	0,82	0,74	1,24	
	Río Choapa en Cuncumén	1,99	1,84	1,86	1,64	1,66	1,47	
Valparaíso	Río Aconcagua en Chacabuquito	20,92	16,18	13,18	8,46	6,18	4,86	
Metropolitana	Río Maipo en El Manzano	94,99	77,27	62,41	-	-	-	
	Río Mapocho en Los Almendros	2,41	2,2	2,2	1,45	1,26	1,11	
O'Higgins	Río Cachapoal en junta Cortaderal	59,88	40,52	32,74	25,67	18,28	13,04	
	Río Tinguiririca bajo Los Briones	65,48	41,81	29,95	16,07	11,73	9,37	
Maule	Río Teno después de junta con Claro	33,72	25,21	15,79	6,56	18,28	16,21	
	Río Mataquito en Licantén	15,78	6,24	10,26	18,15	28,27	45,02	
	Río Maule en Longitudinal	51,3	35,78	32,02	129,66	175,06	103,98	
Biobío	Río Itata en General Cruz	8,82	6,08	7,17	12,29	12,90	56,02	
	Río Biobío en Rucalhue	143,16	119,46	96,46	74,41	87,77	497,67	
Araucanía	Río Cautin en Cajón	31,94	21,62	20,13	25,09	37,64	256,97	
Los Lagos	Río Pilmaiquén en San Pablo	79,15	58,52	46,26	59,28	106,17	268,43	
Aysén	Río Simpson bajo junta Coyhaique	16,54	7,09	17,29	24,96	94,71	88,43	
	Río Aysén en Puerto Aysén	335,55	186,68	371,07	431,9	945,03	721,57	
Magallanes y Antártica Chilena	Río Serrano en desembocadura	589,13	657,68	812,03	549,1	393,87	260,37	
	Río San Juan en desembocadura	5,79	3,76	10,80	21,31	41,06	30,21	
Macrozona	Región	Nombre del Río y Estación	Caudal medio mensual (m <sup>3</sup> /s)				2015	
			Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
	Arica y Parinacota	Río lluta en panamericana	0,71	0,49	0,34	0,28	0,20	0,46

Norte		Río San José en Ausipar	0,72	-	0,79	0,87	0,79	0,69
	Antofagasta	Río Salado en Sifón Ayquina	-	0,61	0,37	-	0,33	0,26
		Río Loa en finca	0,75	0,69	0,50	0,28	0,19	0,16
	Atacama	Río Copiapo en la Puerta	-	0,45	0,67	0,78	1,00	0,83
		Río Huasco en Algodones	2,82	3,30	3,42	3,01	3,66	5,34
	Coquimbo	Río Elqui en Algarrobal	3,32	4,23	5,21	5,38	7,01	8,50
		Río Grande en Puntilla San Juan	2,21	8,37	14,54	20,09	46,89	16,83
		Río Choapa en Cuncumén	1,77	3,33	4,54	9,35	28,75	27,43
	Central	Valparaíso	Río Aconcagua en Chacabucito	5,55	11,05	14,53	20,09	46,89
Metropolitana		Río Maipo en El Manzano	-	-	-	-	-	203,68
		Río Mapocho en Los Almendros	-	-	-	-	8,03	7,99
O'Higgins		Río Cachapoal en junta Cortaderal	12,93	17,52	20,82	24,62	48,24	93,43
		Río Tinguiririca bajo Los Briones	-	35,31	34,79	53,31	81,30	108,4
Maule		Río Teno después de junta con Claro	29,32	-	-	-	-	96,04
		Río Mataquito en Licantén	104,21	285,99	99,31	126,77	113,98	109,27
	Río Maule en Longitudinal	107,29	175,00	-	-	-	-	
Sur	Biobío	Río Itata en General Cruz	86,14	168,36	101,13	83,21	37,83	13,35
		Río Biobío en Rucalhue	466,03	688,07	581,43	535,52	483,60	310,48
	Araucanía	Río Cautin en Cajón	224,03	313,94	227,00	156,58	83,66	54,34
		Río Toltén en Teodoro Schmidt	945,71	1221,45	961,60	723,03	456,80	344,81
	Los Lagos	Río Pilmaiquén en San Pablo	278,77	365,16	264,47	170,52	98,10	-
Austral	Aysén	Río Simpson bajo junta Coyhaique	80,12	85,14	52,69	39,54	-	-
		Río Aysén en Puerto Aysén	624,07	602,36	322,00	285,52	416,60	437,94
	Magallanes y Antártica Chilena	Río Serrano en desembocadura	199,58	152,97	175,80	194,16	398,88	-
		Río San Juan en desembocadura	25,00	36,39	63,40	65,55	39,33	10,87

**Anexo 4:** Tabla con habitantes por región desde el 2011 al 2015, fuente Instituto nacional de estadística Chile, 2015.

Macrozona	Región	Población				
		2011	2012	2013	2014	2015
Norte	Arica	222.916	226.993	231.034	235.081	239.126
	Tarapacá	305.138	312.965	320.843	336.769	336.769
	Antofagasta	585.438	594.755	604.025	622.640	622.640
	Atacama	295.598	299.863	304.035	312.486	312.486
	Coquimbo	722.998	735.178	747.250	771.085	771.085
Central	Valparaíso	1.754.653	1.772.714	1.790.564	1.825.757	1.825.757
	Metropolitana	6.971.899	7.057.491	7.142.893	7.228.581	7.314.176
	Libertador General O'Higgins	886.178	894.409	902.449	910.577	918.751
	Maule	1.013.186	1.020.830	1.028.201	1.035.593	1.042.989
Sur	Biobío	2.059.171	2.073.349	2.086.833	2.100.494	2.114.286
	Araucanía	964.096	970.722	977.133	983.499	989.789
	Los Ríos	393.072	395.924	38.707	401.548	404.432
	Los Lagos	815.756	822.299	828.431	834.714	841.123
Austral	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	104.421	105.388	106.353	107.334	108.328
	Magallanes y la Antártica Chilena	161.007	161.919	162.828	163.748	164.661
Total País		1.725.552	1.744.479	17.271.579	17.869.906	18.006.398

**Anexo 5:** Trazado de Puente Industrial y Carretera Pie de monte (elaboración propia). Fuente Arancibia y Ayala (2016).



**Anexo 6:** Precipitaciones mensuales promedio entre 1980 a 2017 en las estaciones Carriel Sur, Concepción DGA, Estero Hualqui en Desembocadura, río Biobío en desembocadura y Carampangue. Fuente. Dirección Meteorológica de Chile

**Carriel Sur**

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	174,8	368,2	264,7	199,6	102,2	81,6	0,6	17,7	57	1	61,6	12,5
1981	98,7	501	93,9	195,5	104,4	39,4	27,1	3,4	2,6	78,1	7,9	34,5
1982	24,7	211,7	350,1	225,4	130,4	172,5	86,9	33,7	0	83,7	24,3	4,4
1983	67,8	115,9	225,6	204,2	126,1	57,3	24,9	0	28,1	24,3	6,7	20
1984	24,1	389,9	205,9	231,1	75,6	112,1	163,7	10,4	0,1	7,9	33	14,9
1985	80,3	185,1	167,2	211,4	26,2	92	67	44,2	0,5	45,1	1,2	19,1
1986	142	259,2	223,9	85,7	180	69	27,5	207,5	6,5	6,1	10	47,2
1987	55,1	137,1	113,3	436	207,1	127,6	37,3	20,3	1,4	0	4	58,7
1988	24,6	81,4	210,5	287,1	222,7	90,3	26,2	18,6	15	8,5	0	10,7
1989	2,5	36,8	259,8	225,8	176	35,4	33,3	4,9	88,2	3,3	3,3	28,3
1990	50,4	97,3	104,5	98,1	134,6	114,8	50,7	27,2	4,5	6,4	32,7	126,8
1991	115,5	267,3	142,8	234,2	87,7	62,4	64	50,6	97,1	8,7	3,1	9
1992	112,7	449,7	293,5	100,5	166	122,9	56,5	15,3	71,9	0	17,7	48,2
1993	96,7	283,1	309	210,1	99,5	21	45,4	40	21,3	2,7	0	17,4
1994	123,8	71,9	202,6	177,1	21,9	139	44,6	17,7	34,6	0,6	1,5	9
1995	139,2	57	219,1	252,9	197,3	9,9	55,6	3,3	0	4,1	0,1	14,4
1996	65,4	66,2	151,5	77,9	173,2	6,7	25,1	19,1	20,6	0	12,3	12,8
1997	239,3	218,7	360,4	231,6	127,5	82,7	162,4	89,4	3,6	23,2	25,9	0,3
1998	33,9	149,6	141,9	78	94,7	57,6	0,1	29,8	4,3	0	0	8,7
1999	21,1	198,8	273	148,6	213,9	155,8	15,5	1,8	11,9	13,2	16,8	20,8
2000	46,2	58,8	565,7	81,1	218,5	257,5	33	27,4	15,2	2	94,9	6,1
2001	40	293,7	235,8	375,5	195,4	49,6	24,4	34,5	0	58,2	7,2	44,3
2002	84,6	180,9	114,4	158,2	300,7	116,5	182,3	51,5	15,4	1,2	66,8	90,7
2003	18,6	73,1	309,5	109,8	64,4	129,6	60,8	76,7	11	9	0	9,2
2004	127	64	255	205,9	145,6	73,6	126,4	47,1	19,2	0,1	13,8	49,2
2005	9,4	357,5	431,9	165,8	177,7	74,4	28,6	48,6	64,8	1	0,4	22,8
2006	120,8	107,4	309,6	312,3	235,8	41,3	90	3	53,9	29,4	1,8	10,2
2007	132,8	73	89,2	175,9	118,8	58,4	31,7	4	25,6	24,4	36,6	9
2008	53,2	323	95,6	290,4	237,8	80	30,2	11,6	5,4	3,6	2,4	3,8
2009	14,2	133,2	280,3	118,2	215,4	51,4	52	43,8	0,6	8,4	10,9	6,8
2010	7,2	37,2	186	248,2	133,2	21,2	43,4	17,2	14,6	18,8	27,4	5,8
2011	82,2	31,6	143,8	124	190,2	71,4	30	27,6	2	20,2	6,4	33
2012	3,8	131,6	206,8	51	130,6	15	37,4	33,8	70,2	15,4	37,6	9,2

2013	10	195,8	102	79,8	103,4	45,4	25	11	0	2	23	2,4
2014	66,6	114,2	266,4	223,8	108,4	98,4	12,6	3,2	9,2	7,2	4	66,8
2015	27,8	56,4	107	165	177	115,2	42,2	17,2	4,4	0	2	1,2
2016	67,2	117,6	3,4	189,4	54	49,8	71,8	14,4	32,4	1,8	0	14,2
2017	71,6	96,2	156,8	90,2	277,4	72	75,8	29,2	7,6	7,6	13,6	31,8
PROM	70,4	173,5	215,1	186,2	151,4	80,8	52,9	30,4	21,6	13,9	16,1	24,6

### Concepción DGA

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	197,21	411,21	296,69	224,65	116,88	94,08	4,45	23,38	66,86	4,9	71,95	17,62
1981	113	558,16	107,69	220,11	119,31	47,39	33,78	7,55	6,67	90,21	12,53	41,97
1982	31,12	238,04	391,18	253,2	148,08	194,66	99,95	41,08	3,79	96,41	30,68	8,66
1983	78,81	132,04	253,42	229,74	143,32	67,19	31,34	3,79	34,88	30,68	11,2	25,92
1984	30,46	435,22	231,62	259,51	87,44	127,83	184,93	15,3	3,9	12,53	40,31	20,28
1985	92,64	208,61	188,8	237,71	32,78	105,59	77,93	52,7	4,34	53,69	5,12	24,92
1986	160,92	290,6	251,54	98,62	202,96	80,14	34,22	233,39	10,98	10,54	14,86	56,02
1987	64,76	155,49	129,16	486,23	232,95	144,98	45,06	26,25	5,34	3,79	8,22	68,74
1988	31,01	93,86	236,71	321,47	250,21	103,71	32,78	24,37	20,39	13,2	3,79	15,63
1989	6,56	44,51	291,26	253,64	198,54	42,96	40,64	9,21	101,39	7,44	7,44	35,1
1990	59,56	111,45	119,42	112,34	152,73	130,82	59,89	33,89	8,77	10,87	39,97	144,1
1991	131,59	299,56	161,8	262,94	100,83	72,84	74,61	59,78	111,23	13,42	7,22	13,75
1992	128,49	501,39	328,55	115	187,47	139,78	66,31	20,72	83,35	3,79	23,38	57,12
1993	110,79	317,05	345,7	236,27	113,89	27,03	54,03	48,05	27,36	6,78	3,79	23,04
1994	140,78	83,35	227,97	199,75	28,02	157,6	53,14	23,38	42,08	4,45	5,45	13,75
1995	157,82	66,86	246,23	283,63	222,11	14,74	65,31	7,44	3,79	8,33	3,9	19,72
1996	69,5	89,2	173,5	98,7	247	16,3	13	18	14,9	0	0	22
1997	256,7	213,3	393,3	277,1	143,2	85,9	170,9	89,5	5	6	21,5	2
1998	53,5	167,8	162,2	95,5	101,6	59	0,3	24,5	9	0	0	4,3
1999	28,5	230,1	320,3	121,1	256,1	149,9	11,5	8,2	13,5	17	17,5	18,8
2000	58,1	44,2	556,5	106,7	200,1	225,3	32,8	14,3	16,3	1	135	9,4
2001	47,5	350,5	280,4	423,6	198,6	61,6	32,9	38,8	0	57,5	6,5	44,1
2002	87,1	240,9	149,2	198,3	297,1	110,3	189,9	69,4	22	2,8	70,2	96,5
2003	15,7	90,1	359,4	143,2	56,7	134,3	75,3	89,3	19,6	15,8	0	11,5
2004	147,2	73,3	270,6	193,8	169,2	92,3	125	50,3	18,7	0	7,6	57,7
2005	14,2	361,7	507,2	183,5	187	71,1	36,4	49	68,5	0,6	0	21,8
2006	139,3	116,6	364,5	340,1	239,9	55,9	107,6	7,6	55,2	39,1	0,5	10,1
2007	143,2	63	106,8	216,3	126	86,2	39,1	8,3	32,2	35,6	44,2	19,4
2008	52,9	329,5	110,6	351,9	259	70,1	20,7	5	1,9	5,5	4,3	6,2
2009	19,8	179,5	289,6	128,2	266,8	61	86,5	54,7	2,3	5,7	3,1	9,5
2010	10	52,1	261,7	283	176,2	22,6	49,4	27	18,6	19	47	6,6

2011	93,9	40,4	203,1	167,3	271	92,8	44,8	35,6	0	37,8	16	43
2012	9,9	165,2	249,8	62	154,4	24,4	42	30,3	104,2	28,7	82,4	10,9
2013	18,7	269,8	127,7	102,9	140,8	80,4	29,1	0,8	0	3,1	28,1	4,1
2014	63,6	184,8	322,2	310,5	129,2	156,3	16,4	0,9	13,8	12,1	13,2	86,1
2015	31,7	104,2	182,9	269,2	225,9	155,8	68,4	30	5,4	0	3,8	4,7
2016	61,6	94,6	11,9	185,4	47	47,1	61,2	12,6	24,8	4,2	0	14,9
2017	74,8	130,6	194,5	99,1	285,9	52,9	76,4	34,6	9,6	9	17,5	37,4
PROM	79,81	198,39	247,52	214,53	171,48	91,13	60,21	34,97	26,07	17,67	21,27	29,67

### Río Biobío en desembocadura

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	158,91	323,16	235,26	179,97	97,25	79,75	10,96	25,48	58,86	11,3	62,77	21,07
1981	94,28	435,95	90,2	176,49	99,12	43,91	33,47	13,34	12,66	76,78	17,16	39,75
1982	31,43	190,25	307,79	201,88	121,2	156,95	84,25	39,07	10,45	81,54	31,09	14,19
1983	68,03	108,88	202,05	183,88	117,55	59,11	31,6	10,45	34,32	31,09	16,14	27,44
1984	30,92	341,59	185,32	206,72	74,66	105,66	149,48	19,28	10,53	17,16	38,48	23,1
1985	78,65	167,65	152,45	189,99	32,7	88,58	67,35	47,99	10,87	48,75	11,47	26,67
1986	131,05	230,59	200,61	83,23	163,32	69,05	33,81	186,68	15,97	15,63	18,94	50,54
1987	57,25	126,89	106,67	380,74	186,34	118,82	42,13	27,69	11,64	10,45	13,85	60,3
1988	31,34	79,58	189,23	254,28	199,59	87,14	32,7	26,25	23,19	17,67	10,45	19,54
1989	12,57	41,7	231,1	202,22	159,93	40,51	38,73	14,61	85,36	13,25	13,25	34,48
1990	53,25	93,09	99,2	93,77	124,76	107,95	53,51	33,55	14,27	15,89	38,22	118,14
1991	108,54	237,47	131,73	209,35	84,93	63,45	64,8	53,42	92,92	17,84	13,08	18,09
1992	106,17	392,38	259,72	95,8	151,43	114,83	58,44	23,44	71,51	10,45	25,48	51,39
1993	92,58	250,88	272,88	188,89	94,95	28,29	49,01	44,42	28,54	12,74	10,45	25,23
1994	115,59	71,51	182,52	160,86	29,05	128,5	48,33	25,48	39,84	10,96	11,72	18,09
1995	128,67	58,86	196,53	225,24	178,02	18,86	57,67	13,25	10,45	13,93	10,53	22,68
1996	60,88	76,01	140,71	83,3	197,12	20,05	17,52	21,36	18,98	7,54	7,54	24,43
1997	204,57	171,26	309,41	220,22	117,45	73,47	138,71	76,24	11,38	12,15	24,04	9,08
1998	48,6	136,33	132,04	80,84	85,52	52,83	7,77	26,35	14,45	7,54	7,54	10,84
1999	29,42	184,15	253,38	100,49	204,11	122,59	16,37	13,83	17,9	20,59	20,97	21,97
2000	52,13	41,47	434,67	89,44	161,12	180,47	32,72	18,52	20,05	8,31	111,16	14,76
2001	41,3	140,2	229,5	248,7	125	54,82	32,79	37,32	7,54	51,67	12,53	41,39
2002	80,5	210	117,3	153,3	227	84,4	146,2	59,8	12,7	9,69	61,42	4,8
2003	11,3	65,1	216,6	110,3	29,9	87,2	45,1	0	12,1	7,6	0	9,2
2004	109,7	57,2	206,1	157,6	142,1	67,6	111,5	40,3	17,3	7,54	3,8	41,5
2005	0	225,4	321,5	115,9	120,4	61,4	18,9	32,7	59,3	0,3	0	24,27
2006	114,46	97,04	287,31	268,58	191,67	50,45	90,13	4,9	53,7	24,7	0	7,1

2007	98,2	57,2	100,5	168,8	89,5	53	27,5	4,9	26,4	0	41,47	9,6
2008	47,7	225,2	99,2	191,2	192	59,5	17,6	14	3,8	6	3,3	5,1
2009	15,8	185,5	228,9	103,5	190,7	38,8	58,4	49,4	1,8	3,6	3,6	9,9
2010	8,4	48,8	254,5	246,4	149,2	18,4	38,3	24,9	18,8	16,1	34,2	3,9
2011	114,7	36,7	147	153,4	187,5	88,7	62,4	35,2	0,6	36	11,4	36
2012	7,1	161,9	243,5	51,9	149,4	16,2	30,1	23,6	96,1	16,8	73,8	9,7
2013	16,1	312,6	144,9	77,5	143,7	61,6	31,6	3	0	1,8	26,3	1,6
2014	90,5	178,1	335,9	245,86	124,4	142,4	17,1	4,5	9,6	8,7	9,6	79,3
2015	38,2	106,1	190,4	276,8	239,5	148,2	80,3	23,3	6,3	0	1	3,3
2016	95,4	103,2	4,1	206,1	44,8	53,5	68,6	17,3	30,7	3,9	0	15,9
2017	71	139,1	199,1	93,3	369,2	102,2	105,2	50,4	10,1	9,5	18,9	51
PROM	69,87	160,76	201,05	170,44	142	77,61	53,97	31,22	25,82	17,51	21,46	26,46

### Estero Hualqui en Desembocadura

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	137,39	277	202,29	155,29	84,99	70,12	11,64	23,99	52,36	11,93	55,68	20,23
1981	82,46	372,86	78,99	152,34	86,57	39,65	30,77	13,67	13,09	67,59	16,91	36,12
1982	29,04	164,03	263,94	173,92	105,34	135,73	73,94	35,54	11,21	71,63	28,75	14,39
1983	60,15	94,88	174,06	158,62	102,24	52,57	29,19	11,21	31,5	28,75	16,05	25,65
1984	28,61	292,67	159,84	178,03	65,78	92,13	129,38	18,72	11,28	16,91	35,03	21,97
1985	69,18	144,83	131,91	163,81	30,12	77,62	59,58	43,12	11,57	43,77	12,08	25
1986	113,72	198,32	172,84	73,07	141,15	61,02	31,06	161	15,9	15,61	18,43	45,28
1987	50,99	110,18	93	325,94	160,71	103,32	38,14	25,87	12,22	11,21	14,1	53,58
1988	28,97	69,97	163,16	218,46	171,97	76,4	30,12	24,64	22,04	17,35	11,21	18,94
1989	13,02	37,78	198,75	174,21	138,26	36,77	35,25	14,75	74,88	13,59	13,59	31,64
1990	47,59	81,45	86,65	82,03	108,37	94,08	47,81	30,85	14,46	15,83	34,82	102,74
1991	94,59	204,17	114,29	180,27	74,52	56,26	57,41	47,74	81,3	17,49	13,45	17,71
1992	92,57	335,83	223,08	83,76	131,04	99,93	52	22,26	63,11	11,21	23,99	46
1993	81,02	215,57	234,27	162,87	83,04	26,37	43,98	40,09	26,59	13,16	11,21	23,77
1994	100,58	63,11	157,46	139,05	27,02	111,55	43,41	23,99	36,19	11,64	12,29	17,71
1995	111,69	52,36	169,37	193,77	153,63	18,36	51,35	13,59	11,21	14,17	11,28	21,61

