



**Gobierno
de Chile**

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS – REGIÓN DEL BIOBÍO**

RECOPIACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

INFORME FINAL

**REALIZADO POR
TÉCNICA Y PROYECTOS**

SIT N° 449

CONCEPCIÓN, NOVIEMBRE 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Sr. Oscar Cristi Marfil

Director Regional de Aguas, Región de Biobío
Sr. Mauricio Melo Acuña

Inspector Fiscal
Sr. Leonardo Lueiza Lobos

Técnica y Proyectos S.A.

Jefe de Proyecto
Sr. Paolo Zúñiga Castro

Profesionales
Sr. Alfonso Ugarte Soto
Sr. Maxs Ardiles Meléndez
Sr. César Navarrete Urrutia

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	CONTEXTO.....	7
1.2	OBJETIVOS.....	7
1.3	DESCRIPCIÓN DEL RÍO BIOBÍO.....	8
1.4	ETAPAS DEL ESTUDIO.....	11
2	RECOPILACIÓN DE ESTUDIOS.....	12
2.1	INSTITUCIONES CONSULTADAS	12
2.2	DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.....	13
2.2.1	<i>Descripción</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>14</i>
2.3	DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS	15
2.3.1	<i>Descripción</i>	<i>15</i>
2.3.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>16</i>
2.4	SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA).....	17
2.4.1	<i>Descripción</i>	<i>17</i>
2.4.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>18</i>
2.5	UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN	18
2.5.1	<i>Descripción</i>	<i>18</i>
2.5.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>20</i>
2.6	CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA-CHILE	21
2.6.1	<i>Descripción</i>	<i>21</i>
2.6.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>22</i>
2.7	ONEMI	23
2.7.1	<i>Descripción</i>	<i>23</i>
2.7.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>23</i>
2.8	DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (METEOCHILE)	23
2.8.1	<i>Descripción</i>	<i>23</i>
2.8.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>24</i>
2.9	SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN)	25
2.9.1	<i>Descripción</i>	<i>25</i>
2.9.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>26</i>
2.10	SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL (SUBDERE)	26
2.10.1	<i>Descripción</i>	<i>26</i>
2.10.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>26</i>
2.11	COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO.....	27
2.11.1	<i>Descripción</i>	<i>27</i>
2.11.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>27</i>
2.12	MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.....	27
2.12.1	<i>Descripción</i>	<i>27</i>
2.12.2	<i>Análisis Crítico.....</i>	<i>28</i>

ÍNDICE

2.13	UNIVERSIDAD DE BIOBÍO	28
2.13.1	Descripción	28
2.13.2	Análisis Crítico	29
2.14	COLBUN	30
2.14.1	Descripción	30
2.14.2	Análisis Crítico	30
2.15	ENEL	31
2.15.1	Descripción	31
2.15.2	Análisis Crítico	32
2.16	SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA (SOCHID)	32
2.16.1	Descripción	32
2.16.2	Análisis Crítico	33
2.17	UNIVERSIDAD DE CHILE	33
2.17.1	Descripción	33
2.17.2	Análisis Crítico	35
2.18	INTERNATIONAL JOURNAL OF RIVER BASIN MANAGEMENT	35
2.18.1	Descripción	35
2.18.2	Análisis Crítico	36
2.19	EUROPEAN GEOSCIENCES UNION	36
2.19.1	Descripción	36
2.19.2	Análisis Crítico	37
2.20	AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY	37
2.20.1	Descripción	37
2.20.2	Análisis Crítico	38
2.21	EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DEL BIOBIO (ESSBIO)	38
2.21.1	Descripción	38
2.21.2	Análisis Crítico	39
2.22	MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU)	39
2.22.1	Análisis Crítico	39
3	ANTECEDENTES DE INFRAESTRUCTURA	41
3.1	ANTECEDENTES RECOPILADOS DE INSTITUCIONES	41
3.2	OBRAS DE RIEGO (DOH, CNR Y DGA)	41
3.3	OBRAS DE SANEAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE (ESSBIO)	43
3.4	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (ENEL – COLBÚN)	45
3.5	PUENTES Y RED VIAL	47
4	ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS	51
5	ANTECEDENTES HIDROLOGICOS	54
5.1	ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS	54
5.2	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	57
5.3	USO DE SUELO DE TODA LA CUENCA	60