1996	54,08	66,93	121,93	73,13	169,87	19,37	17,22	20,48	18,46	8,74	8,74	23,09
1997	176,2	147,89	265,32	189,51	102,16	64,78	120,23	67,13	12	12,65	22,76	10,04
1998	43,64	118,21	114,55	71,04	75,02	47,23	8,93	24,72	14,61	8,74	8,74	11,54
1999	27,33	158,85	217,69	87,74	175,81	106,53	16,24	14,09	17,55	19,83	20,16	21
2000	46,64	37,57	371,78	78,35	139,28	155,72	30,14	18,07	19,37	9,39	96,81	14,87
2001	37,43	121,49	197,39	213,71	108,57	48,92	30,2	34,05	8,74	46,25	12,98	37,51
2002	70,75	180,82	102,03	132,63	195,27	74,07	126,59	53,16	13,12	10,57	54,54	6,41
2003	11,93	57,66	186,43	96,08	27,74	76,45	40,66	2,33	12,61	8,79	2,33	10,15
2004	95,57	50,95	177,51	136,28	123,11	59,79	97,1	36,58	17,03	8,74	5,56	37,6
2005	2,33	193,91	275,59	100,84	104,66	54,52	18,39	30,12	52,73	2,58	2,33	22,96
2006	99,61	84,81	246,53	230,61	165,24	45,21	78,93	6,49	47,97	23,32	2,33	8,36
2007	85,79	50,95	87,75	145,8	78,4	47,38	25,7	6,49	24,77	2,33	37,57	10,49
2008	42,87	193,74	86,64	164,84	165,52	52,9	17,29	14,23	5,56	7,43	5,13	6,66
2009	15,76	187	196,88	90,3	164,42	35,31	51,97	44,32	3,86	5,39	5,39	10,74
2010	9,47	43,81	43	163,7	35,6	17,97	34,88	23,49	18,31	16,01	31,4	5,64
2011	99,82	30,4	229	169,6	252,5	81,3	34,7	29,3	1,6	32,93	12,02	77,5
2012	4,1	185,1	230	46,8	165	16,6	32,7	24,8	83,6	21,9	88,1	18,8
2013	10,1	303,4	116,6	121,6	111,9	85,2	35,6	11,3	0	0	31,3	4
2014	71,5	153,2	316,4	100,5	131,4	151,3	17,3	3	2,2	35,2	7,5	60,8
2015	26,4	92,51	164,16	237,6	205,89	128,29	50,3	19,8	6	0,1	0,1	0
2016	58,6	140,3	3,8	217	73,7	47,8	71,6	15,2	15,8	2	0	9,9
2017	0,8	0	167,1	93,3	369,2	81,4	88,5	50,7	3,1	1,5	0,4	0,7
PROM	58,74	139,85	172,16	146,75	126,45	69,73	47,64	28,97	23,37	17,53	20,66	24,5

### Carampangue

Año	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1980	190,29	382,56	279,67	214,95	118,12	97,64	17,11	34,11	73,18	17,51	77,76	28,94
1981	114,64	514,58	109,87	210,87	120,31	55,69	43,46	19,9	19,1	94,16	24,37	50,82

1982	41,07	226,98	364,57	240,6	146,15	188,01	102,91	50,02	16,52	99,73	40,67	20,89
1983	83,92	131,74	240,8	219,52	141,88	73,48	41,27	16,52	44,45	40,67	23,18	36,4
1984	40,48	404,13	221,21	246,26	91,67	127,96	179,26	26,86	16,62	24,37	49,32	31,33
1985	96,35	200,53	182,74	226,68	42,56	107,98	83,12	60,46	17,01	61,35	17,71	35,51
1986	157,69	274,2	239,11	101,72	195,46	85,11	43,86	222,8	22,98	22,58	26,46	63,44
1987	71,29	152,81	129,15	449,96	222,4	143,37	53,6	36,7	17,91	16,52	20,49	74,87
1988	40,97	97,44	225,78	301,94	237,91	106,29	42,56	35,01	31,43	24,97	16,52	27,15
1989	19	53,1	274,8	240,99	191,49	51,71	49,62	21,39	104,2	19,8	19,8	44,65
1990	66,62	113,25	120,4	114,04	150,33	130,64	66,92	43,56	20,99	22,88	49,03	142,57
1991	131,34	282,25	158,48	249,35	103,7	78,55	80,14	66,82	113,05	25,17	19,6	25,46
1992	128,56	463,58	308,3	116,43	181,54	138,7	72,69	31,73	88	16,52	34,11	64,43
1993	112,65	297,96	323,71	225,39	115,43	37,39	61,65	56,28	37,69	19,2	16,52	33,82
1994	139,59	88	217,93	192,58	38,29	154,7	60,86	34,11	50,91	17,11	18,01	25,46
1995	154,9	73,18	234,33	267,94	212,66	26,36	71,79	19,8	16,52	20,59	16,62	30,83
1996	75,55	93,25	168,99	101,79	235,03	27,76	24,79	29,28	26,5	13,11	13,11	32,88
1997	243,74	204,75	366,47	262,07	141,77	90,29	166,66	93,52	17,6	18,5	32,43	14,91
1998	61,18	163,87	158,84	98,91	104,39	66,12	13,38	35,12	21,2	13,11	13,11	16,98
1999	38,72	219,84	300,88	121,91	243,2	147,79	23,44	20,48	25,24	28,39	28,83	30
2000	65,31	52,82	513,09	108,98	192,89	215,53	42,58	25,96	27,76	14,01	134,4	21,56
2001	42,4	339	236	495,6	118,2	104,8	60,6	47,3	0	27,4	1,2	46
2002	43	126,8	163	246	300,7	168,8	93,4	90	46	12	65	67,9
2003	28	95	246	125	100	120	107	93	30	15	26	37
2004	177	25	244,9	304	185	111	136	63	63	0	10	78
2005	45	414,9	394,8	285	201,9	38	64,8	110,8	49	0	0	39,5
2006	136	227,8	318,5	343	268	73	77,8	26	67	10,8	11	24
2007	183,8	107	197	154	59	111	57	9	12	11	42	20,1
2008	49	309	143,2	316	238	24	26	0	0	17	14	0
2009	29,5	166	266	241	235	85	122	35	50	0	0	11
2010	0	36	285,1	215	200	73	56	38	25	0	52	45

2011	99	55	230	189	209,9	126	38	10	0	30	25	50
2012	55,1	209	218	71	128	48	47	0	184	0	60	0
2013	20	203,9	134,7	130	148	50	30,2	10,1	10	0	10	25
2014	86	108	300	277	110	182,9	45	0	0	42	25	69
2015	51	139,1	108	304,9	215	94,9	129,9	35	45	0	0	0
2016	102	133	0	211,3	133	90	75	0	0	0	10	25
2017	25	50	193	168	255	160	50	12	25	0	13	95
PROM	85,41	190,4	232,03	220,75	166,63	100,3	67,3	41,04	37,23	20,93	27,8	39,09



**Anexo7:** Temperaturas promedio mensuales entre los años 1983 a 2017. Obtenidas desde la web de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Meses abreviados a sus primeras tres letras.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1983	14	11	8	9	10	10	13	15	16	18	17	15
1984	17	16	15	13	10	7	9	9	11	13	14	16
1985	17	17	15	12	12	12	9	10	12	12	14	16
1986	16	16	14	13	12	10	10	10	11	14	14	16
1987	16	17	17	14	11	10	11	10	11	13	15	16
1988	16	17	16	13	10	10	9	9	10	12	14	16
1989	17	17	14	13	11	10	9	10	11	12	15	17
1990	17	16	14	13	11	9	9	10	11	12	14	15
1991	17	17	15	14	12	10	9	9	11	12	14	16
1992	18	17	16	13	11	10	8	10	11	12	14	16
1993	17	18	17	13	11	11	9	10	10	12	14	15
1994	17	16	16	13	12	11	10	9	12	13	14	17
1995	17	16	14	14	12	10	8	9	10	12	14	17
1996	17	16	16	13	12	8	10	11	12	13	15	17
1997	18	16	15	15	13	11	10	11	12	12	14	16
1998	17	17	16	13	13	10	9	9	10	13	14	16
1999	17	16	15	13	11	9	9	11	11	13	15	16
2000	17	16	14	12	11	11	8	11	10	12	14	16
2001	16	16	14	12	11	10	9	10	10	12	13	16
2002	16	15	15	12	11	8	9	10	11	12	14	15
2003	17	16	16	12	10	12	9	10	11	13	15	15
2004	17	16	16	14	11	10	10	10	11	12	14	16
2005	17	17	16	12	11	10	10	10	11	12	15	16
2006	17	17	15	12	11	11	10	11	11	12	14	16
2007	16	16	16	12	10	8	8	7	10	12	13	15
2008	16,6	16	15,1	11,6	10,1	9,3	10	8,9	10,6	11,9	14,7	16,7
2009	16,4	15,3	15,5	13,5	11	8,9	8,2	10,2	9,3	11,5	12	15,1
2010	16,6	15,6	14,1	11,5	9,4	10	8,1	9,1	9,3	12,3	13,5	14,4
2011	17,5	16,5	15,8	12,2	10,1	10,1	7,9	9,2	10,3	11,3	13,8	15,6
2012	16,8	16,8	14,2	12	11,6	10,5	7,4	9	10,7	11,7	14,1	15,7
2013	17,6	15,9	14,3	13,1	11,2	9,2	8,7	8,8	10,2	11,7	13,9	15,8
2014	16,9	16	16,2	12	11,4	9,8	9,3	10,3	11,1	13,2	13,8	15,8
2015	18,4	17,1	15,2	13,7	11,2	10,3	9,7	10,5	10,6	12,3	13,9	16,1
2016	18,4	17,2	15,2	12,3	12,9	8,6	9,3	10,4	12,1	12,6	15,1	16,3
2017	16,90	16,70	14,60	13,60	10,50	9,70	8,60	8,80	9,80	11,70	14,20	15,80
Promedio	16,86	16,23	15,01	12,70	11,13	9,84	9,18	9,89	10,89	12,43	14,17	15,87

**Anexo 8:** Granulometría de las series de suelo de Ciren (1999).

Parámetros/Serie	Arenales							
Profundidad (cm)	0-17	17-36	36-56	56-80	80-100	100-150		
Arena (%)	95,60	99,90	99,60	99,40	99,30	98,60		
Limo (%)	4,30	0,00	0,30	0,50	0,60	1,30		
Arcilla (%)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10		
Parámetros/Serie	Curanipe				Dunas		Escarpe o Acantilado	
Profundidad (cm)	0-17	17-52	52-85	85-120	0-17	17-100	0-32	32-120
Arena (%)	46,03	29,90	28,37	27,21	89,90	95,0	25,30	17,30
Limo (%)	25,39	20,93	22,08	21,15	7,80	2,70	68,40	66,60
Arcilla (%)	28,42	49,07	49,34	51,60	2,30	2,30	6,30	16,00
Parámetros/Serie	Nahuelbuta				Pileo + Nahuelbuta			
Profundidad (cm)	0-8	08-29	29-74	74-120	0-27	27-62	62-150	
Arena (%)	40,00	35,00	18,50	22,40	12,80	8,90	6,60	
Limo (%)	30,80	23,40	20,70	18,60	34,50	28,30	20,50	
Arcilla (%)	29,20	41,60	60,80	59,00	52,60	62,80	72,80	
Parámetros/Serie	Suelo Reciente		Suelo Pedemonte					
Profundidad (cm)	0 - 100		0-26	26-62	62-113	113-160	160-200	200-250
Arena (%)	80,70		43,36	77,62	11,14	30,84	40,43	63,68
Limo (%)	15,90		38,68	21,27	77,84	42,70	29,90	14,38
Arcilla (%)	3,40		18,00	1,30	11,01	30,46	29,60	21,92

**Anexo 9:** Porcentaje de uso de suelo dentro de cada serie de suelo. Donde B: Bosque, AU: Área urbana, H: Humedal, EA: Espacio abierto, CA: Cuerpo de agua, TA: Terreno agrícola y C: Carretera.

	B	AU	H	EA	CA	TA	C	Total
Escarpe	88	4	3	0	5	0	0	100
Dunas	58	18	0	0	0	22	2	100
Suelo Reciente	32	23	4	1	4	35	1	100
Suelo Pedemonte	18	66	4	2	0	8	3	100
Curanipe	47	26	2	1	6	18	0	100
Nahuelbuta	96	1	0	1	0	0	3	100
Píleo + Nahuelbuta	98	0	0	0	2	0	0	100
Arenales	88	7	0	0	1	4	0	100



**Anexo 10:** Área de series de suelo y porcentaje de uso en las subcuencas (Junquillar- La Posada, Quiñenco, Los Batros, Costanera Sur, Costanera Norte).

**a. Subcuenca Junquillar – La Posada** (área total: 3.499,75 Ha)

<b>Uso Humedales</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Curanipe	9,05
Suelo Reciente	0,49
Escarpe	25,60
<b>Total</b>	<b>35,13 (0,01%)</b>
<b>Uso Bosque</b>	
Serie de suelo	Área (Ha)
Píleo + Nahuelbuta	2086.34
Escarpe	355.75
Suelo Reciente	235.11
Suelo Pedemont	67.13
Nahuelbuta	77.88
Curanipe	581.39
<b>Total</b>	<b>3403,6</b>

<b>Uso Carretera</b>	
Serie de suelo	Área (Ha)
Suelo Pedemont	0,49
<b>Total</b>	<b>0,49 (0,00%)</b>
<b>Usos Cuerpos de Agua</b>	
Series de Suelo	Área (Ha)
Suelo Reciente	30,03
Escarpe	25,96
Curanipe	3,29
Arenales	1,24
<b>Total</b>	<b>60.52 (17,3%)</b>

Serie	Suelo Reciente 7,59%	Suelo Pedemont 1,93%	Nahuelbuta 2,23%	Arenales 0,04%	Escarpe 11,64%	Curanipe 16,96%	Píleo + Nahuelbuta 59,61%	Ponderado por área
CNp	33,49	25,33	83	100,00	67,66	83,02	83	76,40
ETR	407,9	402,54	276,95	0,42	470,63	357,61	474,96	443,48
Recarga	621,12	644,26	0	0	126,70	0	5,70	77,73
Escorrentía	92,21	71,42	843,27	1038	522,90	762,62	558,00	550,39

**b. Subcuenca Los Batros (área total: 4.627,30 Ha)**

<b>Uso Carretera</b>	
Serie de suelo	Área (Ha)
Suelo Pedemont	22,21
Dunas	3,19
Arenales	9,30
Suelo Reciente	31,59
Total	66,29 (1%)
<b>Uso Agrícola</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Suelo Pedemont	114,24
Suelo Reciente	4,31
Duna	43,58
Total	299,96 (3,50)
	462,03
<b>Uso Humedales</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Suelo Pedemont	42,16
Arenales	11,75
Suelo Reciente	46,51
Dunas	1,49
Total	101,92 (2,20 %)
<b>Uso Bosque</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Arenales	238,75
Suelo Reciente	318,99
Suelo Pedemont	127,97
Curanipe	215,03
Dunas	105,32
Escarpe	319,18
Píleo + Nahuelbuta	1.121,26
Total	2.446,50 (55,65 %)

<b>Uso Cuerpos de Agua</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Curanipe	165,12
Arenales	65,88
Suelo Reciente	10,77
Píleo + Nahuelbuta	96,70
Escarpe	13,14
Total	352,48 (8,01 %)
<b>Uso Espacio Abierto</b>	
Serie de suelo	Área (Ha)
Suelo Pedemont	15,82
Total	15,82 (0,34%)
<b>Uso Urbana</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Suelo reciente	186,96
Arenales	346,26
Escarpe	31,23
Suelo Pedemont	453,60
Curanipe	90,55
Duna	31,82
Total	1140,41 (25,94%)

Serie	Suelo Reciente 14,10%	Suelo Pedemonte 18,28%	Dunas 4,45%	Arenales 15,85%	Escarpe 8,74%	Curanipe 11,63%	Píleo + Nahuelbuta 26,94%	Ponderado por área
CNp	37,86	52,43	42,85	50,71	69,70	91,12	84,30	64,37
ETR	407,90	402,54	401,90	397,71	470,34	248,38	413,68	393,46
Recarga	613,00	551,4	629,8	597,90	182,40	0,00	0,70	326,17
Escorrentía	99,32	166,32	88,49	125,13	467,49	871,85	705,83	400,57

**c. Subcuenca Costanera Norte (área total: 1.600,91 Ha)**

<b>Uso Espacio Abierto</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Arenales	23,05
Nahuelbuta	10,54
Curanipe	8,51
<b>Total</b>	<b>42,10 (2,61%)</b>
<b>Uso Bosque</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Arenales	206,77
Suelo Pedemont	183,26
Suelo Reciente	189,43
Nahuelbuta	28,52
Curanipe	260,18
<b>Total</b>	<b>868,16 (54,30%)</b>
<b>Uso Carretera</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Nahuelbuta	35,07
Suelo Pedemont	64,02
<b>Total</b>	<b>99,08 (6,13%)</b>

<b>Uso Humedales</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Suelo Reciente	0,10
<b>Total</b>	<b>0,10 (0,00 %)</b>

<b>Uso Urbano</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Suelo Pedemont	307,40
Arenales	101,47
Suelo Reciente	64,18
Curanipe	104,93
Nahuelbuta	0,04
<b>Total</b>	<b>578,03 (36,16%)</b>

<b>Uso Agrícola</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Curanipe	0,11
Suelo Pedemont	12,87
<b>Total</b>	<b>12,98 (0,80%)</b>

Serie	Suelo Reciente	Suelo Pedemont	Arenales	Curanipe	Nahuelbuta	Ponderado por área
CNp	2,18%	4,87%	89,10%	3,21%	0,64%	52,72
ETR	34,10	42,74	37,84	87,23	85,31	395,87
Recarga	407,90	402,54	397,17	345,17	376,67	601,46
Escurrentía	614,23	43,68	657,61	0,00	0,60	112,17
	98,10	453,67	65,45	775,06	743,50	

**d. Subcuenca Quiñenco** (área total: 6.034,56 ha)

<b>Uso Bosque</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Suelo Reciente	194,25
Suelo Pedemont	39,97
Curanipe	334,27
Píleo + Nahuelbuta	2.605,16
<b>Total</b>	<b>3.173,65 (52,11%)</b>

<b>Uso Espacio Abierto</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
suelo Reciente	45,52
Suelo Pedemont	19,92
Curanipe	26,85
<b>Total</b>	<b>92,28 (1,52%)</b>

<b>Uso Humedales</b>	
Series de Suelo	Área (ha)
Suelo Reciente	45,55
Suelo Pedemont	50,02
Nahuelbuta	1,91
Curanipe	32,38
<b>Total</b>	<b>129,85 (2,13%)</b>

<b>Uso Urbano</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Suelo Reciente	324,89
Suelo Pedemont	779,21
Curanipe	194,35
<b>Total</b>	<b>1.298,45 (21,32%)</b>

<b>Uso Cuerpos de Agua</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Suelo Reciente	93,05
Suelo Pedemont	2,08
Curanipe	19,77
Arenales	4,39
Píleo + Nahuelbuta	23,11
<b>Total</b>	<b>142,41 (2,34%)</b>

<b>Uso Terreno Agrícola</b>	
Series de Suelo	Área (ha)
Suelo reciente	969,06
Suelo Pedemont	71,93
Arenales	31,52
Curanipe	163,29
<b>Total</b>	<b>1.235,80 (20,29%)</b>

Serie	Suelo Reciente	Suelo Pedemonte	Arenales	Curanipe	Nahuelbuta	Píleo + Nahuelbuta	Ponderado por área
	27,46%	16,11%	0,59%	12,66%	0,03%	43,16%	
CNp	33,49	25,33	25,00	88,74	78,00	83,02	60,83
ETR	407,90	402,54	397,17	300,65	437,10	433,49	404,47
Recarga	331,37	438,30	672,62	3,50	123,33	8,35	167,15
Escorrentía	380,96	279,41	50,43	816,08	559,81	678,39	545,62

**e. Subcuenca Manco** (área total: 2.481,43 ha)

<b>Uso Humedales</b>	
Serie de suelo	Área (ha)
Curanipe	24,62
Arenales	23,98
Total	48,60 (1,95%)
<b>Uso Bosque</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Curanipe	62,21
Suelo Reciente	23,85
Nahuelbuta	691,00
Píleo + Nahuelbuta	1.086,38
Total	1.65,41 (75,2%)
<b>Uso Urbano</b>	
Serie de Suelo	Área (Ha)
Curanipe	55,15
Suelo Reciente	3,68
Suelo Pedemont	7,17
Total	65,99 (2,70%)

<b>Uso Cuerpo de Agua</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Curanipe	1,29
Total	1,29 (0%)
<b>Uso Espacio Abierto</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Curanipe	0,41
Total	0,41 (0%)
<b>Uso Agrícola</b>	
Serie de Suelo	Área (ha)
Curanipe	293,51
Arenales	192,43
Suelo Reciente	7,51
Total	493,45 (19,87%)
<b>Uso Carretera</b>	
Serie de suelo	Área (ha)
Arenales	6,02
Curanipe	2,57
Suelo reciente	0,06
Total	8,65 (0,01 %)

Serie	Suelo Reciente (1,41%)	Suelo Pedemonte (0,29%)	Arenales (8,96%)	Curanipe (17,71%)	Nahuelbuta (27,85%)	Píleo + Nahuelbuta (43,78%)	Ponderado por área
CNp	38,91	61,00	67,42	28,10	83	83	82,16
ETR	407,90	402,54	397,17	275,47	434,92	434,92	403,32
Recarga	610,6	420,90	332,7	0,00	24,20	10,40	49,81
Escorrentía	101,71	296,83	390,34	844,75	421,74	674,86	601,13

**f. Subcuenca Costanera Sur (área total: 1.688,71 ha)**

<b>Uso Bosque</b>		<b>Uso Agrícola</b>	
Serie de Suelo	área (ha)	Serie de Suelo	Área (ha)
Nahuelbuta	786,26	Curanipe	132,86
Suelo Reciente	71,09	Total	132,86 (7,81%)
Curanipe	46,07	<b>Uso Urbano</b>	
Píleo + Nahuelbuta	9,32	Serie de Suelo	Área (ha)
Total	912,73 (55,40%)	Suelo Reciente	119,36
		Curanipe	381,73
<b>Uso Humedales</b>		Nahuelbuta	12,18
Series de Suelo	Área (ha)	Total	513,27 (30,39%)
Suelo Reciente	45,55		
Suelo Pedemont	50,02		
Nahuelbuta	1,91		
Curanipe	32,38		
Total	129,85 (7,69%)		

Serie	Suelo Reciente (14,40%)	Suelo Pedemont	Curanipe (36,19%)	Nahuelbuta (48,84%)	Píleo + Nahuelbuta (0,57%)	Ponderado por área
CNp	44,17	30,00	94,17	82,94	83,00	79,90
ETR	407,9	402,54	169,74	422,1	434,92	331,0
Recarga	593,3	646,3	0,00	25,2	10,40	114,1
Escorrentía	119,02	71,42	950,48	672,98	674,86	675,2

**Anexo 11:** Descripción litológica de los sondajes en la zona.

Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1214-1_1	666131	5912957	1	0 - 4	4	Arena media
p1214-2_1	666131	5912963				
p1214-3_1	666131	5912969	2	4 - 8	4	Arena gruesa
p1214-4_1	666131	5912975				
p1214-1_2	665761	5912687	1	0 - 4	4	Arena media
p1214-1_2	665767	5912697	2	4 - 8	4	Arena gruesa
p1030-1	663525	5908333	1	0 - 5.8	5.8	Arena fina a media con capa de óxidos en base
p1030-2	663519	5908333				
p1030-3	663513	5908333				
p1030-4	663507	5908333	2	5.8 - 8	2.2	Arena media a gruesa
p1030-5	663501	5908333				
p1030-6	663495	5908333				
P2285-1_1	665949	5899758	1	0 - 6	6	Arena fina a media
			2	6 - 12	6	Arena media a gruesa
			3	12 - 18	6	Arena fina, arcilla
			4	18 - 31	13	Arena media, gruesa y grava
P2285-1_2	665975	5899798	1	0 - 6	6	Arena fina a media
			2	6 - 14	8	Arena media a gruesa
			3	14 - 23	9	Arena fina, arcilla
			4	23 - 30	7	Arena media, gruesa y grava
p1381-1	664184	5910433	1	0 - 0.05	0.05	Cubierta vegetal
			2	0.05 - 2.4	2.35	Arena media
			3	2.4 - 7	4.6	Arena gruesa
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1472-1_1	664266	5910648	1	0 - 0.05	0.05	Cubierta vegetal
			2	0.05 - 2	1.95	Arena fina
			3	2 - 7	5	Arena gruesa
p1472-1_2	664287	5910678	1	0 - 0.05	0.05	Cubierta vegetal
p1472-2_2	664284	5910679	2	0.05 - 2.5	2.45	Arena fina
p1472-3_2	664285	5910677	3	2.5 - 7	4.5	Arena gruesa
p1478-1	664955	5912737	1	0 - 0.05	0.05	Cubierta vegetal
p1478-2	664954	5912731	2	0.05 - 3	2.95	Arena media

			3	3 - 7	4	Arena gruesa
p2302-1	665238	5912810	1	0 - 8	8	Arena fina
			2	8 - 10	2	Arena gruesa
P1466-1	681189	5905813	1	0 - 14	14	arena media, limpia, color gris oscuro, humedad media a alta y compacidad suelta a media
			2	14 - 28	14	Arena media compacidad media
			3	28 - 34	6	Arena limosa compacidad media
			4	34 - 60	26	Arena gruesa limosa de baja compacidad
p1350-1	663905	5908397	1	0 - 1.5	1.5	Arena fina limo
p1350-2	663911	5908397				
p1350-3	663905	5908395				
p1350-4	663911	5908395				
p1350-5	663905	5908393				
p1350-6	663911	5908393	2	1.5 - 6.5	5	Arena fina arena media
p1350-7	663905	5908391				
p1350-8	663911	5908391				
p1350-9	663905	5908389				
p1350-10	663911	5908389	3	6.5 - 7.5	1	Arena gruesa
p1350-11	663905	5908387				
p1350-12	663911	5908387				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1477-1	663604	5907256	1	0 - 0.04	0.04	Cubierta vegetal
p1477-2	663615	5907253	2	0.04 - 3	2.96	Arena media
			3	3 - 12	9	Arena gruesa
p1411-1	664161	5908912	1	0 - 1	1	Arena fina y limo
p1411-2	664161	5908906	2	1 - 3	2	Arena fina y media
p1411-3	664161	5908900	3	3 - 6	3	Arena media
p196-1	664379	5909502	1	0 - 1.8	1.8	Arena fina a media con presencia de limo
p196-2	664385	5909501	2	1.8 - 2.3	0.5	Arena fina, arcilla y limo con materia orgánica
p196-3	664391	5909501	3	2.3 - 4.5	2.2	Arena media (friable)
			4	4.5 - 8.5	4	Arena gruesa (friable) no plástico, no adhesivo
Sistema	663351	5905958	1	0 - 1.3	1.3	Arena fina mezclada con limo color gris claro
			2	1.3 - 3.1	2.1	Arena fina y media color gris oscuro con presencia de óxidos
			3	3.1 - 3.8	0.7	Arena media y gruesa compactada, color gris oscuro
			4	3.8 - 9.7	5.9	Arena gruesa color gris oscuro
p603-1	664261	5910204	1	0 - 5.7	5.7	Arena fina y media con límites difusos, lineales
p603-2	664261	5910207				
p603-3	664261	5910210				
p603-4	664261	5910213	2	5.7 - 6.1	0.4	Arena fina compactada

p603-5	664266	5910204				
p603-6	664266	5910207				
p603-7	664266	5910210	3	6.1 - 8.5	2.4	Arena media a gruesa en estratos con límites claros, lineales
p603-8	664266	5910213				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1230-1	665248	5912269	1	0 - 2.5	2.5	Arena gruesa
p1230-2	665248	5912274				
p1230-3	665248	5912279	2	2.5 - 3.5	1	Arena media
p1230-4	665248	5912284				
p1230-5	665248	5912289	3	3.5 - 4.5	1	Arena fina
p1230-6	665255	5912269				
p1230-7	665248	5912274	4	4.5 - 7	2.5	Arena gruesa
p1230-8	665255	5912279				
p1230-9	665255	5912284	5	7 - 8.5	1.5	Arena media
p1230-10	665255	5912289	6	8.5 - 10	1.5	Arena gruesa
p1227-1	663954	5908526	1	0 - 6	6	Arena fina, arena media
p1227-2	663954	5908529				
p1227-3	663954	5908532				
p1227-4	663950	5908535				
p1227-5	663879	5908538	2	6 - 9	3	Arena gruesa color gris oscuro
p1227-6	663950	5908541				
p1227-7	663950	5908544				
p1227-8	663950	5908547				
P1362-1_1	664386	5911732	1	0 - 4	4	Arena y arcilla
			2	4 - 6	2	Grava arenosa y arcilla
			3	6 - 8	2	Arena gruesa y arcilla
			4	8 - 20	12	Arena gruesa y fina intercalada
P1362-1_2	664331	5911343	1	0 - 10	10	Arena fina
			2	10 - 17	7	Arena gruesa y gravilla
			3	17 - 20	3	Arena fina
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p601-1	663707	5908554	1	0 - 1	1	Arena fina
p601-2	663705	5908554				
p601-3	663701	5908555				
p601-4	663695	5908555	2	1 - 8	7	Arena gruesa
p601-5	663689	5908555				
p601-6	663683	5908555				

p1430-1	663526	5906818	1	0 - 1	1	Arena fina
p1430-2	663528	5906816				
p1430-3	663530	5906814	2	1 - 8	7	Arena media y gruesa
p1430-4	663532	5906808				
P102-1	663763	5908378	1	0 - 8	8	Arena fina
			2	8 - 10	2	Arena gruesa
			3	10 - 17	7	Arena fina
			4	17 - 19	2	Roca
P102-2	663763	5908378	1	0 - 9	9	Arena fina
			2	9 - 14	5	Arena gruesa
			3	14 - 19	5	Arena fina
			4	19 - 20	1	Roca
P102-3	663763	5908378	1	0 - 6	6	Arena fina y gruesa
			2	6 - 9	3	Arena gruesa y media
			3	9 - 11	2	Arena fina y media
			4	11 - 20	9	Arena gruesa gris
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P102-4	663763	5908378	1	0 - 3	3	Arena fina y gruesa
			2	3 - 6	3	Arena gruesa
			3	6 - 12	6	Arena gruesa y grava
			4	12 - 15	3	Arena fina
			5	15 - 20	5	Arena fina y grava
P2230-1	664349	5903385	1	0 - 1	1	Contenido vegetal y arena fina
			2	1 - 24	23	Arena media
			3	24 - 25	1	Arena fina, arcilla y limo
p1454-1	664620	5910290	1	0 - 0.15	0.15	Cubierta vegetal
			2	0.15 - 2	1.85	Arena fina y media
			3	2 - 8	6	Arena media
p1455-1	662914	5907610	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p1455-2	662917	5907609				
p1455-3	662920	5907608				
p1455-4	662923	5907607	2	0.1 - 1.5	1.4	Arena fina a media
p1455-5	662909	5907605				
p1455-6	662914	5907603				
p1455-7	662920	5907602	3	1.5 - 8.5	7	Arena gruesa
p1455-8	662926	5907600				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad	Espesor	Litología

				(m)	(m)	
p2276-1_1	665367	5904968	1	0 - 3	3	Arena media
p2276-1_2	665496	5904969				
p2276-2_2	665497	5904969				
p2276-3_2	665498	5904969				
p2276-4_2	665499	5904969				
p2276-1_3	665541	5904959				
p2276-2_3	665541	5904958				
p2276-3_3	665541	5904957	2	3 - 6	3	Arena gruesa
p2276-4_3	665541	5904956				
p2276-1_4	665630	5904955				
p2276-2_4	665630	5904954				
p2276-3_4	665630	5904953				
p2276-4_4	665630	5904952				
P2320-1	663525	5906802	1	0 - 1	1	Arena fina - limo
			2	1 - 26	27	Arena media
p1201-1_1	663452	5901108	1	0 - 1.5	1.5	Arena fina
p1201-2_1	663458	5901108				
p1201-3_1	663464	5901108				
p1201-1_2	663524	5901108	2	1.5 - 5	3.5	Arena media
p1201-2_2	663518	5901108				
p1201-3_2	663512	5901108				
p1201-4_2	663506	5901108	3	5 - 7	2	Arena gruesa
p1201-5_2	663500	5901108				
p1409-1_1	663930	5910168	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p1409-2_1	663929	5910162	2	0.1 - 2	1.9	Arena fina a media
p1409-1_2	663886	5910082	3	2 - 10	8	Arena media
p1409-2_2	663884	5910076	4	10 - 18	8	Arena gruesa
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1385-1	663529	5908423	1	0 - 1	1	Arena media a limosa
p1385-2	663520	5908423				
p1385-3	663511	5908423	2	1 - 3	2	Arena media a fina
p1385-4	663502	5908423				
p1385-5	663493	5908423	3	3 - 4	1	Arena media a limosa
p1385-6	663484	5908423				
p1385-7	663475	5908423	4	4 - 5	1	Arena gruesa a fina
p1385-8	663466	5908423				
p1385-9	663531	5908413	5	5 - 6	1	Arena gruesa a media
p1385-10	663522	5908413				

p1385-11	663513	5908413	6	6 - 7	1	Arena media a fina
p1385-12	663504	5908413				
p1385-13	663504	5908413	7	7 - 8	1	Arena gruesa a fina
p1385-14	663486	5908413				
p1385-15	663477	5908413	8	8 - 9	1	Arena gruesa a media
p1385-16	663468	5908413				
P1363-1_1	664521	5911707	1	0 - 10	10	Arena fina
			2	10 - 17	7	Arena gruesa y gravilla
			3	17 - 20	3	Arena fina
P1363-1_2	664508	5912312	1	0 - 4	4	Arena y arcilla
			2	4 - 8	4	Grava arena y arcilla
			3	8 - 20	12	Arena gruesa y fina intercalada
P110-1	664791	5903883	1	0 - 12.62	12.62	Arena gruesa
			2	12.62 - 15.62	3	Arena fina
			3	15.62 - 18.62	3	Arena gruesa
			4	18.62 - 21.12	2.5	Arena fina
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p647-1	665910	5903890	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p647-2	665921	5903885				
p647-3	665875	5903881				
p647-4	665886	5903875				
p647-5	665905	5903878				
p647-6	665916	5903874				
p647-7	665870	5903868				
p647-8	665880	5903863	2	0.1 - 2.3	2.2	Arena media
p647-9	665899	5903866				
p647-10	665910	5903862				
p647-11	665864	5903857				
p647-12	665877	5903855				
p647-13	665895	5903855				
p647-14	665905	5903851				
p647-15	665888	5903845	3	2.3 - 9	6.7	Arena gruesa
p647-16	665900	5903840				
p647-17	665859	5903848				
p647-18	665871	5903842				
p647-19	665882	5903834				
p647-20	665895	5903829				
p200-1	664232	5910126	1	0 - 2.5	2.5	Arena fina y media color gris
			2	2.5 - 4.8	2.3	Arena media a gruesa color gris oscuro

p200-2	664234	5910132	3	4.8 - 5.6	0.8	Arena gruesa compactada con incrustaciones de óxidos de hierro
			4	5.6 - 10	4.4	Arena gruesa gris oscuro en húmedo
P2229-1	664365	5903515	1	0 - 1	1	Cubierta vegetal y arena fina
			2	1 - 24	23	Arena media
			3	24 - 25	1	Arena fina y limo
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1358-1	663983	5910502	1	0 - 9	9	Arena gruesa
p1358-2	663983	5910501				
p1358-3	663974	5910577				
p1358-4	663973	5910574				
P2309-1	664635	5903078	1	0 - 23	23	Arena fina
P2244-1	663061	5904946	1	0 - 3	3	Arena gruesa y fina
			2	3 - 11	8	Arena gruesa y media
			3	11 - 24	13	Arena media y fina
			4	24 - 26	2	Arena media y fina
p1202-1	663558	5908057	1	0 - 0.1	0.1	Arena fina
p1202-2	663558	5908052				
p1202-3	663558	5908048				
p1202-4	663558	5908043	2	0.1 - 4	3.9	Arena media
p1202-5	663559	5908040				
p1202-6	663558	5908038				
p1202-7	663559	5908035	3	4 - 6	2	Arena gruesa
p1202-8	663559	5908029				
p1202-9	663558	5908026				
p1202-10	663559	5908023	4	6 - 7	1	Arena media
p1202-11	663558	5908021				
p1202-12	663558	5908015				
p1202-13	663558	5908009				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p128-1	664187	5907867	1	0 - 3	3	Arena media color gris
p128-2	664195	5907866				
p128-3	664185	5907869				
p128-4	664193	5907869	2	3 - 5	2	Arena fina compactada color gris
p128-5	664184	5907874				
p128-6	664193	5907873				
p128-7	664184	5907877	3	5 - 8	3	Arena gruesa
p128-8	664192	5907878				

p128-9	664184	5907880				
p128-10	664192	5907881				
P27-1_1	662791	5905297	1	0 - 1.75	1.75	Arena media compactación media
P27-1_2	663274	5906061	2	1.75 - 3.75	2	Arena media a gruesa compactación media
P27-1_3	662823	5906197	3	3.75 - 7.55	3.8	Arena gruesa muy compactada
P27-1_4	662483	5906247	4	7.55 - 11.73	4.18	Arena media a gruesa (alta compactación y humedad)
p1360-1_1	664834	5910121	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p1360-2_1	664836	5910115				
p1360-3_1	664838	5910109				
p1360-4_1	664840	5910104				
p1360-1_2	664843	5910123	2	0.1 - 4.5	4.4	Arena media
p1360-2_2	664844	5910118				
p1360-1_3	664810	5910239				
p1360-2_3	664811	5910233				
p1360-3_3	664812	5910227	3	4.5 - 7	2.5	Arena gruesa con presencia de fierrillo
p1360-1_4	664812	5910216				
p1360-2_4	664827	5910215				
p1360-3_4	664832	5910214				
p1360-1_5	664845	5910211				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P1402-1	664765	5912802	1	0 - 4	4	Arena fina-limo
			2	4 - 18	14	Arena fina y media-limo
			3	18 - 40	22	Grava-Arena fina y media
P1403-1	664551	5912854	1	0 - 7	7	Arena fina-limo
			2	7 - 21	14	Arena fina-media y limo
			3	21 - 36	15	Grava-arena fina y limo
P1433-1	663029	5907254	1	0 - 1	1	Arena fina y media
			2	1 - 20	19	Arena media
p195-1	663907	5908069	1	0 - 2	2	Arena fina y media color gris
p195-2	663913	5908068				
p195-3	663919	5908068	2	2 - 4	2	Arena media a gruesa color gris oscuro
p195-4	663925	5908068				
p195-5	663931	5908067	3	4 - 5	1	Arena compactada con incrustaciones de óxidos de Hierro
p195-6	663937	5908067				
p195-7	663943	5908066	4	5 - 10	5	Arena gruesa
p195-8	663949	5908066				
p195-9	663955	5908066				
p195-10	663961	5908065				

p196-1	664379	5909502	1	0 - 1.8	1.8	Arena fina y media, presencia de limo
p196-2	664385	5909501	2	1.8 - 2.3	0.5	Arena fina, arcilla y limo; con materia orgánica
p196-3	664391	5909501	3	2.3 - 4.5	2.2	Arena media (Friable)
			4	4.5 - 8.5	4	Arena gruesa (friable) no plástico, no adhesivo
p994-1	665556	5917518	1	0 - 5	5	Arena media
p994-2	665557	5917524				
p994-3	665558	5917530				
p994-4	665559	5917536	2	5 - 7	2	Arena fina
p994-5	665560	5917542				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p995-1	665569	5917604	1	0 - 5	5	Arena media
p995-2	665570	5917622				
p995-3	665571	5917640				
p995-4	665572	5917649				
p995-5	665573	5917658				
p995-6	665574	5917679	2	5 - 7	2	Arena fina
p995-7	665575	5917688				
p995-8	665576	5917697				
p995-9	665577	5917715				
p995-10	665578	5917724				
P1073-1	665911	5916532	1	0 - 10	10	Arena fina y gruesa
			2	10 - 12.5	2.5	Arena gruesa y fina
			3	12.5 - 15	2.5	Arena gruesa
			4	15 - 19.5	4.5	Arena gruesa y fina
P1416-1_1	665972	5916660	1	0 - 2	2	Suelo
			2	2 - 5	3	Arena fina y limo
			3	5 - 25	20	Arena media a gruesa
P1416-1_2	666531	5916543	1	0 - 2	2	Suelo
			2	2 - 6	4	Arena fina y limo
			3	6 - 25	19	Arena fina y media
p1413-1	669995	5921674	1	0 - 4.5	4.5	Arena fina suelta
p1413-2	669995	5921662				
p1413-3	669996	5921650				
p1413-4	669996	5921638	2	4.5 - 10.5	6	Arena limpia
p1413-5	669997	5921626				
p1413-6	669998	5921614				
p1413-7	669998	5921602	3	10.5 - 14.4	3.9	Arena fina limosa impermeable
Nombre	Coordenadas		Sondaje			

	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1412-1_1	670010	5921488	1	0 - 15	15	Arena fina, media, limo y arcilla
p1412-2_1	669999	5921484				
p1412-3_1	669987	5921481				
p1412-4_1	669975	5921478				
p1412-5_1	669964	5921475	2	15 - 95	80	Arena fina media y gruesa
p1412-6_1	669952	5921472				
p1412-7_1	669956	5921460				
p1412-8_1	669967	5921463				
p1412-9_1	669979	5921466	3	95 - 100	5	Arena gruesa y roca fracturada
p1412-10_1	669990	5921470				
p1412-11_1	670002	5921473				
p1412-12_1	670013	5921476				
P1412_2	670025	5921738				
P1412_3	669996	5921854				
p993-1	665319	5917601	1	0 - 5	5	Arena media
p993-2	665325	5917601				
p993-3	665331	5917601				
p993-4	665337	5917601				
p993-5	665337	5917607	2	5 - 7	2	Arena fina
p993-6	665337	5917613				
p993-7	665337	5917619				
p993-8	665337	5917625				
P1517	678839	5901346	1	0 - 14	14	Arena fina
			2	14 - 20	6	Arena gruesa
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1760-1	664076	5910427	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p1760-2	664077	5910432	2	0.1 - 2.5	2.4	Arena media
p1760-3	664078	5910437	3	2.5 - 7.1	4.6	Arena gruesa
p1760-4	664080	5910442				
CPG S1	663550	5901966	1	0 - 2.7	2.7	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, color gris, basura, raicillas
			2	2.7 - 10.45	7.75	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, muy compacta, saturada
CPG S2	663529	5902069	1	0 - 0.15	0.15	Suelo vegetal
			2	0.15 - 2.5	2.35	Relleno heterogéneo: arena, basura, gravas, estrato suelto
			3	2.5 - 5.45	2.95	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, muy compacta, saturada
CPG S3	663787	5902128	1	0 - 0.15	0.15	Capa vegetal