ÍNDICE

5.4	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.....	62
5.5	TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA.....	64
5.6	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.....	65
5.7	NIVELES DE EMBALSE Y CURVAS DE DESCARGA.....	65
5.8	ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACION HIDROLÓGICA	66
5.8.1	<i>Estaciones Fluviométricas.....</i>	67
5.8.2	<i>Estaciones Meteorológicas.....</i>	67
5.9	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO.....	68
5.10	ESTADÍSTICA Y RELLENO DE ESTACIONES PRINCIPALES	70
5.10.1	<i>Metodología de Análisis de Información de Precipitación Diaria.....</i>	70
5.10.2	<i>Metodología Análisis información Caudal.....</i>	73
5.10.3	<i>Resultados</i>	77
5.11	ANÁLISIS DE FRECUENCIA.....	89
5.11.1	<i>Precipitaciones Máximas.....</i>	89
5.11.2	<i>Caudales Máximos</i>	96
5.12	MEJORAMIENTO HIDROLÓGICO ROBUSTO	105
5.12.1	<i>Metodología</i>	105
5.12.2	<i>Estaciones Propuestas.....</i>	110
5.12.3	<i>Proceso Analítico Jerárquico</i>	119
5.12.4	<i>Análisis de consistencia AHP.....</i>	126
5.12.5	<i>Resultados y recomendaciones.....</i>	128
5.13	MEJORAMIENTO HIDROLÓGICO PROPUESTO PARA SAT	129
5.13.1	<i>Criterios</i>	129
5.13.2	<i>Subcuenca Biobío Bajo.....</i>	131
5.13.3	<i>Subcuenca Laja Bajo</i>	133
5.13.4	<i>Subcuenca Biobío entre río Vergara y río Laja</i>	135
5.13.5	<i>Subcuenca Biobío entre río Duqueco y río Vergara</i>	137
5.13.6	<i>Subcuenca Biobío entre río Ranquil y río Duqueco</i>	139
5.13.7	<i>Subcuenca río Duqueco</i>	142
5.13.8	<i>Subcuenca río Vergara y Malleco.....</i>	145
5.13.9	<i>Subcuenca río Renaico.....</i>	147
5.13.10	<i>Subcuenca río Biobío Alto.....</i>	149
5.13.11	<i>Subcuenca río Laja Alto.....</i>	151
5.13.12	<i>Análisis a Nivel de Cuenca</i>	154
5.13.13	<i>Resultados y Recomendaciones</i>	157
6	METODOLOGIA PARA UN MODELO CONCEPTUAL SAT	161
6.1	INTRODUCCIÓN	161
6.2	DEFINICIÓN DE SAT	161
6.3	COMPONENTES DE UN SAT	162
6.4	OBSERVACIÓN Y MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO (A)	164
6.4.1	<i>Parámetros hidrometeorológicos</i>	164

ÍNDICE

6.4.2	<i>Ubicación de Equipos.....</i>	165
6.5	PRONÓSTICO DE CRECIDAS Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD (B)	168
6.5.1	<i>Modelos de Pronóstico</i>	169
6.5.2	<i>Definición de Umbrales.....</i>	190
6.6	IDENTIFICACION DE LA ALERTA (C)	193
6.6.1	<i>Identificación</i>	193
6.6.2	<i>Criterios para el manejo de los Avisos y Alertas</i>	194
6.7	COMUNICACIÓN DE LA ALERTA (D).....	195
6.8	PLANES DE EMERGENCIA (E)	197
6.8.1	<i>Planes Preventivos o Preemergencia.....</i>	198
6.8.2	<i>Planes de Contingencia</i>	199
6.8.3	<i>Planes de Evacuación</i>	200
6.9	MANTENIMIENTO DE LA OPERATIVIDAD	200
6.10	FLUJOGRAMA DE ACCIONES	201
7	CARACTERIZACIÓN BANK FULL	203
7.1	METODOLOGÍA.....	203
7.1.1	<i>Determinación del coeficiente de rugosidad.....</i>	203
7.1.2	<i>Determinación de las condiciones de borde</i>	205
7.2	RESULTADOS	205
8	CARACTERIZACION DE BARRAS LATERALES Y VERTICALES	213
9	ANALISIS DE MODELOS DE ELEVACION Y PERCEPCION REMOTA	220
10	INTERPRETACION DE MODELOS DE ELEVACION Y PENDIENTE.....	225
11	PERFILES ESQUEMATICOS CON AMBIENTES FLUVIALES REPRESENTATIVOS.....	234
12	CARACTERIZACION DE SEDIMENTOS	245
12.1	INTRODUCCIÓN.....	245
12.2	RECONOCIMIENTO EN TERRENO.....	246
12.3	MARCO GEOLÓGICO GENERAL DEL ÁREA.....	248
12.4	CALICATAS	249
12.5	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	252
12.6	DIÁMETRO EFECTIVO, D_{30} Y D_{60} , Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.....	253
12.7	RESULTADOS.....	255
12.8	ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS RESULTADOS	265
13	PRESENTACION COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS	267
13.1	INTRODUCCIÓN.....	267
13.2	DESARROLLO.....	267
13.2.1	<i>Antecedentes.....</i>	267
13.2.2	<i>Caracterización Geológica General del Cauce.....</i>	267

ÍNDICE

13.2.3	Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río BioBío.....	268
13.2.4	Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río Laja	286
13.3	ANÁLISIS CRÍTICO Y COMENTARIOS.....	301
13.3.1	Zona Alta del Río Biobío	301
13.3.2	Zona Intermedia del Río Biobío	303
13.3.3	Zona Baja del Río Biobío	305
13.3.4	Zona Alta e Intermedia del Río Laja	307
13.3.5	Resumen de Resultados	309
14	IDENTIFICACION DE PALEOCAUCES	310
14.1	INTRODUCCIÓN	310
14.2	REFERENCIAS Y ANTECEDENTES CONSULTADOS.....	310
14.3	DESARROLLO	310
14.4	CONCLUSIONES.....	313
15	DETECCION DE PROCESOS DE REMOCION EN MASA Y LAHARES	314
15.1	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA.....	314
15.1.1	Método del análisis de la pendiente del Suelo	314
15.1.2	Método del talud infinito.....	316
15.2	AMENAZA VOLCANICA, LAHARES.....	317
16	DELIMITACION DE CUENCAS Y PATRÓN DE DRENAJE	323
16.1	DELIMITACIÓN DE CUENCAS	323
16.2	PATRON DE DRENAJE	324
17	CATASTRO ZONAS DE INUNDACIÓN	327
17.1	VISITAS DE TERRENO (MARZO Y ABRIL 2019).....	327
17.1.1	LOCALIDAD: Los Ángeles.....	327
17.1.2	LOCALIDAD: Negrete.....	332
17.1.3	LOCALIDAD: Mulchén.....	338
17.1.4	LOCALIDAD: Santa Bárbara.....	344
17.1.5	LOCALIDAD: Quilaco.....	349
17.1.6	LOCALIDAD: Chiguayante	354
17.1.7	LOCALIDAD: Coronel.....	359
17.1.8	LOCALIDAD: Hualqui	364
17.1.9	LOCALIDAD: Laja.....	371
17.1.10	LOCALIDAD: Nacimiento.....	379
17.1.11	LOCALIDAD: Santa Juana	388
17.1.12	LOCALIDAD: San Pedro de la Paz	395
17.1.13	LOCALIDAD: Concepción	402
17.1.14	LOCALIDAD: Cabrero	407
17.2	DEMARCACIÓN MEDIANTE GPS ZONA APROXIMADA DE INUNDACIÓN.....	410

ÍNDICE

18	CONSTRUCCION MONOLITOS.....	411
18.1	METODOLOGÍA.....	411
18.2	UBICACIÓN DE MONOLITOS	413
18.3	FICHAS DE MONOLITOS	415
19	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	416
19.1	RECOPILACION DE ESTUDIOS E INFRAESTRUCTURA	416
19.2	RECOPILACION DE ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS	416
19.3	METODOLOGIA PARA UN MODELO CONCEPTUAL SAT.....	417
20	BIBLIOGRAFÍA.....	421

ANEXOS

ANEXO 1: Fichas de Estudios Recopilados.

ANEXO 2: Estudios Recopilados.

ANEXO 3: Relleno y Frecuencia de Estaciones.

ANEXO 4: Fichas Estaciones.

ANEXO 5: Constancias Solicitudes.

ANEXO 6: Infraestructura

ANEXO 7: Curvas Granulométricas Río Biobío.

ANEXO 8: Sistema de Información Geográfico.

ANEXO 9: Actas Ubicación de Monolitos.

ANEXO 10: Fichas de Monolitos.

PLANOS

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO

La importancia del presente estudio encomendado por la Dirección General de Aguas (DGA), es por tratarse el río Biobío uno de los principales cauces del país, y que por lo tanto se justifica plenamente que cuente con un moderno y completo Sistema de Alerta Temprana (SAT) para crecidas e inundaciones, disponiendo así de una herramienta de Planificación Territorial.

Es así, que el estudio a desarrollar por TYPASA constituye una primera fase de recopilación de antecedentes e insumos, así como identificación de la información necesaria para desarrollar posteriormente un trabajo de mayor alcance, cuyo objetivo es implementar un SAT en la cuenca del río Biobío.

Con el levantamiento preliminar, apoyado en un modelo hidrodinámico (en este caso, a nivel conceptual), se definirá el marco previo de peligrosidad por inundación para el sistema de alerta temprana.

El modelo tendrá una doble finalidad, determinar los tiempos de propagación de las avenidas en la cuenca baja y definir un mapa preliminar de zonas inundables, para Períodos de Retorno de 200 años.

Uno de los alcances a proponer es la determinación del mejor sistema de transmisión y centralización de datos, en base a la tecnología actual, que proporcionen la máxima seguridad de funcionamiento del sistema automático durante un evento climatológico, de manera de asegurar su operatividad. Para ello se consultarán detalladamente los sistemas que operan en la actualidad en otros ríos del país, pero también se aportará la experiencia práctica de TYPASA en España y en otros países en donde se utilizan exitosamente este tipo de sistemas automáticos, y se consultará con diferentes proveedores de este tipo de dispositivos e instrumentos, de forma de garantizar que la propuesta del sistema sea actualizada en relación con la tecnología disponible y la experiencia práctica en otros ríos.

1.2 OBJETIVOS

Con el objetivo de mejorar la actual red y sistema de alerta temprana (SAT) de crecidas que posee la DGA en la región del Biobío en términos de pronóstico y definición de zonas de riesgo (de acuerdo a inundación esperada y amenaza por procesos de remoción en masa y lahares), se solicita la prestación del servicio denominado “Análisis Desarrollo de Sistema de Alerta de Crecidas Río BíoBío”.

Para el desarrollo del presente estudio, se han establecido los siguientes objetivos:

- Conocer el estado del arte actual en cuanto a estudios e información que constituyan un aporte a la generación de un SAT para Crecidas.

- Caracterizar, estimar y determinar los caudales de crecientes históricas ocurridas en localidades ubicadas en las cercanías de los ríos mencionados anteriormente. Ello se llevará a cabo sobre la base de eventos de tormenta históricos registrados, antecedentes geomorfológicos y experiencia de los habitantes en zonas ribereñas.
- Evaluar el potencial de lahares y remociones en masa que se puedan producir desde los macizos de los volcanes de la zona.

1.3 DESCRIPCIÓN DEL RÍO BIOBÍO

La cuenca del río Biobío tiene una superficie de 24.264 km², siendo la tercera más grande del país, sólo superada por la del río Loa en el Norte Grande y la del río Baker en la región de Aysén. Comprende parte de los territorios de las provincias de Ñuble, Concepción, Biobío y Arauco. Además, abarca parte de las provincias de Malleco y Cautín pertenecientes a la región de la Araucanía. Alcanza un recorrido total de 380 km hasta su desembocadura en Concepción.