			2	0.15 - 2.20	2.05	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, escombros, suelto
			3	2.20 - 5.45	3.25	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, muy compacta, saturada
CPG S4	663814	5902030	1	0 - 0.1	0.1	Base estabilizada
			2	0.1 - 2.3	2.2	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa y algo de grava fina
			3	2.3 - 9.6	7.3	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, muy compacta, saturada
			4	9.6 - 12.6	3	Arena media, con poco fino, color gris, muy compacta, saturada
			5	12.6 - 13.8	1.2	Arena fina, limosa, color gris, compacta, saturada. Se observan conchuelas
			6	13.8 - 17.8	4	Limos compresibles, color gris, consistencia semi dura, saturado
			7	17.8 - 20.9	3.1	Arena fina, limosa, color gris, con tonalidades verdes, compacidad media, saturada
			8	20.9 - 28.5	7.6	Limo alta compresibilidad, consistencia semi dura, saturado
			9	28.5 - 30.5	2	Limo alta compresibilidad, consistencia dura, saturado
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
CLM S1	669094	5921523	1	0 - 0.3	0.3	Capa vegetal
			2	0.3 - 3.6	3.3	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, compacidad media a compacta
			3	3.6 - 5.9	2.3	Arena fina, limosa, color gris, muy compacta, saturada
			4	5.9 - 7.9	2	Arena media a fina, con algo de fino, color gris, muy compacta, saturada
			5	7.9 - 9.6	1.7	Arena fina, limosa, color gris, muy compacta, saturada
			6	9.6 - 10.1	0.5	Limo de alta compresibilidad, consistencia semidura, saturado
			7	10.1 - 12.45	2.35	Arena fina, limosa, color gris, compacta a muy compacta, saturada
C5300	666007	5917389	1	0 - 1.05	1.05	Relleno heterogéneo, conformado por arena fina, limosa, color gris, maicillo, escombros, compacidad media, humedad media
			2	1.05 - 1.5	0.45	Arena fina, limosa, color gris, compacidad media, humedad media
C11240	664376	5909493	1	0 - 1.5	1.5	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, color gris, con algo de grava, estrato de compacidad media, humedad media
			2	1.5 - 1.9	0.4	Arena fina, con poco fino, color gris, compacidad media, humedad alta
C12700	664119	5908091	1	0 - 0.5	0.5	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, color gris y carboncillo. Estrato suelto, humedad baja
			2	0.5 - 1.6	1.1	Arena fina, con poco fino, color gris, compacidad media, humedad media
C21500	665995	5900292	1	0 - 0.5	0.5	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, color gris y carboncillo. Estrato suelto, humedad media
			2	0.5 - 1.5	1	Arena fina con poco fino, color gris, compacidad media, humedad media
C24300	665346	5896690	1	0 - 0.5	0.5	Relleno heterogéneo: arena fina, limosa, color gris, carboncillo y maicillo, compacidad y humedad media
			2	0.5 - 1.5	1	Arena fina con poco fino, color gris, compacidad media, humedad media

El Guindo	667576	5918626	1	0 - 8	8	Litarenita media rica en minerales
Lomas Coloradas	666542	5915340	1	0 - 6.5	6.5	Litarenita media rica en minerales
			2	6.5 - 8	1.5	Litarenita gruesa
Villa Italia	665361	5913103	1	0 - 4	4	Litarenita muy gruesa con grava fina
			2	4 - 6.5	2.5	Litarenita rica en minerales muy gruesa con grava fina
			3	6.5 - 8	1.5	Litarenita rica en minerales gruesa con grava fina
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
Escuadrón	665073	5907966	1	0 - 1.75	1.75	Litarenita media
			2	1.75 - 6.25	4.5	Litarenita gruesa con grava muy fina
			3	6.25 - 8	1.75	Litarenita rica en minerales, muy gruesa con grava muy fina
S1	667733	5903713	1	0 - 0.65	0.65	Limo arenoso color gris
			2	0.65 - 1.35	0.7	Arcilla de baja compresibilidad, color gris, baja consistencia, humedad natural media. (49% arena)
			3	1.35 - 3.16	1.81	Arena limosa, color negro, alta compacidad, humedad natural media
			4	3.16 - 4.65	1.49	Arena limosa mal graduada, color negro, compacidad alta
			5	4.65 - 6.25	1.6	Arena limosa, color negro, humedad natural media, compacidad alta. Incrustaciones de líticos y cuarzo.
Sondaje N°2	665073	5908244	1	0 - 0.5	0.5	Capa vegetal
			2	0.5 - 7	6.5	Arena tamaño grueso, leve presencia de finos limosos. Color gris oscuro.
Sondaje N°4	666542	5915340	1	0 - 0.8	0.8	Capa vegetal
			2	0.8 - 2.5	1.7	Arena, tamaño medio a grueso, algo limosa, humedad alta. Color gris.
			3	2.5 - 7	4.5	Arena, tamaño medio, con leve presencia de finos limosos, color gris oscuro.
Sondaje N°5	667553	5918640	1	0 - 0.6	0.6	Capa vegetal
			2	0.6 - 4.2	3.6	Arena, tamaño fino, medianamente limosa. Color gris oscuro.
			3	4.2 - 7	2.8	Arena, tamaño fino, leve presencia de finos limosos. Color gris oscuro.
E.B.R. 5	664513	5912577	1	0 - 39	39	Arena de grano medio a gruesa con líticos, material fino y fragmentos de cuarzo de selección que varía de buena a mala.
			2	39 - 81	42	Arcilla con intercalaciones de arcilla arenosa
			3	81 - 84	3	Conglomerado de cuarzo
			4	84 - 195.48	111.48	Arenisca con intercalaciones de lutita y manto de carbón a los 90,80m de una potencia aproximada de 0,41 m. Horizonte Lota.
E.B.R. 4	664048	5910566	1	0 - 78	78	Arena de grano medio a gruesa subredondeada, con líticos de material volcánico y fragmentos de cuarzo, mal clasificada.
			2	78 - 87	9	Arcilla de color gris oliva, micro micácea.
			3	87 - 90	3	Cuarzo triturado con trozos de pizarra.
			4	90 - 94.16	4.16	Pizarra de color gris y micacita.

Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
E.B.R. 2	663413	5908449	1	0 - 42	42	Arena de grano medio a gruesa de color negro azulado con líticos de color negro con frecuentes fragmentos de cuarzo.
			2	42 - 53.42	11.42	Arcilla limosa micro micácea gris verdoso.
			3	53.42 - 59.42	6	Limolita arcillosa a arenosa.
			4	59.42 - 111	52	Arena de grano medio a gruesa, de diferente grado de compactación con líticos de material vocálico y fragmentos de cuarzo con intercalaciones de arena arcillosa.
			5	111 - 126	15	Limolita arcillosa en partes arenosa.
			6	126 - 140	14	Conglomerado de cuarzo y pizarra gris oscura.
			7	140 - 145.88	5.88	Arcilla verde azulada plástica, micácea.
E.B.R. 1	662397	5905825	1	0 - 44	44	Arena de grano medio a gruesa de color gris oscuro azulado pesada con fragmentos de cuarzo.
			2	44 - 54	10	Arcilla micro micácea gris verdoso con restos de cocha.
			3	54 - 63	9	Arena de grano fino de color gris oscuro con cuarzo, material arcilloso y restos de concha
			4	63 - 69	6	Arenisca de cuarzo cemento arcilloso.
			5	69 - 72	3	Arcilla gris oliva micro micácea
			6	72 - 91	19	Arenisca de cuarzo cemento arcilloso micáceo con mantos de carbón.
			7	91 - 103	12	Lutita arcillosa gris verdosa con intercalaciones de arenisca de cuarzo.
			8	103 - 255	152	Arenisca de cuarzo de grano fino – medio cemento arcilloso micáceo con intercalaciones de lutita.
			9	255 - 263.27	8.27	Cuarcita de color gris clara a muy clara.
P101	663741	5908708	1	0 - 0.4	0.4	Arena fina
			2	0.4 - 0.5	0.1	Arcilla
			3	0.5 - 4	3.5	Arena fina
			4	04-jun	2	Arena media
			5	06-ago	2	Arena gruesa
P116_1	664030	5909707	1	0 - 9.7	9.7	Arena variable poco cuarzo
			2	9.7 - 10.8	1.1	Gravilla arena gruesa
			3	10.8 - 11.80	1	Arena gruesa, cuarzo, poca grava
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P116_2	664086	5909628	1	0 - 9.7	9.7	Arena variable poco cuarzo
			2	9.7 - 10.8	1.1	Gravilla arena gruesa
			3	10.8 - 11.80	1	Arena gruesa, cuarzo, poca grava
P172-1	664488	5904702	1	0 - 0.25	0.25	Arena fina, color gris oscuro, suelo vegetal con raicillas
			2	0.25 - 1.1	0.85	Arena fina con arena gruesa, alta humedad, color gris oscuro
			3	1.1 - 2.8	1.7	Arena gruesa con capas delgadas de arena fina, color gris oscuro

			4	2.8 - 6.5	3.7	Arena gruesa de alta permeabilidad, color gris oscuro
			5	6.5 - 7.5	1	Arena gruesa con algunas gravas, color gris oscuro
P172-2	665061	5906288	1	0 - 0.25	0.25	Arena fina, color gris oscuro, suelo vegetal con raicillas
			2	0.25 - 1.1	0.85	Arena fina con arena gruesa, alta humedad, color gris oscuro
			3	1.1 - 2.8	1.7	Arena gruesa con capas delgadas de arena fina, color gris oscuro
			4	2.8 - 6.5	3.7	Arena gruesa de alta permeabilidad, color gris oscuro
			5	6.5 - 7.5	1	Arena gruesa con algunas gravas, color gris oscuro
P172-3	665201	5906358	1	0 - 0.25	0.25	Arena fina, color gris oscuro, suelo vegetal con raicillas
			2	0.25 - 1.1	0.85	Arena fina con arena gruesa, alta humedad, color gris oscuro
			3	1.1 - 2.8	1.7	Arena gruesa con capas delgadas de arena fina, color gris oscuro
			4	2.8 - 6.5	3.7	Arena gruesa de alta permeabilidad, color gris oscuro
			5	6.5 - 7.5	1	Arena gruesa con algunas gravas, color gris oscuro
P172-4	665201	5906368	1	0 - 0.25	0.25	Arena fina, color gris oscuro, suelo vegetal con raicillas
			2	0.25 - 1.1	0.85	Arena fina con arena gruesa, alta humedad, color gris oscuro
			3	1.1 - 2.8	1.7	Arena gruesa con capas delgadas de arena fina, color gris oscuro
			4	2.8 - 6.5	3.7	Arena gruesa de alta permeabilidad, color gris oscuro
			5	6.5 - 7.5	1	Arena gruesa con algunas gravas, color gris oscuro
P221	665511	5917777	1	0 - 5	5	Arena media
			2	5 - 7	2	Arena fina
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p343	665502	5917931	1	0 - 6	6	Arena exenta de arcilla, menos del 0.5% de limo. Clasifica como arena media y gruesa
			2	6 - 8	2	Arena gruesa de excelente porosidad
p352	663917	5909883	1	0 - 2	2	Arena fina
			2	2 - 3	1	Arena fina y media
			3	3 - 4	1	Arena media y gruesa
			4	4 - 7	3	Arena gruesa
p425-1	674711	5906292	1	0 - 15	15	Arena media
p425-2	674710	5906291				
P429	665161	5912958	1	0 - 10	10	Arena gruesa
P446 y P479	664070	5910197	1	0 - 2	2	Arena fina
			2	2 - 3	1	Arena fina y media
			3	3 - 4	1	Arena media y gruesa
			4	4 - 7	3	Arena gruesa
P541_1	665194	5912937	1	0 - 10	10	Arena gruesa
P541_2	665191	5912938	1	0 - 10	10	Arena gruesa
P541_3	665187	5912940	1	0 - 10	10	Arena gruesa

p545	663351	5905958	1	0 - 5.8	5.8	Arenas finas y medias
			2	5.8 - 8	2.2	Arenas medias y gruesas con capa de óxido a techo
p546	665111	5912767	1	0 - 2	2	Suelo vegetal
			2	2 - 4	2	Arena
			3	4 - 6	2	Arena poco ripio
			4	6 - 8	2	Arena limpia fina
p581	665934	5899930	1	0 - 0.6	0.6	Arena fina limosa con lentes de limos pequeños, pardo grisáceo oscuro, compacidad media
			2	0.6 - 5.5	4.9	Arena fina a media, color grisáceo oscuro, compacidad media a alta, k media a alta (0.01 cm/s)
p832	663643	5906576	1	0 - 6	6	Arena gruesa
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1222-1	665309	5906127	1	0 - 7	7	Arena limpia
p1222-2	665311	5906127				
p1222-3	665313	5906128				
p1222-4	665315	5906128				
p1222-5	665317	5906128				
p1222-6	665319	5906126				
p1222-7	665316	5906125				
p1222-8	665314	5906124				
p1222-9	665311	5906124				
p1222-10	665309	5906123				
p1341-1	663987	5910502	1	0 - 9	9	Arena gruesa
p1341-2	663990	5910660				
p1364-1	663982	5910450	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
p1364-2	663981	5910446	2	0.1 - 2.7	2.6	Arena media
p1364-3	663980	5910441				
p1364-4	663980	5910438	3	2.7 - 7	4.3	Arena gruesa
p1364-5	663979	5910433				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1382-1	663542	5908230	1	0 - 1	1	Arena media a limosa
p1382-2	663533	5908230				
p1382-3	663524	5908230	2	1 - 3	2	Arena media a fina
p1382-4	663515	5908230				
p1382-5	663506	5908230	3	3 - 4	1	Arena media a limosa
p1382-6	663497	5908230				
p1382-7	663488	5908230	4	4 - 5	1	Arena gruesa a fina
p1382-8	663479	5908230				

p1382-9	663544	5908240	5	5 - 6	1	Arena gruesa a media
p1382-10	663535	5908240				
p1382-11	663526	5908240	6	6 - 7	1	Arena media a fina
p1382-12	663517	5908240				
p1382-13	663508	5908240	7	7 - 8	1	Arena gruesa a fina
p1382-14	663499	5908240				
p1382-15	663490	5908240	8	8 - 9	1	Arena gruesa a media
p1382-16	663481	5908240				
P1449-1	663067	5907158	1	0 - 1	1	Arena fina a media
P1449-2	662823	5906197	2	1 - 20	19	Arena media
P1463	664237	5908974	1	0 - 3	3	Limo, arena fina y arcilla
			2	3 - 25	22	Limo, arena fina y bolón
			3	25 - 33	8	Arena fina, arena media y bolón
			4	33 - 40	7	Arena fina y arcilla
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1761-1	663982	5910497	1	0 - 0.1	0.1	Cubierta vegetal
			2	0.1 - 2.7	2.6	Arena media
			3	2.7 - 7	4.3	Arena gruesa
P2199	664140	5910235	1	0 - 0.5	0.5	Arena fina - limo
			2	0.5 - 38	37.5	Arena media
p2251-1	664863	5908015	1	0 - 0.45	0.45	Tierra vegetal
p2251-2	664867	5908011	2	0.45 - 7.5	7.05	Arena fina con presencia de limo compactado
p2251-3	664871	5908007				
p2251-4	664875	5908003				
p2251-5	664879	5907999				
p2251-6	664873	5908031				
p2251-7	664877	5908027				
p2251-8	664881	5908023				
p2251-9	664885	5908019				
p2251-10	664889	5908015				
p2252-1	662528	5904819				
p2252-2	662526	5904816				
p2252-3	662523	5904813				
p2252-4	662513	5904799				
p2252-5	662511	5904797				
p2252-6	662510	5904795				

p2252-7	662507	5904791				
P2253	664629	5903081	1	0 - 23	23	Arena fina
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p2259-1	664863	5908015	1	0 - 0.45	0.45	Tierra vegetal
p2259-2	664867	5908011				
p2259-6	664873	5908031	2	0.45 - 7.5	7.05	Arena fina con presencia de limo compactado
p2259-7	664877	5908027				
p2259-8	664881	5908023				
p2259-9	664885	5908019				
p2259-10	664889	5908015				
p2260-1	663844	5902310	1	0 - 12.35	12.35	Arena gris oscuro tamaño medio a grueso de compacidad media
p2260-2	663845	5902307				
p2260-3	663846	5902304				
p2260-4	663847	5902301				
p2260-5	663848	5902298				
p2260-6	663849	5902295				
p2260-7	663849	5902292				
p2260-8	663850	5902289				
p2260-9	663853	5902288	2	12.35 - 20	7.65	Arena gris oscuro tamaño fino de compacidad media, material de origen sedimentario
p2260-10	663855	5902290				
p2260-11	663858	5902291				
p2260-12	663860	5902293				
p2260-13	663863	5902295				
p2260-14	663865	5902296				
p2260-15	663863	5902298				
p2260-16	663871	5902300				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p2272-1	665319	5908580	1	0 - 0.45	0.45	Tierra vegetal
p2272-2	665323	5908576				
p2272-3	665326	5908571				
p2272-4	665330	5908567				
p2272-5	665334	5908563				
p2272-6	665331	5908595	2	0.45 - 7.5	7.05	Arena fina con presencia de limo compactado
p2272-7	665334	5908591				
p2272-8	665338	5908587				
p2272-9	665341	5908582				
p2272-10	665345	5908578				

p2274_1	663300	5907467	1	0 - 4	4	Arena media
			2	4 - 7	3	Arena gruesa
p2274-1_2	663510	5907389	1	0 - 4	4	Arena media
p2274-2_2	663511	5907392				
p2274-3_2	663513	5907396				
p2274-4_2	663516	5907403	2	4 - 7	3	Arena gruesa
p2274-5_2	663517	5907408				
p2274-6_2	663519	5907412				
p2287_1	663300	5907467	1	0 - 4	4	Arena media
			2	4 - 7	3	Arena gruesa
p2287-1_2	663510	5907389	1	0 - 4	4	Arena media
p2287-2_2	663511	5907392				
p2287-3_2	663513	5907396				
p2287-4_2	663516	5907403	2	4 - 7	3	Arena gruesa
p2287-5_2	663517	5907408				
p2287-6_2	663519	5907412				
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P2301	664359	5903446	1	0 - 2.1	2.1	Arena fina y limo
			2	2.1 - 5.2	3.1	Arena media, gris, poco limo
			3	5.2 - 19.8	14.6	Arena media y gruesa con incrustaciones de gravas
			4	19.8 - 23	3.2	Arena media, conchuelas y limo
			5	23 - 26	3	Arena fina, conchuelas y limo
p2302-1	665238	5912810	1	0 - 8	8	Arena fina
			2	08-oct	2	Arena gruesa
P2305	664356	5904245	1	0 - 25	25	Arena
			2	25 - 27	2	Arena, conchilla
P2306	664434	5904476	1	0 - 22	22	Arena
			2	22 - 24	2	Arena, conchilla
P2331	664238	5904328	1	0 - 22	22	Arena
			2	22 - 24	2	Arena conchilla
P2358-1	664181	5910787	1	0 - 2	2	Relleno
			2	02 - 10	8	Arena fina con piedras
			3	10 - 14	4	Limo
			4	14 - 20	6	Arena gruesa con piedras
			5	20 - 30	10	Roca maciza
			6	30 - 40	10	Arena gruesa con piedras y conchillas
Nombre	Coordenadas		Sondaje			

	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P2358-2	664165	5910794	1	0 - 2	2	Relleno
			2	2 - 10	8	Arena fina con piedras
			3	10 - 14	4	Limo
			4	14 - 20	6	Arena gruesa con piedras
			5	20 - 30	10	Roca maciza
			6	30 - 40	10	Arena gruesa con piedras y conchillas
P2481	662565	5905708	1	0 - 2	2	Arena fina y media (presencia de limo)
			2	2 - 8	6	Arena media y gruesa (friable)
P2528	663032	5907092	1	0 - 1	1	Arena fina-media
			2	1 - 20	19	Arena media
p2737-1	663284	5907038	1	0 - 11	11	Arena
p2737-2	663285	5907038				
p2737-3	663286	5907038				
p2740-1	663259	5907338	1	0 - 0.15	0.15	Terreno vegetal
p2740-2	663259	5907337	2	0.15 - 1.2	1.05	Arena fina con limo
			3	1.2 - 2.8	1.6	Arena fina
			4	2.8 - 8.79	5.99	Arena media
p2741-1	663420	5907420	1	0 - 0.15	0.15	Terreno vegetal
p2741-2	663416	5907421	2	0.15 - 2.50	2.35	Arena fina con limo
			3	2.50 - 6.52	4.02	Arena media
p2748-1	662885	5907333	1	0 - 0.25	0.25	Arena fina, oscura, mezclada con suelo vegetal, limo, conchas marinas trituradas
p2748-2	662886	5907333	2	0.25 - 0.8	0.55	Arena gruesa limpia con bajo porcentaje de limos
p2748-3	662887	5907333	3	0.8 - 3	2.2	Arena gruesa oscura, lavada, sin porcentaje de limos
p2748-4	662887	5907332	4	3 - 4r	1	Arena gruesa oscura, lavada, con pequeño porcentaje de limos
p2748-5	662886	5907332	5	4 - 5	1	Arena gruesa oscura, lavada, sin porcentaje de limos
p2748-6	662885	5907332	6	5 - 9	4	Arena gruesa oscura, lavada, sin limos, saturada
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
P626	671629	5921447	1	0 - 2	2	Arena gruesa
			2	2 - 4	2	Arena media
			3	4 - 6	2	Grava fina
			4	6 - 8.55	2.55	Grava fina - arena gruesa
P2234	668317	5920896	1	0 - 0.5	0.5	Capa vegetal
			2	0.5 - 2	1.5	Relleno grava con arena
			3	2 - 7.5	5.5	Arena limosa
			4	7.5 - 10.5	3	Tosca negra (arena compactada)
			5	10.5 - 17	6.5	Arena fina

p2794	666033	5922589	1	0 - 2	2	Franco arenoso
			2	2 - 9	7	Arenoso
pVPC4-2	661766	5903815	1	0 - 13	13	Arena
pVPC4-1	661756	5903923	1	0 - 13	13	Arena
PVPC10-1	664162	5909490	1	0 - 4	4	Arena fina y limo
			2	4 - 28	24	Arena media
			3	28 - 35	7	Arena fina a media
PVPC10-2	664174	5909531	1	0 - 4	4	Arena fina y limo
			2	4 - 28	24	Arena media
			3	28 - 35	7	Arena fina a media
p2245-1	662528	5904820	1	0 - 12	12	Arena color gris oscuro tamaño medio a grueso, compacidad media, y estructura bastante homogénea
p2245-2	662510	5904795				
p699	665729	5899700	1	0 - 0.6	0.5	Arena fina limosa con lentes de limo, con baja plasticidad, color pardo grisáceo oscuro de compacidad media.
			2	0.6 - 5.5	4.9	Arena fina a media limpia (con pocos o sin finos limosos no plásticos), color grisáceo negruzco, humedad alta a media, saturada a partir de los 1.5 m. Sin raíces ni materia orgánica. Compacidad media a alta y muy alta permeabilidad (>a 10 <sup>-2</sup> cm/s)
Nombre	Coordenadas		Sondaje			
	X (m)	Y (m)	Capa	Profundidad (m)	Espesor (m)	Litología
p1401	664161	5908916	1	0 - 1	1	Arena fina y limo
			2	1 - 3	2	Arena fina y media
			3	3 - 5.5	2.5	Arena media
p2294-1	662866	5907385	1	0 - 0.3	0.3	Restos de conchuelas de moluscos
p2294-2	662867	5907387				
p2294-3	662868	5907390				
p2294-4	662869	5907392	2	0.3 - 0.6	0.3	Arena media a fina algo limosa, gris claro con abundante contenido de raicillas, compacidad suelta
p2294-5	662870	5907396				
p2294-6	662884	5907384				
p2294-7	662886	5907384	3	0.6 - 1.5	0.9	Arena media limpia, gris claro, humedad media, compacidad suelta
p2294-8	662888	5907383				
p2294-9	662889	5907383				
p2677-1	663639	5907354	1	0 - 0.45	0.45	Arena fina limosa con finos algo plásticos color gris con alta presencia de material orgánico, compacidad baja
p2677-2	663639	5907358	2	0.45 - 1.3	0.85	Arena fina limosa con finos algo plásticos color gris oscuro con manchas de oxidaciones, estructura homogénea, compacidad baja
p2677-3	663640	5907362				
p2677-4	663640	5907366	3	1.3 - 2.5	1.2	Arena media color gris claro con granos gruesos con lentes de arena gruesa, limpia de finos plásticos, estructura homogénea, compacidad media; saturado a los 4.3 m
p2677-5	663640	5907370				
p2677-6	663640	5907374	4	2.5 - 7.5	5	Arena media, color gris claro, limpia de finos plásticos, estructura homogénea, compacidad media a alta.