El río Biobío nace de dos lagunas cordilleranas, Icalma y Galletué, ubicadas en la región de la Araucanía, a pocos kilómetros de la comuna de Lonquimay. Ambas lagunas, de superficies de 8,9 km² y 9 km² respectivamente, están rodeadas de cordones montañosos que alcanzan elevaciones de entre los 1.200 a 1.900 m.s.n.m, con excepción del margen oriental.

El curso superior del Biobío se desarrolla en un valle intermedio de origen glacial, generando una gran cantidad de meandros, a lo largo de un paisaje estepario en el que abundan los coironales y matorrales bajos. Desde su nacimiento, el río Biobío cambia lentamente de rumbo hasta tomar la dirección NW. En todo este tramo confluyen varios ríos, entre los cuales destaca el río Lonquimay. El último de estos afluentes en esta zona es el río Rehue, que cae por el oriente. A partir de esta confluencia, el Biobío empieza a encajonarse y la velocidad de sus aguas aumenta, contrastando esa fisiografía con el amplio valle del curso superior. El paisaje se hace más boscoso y de relieve más accidentado en el sector en que recibe al río Ranquil, el cual proviene del NE a través de un valle también profundo. Posteriormente recibe al río Llanquén por el oriente, siendo el último antes de llegar al embalse Ralco, cuyas aguas alimentan a las centrales hidroeléctricas de Ralco y Palmucho. Aguas abajo se encuentra el embalse Pangue, que abastece a la central del mismo nombre. Estas tres centrales son operadas por Endesa Chile.

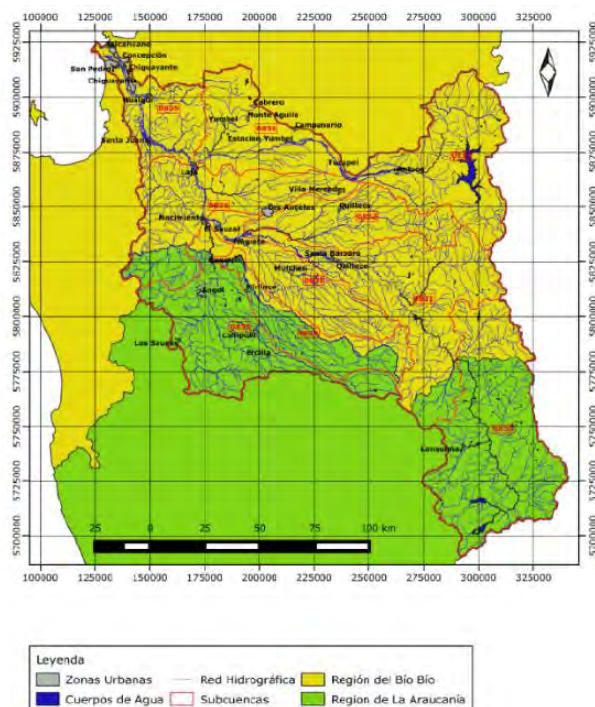
Posteriormente, todavía en el ámbito cordillerano, recibe a los ríos Pangue y Queuco. Luego del empalme con este último, se encontrará el embalse de la CH Angostura, que ocupa parte del cauce del Biobío y además de un afluente a éste, el río Huequecura. Aguas abajo, en la zona de Quilaco, recibe al río Lirquén por el sur. Luego, el Biobío escurre de forma trezada, a través de varios brazos. No hay aportes de importancia

hasta que se junta con el río Duqueco, que drena la vertiente poniente de la Sierra Velluda.

Frente a la desembocadura del Duqueco, cerca de Negrete, el Biobío recibe por la ribera sur al río Bureo, que drena la falda poniente de la cordillera de Pemehue. Próximo a Nacimiento, en su curso medio, el Biobío recibe al río Vergara, su tributario meridional más importante, y al río Taboleo. A partir de esta zona, el Biobío escurre por un único cauce, el cual se va ensanchando a medida que avanza.

En el tramo entre la confluencia con el río Vergara y el río Laja, el Biobío recibe por el poniente al río Nicodahue y por el oriente al río Huaqui. El Laja es el afluente septentrional más importante del Biobío. La confluencia se encuentra en las proximidades de San Rosendo y del pueblo industrial de Laja, al oriente de la cordillera costera. En el curso inferior del río Biobío el lecho es muy ancho, de más de dos kilómetros frente a San Pedro; se presenta embancado con arena gruesa, de manera que en su desembocadura se forma una barrera que impide la navegación aún de pequeñas embarcaciones desde el océano.

Figura N° 1.1. Cuenca, Subcuencas y Red Hidrográfica – Río BioBío



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 1.2. Cuenca Hidrográfica del Río BioBio y sus principales Centros Urbanos



Fuente: Historia Natural de un Ecosistema de uso Múltiple
EULA

La región, y en particular el cauce del Biobío, presentan un clima templado lluvioso cálido sin estación seca. Las temperaturas medias oscilan entre 8°C y 10,5° para las mínimas y 17,2° y 18,7° para las máximas. Se presentan precipitaciones durante todo el año, acumulando una precipitación media anual del orden de los 1.500 mm. Éstas se concentran durante los meses invernales, disminuyendo hacia la temporada estival. El mes con mayor agua caída es junio con un promedio de 337 mm, mientras que en enero se tiene un promedio de sólo 25 mm. La humedad media es alrededor del 70% y no existe mes que baje del 55% como valor medio.

1.4 ETAPAS DEL ESTUDIO

Las bases técnicas definen las siguientes etapas de desarrollo del estudio.

Tabla N° 1.1. Etapas del Estudio

ETAPA	CONTENIDO
1 Procesamiento y validación de antecedentes y red de monitoreo existente	• Reseña y base de datos de estudios anteriores • Recopilación de antecedentes de infraestructura • Recopilación de Antecedentes Administrativos • Recopilación y análisis crítico de Antecedentes hidrológicos • Modelo hidrológico conceptual preliminar. • Evaluación y propuesta de mejoramiento de red de monitoreo existente. • Propuesta de modelo conceptual de SAT
2 Levantamiento geomorfológico y catastro de zonas de inundación.	• Análisis geomorfológico en las zonas ribereñas • Catastro georreferenciado de zonas con amenaza de inundación histórica • Puntos de referencia en terreno para levantamiento topográfico (monolitos de catastro de zonas de inundación).

Fuente: Términos de Referencia y Elaboración Propia.

2 RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS

En este capítulo se presenta una síntesis de las instituciones consultadas y de la información obtenida en cada una de ellas, que son relevantes para el desarrollo del presente estudio, y luego para un futuro modelo SAT.

2.1 INSTITUCIONES CONSULTADAS

Las instituciones que fueron consultadas para conseguir antecedentes de interés para el estudio se presentan en la Tabla 2.1. Cabe señalar que existen instituciones y empresas que fueron consultadas y de las cuales no se obtuvo información de interés para el estudio, por ejemplo, el MINVU, del cual se obtuvo la Red Secundaria de Aguas Lluvias (ver imagen en Anexo 5), que no reviste relevancia para el presente trabajo; las zonas en que existen edificaciones (habitationales y con otros destinos) con riesgo de inundación, fueron determinadas con información de otras fuentes en forma previa a las consultas al MINVU.

Así también, se consultaron instituciones como el centro EULA que presenta diversos estudios en la zona, pero que algunos de los cuales no se encuentran disponibles el día de hoy debido a que tienen más de 10 años de antigüedad y dicha información fue desechada por la institución.

Tabla N° 2.1 Instituciones Consultadas

INSTITUCIÓN / EMPRESA	DISPONIBILIDAD DE ANTECEDENTES / TIPO
Dirección General de Aguas	SÍ / ESTUDIOS
Dirección de Obras Hidráulicas	SÍ / ESTUDIOS
Servicio de Evaluación Ambiental	SÍ / DIA
Universidad de Concepción	SÍ / MEMORIA DE TÍTULO Y TESIS DOCTORALES
Centro EULA	SÍ / PUBLICACIONES Y TESIS DOCTORALES
ONEMI	SÍ / ESTUDIOS
Dirección Meteorológica de Chile	SÍ / ESTUDIOS Y ESTADÍSTICAS
SERNAGEOMIN	SÍ / ESTUDIOS
SUBDERE	SÍ / ESTUDIOS
Comisión Nacional de Riego	SÍ / ESTUDIOS
Ministerio de Medio Ambiente	SÍ / ESTUDIOS
Universidad del Biobío	SÍ / ESTUDIOS
COLBÚN	SÍ / PLAN DE EMERGENCIA
ENEL	SÍ / MANUAL DE OPERACIÓN

INSTITUCIÓN / EMPRESA	DISPONIBILIDAD DE ANTECEDENTES / TIPO
SOCHID	SÍ / PUBLICACIONES
Universidad de Chile	SÍ / TESIS DE PREGRADO Y ESTUDIOS
INTERNATIONAL JOURNAL OF RIVER BASIN MANAGEMENT	SÍ / PUBLICACIÓN
EUROPEAN GEOSCIENCES UNION	SÍ / PUBLICACIÓN
AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY	SÍ / PUBLICACIÓN
ESSBIO	SÍ / ESTUDIOS
MINVU	SÍ / SIG DE INFORMACIÓN
INH	SÍ CONSIDERADA / SIN RESPUESTA
DIRECCIÓN DE CONCESIONES	NO CONSIDERADA / SIN RESPUESTA
CIREN	NO CONSIDERADA / SIN RESPUESTA
SISS	NO CONSIDERADA / SE CONSULTÓ A ESSBIO

Fuente: Elaboración Propia

En Anexo N°1 se presentan las fichas resumen de cada estudio revisado y en Anexo N°2 los estudios respectivos en versión PDF. En Anexo N°5 se presenta las instituciones no consideradas o sin respuesta.

2.2 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

2.2.1 Descripción

La DGA cuenta con bastante información relevante para el desarrollo de un modelo de alerta temprana de crecidas, como información Fluvimétrica y Pluviométrica, que permitirán describir y evaluar los eventos de crecidas históricos en la cuenca. Además, se tienen estudios de crecidas y de catastros dentro de la cuenca del Biobío, que aportarán información relevante a considerar para el desarrollo del modelo de alerta temprana de crecidas.

Por otra parte, existen antecedentes respecto a planes de operación ante crecidas del río en embalses hidroeléctricos en el marco de la Ley 20.304. Uno de ellos es el embalse de Ralco, que dispone de información que se adjunta en este informe.