**Anexo 12:** Columna estratigráfica de los sondeos de ENACAR en Parque Escuadrón y Lomas Colorada; y los de la empresa Bo Paper en la zona norte de San Pedro de la Paz, de Norte a Sur.

**Sondaje 1:** Estratigrafía y descripción litología de sondaje realizado por la empresa Bo Paper

Profundidad (m)	Columna Estratigráfica	Espesor (m)	Litología
0 - 15		15	Arena fina, media, limo y arcilla
15 - 95		80	Arena fina, media y gruesa
95 - 100		5	Arena gruesa y roca fracturada

**Sondaje 2:** Estratigrafía y descripción litológica del sondaje E.B.R. 5 del año 1975 (extraído de González et al., 2009).

Profundidad (m)	Columna estratigráfica	Espesor (m)	Litología
0,0 – 39,0		39,0	Arena de grano medio a gruesa con líticos, material fino y fragmentos de cuarzo de selección que varia de buena a mala.
39,0 – 81,0		42,0	Arcilla con intercalaciones de arcilla arenosa
81,0 – 84,0		3,0	Conglomerado de cuarzo
84,0 – 195,48		111,48	Arenisca con intercalaciones de lutita y manto de carbón a los 90,80m de una potencia aproximada de 0,41 m. Horizonte Lota.

**Sondaje 3:** Estratigrafía y descripción litológica del sondaje E.B.R. 4 del año 1975 (extraído de Gonzáles et al.,2009)

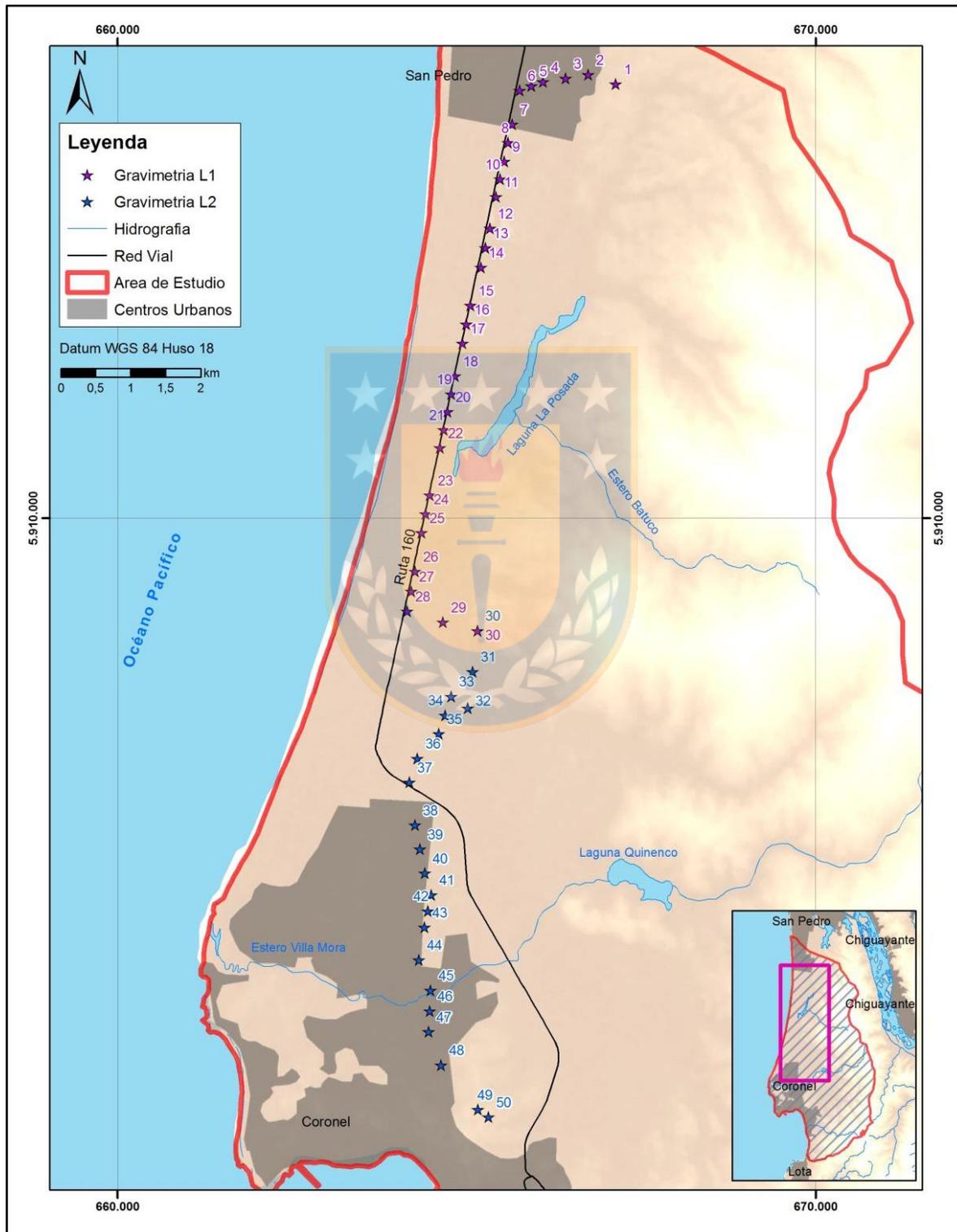
Profundidad (m)	Columna estratigráfica	Espesor (m)	Litología
0,0 – 78,0		78,0	Arena de grano medio a gruesa subredondeada, con líticos de material volcánico y fragmentos de cuarzo, mal clasificada.
78,0 – 87,0		9,0	Arcilla de color gris oliva, micromicacea.
87,0 – 90,0		3,0	Cuarzo triturado con trozos de de pizarra.
90,0 – 94,16		4,16	Pizarra de color gris y micacita.

**Sondaje 5:** Estratigrafía y descripción litológica del sondaje E.B.R. 2 del año 1975 (extraído González et al., 2009)

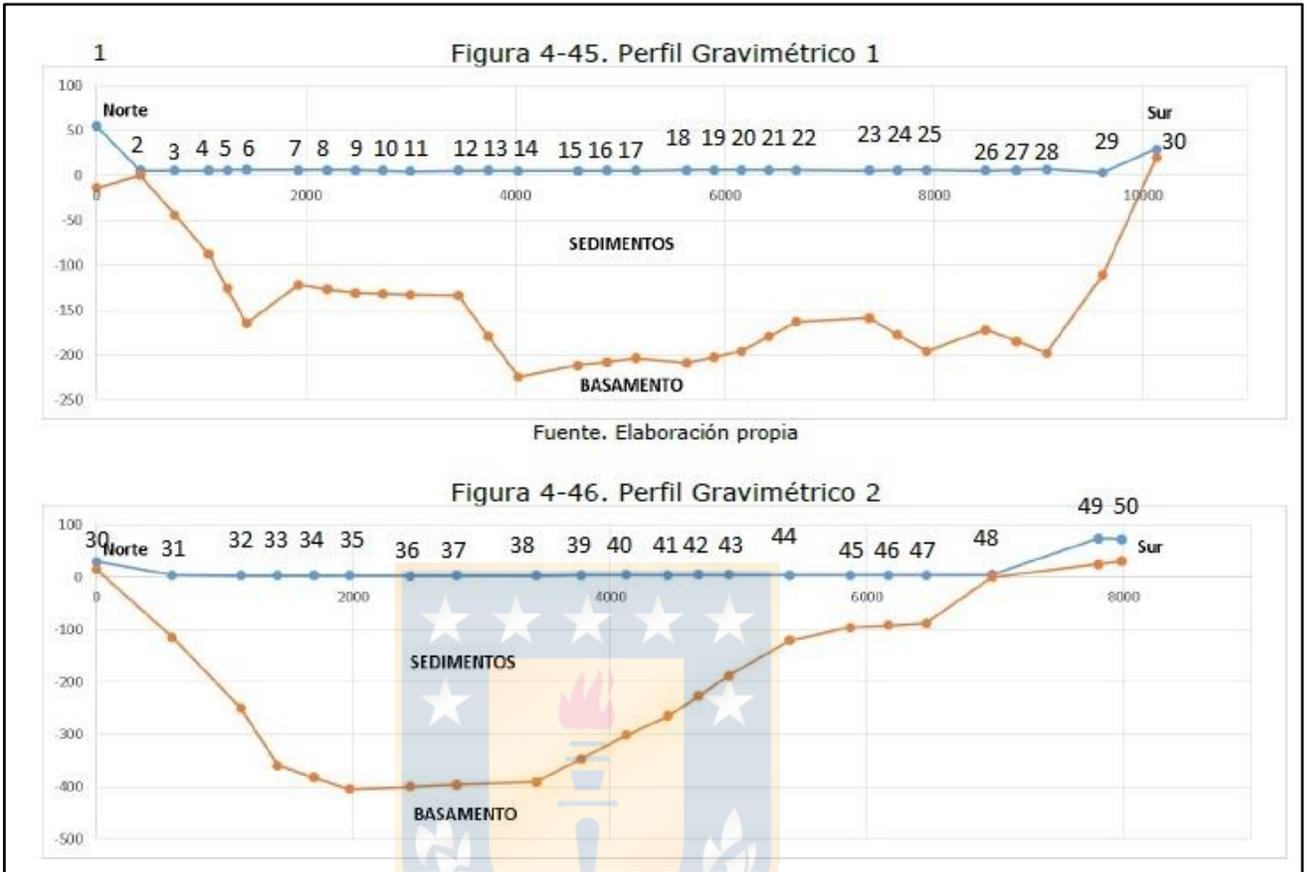
Profundidad (m)	Columna estratigráfica	Espesor (m)	Litología
0,0 – 42,0		42,0	Arena de grano medio a gruesa de color negro azulado con líticos de color negro con frecuentes fragmentos de cuarzo.
42,0 - 53,42		11,42	Arcilla limosa micromicacea gris verdoso.
53,42 – 59,42		6,0	Limolita arcillosa a arenosa.
59,0 – 111,0		52,0	Arena de grano medio a gruesa, de diferente grado de compactación con líticos de material volcánico y fragmentos de cuarzo con intercalaciones de arena arcillosa.
111,0 – 126,0		15,0	Limolita arcillosa en partes arenosa.
126,0 – 140,0		14,0	Conglomerado de cuarzo y pizarra gris oscura.
140,0 – 145,88		5,88	Arcilla verde azulada plástica, micácea.

**Anexo 13:** Perfiles Gravimétricos utilizados en la caracterización del basamento en el modelo de Visual Modflow v2011.1, a) vista en planta y b) vista longitudinal de los perfiles, extraído de DGA, 2018.

a) Vista en Planta



b) Vista longitudinal de los perfiles



**Anexo 14:** Tabla del catastro de niveles estáticos, obtenidos en terreno y extraídos de derechos de agua (Gormaz, 2020). Utilizado en Visual Modflow v2011.1 para ingresar Constad Head.

Captación	X	Y	Empresa	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Fuente
Buen Retiro 1-1	662797.2	5905399.71	ESSBIO S.A.	2018	3.2	3.2	3.7	3.8	3.6	3.2	DGA
Pozo 1414	664746.3	5903398	ESSBIO S.A.	2018	3.6	3.6	4.1	4.4	4.6	4.5	DGA
Pozo 1415	663941.8	5903762.94	ESSBIO S.A.	2018	2.9	2.9	4.3	4.3	0	4.4	DGA
Pozo Pic 01	663761	5907397.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	0	0	0	4.07	0	0	DGA
Pozo Pic 03	663743	5907427.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	0	0	0	4.25	0	0	DGA
Pozo Pic 06	663740.1	5907436.77	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.31	3.28	5.76	4.28	3.69	3.63	DGA
Pozo Pic 5A	663740	5907402.76	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.8	3.5	4.25	4.12	3.44	2.95	DGA
Pozo Yob 01	664611	5903090.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.2	3.1	3.08	2.57	2.57	2.57	DGA
Puntera Foresta 05	666100	5917007.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4.1	4.3	4.3	4.15	3.72	DGA
Puntera Foresta 06	666113	5916951.98	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.14	4.13	4.27	4.29	0	0	DGA
Puntera Pic 03	663734	5907371.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.21	4.28	4.22	4.05	3.65	3.1	DGA
Puntera Pic 04	663742	5907363.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4.2	4.16	4.05	3.53	3	DGA
Puntera Pic 05	663742	5907372.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.93	4.16	4.11	4.15	3.5	2.97	DGA
Puntera Pioneros 04	665904	5919605.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4	4.33	4.32	4.16	3.82	DGA
Puntera Rosario 04	665785	5915336.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.59	5	5.67	5.67	5.16	4.65	DGA
Punteras Calabozo	665850.5	5903780.75	ESSBIO S.A.	2018	4.45	4.45	4.2	4.5	4.4	4	DGA
Punteras Foresta 01	666105	5917019.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.35	4.2	4.55	4.73	0	0	DGA
Punteras Foresta 02	666100	5917003.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.22	4.2	4.43	4.5	4.08	3.89	DGA

Punteras Foresta 03	666100	5917004.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.14	4.13	4.27	4.29	4.07	3.66	DGA
Punteras Foresta 04	666100	5916953.98	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	0	0	0	4.4	4.21	3.91	DGA
Puntera Lagunillas	664839.2	5903451.48	ESSBIO S.A.	2018	3.9	3.9	3.7	3.9	4	3.8	DGA
Punteras Pioneros 01	665904	5919595.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.88	3.5	4.16	4	3.92	3.54	DGA
Punteras Pioneros 02	665921	5919594.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.95	3.7	4.12	4.05	3.96	3.56	DGA
Punteras Pioneros 03	665931	5919592.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.82	3.68	4.02	4	3.85	3.46	DGA
Punteras Rosario 01	665766	5915322.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.72	5.2	5.75	5.45	5.18	4.85	DGA
Punteras Rosario 02	665775	5915315.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.66	5.15	5.62	5.42	5.35	4.82	DGA
Punteras Rosario 03	665767.6	5915343.03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.89	5.5	5.91	6.1	5.34	4.86	DGA
Punteras San Pedro	671381	5921016.7	ESSBIO S.A.	2018	1.2	1.2	1	1	0.6	0.3	DGA
Sondaje 1 Pablo Neruda	664352.2	5903421.3	ESSBIO S.A.	2018	5.1	5.1	5.2	5.05	4.3	4.7	DGA
Sondaje 2 Pablo Neruda	664338.7	5903271.91	ESSBIO S.A.	2018	4.3	4.3	3.9	4.1	4.9	5.05	DGA
Sondaje 3 Pablo Neruda	664354.1	5903354.93	ESSBIO S.A.	2018	6.8	6.8	3.6	4.3	3.8	4.1	DGA
Buen Retiro 1-1	662797.2	5905399.71	ESSBIO S.A.	2018	3.2	3.2	3.7	3.8	3.6	3.2	DGA
Pozo 1414	664746.3	5903398	ESSBIO S.A.	2018	3.6	3.6	4.1	4.4	4.6	4.5	DGA
Pozo Pic 06	663740.1	5907436.77	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.31	3.28	5.76	4.28	3.69	3.63	DGA
Pozo Pic 5A	663740	5907402.76	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.8	3.5	4.25	4.12	3.44	2.95	DGA
Pozo Yob 01	664611	5903090.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.2	3.1	3.08	2.57	2.57	2.57	DGA
Puntera Foresta 05	666100	5917007.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4.1	4.3	4.3	4.15	3.72	DGA
Puntera Pic 03	663734	5907371.97	AGUAS SAN PEDRO	2018	3.21	4.28	4.22	4.05	3.65	3.1	DGA

			S.A.									
Puntera Pic 04	663742	5907363.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4.2	4.16	4.05	3.53	3	DGA	
Puntera Pic 05	663742	5907372.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.93	4.16	4.11	4.15	3.5	2.97	DGA	
Puntera Pioneros 04	665904	5919605.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.18	4	4.33	4.32	4.16	3.82	DGA	
Puntera Rosario 04	665785	5915336.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.59	5	5.67	5.67	5.16	4.65	DGA	
Punteras Calabozo	665850.5	5903780.75	ESSBIO S.A.	2018	4.45	4.45	4.2	4.5	4.4	4	DGA	
Punteras Foresta 02	666100	5917003.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.22	4.2	4.43	4.5	4.08	3.89	DGA	
Punteras Foresta 03	666100	5917004.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	4.14	4.13	4.27	4.29	4.07	3.66	DGA	
Puntera Lagunillas	664839.2	5903451.48	ESSBIO S.A.	2018	3.9	3.9	3.7	3.9	4	3.8	DGA	
Punteras Pioneros 01	665904	5919595.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.88	3.5	4.16	4	3.92	3.54	DGA	
Punteras Pioneros 02	665921	5919594.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.95	3.7	4.12	4.05	3.96	3.56	DGA	
Punteras Pioneros 03	665931	5919592.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	3.82	3.68	4.02	4	3.85	3.46	DGA	
Punteras Rosario 01	665766	5915322.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.72	5.2	5.75	5.45	5.18	4.85	DGA	
Punteras Rosario 02	665775	5915315.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.66	5.15	5.62	5.42	5.35	4.82	DGA	
Punteras Rosario 03	665767.6	5915343.03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	5.89	5.5	5.91	6.1	5.34	4.86	DGA	
Sondaje 1 Pablo Neruda	664352.2	5903421.3	ESSBIO S.A.	2018	5.1	5.1	5.2	5.05	4.3	4.7	DGA	
Sondaje 2 Pablo Neruda	664338.7	5903271.91	ESSBIO S.A.	2018	4.3	4.3	3.9	4.1	4.9	5.05	DGA	
Sondaje 3 Pablo Neruda	664354.1	5903354.93	ESSBIO S.A.	2018	6.8	6.8	3.6	4.3	3.8	4.1	DGA	
Buen Retiro 1-1	662797.2	5905399.71	ESSBIO S.A.	2019	4.2	4.1	3.15	4.3	0.9	0.9	DGA	
Pozo 1414	664746.3	5903398	ESSBIO S.A.	2019	4.2	4.2	4	4.6	3.385	3.385	DGA	