De los estudios analizados, se determinó que los siguientes deben ser considerados para la construcción del modelo de alerta de crecidas:

- **“DETERMINACIÓN DE LOS UMBRALES DE ALERTA DE CAUDALES, LLUVIAS Y TEMPERATURAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS DE LA DGA” DGA 2010**, Analiza los puntos (umbrales) en los cuales se deben activar las alertas según la categorización. Es un estudio desarrollado en las principales cuencas del país, dentro de las cuales está la cuenca del Biobío, con abundante información.
- **“GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS CORPORACIÓN DE CUENCA DEL RÍO BIOBIO” DGA 1995**, que presenta el estudio de los cauces dentro de la cuenca, enfocado en la disponibilidad de recursos hídricos.
- **“EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDRICOS SUPERFICIALES EN LA CUENCA DEL RIO BIO”**, estudio que analiza las cuencas y la disponibilidad del recurso hídrico en ella.
- **“ANÁLISIS CRÍTICO DE LAS REDES HIDROMETRICAS. ZONA SUR”**. Estudio de diagnóstico y levantamiento de infraestructura correspondiente a la red hidrométrica, cuya tutela recae en manos de la DGA.

Mayor detalle de la información de estos estudios, se presenta en los Anexos 1 y 2.

2.2.2 Análisis Crítico

Los estudios disponibles de la DGA contienen importante información hidráulica e hidrológica, siendo el más reciente el del año 2010. Si bien, disponen de información relevante para el estudio de un modelo de alerta de crecidas, ninguno de ellos contempla toda la información integrada necesaria para desarrollar un modelo a la escala completa de la cuenca. Precisamente, este diagnóstico fundamenta la necesidad del presente estudio,

Existe una gran cantidad de estudios de la DGA que aborda el análisis de la cuenca desde el punto de vista de la gestión de recursos hídricos y su disponibilidad para diferentes usos, pero sólo algunos abordan los eventos de crecida y sus efectos dentro de la cuenca.

En relación al estudio de diagnóstico de infraestructura de la Red Hidrométrica de la Zona Sur, este concluye que las coordenadas disponibles de las bases de datos oficiales DGA fueron en la mayoría insuficientes para alcanzar el destino, por lo cual se hace imprescindible el acompañamiento de personal de DGA en cada visita. Es decir, la información oficial no basta y no es autosuficiente. Estas conclusiones, están en concordancia con lo señalado por este consultor, quien en informes previos indicó que tras visitar algunas estaciones fluviométricas, se evidenció que las coordenadas de ubicación que aparecen en DGA no coinciden con la ubicación real de esta,

recomendándose realizar un catastro de infraestructura existente. Además, da una propuesta de red hidrométrica y su costo asociado, sin embargo ello con el objetivo de contar con información de disponibilidad de constituir derechos de aguas superficiales o subterráneas, no para control de inundaciones. Cabe destacar que de este estudio se concluye que el 98 % de las estaciones se puede clasificar como en buen estado considerando su emplazamiento, este porcentaje disminuye a 50% si se considera como variable su ubicación espacial.

2.3 DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

2.3.1 Descripción

La DOH ha realizado importantes estudios y cuenta con antecedentes relevantes para la presente consultoría. Destacan los planes maestros de aguas lluvias, que cuentan con un análisis hidrológico e hidráulico exhaustivo de los principales centros urbanos poblados dentro de la cuenca.

De los estudios disponibles de la DOH, se determinó que existen dos estudios relevantes a considerar para el desarrollo del modelo de alerta de crecidas:

- **“DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LOCALIDAD HUALQUI ANTE CRECIDAS DEL RÍO BÍO-BÍO, VIII REGIÓN”**, estudio desarrollado a consecuencia de las crecidas del 2006 y estudia la influencia de las áreas de inundación del Río Biobío en Hualqui para diferentes periodos de retorno y propone alternativas de solución para ello.
- **“EL RIEGO EN CHILE”**, 2003, estudio descriptivo de las principales obras de riego desarrolladas por la DOH, describiendo detalladamente las obras que se ubican en la región del Biobío, en particular los canales de Riego más importantes.
- **INFORME FINAL “REPARACIÓN DE EMERGENCIA SISTEMA DE RIEGO CANAL BIOBÍO NEGRETE”** 2010, el texto presenta un resumen de los trabajos de reparación del canal en el contexto de los daños del terremoto del año 2010.
- **ESTUDIO DE DISEÑO “MEJORAMIENTO CANAL BIOBÍO NEGRETE VIII REGIÓN”**, **2000**, el estudio consiste en el proyecto de diseño de las obras de mejoramiento del canal, con enfoque en devolver su capacidad máxima y estándar de servicio.
- **ESTUDIO DE DISEÑO “ACTUALIZACIÓN DISEÑO DE OBRAS, CANAL DUQUECO CUEL, VIII REGIÓN”**, 2007, el estudio consiste en el proyecto de diseño de las obras de mejoramiento del canal, con enfoque en devolver su capacidad máxima y estándar de servicio.
- **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO MEJORAMIENTO CANAL BIOBÍO NORTE, VIII REGIÓN DEL BIOBÍO, 2002**, el estudio presenta un

catastro, análisis y propuesta de mejoramiento del canal, con enfoque en devolver su capacidad máxima y estándar de servicio.

- ESTUDIO DE DISEÑO “REPARACIÓN CANAL QUILLAILEO, VIII REGIÓN”, 2004, el estudio consiste en el proyecto de diseño de las obras de mejoramiento del canal, con enfoque en devolver su capacidad máxima y estándar de servicio.

Cabe señalar que en la biblioteca Técnica de la DOH, existen los siguientes estudios que debido a su data y clasificación interna, al momento de su consulta, estaban en bodega, pero que fueron solicitados a través de Ley de Transparencia (Registro 130007), y se está a la espera de su entrega para consulta en sala:

Tabla N° 2.2 Estudios Disponibles en CIDOH – Nivel Central

Nombre Estudio	Autor / Año	Canal Relacionado	Código CIDOH
Situación Actual Área Influencia Canal Zañartu	Ing. Ocar Ossa / 1973	Canal Zañartu	7:313 O84
Proyecto Bocatoma Tucapel Río Laja	IPLA / 1977	Canal Laja	7:313 I64P
Canal Biobío Sur	1999	Canal Biobío Sur	7:313

Finalmente, se solicitó la mayor cantidad de información en formato digital disponible, la cual será anexada al Informe Final del Estudio.

Mayor detalle de la información de estos estudios, se presenta en los Anexos 1 y 2.

2.3.2 Análisis Crítico

El estudio de la DOH respecto a la vulnerabilidad de Hualqui es completo y presenta información hidrológica e hidráulica de utilidad. Sin embargo, es discutible al tomar como condición de borde un criterio arbitrario para la modelación del cauce y no valida los modelos desarrollados mediante un punto de control. No considera la implementación de un sistema de alerta temprana ante crecidas

Respecto a los planes maestros que desarrolla la DOH, éstos corresponden a estudios urbanos que no cobran mayor relevancia cuando se estudia la cuenca completa del Biobío, por lo tanto, solo sirven como estudios referenciales.

El informe de las obras de reparación, muestra los principales resultados obtenidos de los trabajos de reparación de las obras de captación del canal (Bocatoma), complementando dicha información con un catastro del estado de las obras y la

indicación de las cotas de emplazamiento de los enrocados de protección de la bocatoma (Coronamiento a la cota 103,92 msnm y fundación a la cota 92,83 msnm), para futuras modelaciones hidráulicas en el río.

El Diseño de las Obras de Mejoramiento de la Bocatoma y Pretel del Canal Biobío Negrete, presenta antecedentes del tipo de protección considerada, la definición de crecidas y TR de diseño de las obras y las cotas de emplazamiento (Coronamiento a la cota 104,50 msnm y fundación a la cota 97,07 msnm) de los enrocados de protección de la bocatoma, para futuras modelaciones hidráulicas en el río.

El Diseño de las Obras de Mejoramiento de la Bocatoma, muros de Protección y Barrera en el Río del Canal Duqueco Cuel, presenta antecedentes del tipo de protección considerada, la definición de crecidas y TR de diseño de las obras y las cotas de emplazamiento de los muros de protección de la bocatoma, para futuras modelaciones hidráulicas en el río (Coronamiento a la cota 127,10 msnm y fundación a la cota 123,10 msnm).

El estudio de catastro, análisis y propuesta de mejoramiento del canal Biobío Norte, presenta y describe en forma detallada los problemas de la bocatoma al momento de operar la Central Hidroeléctrica Pangue. Se proponen dos tipos de soluciones, la primera consiste en reemplazar toda la bocatoma y la segunda, en restaurar la ya existente. Se presentan planos tipos de ambas soluciones.

Finalmente, el estudio del Canal Quillaileo, presenta un análisis de diversas alternativas de mejoramiento, en el cual, se presentan análisis de caudales de crecidas en el río, cotas de emplazamiento de las obras de la bocatoma (Coronamiento a la cota 435,01 msnm y fundación a la cota 429,51 msnm) y propuestas de obras de solución.

2.4 SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL (SEA)

2.4.1 Descripción

El SEA provee información respecto a los criterios, requisitos, condiciones, antecedentes, certificados, trámites, exigencias técnicas y procedimientos de carácter ambiental, por lo que es bastante oportuno al momento analizar y contrastar información de índole científico como son los sondeos, ensayos, gráficos y perfiles sísmicos de carácter geológicos/geotécnicos relativa al río Biobío, siendo este último un criterio fundamental para la materialización del presente estudio.

Del centro de documentación del SEA, se utilizaron tres estudios relevantes:

- “CONSTRUCCIÓN NUEVO PUENTE FERROVIARIO BÍO-BÍO”, se analiza ambientalmente el impacto del nuevo puente ferroviario sobre el Biobío. Presenta un estudio amplio del Biobío en su parte baja (cerca de la desembocadura) y corresponde al estudio más reciente en el Biobío.

- “MEJORAMIENTO INTERCONEXIÓN VIAL COSTANERA CONCEPCIÓN-CHIGUAYANTE”, diseño de la costanera camino a Chiguayante, que estudia el cauce en su parte baja a la altura del acceso Poniente de Chiguayante.
- “CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGOSTURA”. Corresponde al estudio de impacto ambiental de la Central Hidroeléctrica Angostura, que estudió los aspectos hidráulicos e hidrológicos de la parte alta de la cuenca, sector Santa Bárbara, Quilaco.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.4.2 Análisis Crítico

Si bien la mayoría de la información es actual, los estudios son más bien localizados y no abordan completamente toda la cuenca del Biobío. Es decir, se tiene información muy localizada solo de algunos tramos de las riberas del río, que no permiten analizar de forma integral el comportamiento hidráulico del río Biobío.

2.5 UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

2.5.1 Descripción

El Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería cuenta con diversos trabajos disponibles para ser consultados, siendo los más relevantes aquellos del área Civil – Hidráulica referentes al río Biobío, sus cuencas y subcuencas, incluyendo estudios específicos de la crecida histórica del río en julio del año 2006, además cuenta con estudios que presentan modelos de alerta temprana de crecidas.