Pozo 1415	663941.8	5903762.94	ESSBIO S.A.	2019	4.5	4.8	4.67	-	4.15	4.15	DGA
Pozo Pic 01	663761	5907397.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	0	0	0	0	0	0	DGA
Pozo Pic 03	663743	5907427.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	0	0	0	0	0	0	
Pozo Pic 06	663740.1	5907436.77	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	5.15	6.2	6.2	4.9	4.9	4.9	DGA
Pozo Pic 5A	663740	5907402.76	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	5	6	4.98	4.65	4.65	4.65	DGA
Pozo Yob 01	664611	5903090.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	3.5	3.6	3.51	2.79	2.79	2.79	DGA
Puntera Foresta 05	666100	5917007.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	3.7	3.78	5.05	5.14	5.04	5.04	DGA
Puntera Foresta 06	666113	5916951.98	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	0	0	0	0	0	0	DGA
Puntera Pic 03	663734	5907371.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	4	5.5	5.21	4.74	4.74	4.74	DGA
Puntera Pic 04	663742	5907363.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	2.95	2.99	5.13	4.59	4.59	4.59	DGA
Puntera Pic 05	663742	5907372.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	3.5	4.4	4.95	4.53	4.53	4.53	DGA
Puntera Pioneros 04	665904	5919605.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	4	4.2	4.55	4.64	4.64	4.64	DGA
Puntera Rosario 04	665785	5915336.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	5.5	5.6	5.8	5.64	5.53	5.53	DGA
Punteras Calabozo	665850.5	5903780.75	ESSBIO S.A.	2019	4.21	4.1	4.13	4.9	6.3	6.3	DGA
Punteras Foresta 01	666105	5917019.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	0	0	0	0	0	0	DGA
Punteras Foresta 02	666100	5917003.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	3.95	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	DGA
Punteras Foresta 03	666100	5917004.97	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	4	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	DGA
Punteras Foresta 04	666100	5916953.98	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	3.75	4	5.06	5.1	5.1	5.1	DGA
Puntera	664839.2	5903451.48	ESSBIO S.A.	2019	0	4.3	4.15	4.7	6.5	6.5	DGA



	S.A.										
Pozo Pic 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663743.0	5907428.0	0	0	0	0	0	0	DGA
Pozo Pic 06	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663740.1	5907436.8	3.93	3.65	3.28	5.76	3.28	3.28	DGA
Pozo Pic 5A	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663740.0	5907402.8	3.16	2.93	3.5	4.25	3.5	3.5	DGA
Pozo Yob 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	664611.0	5903091.0	1.88	2.01	3.1	3.08	3.1	3.1	DGA
Puntera Foresta 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917008.0	3.68	3.74	4.1	4.3	4.1	4.1	DGA
Puntera Foresta 06	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666113.0	5916952.0	0	0	4.13	4.27	4.13	4.13	DGA
Puntera Pic 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663734.0	5907372.0	3.4	3.11	4.28	4.22	4.28	4.28	DGA
Puntera Pic 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663742.0	5907364.0	3.23	3.05	4.2	4.16	4.2	4.2	DGA
Puntera Pic 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663742.0	5907373.0	3.27	2.99	4.16	4.11	4.16	4.16	DGA
Puntera Pioneros 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665904.0	5919606.0	3.78	3.92	4	4.33	4	4	DGA
Puntera Rosario 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665785.0	5915337.0	4.65	4.65	5	5.67	5	5	DGA
Punteras Calabozo	ESSBIO S.A.	2018	665850.5	5903780.7	3.9	5.7	4.45	4.2	4.45	4.45	DGA
Punteras Foresta 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666105.0	5917020.0	0	0	4.2	4.55	4.2	4.2	DGA
Punteras Foresta 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917004.0	3.75	3.93	4.2	4.43	4.2	4.2	DGA

Punteras Foresta 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917005.0	3.66	3.72	4.13	4.27	4.13	4.13	DGA
Punteras Foresta 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5916954.0	3.9	3.89	0	0	0	0	DGA
Puntera Lagunillas	ESSBIO S.A.	2018	664839.2	5903451.5	3.4	3.6	3.9	3.7	3.9	3.9	DGA
Punteras Pioneros 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665904.0	5919596.0	3.44	3.65	3.5	4.16	3.5	3.5	DGA
Punteras Pioneros 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665921.0	5919595.0	3.46	3.61	3.7	4.12	3.7	3.7	DGA
Punteras Pioneros 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665931.0	5919593.0	3.36	3.46	3.68	4.02	3.68	3.68	DGA
Punteras Rosario 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665766.0	5915323.0	4.84	4.88	5.2	5.75	5.2	5.2	DGA
Punteras Rosario 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665775.0	5915316.0	4.83	4.91	5.15	5.62	5.15	5.15	DGA
Punteras Rosario 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665767.6	5915343.0	4.86	4.9	5.5	5.91	5.5	5.5	DGA
Punteras San Pedro	ESSBIO S.A.	2018	671381.0	5921016.7	0.4	1	1.2	1	1.2	1.2	DGA
Sondaje 1 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664352.2	5903421.3	4.8	4.6	5.1	5.2	5.1	5.1	DGA
Sondaje 2 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664338.7	5903271.9	4.9	4	4.3	3.9	4.3	4.3	DGA
Sondaje 3 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664354.1	5903354.9	3.7	3.8	6.8	3.6	6.8	6.8	DGA
Buen Retiro 1-1	ESSBIO S.A.	2018	662797.2	5905399.7	3.5	3.4	3.2	3.7	3.2	3.2	DGA
Pozo 1414	ESSBIO S.A.	2018	664746.3	5903398.0	4.6	4.9	3.6	4.1	3.6	3.6	DGA
Pozo Pic 06	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663740.1	5907436.8	3.93	3.65	3.28	5.76	3.28	3.28	DGA
Pozo Pic 5A	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663740.0	5907402.8	3.16	2.93	3.5	4.25	3.5	3.5	DGA
Pozo Yob 01	AGUAS	2018	664611.0	5903091.0	1.88	2.01	3.1	3.08	3.1	3.1	DGA

	SAN PEDRO S.A.											
Puntera Foresta 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917008.0	3.68	3.74	4.1	4.3	4.1	4.1	DGA	
Puntera Pic 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663734.0	5907372.0	3.4	3.11	4.28	4.22	4.28	4.28	DGA	
Puntera Pic 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663742.0	5907364.0	3.23	3.05	4.2	4.16	4.2	4.2	DGA	
Puntera Pic 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	663742.0	5907373.0	3.27	2.99	4.16	4.11	4.16	4.16	DGA	
Puntera Pioneros 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665904.0	5919606.0	3.78	3.92	4	4.33	4	4	DGA	
Puntera Rosario 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665785.0	5915337.0	4.65	4.65	5	5.67	5	5	DGA	
Punteras Calabozo	ESSBIO S.A.	2018	665850.5	5903780.7	3.9	5.7	4.45	4.2	4.45	4.45	DGA	
Punteras Foresta 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917004.0	3.75	3.93	4.2	4.43	4.2	4.2	DGA	
Punteras Foresta 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	666100.0	5917005.0	3.66	3.72	4.13	4.27	4.13	4.13	DGA	
Puntera Lagunillas	ESSBIO S.A.	2018	664839.2	5903451.5	3.4	3.6	3.9	3.7	3.9	3.9	DGA	
Punteras Pioneros 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665904.0	5919596.0	3.44	3.65	3.5	4.16	3.5	3.5	DGA	
Punteras Pioneros 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665921.0	5919595.0	3.46	3.61	3.7	4.12	3.7	3.7	DGA	
Punteras Pioneros 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665931.0	5919593.0	3.36	3.46	3.68	4.02	3.68	3.68	DGA	
Punteras Rosario 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665766.0	5915323.0	4.84	4.88	5.2	5.75	5.2	5.2	DGA	

Punteras Rosario 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665775.0	5915316.0	4.83	4.91	5.15	5.62	5.15	5.15	DGA
Punteras Rosario 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2018	665767.6	5915343.0	4.86	4.9	5.5	5.91	5.5	5.5	DGA
Sondaje 1 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664352.2	5903421.3	4.8	4.6	5.1	5.2	5.1	5.1	DGA
Sondaje 2 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664338.7	5903271.9	4.9	4	4.3	3.9	4.3	4.3	DGA
Sondaje 3 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2018	664354.1	5903354.9	3.7	3.8	6.8	3.6	6.8	6.8	DGA
Buen Retiro 1-1	ESSBIO S.A.	2019	662797.2	5905399.7	0	0	4.1	3.15	4.1	4.1	DGA
Pozo 1414	ESSBIO S.A.	2019	664746.3	5903398.0	0	0	4.2	4	4.2	4.2	DGA
Pozo 1415	ESSBIO S.A.	2019	663941.8	5903762.9	0	0	4.8	4.67	4.8	4.8	DGA
Pozo Pic 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663761.0	5907398.0	0	0	0	0	0	0	DGA
Pozo Pic 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663743.0	5907428.0	0	0	0	0	0	0	DGA
Pozo Pic 06	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663740.1	5907436.8	0	0	6.2	6.2	6.2	6.2	DGA
Pozo Pic 5A	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663740.0	5907402.8	0	0	6	4.98	6	6	DGA
Pozo Yob 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	664611.0	5903091.0	0	0	3.6	3.51	3.6	3.6	DGA
Puntera Foresta 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666100.0	5917008.0	0	0	3.78	5.05	3.78	3.78	DGA
Puntera Foresta 06	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666113.0	5916952.0	0	0	0	0	0	0	DGA
Puntera Pic 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663734.0	5907372.0	0	0	5.5	5.21	5.5	5.5	DGA
Puntera Pic 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663742.0	5907364.0	0	0	2.99	5.13	2.99	2.99	DGA

	S.A.										
Puntera Pic 05	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	663742.0	5907373.0	0	0	4.4	4.95	4.4	4.4	DGA
Puntera Pioneros 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665904.0	5919606.0	0	0	4.2	4.55	4.2	4.2	DGA
Puntera Rosario 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665785.0	5915337.0	0	0	5.6	5.8	5.6	5.6	DGA
Punteras Calabozo	ESSBIO S.A.	2019	665850.5	5903780.7	0	0	4.1	4.13	4.1	4.1	DGA
Punteras Foresta 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666105.0	5917020.0	0	0	0	0	0	0	DGA
Punteras Foresta 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666100.0	5917004.0	0	0	4.2	4.2	4.2	4.2	DGA
Punteras Foresta 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666100.0	5917005.0	0	0	4.1	4.1	4.1	4.1	DGA
Punteras Foresta 04	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	666100.0	5916954.0	0	0	4	5.06	4	4	DGA
Puntera Lagunillas	ESSBIO S.A.	2019	664839.2	5903451.5	0	0	4.3	4.15	4.3	4.3	DGA
Punteras Pioneros 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665904.0	5919596.0	0	0	4.6	4.34	4.6	4.6	DGA
Punteras Pioneros 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665921.0	5919595.0	0	0	3.95	4.4	3.95	3.95	DGA
Punteras Pioneros 03	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665931.0	5919593.0	0	0	3.98	4.22	3.98	3.98	DGA
Punteras Rosario 01	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665766.0	5915323.0	0	0	5.25	5.25	5.25	5.25	DGA
Punteras Rosario 02	AGUAS SAN PEDRO S.A.	2019	665775.0	5915316.0	0	0	5.6	5.91	5.6	5.6	DGA
Punteras Rosario 03	AGUAS SAN	2019	665767.6	5915343.0	0	0	5.8	6.02	5.8	5.8	DGA

	PEDRO S.A.										
Punteras San Pedro	ESSBIO S.A.	2019	671381.0	5921016.7	0	0	0.7	0.8	0.7	0.7	DGA
Sondaje 1 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2019	664352.2	5903421.3	0	0	5.8	5.75	5.8	5.8	DGA
Sondaje 2 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2019	664338.7	5903271.9	0	0	4.9	4.8	4.9	4.9	DGA
Sondaje 3 Pablo Neruda	ESSBIO S.A.	2019	664354.1	5903354.9	0	0	5.5	5.6	5.5	5.5	Terreno
P-8	ESSBIO S.A.	2019	662608.0	5904880.0	-	-	-	-	-	-	Terreno
P-9	ESSBIO S.A.	2019	662674.0	5904918.0	0	0	0	0	0	0	Terreno
P-7	ESSBIO S.A.	2019	662678.0	5904841.0	0	0	0	0	0	0	Terreno
P-6	ESSBIO S.A.	2019	663439.0	5906068.0	0	0	0	0	0	0	Terreno
P-4	ESSBIO S.A.	2019	663364.0	5905326.0	0	0	0	0	0	0	Terreno
Parque el recuerdo	ESSBIO S.A.	2019	666217.6	5917740.6	0	0	0	0	0	0	Terreno



**Anexo 15:** Ensayos de bombes con valores de caudal, nivel estático y dinámico, además de transmisividad y conductividad (extraído de Gormaz, 2020)

Captación	X (m)	Y (m)	Cota (ms.n.m.)	Fecha	Tipo	NE (m)	ND (m)	descenso (m)	t estabilización (min)
p128-1	664186.5	5907867	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-2	664194.5	5907866	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-3	664184.7	5907869	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-4	664192.6	5907869	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-5	664184	5907874	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-6	664193	5907874	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-7	664184.2	5907877	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-8	664192.2	5907878	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-9	664184.4	5907880	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p128-10	664192.4	5907881	5.130	12-11-1992	Punteras	0.86	1.04	0.18	270
p195-1	663907.1	5908069	6.010	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-2	663913.1	5908068	5.810	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-3	663919.1	5908068	6.210	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-4	663925	5908068	6.150	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-5	663931	5908067	5.920	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-6	663937	5908067	6.020	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-7	663943	5908066	6.130	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-8	663949	5908066	6.100	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-9	663954.9	5908066	6.020	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p195-10	663960.9	5908065	5.840	-	Punteras	3.50	3.94	0.44	560
p196-1	664378.7	5909502	6.470	-	Punteras	2.80	3.20	0.40	45
p196-2	664384.7	5909501	6.460	-	Punteras	2.80	3.20	0.40	45
p196-3	664390.7	5909501	6.170	-	Punteras	2.80	3.20	0.40	45
p200-1	664232	5910126	5.810	19-12-1994	Punteras	3.20	3.56	0.36	180
p200-2	664234.4	5910132	5.800	19-12-1994	Punteras	3.20	3.56	0.36	180
P221	665510.7	5917777	6.610	26-12-1995	Pozo	4.60	4.87	0.27	1300
p343	665502.4	5917931	6.420	09-10-1996	Punteras	4.80	4.96	0.16	1440
p344_2	665544.1	5917529	7.140	10-07-1997	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
P429	665160.8	5912958	6.380	28-10-1997	Pozo	4.81	4.96	0.15	1620
p601-1	663706.8	5908554	6.040	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p601-2	663704.8	5908554	6.040	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p601-3	663700.8	5908555	6.030	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p601-4	663694.8	5908555	6.040	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p601-5	663688.8	5908555	6.040	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p601-6	663682.8	5908555	6.030	24-08-1999	Punteras	3.20	3.38	0.18	50
p1350-1	663904.8	5908397	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-2	663910.8	5908397	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990

p1350-3	663904.8	5908395	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-4	663910.8	5908395	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-5	663904.8	5908393	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-6	663910.8	5908393	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-7	663904.8	5908391	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-8	663910.8	5908391	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-9	663904.8	5908389	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-10	663910.8	5908389	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-11	663904.8	5908387	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-12	663910.8	5908387	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-13	663904.8	5908385	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-14	663910.8	5908385	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-15	663904.8	5908383	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1350-16	663910.8	5908383	5.910	25-04-2001	Punteras	2.85	3.17	0.32	990
p1364-1	663981.8	5910450	5.530	14-12-2002	Punteras	4.03	4.35	0.32	120
p1364-2	663980.8	5910446	5.530	14-12-2002	Punteras	4.03	4.35	0.32	120
p1364-3	663979.8	5910441	5.530	14-12-2002	Punteras	4.03	4.35	0.32	120
p1364-4	663979.8	5910438	5.530	14-12-2002	Punteras	4.03	4.35	0.32	120
p1364-5	663978.8	5910433	5.530	14-12-2002	Punteras	4.03	4.35	0.32	120
p1382-1	663541.8	5908230	5.550	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-2	663532.8	5908230	5.550	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-3	663523.8	5908230	5.670	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-4	663514.8	5908230	5.800	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-5	663505.8	5908230	5.740	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-6	663496.8	5908230	5.680	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-7	663487.8	5908230	5.680	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-8	663478.8	5908230	5.790	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-9	663543.8	5908240	5.550	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-10	663534.8	5908240	5.720	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-11	663525.8	5908240	5.600	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-12	663516.8	5908240	5.720	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-13	663507.8	5908240	5.780	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-14	663498.8	5908240	5.860	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-15	663489.8	5908240	5.690	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p1382-16	663480.8	5908240	5.770	11-03-2003	Punteras	3.85	3.98	0.13	1440
p2340-1	662614.4	5906632	6.300	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-2	662613.9	5906630	6.330	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-3	662613.4	5906628	6.330	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-4	662612.8	5906625	6.330	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-5	662612.3	5906623	6.360	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-6	662611.8	5906620	6.350	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100

p2340-7	662620.8	5906631	6.150	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-8	662619.9	5906628	6.230	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-9	662618.1	5906624	6.230	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-10	662617.4	5906621	6.230	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-11	662616.5	5906619	6.380	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p2340-12	662615.8	5906617	6.380	10-03-2011	Punteras	6.94	7.05	0.11	100
p993-1	665318.8	5917601	8.250	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-2	665324.8	5917601	8.170	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-3	665330.8	5917601	7.610	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-4	665336.8	5917601	6.820	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-5	665336.8	5917607	6.810	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-6	665336.8	5917613	6.810	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-7	665336.8	5917619	7.010	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p993-8	665336.8	5917625	7.240	-	Punteras	4.78	4.88	0.10	1320
p994-1	665555.7	5917518	7.080	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p994-2	665556.7	5917524	7.030	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p994-3	665557.7	5917530	7.060	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p994-4	665558.7	5917536	7.030	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p994-5	665559.7	5917542	7.010	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p994-6	665560.7	5917548	7.000	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-1	665568.7	5917604	6.960	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-2	665569.7	5917622	6.960	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-3	665570.7	5917640	7.260	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-4	665571.7	5917649	7.280	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-5	665572.7	5917658	7.130	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-6	665573.7	5917679	7.480	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-7	665574.7	5917688	6.820	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-8	665575.7	5917697	7.650	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-9	665576.7	5917715	7.250	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p995-10	665577.7	5917724	7.660	-	Punteras	4.66	4.86	0.20	1380
p1358-1	663982.8	5910502	5.930	05-11-2000	Punteras	4.82	5.78	0.96	2280
p1358-2	663982.8	5910501	5.930	05-11-2000	Punteras	4.82	5.78	0.96	2280
p1358-3	663973.8	5910577	5.530	05-11-2000	Punteras	4.82	5.78	0.96	2280
p1358-4	663972.8	5910574	5.530	05-11-2000	Punteras	4.82	5.78	0.96	2280
P1457-1_1	665560.7	5917169	6.840	10-11-2006	Pozo	4.70	5.22	0.52	900
P1457-1_2	665547.7	5917098	6.630	10-11-2006	Pozo	4.70	5.22	0.52	900
p1457-1_3	665547.7	5917364	6.720	08-10-2004	Pozo	4.90	5.04	0.14	420
p1455-1	662913.8	5907610	6.090	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-2	662916.8	5907609	6.090	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-3	662919.8	5907608	5.920	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-4	662922.8	5907607	5.870	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160

p1455-5	662908.8	5907605	6.040	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-6	662913.8	5907603	6.050	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-7	662919.8	5907602	5.830	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1455-8	662925.8	5907600	5.580	23-08-2004	Punteras	3.88	4.85	0.97	160
p1472-1_1	664265.8	5910648	5.960	17-05-2005	Punteras	3.80	4.80	1.00	120
p1472-1_2	664286.8	5910678	5.930	17-05-2005	Punteras	3.90	4.50	0.60	120
p1472-2_2	664283.8	5910679	5.930	17-05-2005	Punteras	3.90	4.50	0.60	120
p1472-3_2	664284.8	5910677	5.930	17-05-2005	Punteras	3.90	4.50	0.60	120
p2302-1	665238	5912810	6.690	27-01-2012	Puntera	4.10	4.21	0.11	180
P1347_NR	665299.8	5918057	6.500	08-07-2003	Pozo	4.64	4.85	0.21	547
p546	665110.8	5912767	6.190	01-04-1997	Punteras	1.95	3.42	1.47	16
p1230-1	665247.7	5912269	7.240	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-2	665247.7	5912274	7.540	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-3	665247.7	5912279	7.550	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-4	665247.7	5912284	7.890	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-5	665247.7	5912289	7.810	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-6	665254.7	5912269	7.990	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-7	665247.7	5912274	7.540	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-8	665254.7	5912279	7.680	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-9	665254.7	5912284	8.020	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
p1230-10	665254.7	5912289	7.860	13-03-2001	Punteras	5.41	5.95	0.54	900
P1362-1_1	664385.8	5911732	5.670	12-03-2004	Pozo	5.27	8.99	3.72	1020
P1362-1_2	664330.8	5911343	5.830	12-03-2004	Pozo	4.09	7.03	2.94	1180
P1363-1_1	664520.8	5911707	5.610	12-09-1994	Pozo	3.75	10.98	7.23	1140
P1363-1_2	664507.8	5912312	6.330	23-08-1996	Pozo	5.47	8.78	3.31	480
p1401	664160.8	5908916	5.910	27-03-2003	Punteras	4.07	4.14	0.07	16
P1402-1	664764.8	5912802	5.610	21-03-2001	Pozo	5.24	29.93	24.69	35
P1403-1	664550.8	5912854	5.860	11-04-2003	Pozo	5.34	21.83	16.49	60
p1411-1	664160.8	5908912	5.990	23-08-2004	Punteras	4.07	4.14	0.07	15
p1411-2	664160.8	5908906	6.140	23-08-2004	Punteras	4.07	4.14	0.07	15
p1411-3	664160.8	5908900	5.930	23-08-2004	Punteras	4.07	4.14	0.07	15
p1430-1	663525.8	5906818	5.100	16-12-2003	Punteras	2.12	2.45	0.33	8
p1430-2	663527.8	5906816	5.200	16-12-2003	Punteras	2.12	2.45	0.33	8
p1430-3	663529.8	5906814	5.250	16-12-2003	Punteras	2.12	2.45	0.33	8
p1430-4	663531.8	5906808	5.240	16-12-2003	Punteras	2.12	2.45	0.33	8
P1433-1	663028.8	5907254	6.220	09-02-2004	Pozo	6.30	8.10	1.80	50
P1449-1	663066.8	5907158	6.770	24-06-2004	Pozo	4.50	6.05	1.55	50
P1449-2	662822.8	5906197	5.980	24-06-2004	Pozo	4.50	6.05	1.55	50
P2199	664139.8	5910235	5.820	04-08-2006	Pozo	4.00	10.20	6.20	240
p2206-1	662160.9	5901898	6.190	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2206-2	662158.9	5901896	6.190	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420

p2206-3	662157.9	5901578	29.550	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2206-4	662155.9	5901893	6.140	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
P2213	663445	5901045	2.980	22-08-2006	Pozo	2.80	3.33	0.53	480
P2230-1	664348.8	5903385	5.260	06-12-2006	Pozo	3.95	17.91	13.96	1140
P2241-1	664063.8	5903482	5.900	04-12-2007	Pozo	3.46	9.96	6.50	100
P2244-1	663060.8	5904946	5.480	24-09-2007	Pozo	4.06	14.91	10.85	300
P2253	664629	5903081	5.260	06-11-2007	Pozo	1.92	10.78	8.86	1020
p2254-2_1	664652.8	5913249	5.580	19-04-2008	Punteras	2.24	2.73	0.49	180
p2254-3_1	664654.8	5913248	5.580	19-04-2008	Punteras	2.24	2.73	0.49	180
p2254-4_1	664642.8	5913240	5.390	19-04-2008	Punteras	2.24	2.73	0.49	180
p2254-5_1	664641.8	5913237	5.370	19-04-2008	Punteras	2.24	2.73	0.49	180
p2254-6_1	664645.8	5913242	5.390	19-04-2008	Punteras	2.24	2.73	0.49	180
p2254-1_2	664700.8	5913225	5.400	26-04-2008	Punteras	2.29	2.47	0.18	30
p2258-1	662160.9	5901898	6.190	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2258-2	662158.9	5901896	6.190	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2258-3	662157.9	5901895	6.180	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2258-4	662155.9	5901893	6.140	28-05-2004	Punteras	2.12	6.50	4.38	420
p2262-1	663904.8	5907740	5.020	16-05-2008	Puntera	3.88	4.56	0.68	30
P2285-1_1	665948.7	5899758	4.060	04-02-2009	Pozo	1.50	11.50	10.00	420
P2285-1_2	665974.7	5899798	4.060	27-01-2009	Pozo	1.53	14.22	12.69	450
p2300-1	663191.8	5908398	4.180	04-06-2009	Punteras	4.01	4.75	0.74	30
p2300-2	663191.8	5908404	4.250	04-06-2009	Punteras	4.01	4.75	0.74	30
p2300-3	663192.8	5908410	4.660	04-06-2009	Punteras	4.01	4.75	0.74	30
p2300-4	663192.8	5908416	4.690	04-06-2009	Punteras	4.01	4.75	0.74	30
P2301	664358.8	5903446	5.740	09-10-2008	Pozo	2.90	14.74	11.84	900
P2305	664355.8	5904245	6.530	20-01-2009	Pozo	3.96	10.42	6.46	1440
P2306	664433.8	5904476	5.890	21-09-2009	Pozo	3.44	10.05	6.61	1380
P2309-1	664634.7	5903078	5.260	07-11-2007	Pozo	1.92	10.78	8.86	1020
P2320-1	663525	5906802	5.220	13-11-2010	Pozo	3.60	11.35	7.75	11
P2331	664237.8	5904328	6.490	20-01-2009	Pozo	3.11	3.93	0.82	1440
P2358-1	664181	5910787	5.770	19-03-2011	Pozo	6.00	21.90	15.90	1080
P2358-2	664165	5910794	5.770	19-03-2011	Pozo	6.00	21.90	15.90	1080
P2481	662565	5905708	5.040	12-09-2013	Pozo	3.84	4.12	0.28	5
P2528	663032	5907092	6.840	09-02-2004	Pozo	6.30	8.10	1.80	50
p2740-1	663259	5907338	5.210	08-03-2018	Punteras	4.16	4.28	0.12	300
p2740-2	663258.7	5907337	5.210	08-03-2018	Punteras	4.16	4.28	0.12	300
p2741-1	663420	5907420	5.210	08-03-2018	Punteras	3.75	3.98	0.23	240
p2741-2	663416.4	5907421	5.210	08-03-2018	Punteras	3.75	3.98	0.23	240
p2748-1	662885	5907333	5.660	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60
p2748-2	662886	5907333	5.660	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60
p2748-3	662886.9	5907333	5.800	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60

p2748-4	662887.1	5907332	5.800	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60
p2748-5	662885.9	5907332	5.660	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60
p2748-6	662885	5907332	5.660	18-05-2018	Punteras	4.75	4.90	0.15	60
p1338-1_NR	665731.7	5916848	7.750	28-12-2002	Punteras	4.26	4.52	0.26	540
p1338-2_NR	665753.7	5916892	8.200	28-12-2002	Punteras	4.62	4.75	0.13	1380
pVPC4-2	661765.9	5903815	5.280	14-03-2009	Punteras	4.70	9.57	4.87	80
PVPC9-2	664215	5910775	5.820	01-05-2017	Pozo	7.14	8.85	1.71	240
PVPC10-1	664162.3	5909490	6.390	08-11-2018	Pozo	4.60	18.65	14.05	420
PVPC10-2	664173.8	5909531	6.120	10-11-2018	Pozo	4.93	8.74	3.81	60
P1073-1	665910.7	5916532	7.870	16-11-1991	Pozo	5.20	6.79	1.59	210
P1412_2	670024.6	5921738	12.910	01-05-2007	Pozo	11.73	41.56	29.83	55
P1412_3	669995.6	5921854	11.550	01-05-2007	Pozo	11.40	37.25	25.85	7
p1413-1	669994.6	5921674	11.930	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-2	669994.6	5921662	12.190	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-3	669995.6	5921650	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-4	669995.6	5921638	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-5	669996.6	5921626	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-6	669997.6	5921614	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-7	669997.6	5921602	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-8	669997.6	5921590	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
p1413-9	669998.6	5921578	11.810	01-05-2004	Punteras	3.00	3.31	0.31	840
P1416-1_1	665971.7	5916660	7.400	13-08-2003	Pozo	5.95	10.12	4.17	170
P1416-1_2	666530.7	5916543	5.880	05-08-2003	Pozo	6.30	9.80	3.50	450
p2088-1	665271.8	5918098	6.800	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-2	665270.8	5918095	6.800	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-3	665270.8	5918092	6.730	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-4	665270.8	5918089	6.730	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-5	665276.8	5918098	6.770	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-6	665281.8	5918098	6.740	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-7	665270.8	5918081	6.680	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
p2088-8	665271.8	5918076	6.700	01-02-2006	Punteras	4.50	4.84	0.34	110
P2234	668316.6	5920896	5.130	20-08-2007	Pozo	2.30	3.15	0.85	1020

Captación	Prof. Pozo (m)	d pozo obs (m)	Q bombeo (l/s)	Q esp (l/s/m)	Grupo	Método	T (m <sup>2</sup> /día)	KV/KH	b (m)	KH (m/día)	KV (m/día)
p128-1	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-2	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-3	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-4	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-5	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-6	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00

p128-7	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-8	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-9	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p128-10	8	8	45	250.00	I	Neuman	10000	1	100	100.00	100.00
p195-1	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-2	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-3	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-4	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-5	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-6	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-7	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-8	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-9	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p195-10	8	6	25	56.82	I	Neuman	7520	1	100	75.20	75.20
p196-1	8	3	10	25.00	I	Neuman	9870	0	110	89.73	8.27
p196-2	8	3	10	25.00	I	Neuman	9870	0	110	89.73	8.27
p196-3	8	3	10	25.00	I	Neuman	9870	0	110	89.73	8.27
p200-1	8	4	10	27.78	I	Neuman	5670	1	100	56.70	56.70
p200-2	8	4	10	27.78	I	Neuman	5670	1	100	56.70	56.70
P221	7	12	28	103.70	I	Neuman	20000	1	200	100.00	93.30
p343	7	11	16	97.63	I	Neuman	9470	1	205	46.20	46.20
p344_2	7	37	64	320.00	I	Neuman	9360	0	215	43.53	12.89
P429	10	13	5	33.79	I	Neuman	3050	1	200	15.25	15.25
p601-1	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p601-2	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p601-3	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p601-4	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p601-5	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p601-6	7	3	15	83.33	I	Neuman	15000	1	80	187.50	187.50
p1350-1	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-2	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-3	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-4	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-5	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-6	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-7	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-8	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-9	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-10	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-11	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-12	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20

p1350-13	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-14	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-15	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1350-16	8	25	25	78.13	I	Neuman	8000	0	120	66.67	7.20
p1364-1	7	97	4	12.50	I	Neuman	5290	0	105	50.38	0.00
p1364-2	7	97	4	12.50	I	Neuman	5290	0	105	50.38	0.00
p1364-3	7	97	4	12.50	I	Neuman	5290	0	105	50.38	0.00
p1364-4	7	97	4	12.50	I	Neuman	5290	0	105	50.38	0.00
p1364-5	7	97	4	12.50	I	Neuman	5290	0	105	50.38	0.00
p1382-1	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-2	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-3	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-4	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-5	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-6	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-7	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-8	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-9	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-10	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-11	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-12	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-13	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-14	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-15	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p1382-16	9	4	26	200.00	I	Neuman	16500	1	100	165.00	165.00
p2340-1	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-2	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-3	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-4	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-5	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-6	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-7	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-8	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-9	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-10	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-11	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p2340-12	12	6	7	63.18	I	Neuman	11000	1	120	91.67	48.40
p993-1	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-2	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-3	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-4	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50

p993-5	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-6	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-7	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p993-8	7	29	16	160.00	I	Neuman	15000	0	250	60.00	19.50
p994-1	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p994-2	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p994-3	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p994-4	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p994-5	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p994-6	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-1	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-2	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-3	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-4	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-5	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-6	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-7	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-8	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-9	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p995-10	8	36	64	320.00	I	Neuman	14900	1	100	149.00	95.51
p1358-1	10	14	5	4.69	I	Neuman	1160	1	100	11.60	11.60
p1358-2	10	14	5	4.69	I	Neuman	1160	1	100	11.60	11.60
p1358-3	10	14	5	4.69	I	Neuman	1160	1	100	11.60	11.60
p1358-4	10	14	5	4.69	I	Neuman	1160	1	100	11.60	11.60
P1457-1_1	8	32	10	19.23	I	Neuman	1310	0	190	6.89	0.51
P1457-1_2	8	48	10	19.23	I	Neuman	1310	0	190	6.89	0.51
p1457-1_3	6	2	3	21.43	I	Neuman	8630	1	100	86.30	86.30
p1455-1	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-2	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-3	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-4	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-5	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-6	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-7	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1455-8	9	6	14	13.92	I	Neuman	5600	0	130	43.08	1.97
p1472-1_1	7	5	1	1.00	I	Neuman	428	0	105	4.08	0.13
p1472-1_2	7	32	2	3.33	I	Neuman	3020	0	105	28.76	0.00
p1472-2_2	7	32	2	3.33	I	Neuman	3020	0	105	28.76	0.00
p1472-3_2	7	30	2	3.33	I	Neuman	3020	0	105	28.76	0.00
p2302-1	10	3	18	163.64	I	Neuman	8410	1	100	84.10	84.10
P1347_NR	10	2	16	76.19	I	Neuman	18000	1	200	90.00	90.00

p546	12	0	1	0.34	II	Theis y Jacob	86	1	100	0.86	0.86
p1230-1	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-2	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-3	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-4	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-5	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-6	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-7	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-8	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-9	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
p1230-10	10	0	40	74.07	II	Theis y Jacob	7760	1	100	77.60	77.60
P1362-1_1	20	0	25	6.72	II	Theis y Jacob	623	1	120	5.19	5.19
P1362-1_2	20	0	15	5.10	II	Theis y Jacob	499	1	120	4.16	4.16
P1363-1_1	20	0	20	2.77	II	Theis y Jacob	700	1	150	4.67	4.67
P1363-1_2	20	0	25	7.55	II	Theis y Jacob	1300	1	150	8.67	8.67
p1401	5	0	1	17.14	II	Theis y Jacob	1040	1	170	6.12	6.12
P1402-1	40	0	27	1.09	II	Theis y Jacob	180	1	100	1.80	1.80
P1403-1	26	0	32	1.94	II	Theis y Jacob	326	1	100	3.26	3.26
p1411-1	6	0	1	17.14	II	Theis y Jacob	2190	1	170	12.88	12.88
p1411-2	6	0	1	17.14	II	Theis y Jacob	2190	1	170	12.88	12.88
p1411-3	6	0	1	17.14	II	Theis y Jacob	2190	1	170	12.88	12.88
p1430-1	6	0	7	21.21	II	Theis y Jacob	3870	1	140	27.64	27.64
p1430-2	6	0	7	21.21	II	Theis y Jacob	3870	1	140	27.64	27.64
p1430-3	6	0	7	21.21	II	Theis y Jacob	3870	1	140	27.64	27.64
p1430-4	6	0	7	21.21	II	Theis y Jacob	3870	1	140	27.64	27.64
P1433-1	20	0	6	3.33	II	Theis y Jacob	581	1	160	3.63	3.63
P1449-1	20	0	6	3.87	II	Theis y Jacob	680	1	160	4.25	4.25
P1449-2	20	0	6	3.87	II	Theis y Jacob	680	1	160	4.25	4.25
P2199	38	0	50	8.06	II	Theis y Jacob	1180	1	100	11.80	11.80
p2206-1	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	109	1	100	1.09	1.09

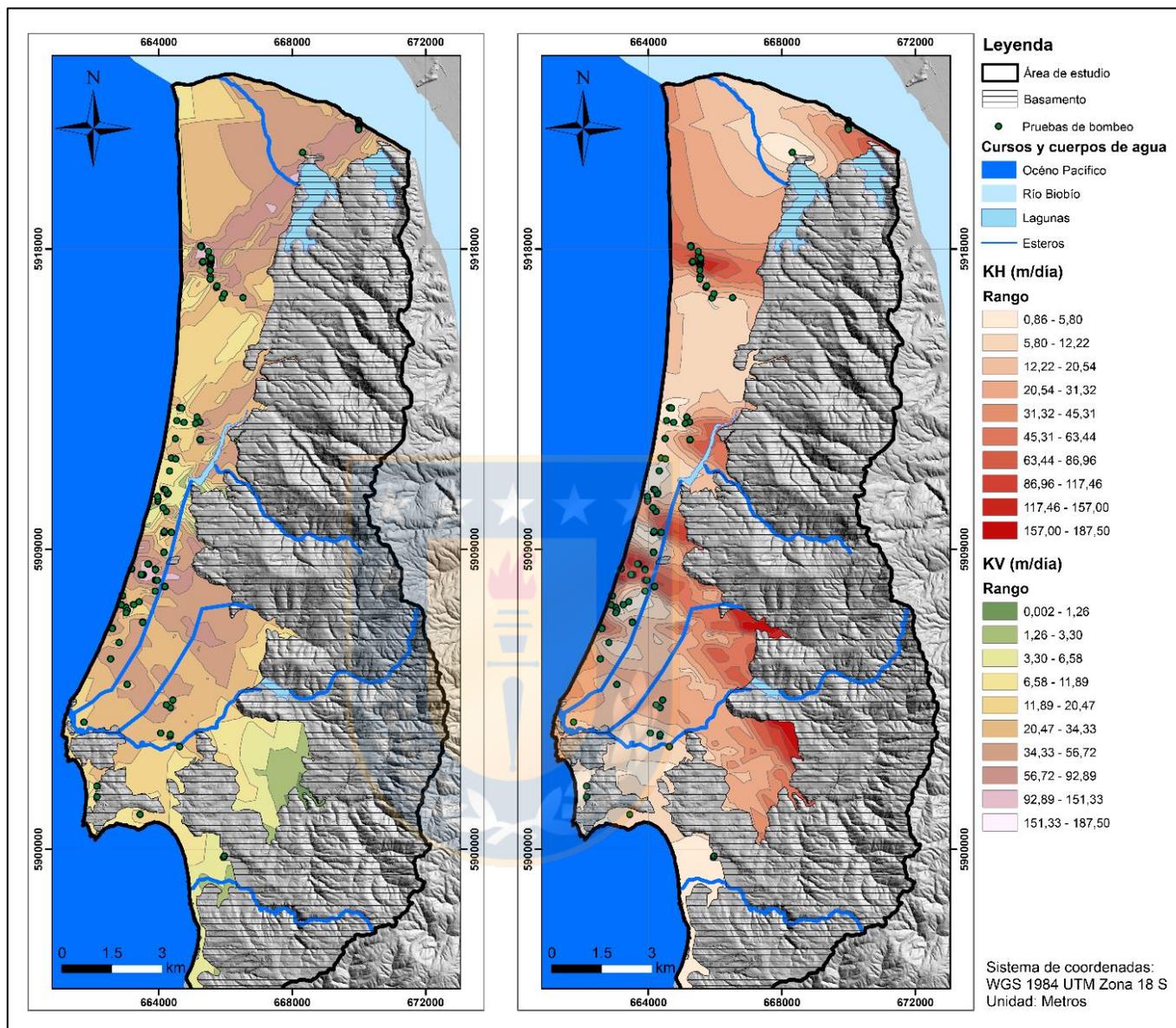
p2206-2	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	109	1	100	1.09	1.09
p2206-3	10	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	109	1	100	1.09	1.09
p2206-4	11	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	109	1	100	1.09	1.09
P2213	20	0	6	11.32	II	Theis y Jacob	1510	1	120	12.58	12.58
P2230-1	25	0	80	5.73	II	Theis y Jacob	1030	1	100	10.30	10.30
P2241-1	28	0	50	7.69	II	Theis y Jacob	680	1	100	6.80	6.80
P2244-1	26	0	74	6.85	II	Theis y Jacob	1180	1	130	9.08	9.08
P2253	25	0	50	5.64	II	Theis y Jacob	668	1	100	6.68	6.68
p2254-2_1	7	0	5	10.20	II	Theis y Jacob	792	1	200	3.96	3.96
p2254-3_1	7	0	5	10.20	II	Theis y Jacob	792	1	200	3.96	3.96
p2254-4_1	7	0	5	10.20	II	Theis y Jacob	792	1	200	3.96	3.96
p2254-5_1	7	0	5	10.20	II	Theis y Jacob	792	1	200	3.96	3.96
p2254-6_1	7	0	5	10.20	II	Theis y Jacob	792	1	200	3.96	3.96
p2254-1_2	7	0	1	5.56	II	Theis y Jacob	298	1	200	1.49	1.49
p2258-1	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	124	1	100	1.24	1.24
p2258-2	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	124	1	100	1.24	1.24
p2258-3	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	124	1	100	1.24	1.24
p2258-4	9	0	5	1.14	II	Theis y Jacob	124	1	100	1.24	1.24
p2262-1	8	0	2	2.94	II	Theis y Jacob	325	1	80	4.06	4.06
P2285-1_1	25	0	30	3.00	II	Theis y Jacob	236	1	80	2.95	2.95
P2285-1_2	30	0	30	2.36	II	Theis y Jacob	206	1	80	2.58	2.58
p2300-1	7	0	15	20.27	II	Theis y Jacob	2790	1	120	23.25	23.25
p2300-2	7	0	15	20.27	II	Theis y Jacob	2790	1	120	23.25	23.25
p2300-3	7	0	15	20.27	II	Theis y Jacob	2790	1	120	23.25	23.25
p2300-4	7	0	15	20.27	II	Theis y Jacob	2790	1	120	23.25	23.25
P2301	26	0	65	5.49	II	Theis y Jacob	744	1	100	7.44	7.44
P2305	27	0	120	18.58	II	Theis y Jacob	3360	1	140	24.00	24.00
P2306	24	0	120	18.15	II	Theis y Jacob	3110	1	150	20.73	20.73
P2309-1	25	0	50	5.64	II	Theis y Jacob	489	1	100	4.89	4.89
P2320-1	28	0	17	2.19	II	Theis y Jacob	357	1	120	2.98	2.98

P2331	24	0	116	141.46	II	Theis y Jacob	3690	1	140	26.36	26.36
P2358-1	40	0	15	0.94	II	Theis y Jacob	143	1	100	1.43	1.43
P2358-2	40	0	15	0.94	II	Theis y Jacob	155	1	100	1.55	1.55
P2481	8	0	5	17.86	II	Theis y Jacob	3080	1	140	22.00	22.00
P2528	20	0	6	3.33	II	Theis y Jacob	581	1	140	4.15	4.15
p2740-1	9	0	1	6.17	II	Theis y Jacob	542	1	120	4.52	4.52
p2740-2	5	0	1	6.17	II	Theis y Jacob	542	1	120	4.52	4.52
p2741-1	7	0	1	4.17	II	Theis y Jacob	288	1	120	2.40	2.40
p2741-2	7	0	1	4.17	II	Theis y Jacob	288	1	120	2.40	2.40
p2748-1	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p2748-2	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p2748-3	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p2748-4	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p2748-5	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p2748-6	9	0	12	78.67	II	Theis y Jacob	7610	1	120	63.42	63.42
p1338-1_NR	20	0	18	69.65	II	Theis y Jacob	7360	1	220	33.45	33.45
p1338-2_NR	15	0	10	76.79	II	Theis y Jacob	9140	1	220	41.55	41.55
pVPC4-2	22	0	30	6.16	II	Theis y Jacob	1110	1	120	9.25	9.25
PVPC9-2	27	0	15	8.77	II	Theis y Jacob	597	1	100	5.97	5.97
PVPC10-1	35	0	16	1.10	II	Theis y Jacob	91	1	80	1.14	1.14
PVPC10-2	36	0	20	5.25	II	Theis y Jacob	336	1	80	4.20	4.20
P1073-1	20	0	14	8.81	II	Theis y Jacob	910	1	200	4.55	4.55
P1412_2	0	0	100	3.35	II	Theis y Jacob	623	1	100	6.23	6.23
P1412_3	0	0	80	3.09	II	Theis y Jacob	568	1	100	5.68	5.68
p1413-1	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-2	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-3	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-4	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-5	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-6	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80

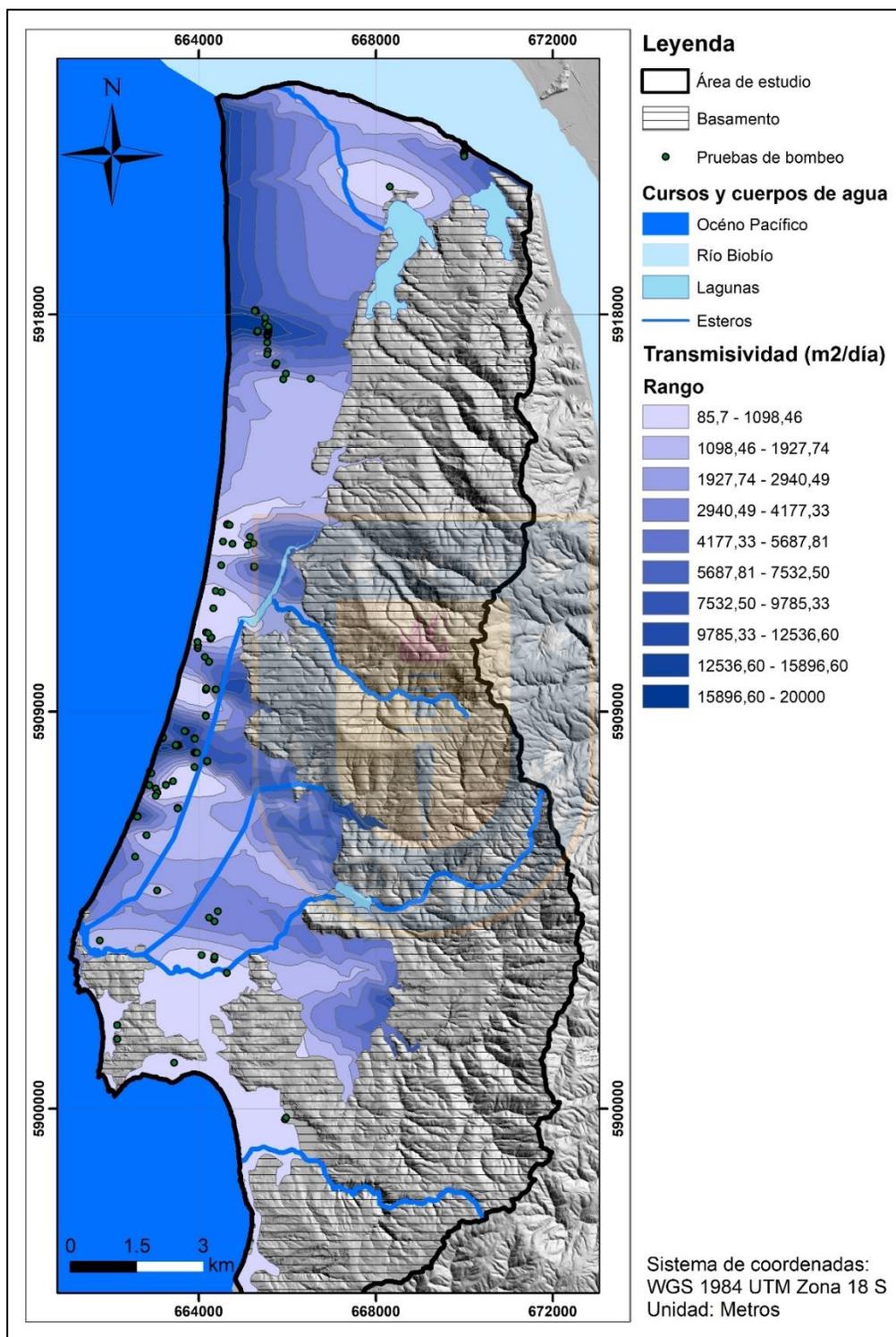
p1413-7	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-8	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
p1413-9	0	0	17	54.84	II	Theis y Jacob	5580	1	100	55.80	55.80
P1416-1_1	25	0	40	9.59	II	Theis y Jacob	1790	1	100	17.90	17.90
P1416-1_2	25	0	40	11.43	II	Theis y Jacob	1860	1	210	8.86	8.86
p2088-1	7	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-2	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-3	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-4	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-5	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-6	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-7	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
p2088-8	0	0	16	47.06	II	Theis y Jacob	6860	1	200	34.30	34.30
P2234	17	0	1	1.18	II	Theis y Jacob	201	1	200	1.01	1.01



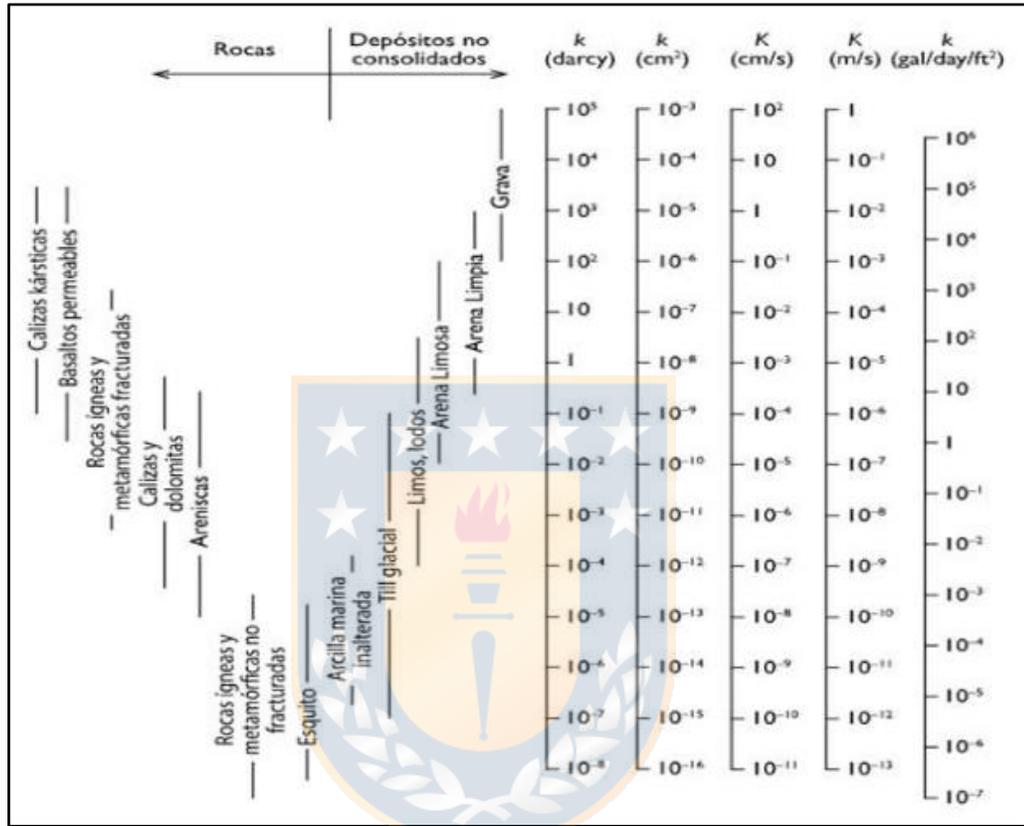
**Anexo 16:** Distribución de los diferentes valores de permeabilidad horizontal (KH) y vertical (KV) en el acuífero (Extraído de Gorma, 2020).



**Anexo 17:** Transmisividad del acuífero en la zona de estudio (extraído de Gormaz, 2020).



**Anexo 18:** Rangos de conductividades hidráulicas (K) y permeabilidades (k) según tipo de roca o deposito no consolidado (extraído de <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-espanol/capitulo-2/>)



**Anexo 19:** Caudal otorgado utilizado en Modflow (Extraído de Gormaz, 2020)

Punto	X	Y	Q otorgado (l/s)	EXP
P27-1_1	662790.8334	5905296.681	25	ND-0803-27/1
P27-1_2	663273.8156	5906060.651	25	ND-0803-27/2
P27-1_3	662822.8335	5906196.646	25	ND-0803-27/3
P27-1_4	662482.8468	5906246.644	25	ND-0803-27/4
p91-1	663910.7897	5906857.618	30	ND-0803-91
P102-1	663762.5045	5908377.983	6	ND-0803-102
P110-1	664790.7532	5903882.734	20	ND-0803-110
p115-1	663671.7954	5908351.658	9	ND-0803-115
P116_1	664029.7914	5909706.506	20	ND-0803-116/1
P116_2	664085.7891	5909627.509	20	ND-0803-116/2
p121-1	664151.1253	5909811.353	15	ND-0803-121
P122-1_1	664550.3289	5910841.842	32.4	ND-0803-122/1
P122-1_2	664542.14	5910791.326	21.3	ND-0803-122/2
P122-1_3	664532.0835	5910742.929	24.7	ND-0803-122/3
P122-1_4	664496.697	5910626.085	31.5	ND-0803-122/4
p128-1	664186.5442	5907866.921	48	ND-0803-128
p145-1	665057.7853	5907433.672	3	ND-0803-145
P176-1_1	663720.7981	5907532.591	30	ND-0803-176/1
P176-1_2	663742.7973	5907557.59	30	ND-0803-176/2
P176-1_3	663795.7952	5907539.591	30	ND-0803-176/3
P176-1_4	663772.796	5907502.592	30	ND-0803-176/4
p180-1	663460.8088	5907907.577	15	ND-0803-180
p195-1	663907.0964	5908068.643	25	ND-0803-195
p196-1	664378.7555	5909501.808	10	ND-0803-196
p200-1	664232.0384	5910126.451	6	ND-0803-200
p246-1	664535.7704	5910428.477	110	ND-0803-246
p299-1	661571.8766	5903642.747	60	ND-0803-299
Sistema	663350.8125	5905957.655	92	ND-0803-351
p601-1	663706.8023	5908554.052	15	ND-0803-601
p603-1	664260.7831	5910204.487	20	ND-0803-603
p647-1	665909.7072	5903889.731	68	ND-0803-647
p1030-1	663524.8069	5908332.56	15	ND-0803-1030
p1201-1_1	663451.8015	5901107.845	6	ND-0803-1201/1
p1201-1_2	663523.7987	5901107.845	6	ND-0803-1201/2
p1202-1	663557.8074	5908056.572	10	ND-0803-1202
p1214-1_1	666130.714	5912957.376	10	ND-0803-1214/1
p1214-1_2	665760.7281	5912687.387	5	ND-0803-1214/2
p1227-1	663953.6926	5908526.353	13	ND-0803-1227
p1230-1	665247.7475	5912269.404	40	ND-0803-1230

p1249	665130.7392	5904957.69	20	ND-0803-1249
p1350-1	663904.7943	5908396.558	20	ND-0803-1350
p1358-1	663982.7943	5910502.475	3	ND-0803-1358
p1360-1_1	664833.7605	5910121.489	5	ND-0803-1360/1
p1360-1_2	664842.7602	5910123.489	3	ND-0803-1360/2
p1360-1_3	664809.7617	5910239.484	4	ND-0803-1360/3
p1360-1_4	664811.7615	5910216.485	4	ND-0803-1360/4
p1360-1_5	664844.7602	5910211.485	1	ND-0803-1360/5
P1362-1_1	664385.7804	5911732.426	15	ND-0803-1362/1
P1362-1_2	664330.782	5911343.442	25	ND-0803-1362/2
P1363-1_1	664520.7751	5911707.427	20	ND-0803-1363/1
P1363-1_2	664507.7765	5912312.403	25	ND-0803-1363/2
p1381-1	664183.7864	5910433.478	0.8	ND-0803-1381
p1385-1	663528.8091	5908422.558	26	ND-0803-1385
P1402-1	664764.7671	5912802.384	25	ND-0803-1402
P1403-1	664550.7756	5912854.382	25	ND-0803-1403
p1409-1_1	663929.7959	5910168.488	5	ND-0803-1409/1
p1409-1_2	663885.7975	5910082.492	5	ND-0803-1409/2
p1411-1	664160.7851	5908911.537	1.2	ND-0803-1411
p1430-1	663525.8069	5906817.621	7	ND-0803-1430
P1433-1	663028.8269	5907253.604	4	ND-0803-1433
p1454-1	664619.7692	5910290.483	1	ND-0803-1454
p1455-1	662913.8319	5907609.59	13.5	ND-0803-1455
p1472-1_1	664265.7835	5910648.469	1	ND-0803-1472/1
p1472-1_2	664286.7827	5910678.468	2	ND-0803-1472/2
p1472-3_2	664284.7828	5910677.468	2	ND-0803-1472/3
p1477-1	663603.8045	5907255.603	8	ND-0803-1477
p1478-1	664954.7596	5912737.386	4	ND-0803-1478
P1485	664242.7798	5908969.534	0.11	ND-0803-1485
p1512-1	665318.7494	5916604.097	27	ND-0803-1512
p1677	663866	5905789	0.01	ND-0803-1677
p1760-1	664075.9086	5910427.509	3	ND-0803-1760
p1761-1	663981.7944	5910497.475	0.61	ND-0803-1761
p1762-1	663979.2323	5910433.607	3.01	ND-0803-1762
p1875	664733.7645	5910169.487	0.03	ND-0803-1875
p1879	664901.7568	5909404.517	0.03	ND-0803-1879
p1880	665470.7371	5911074.451	0.03	ND-0803-1880
p1881	664907.7566	5909405.517	0.03	ND-0803-1881
p2109	663561.8054	5908256.563	0.31	ND-0803-2109
p2110	663813.7954	5908201.565	0.05	ND-0803-2110
p2111	663953.7899	5908154.567	0.05	ND-0803-2111

p2117-1	666932.6699	5905746.657	4	ND-0803-2117
p2133-1	666890.6737	5905689.66	4	ND-0803-2133
p2135	666687.6817	5905734.658	4	ND-0803-2135
p2138	665489.7286	5905831.656	2	ND-0803-2138
p2139	665553.7261	5905826.656	1.5	ND-0803-2139
p2140	665870.7153	5906881.615	3.4	ND-0803-2140
p2141	665996.7101	5906720.621	3.4	ND-0803-2141
p2142	666274.6994	5906792.617	3.8	ND-0803-2142
p2143	665995.7104	5906877.615	3.8	ND-0803-2143
P2229-1	664364.7693	5903514.749	65	ND-0803-2229
P2230-1	664348.7697	5903384.754	58.8	ND-0803-2230
P2240-1	664032.7819	5903279.759	40	ND-0803-2240
P2241-1	664063.781	5903481.751	40	ND-0803-2241
P2244-1	663060.8224	5904945.695	74.3	ND-0803-2244
p2254-1_1	664247.788	5913253.367	5	ND-0803-2254/1
p2254-1_2	664700.7703	5913225.367	1	ND-0803-2254/2
p2262-1	663904.7934	5907739.584	2	ND-0803-2262
p2276-1_1	665366.7322	5904967.69	1	ND-0803-2276/1
p2276-1_2	665495.7272	5904968.69	6	ND-0803-2276/2
p2276-1_3	665540.7254	5904958.691	6	ND-0803-2276/3
p2276-1_4	665629.7219	5904954.691	6	ND-0803-2276/4
P2285-1_1	665948.7018	5899757.894	24.5	ND-0803-2285/1
P2285-1_2	665974.7008	5899797.893	24.5	ND-0803-2285/2
P2301	664358.7694	5903445.752	13	ND-0803-2301
p2302-1	665238	5912810	4	ND-0803-2302
P2309-1	664634.6547	5903077.589	49	ND-0803-2309
P2320-1	663525	5906802	10	ND-0803-2320
p495_1	665508.7432	5917795.186	28	ND-0803-495/1
p495_2	665508.7432	5917783.187	28	ND-0803-495/2
p495_3	665508.7431	5917771.187	28	ND-0803-495/3
p495_4	665508.7431	5917759.188	28	ND-0803-495/4
p495_5	665520.7427	5917784.187	28	ND-0803-495/5
p495_6	665520.7427	5917772.187	28	ND-0803-495/6
p993-1	665318.7503	5917601.194	15	ND-0803-993
p994-1	665555.7409	5917518.197	14	ND-0803-994
p995-1	665568.7406	5917604.194	50	ND-0803-995
P1072	665892.7263	5916514.236	10.5	ND-0803-1072
P1073-1	665910.7279	5916532.236	14	ND-0803-1073
p1412-1_1	670009.5754	5921488.036	30	ND-0803-1412/1
P1412_2	670024.5752	5921738.026	44	ND-0803-1412/2
P1412_3	669995.5765	5921854.022	83	ND-0803-1412/3

p1413-1	669994.5763	5921674.029	17	ND-0803-1413
P1416-1_1	665971.7257	5916660.231	40	ND-0803-1416/1
P1416-1_2	666530.7037	5916543.235	40	ND-0803-1416/2
P1457-1_1	665560.7424	5917169.212	5	ND-0803-1457/1
P1457-1_2	665547.7429	5917098.214	5	ND-0803-1457/2
p1457-1_3	665547.7432	5917364.204	3	ND-0803-1457/3
p1490-1	665777.7338	5917057.216	1	ND-0803-1490
p1491-1	665778.7339	5917120.213	1	ND-0803-1491
p1492-1	665808.7327	5917115.213	1	ND-0803-1492
p1493-1	665754.7348	5917110.214	1	ND-0803-1493
P1496-1	669974.0016	5920666.094	0.6	ND-0803-1496
p1522-1	667713.0736	5919429.292	0.14	ND-0803-1522
p1678-1	666001.7995	5922145.649	0.08	ND-0803-1678
p1815-1	666219.7208	5919930.102	0.04	ND-0803-1815
p1816-1	666165.7229	5919956.102	0.08	ND-0803-1816
p1817-1	666050.7274	5919951.102	0.11	ND-0803-1817
p1818-1	665898.7334	5920003.1	0.07	ND-0803-1818
p1819-1	665765.7387	5920081.097	0.07	ND-0803-1819
p1820-1	666045.7277	5920039.098	0.08	ND-0803-1820
p1821-1	666270.7188	5919954.101	0.16	ND-0803-1821
p1822-1	666092	5917683	0.12	ND-0803-1822
p1951-1	666514	5920172	0.03	ND-0803-1951
p1952-1	666499	5920233	0.03	ND-0803-1952
p1963-1	669245.7206	5921490.285	0.04	ND-0803-1963
p2001-1	666538	5920327	0.04	ND-0803-2001
p2088-1	665271.7529	5918098.175	16	ND-0803-2088
p2486-1	667854	5921327	0.33	ND-0803-2486
p2794	666033	5922589	3	ND-0803-2794
p728_NR	664707.7535	5903404.752	75	NR-0803-728
pVPC4-1	661765.8693	5903814.74	60	VPC-0803-4
pVPC5-1	664125.7848	5909251.523	15.5	VPC-0803-5
pVPC6-1	664115.7852	5909251.523	15.5	VPC-0803-6
PVPC7-1	664125.7848	5909251.523	15.5	VPC-0803-7

**Anexo 20:** Niveles estáticos utilizados en el modelo de II de Visual Modflow v2011.1, área San Pedro de la Paz.

Captación	X (m)	Y(m)	Estación	Tipo	NE (m)	Cota ms.n.m	Cota NE m.s.n.m
P221	665511	5917777	Verano	Pozo	4.6	6.66	2.06
p343	665502	5917931	Primavera	Punteras	4.8	6.49	1.69
p2088-1	665272	5918098	Verano	Punteras	4.5	6.84	2.34
P1457-1_1	665561	5917169	Primavera	Pozo	4.7	6.789	2.09
Puntera Pioneros 04	665904	5919606	Verano	Pozo	4.8	6.26	1.47
Punteras Pioneros 01	665904	5919596	Verano	Pozo	4.6	6.26	1.69
Punteras Pioneros 02	665921	5919595	Verano	Pozo	4.6	6.00	1.41
Punteras Pioneros 03	665931	5919593	Verano	Pozo	4.5	5.79	1.26

Captación	X (m)	Y(m)	Estación	Tipo	NE (m)	Cota ms.n.m	Cota NE m.s.n.m
p344_2	665544	5917529	Invierno	Punteras	5	7.19	2.54
p993-1	665319	5917601	Invierno	Punteras	5	7.09	2.31
p995-1	665569	5917604	Invierno	Punteras	5	7.10	2.45
P1347_NR	665300	5918057	Invierno	Pozo	5	6.55	1.91
P1412_2	670025	5921738	Otoño	Pozo	12	12.41	0.68
P1412_3	669996	5921854	Otoño	Pozo	11	9.52	-1.88
p1413-1	669995	5921674	Otoño	Punteras	3	12.44	9.44
P2234	668317	5920896	Invierno	Pozo	2	5.53	3.23
Puntera Pioneros 04	665904	5919606	Invierno	Pozo	3.92	6.26	2.34
Punteras Pioneros 01	665904	5919596	Invierno	Pozo	3.64	6.26	2.62
Punteras Pioneros 02	665921	5919595	Invierno	Pozo	3.65	6.00	2.35
Punteras Pioneros 03	665931	5919593	Invierno	Pozo	3.53	5.79	2.26
Parque el recuerdo	666218	5917741	Invierno	Pozo	6	6.20	0.20

**Anexo 21:** Mapa de uso de suelo en subcuenca Los batros con modificación de carretera Puente Industrial y Pie de Monte (elaboración propia).