Se incluyen además estudios del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, de la Facultad de Ciencias Ambientales y un paper académico a ser publicado en una fecha por definir, acerca de la caracterización hidrológica de la cuenca del río Biobío, dinámica de inundaciones fluviales respecto de sus diferentes factores detonantes y análisis numérico hidrogeológico de áreas propensas a ser inundadas.

Respecto del estudio realizado, se seleccionaron los siguientes trabajos:

- **DISEÑO DE POLÍTICAS DE GESTIÓN DE ALERTA DE CRECIDAS EN EL RÍO BIOBÍO DESDE HUALQUI A LA DESEMBOCADURA (2002).** Memoria de título del Departamento de Ingeniería Civil, que plantea un modelo matemático para la alerta de crecidas en tiempo real, y que por su fecha de realización no considera la inundación histórica de julio de 2006. Propone generar nuevos modelos de predicción como línea de investigación futura.

- **ANÁLISIS DE LA CRECIDA DEL 2006 EN EL RÍO BIOBÍO Y ANDALIÉN (2015).** Memoria de título del Departamento de Ingeniería Civil, que caracteriza y detalla clima, hidrología y crecida extraordinaria acontecida en el mes de julio de 2006. Por tratarse de un análisis de un hecho puntual e histórico, se centra en determinar las causas de la crecida y el período de retorno en las estaciones fluviométricas en que se registró.
- **EFFECTO DEL SISTEMA DE EMBALSES RALCO PANGUE EN LAS CRECIDAS DEL RIO BIOBÍO (2007).** Memoria de título del Departamento de Ingeniería Civil, que analiza el efecto del sistema de embalses Ralco y Pangue en las crecidas mediante modelo de rastreo, basado en inundación del año 2006. Se requiere mayor investigación de la influencia en las crecidas del río Biobío debido al aporte de los ríos Laja, Duqueco y Vergara, ya que se determina que la influencia del sistema de embalses es baja en ellas.
- **ANÁLISIS DE DATOS E IDENTIFICACIÓN DE MODELOS ESTOCÁSTICOS PARA LA PREDICCIÓN DE CRECIDAS EN EL RÍO BIOBÍO (1995).** Memoria de título del Departamento de Ingeniería Civil, cuyo objetivo es identificar los modelos estocásticos para predicción de crecidas en tiempo real, generando un sistema de alarma para Hualqui, Concepción y Talcahuano. Por su fecha de realización, no considera el evento histórico del año 2006, que es uno de los hechos fundamentales a tener en cuenta.
- **CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL BIOBÍO (2005).** Estudio hidrológico superficial de la cuenca del río Biobío, del Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, mediante el uso de un modelo hidrológico semi distribuido. No considera aspectos antrópicos, tratándose de un estudio descriptivo.
- **CAMBIO AMBIENTALES Y DINÁMICA DE INUNDACIONES FLUVIALES EN UNA CUENCA COSTERA DEL CENTRO SUR DE CHILE (2015).** Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Ambientales, que analiza, explica y evalúa relaciones entre cambios ambientales y dinámica de inundaciones fluviales para el río Andalién. No considera estudios en el río Biobío, pero presenta análisis y datos de cierta relevancia para el presente trabajo.
- **A MULTI-APPROACH ANALYSIS FOR ENHANCED UNDERSTANDING OF FLOODS IN COMPLEX SCENARIOS (sin fecha, posterior a 2016).** Paper académico en revisión para ser publicado, que presenta antecedentes geológicos, arqueológicos e históricos como base de datos para una modelación hidráulica de tipo numérica, con el objetivo de comprender el fenómeno de inundaciones bajo escenarios complejos. Analiza el riesgo de inundación solo para la zona metropolitana de Concepción.

- **SISTEMA DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES PARA LA PREVISIÓN Y ALERTA DE CRECIDAS EN EL RÍO BIOBÍO. VIII REGIÓN. CHILE. (1996).** Memoria de Título del Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación, que desarrolla de un sistema matemático-computacional de apoyo a la toma de decisiones (SATD) para la previsión y alerta de crecidas en el río Biobío (DSS-Crecidas). No considera el evento histórico del año 2006 por su fecha de realización, sino que compara con un evento de inundación en el sector Peñuelas (actual Hualpén) de 1991, tomando en consideración solo este sector.
- “DISTRIBUCIÓN DE CIRCOS GLACIALES EN LA **CUENCA DEL ALTO BIOBÍO**”. Publicación que aporta en la definición de la acción glacial en la geomorfología de la zona alta del río Biobío, y mejora la comprensión de la composición estructural de la misma.
- “LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO – **ESTRUCTURAL DETALLADO DE LA ZONA DE ANGOSTURA RALCO**”. Estudio geológico de la zona de inundación y en espacial de la angostura de la presa Ralco, elaborado como documento de apoyo a las obras de ingeniería de la presa.
- “ESTUDIO DE DEFORMACIONES SUPERFICIALES DE LADERAS **ASOCIADAS A EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS MEDIANTE MODELOS NÚMERICOS Y SENSORES REMOTOS: CASO DE ESTUDIO EN LA LADERA NORTE DEL RÍO BIOBÍO**”. Memoria para optar al grado de Doctor, en la cual se explican los procesos de Remoción en masa de la Ladera Norte del Río Biobío, a través de métodos numéricos de modelación.

Para más detalles ver los Anexos 1 y 2.

2.5.2 Análisis Crítico

En general, los estudios recabados son de utilidad para el trabajo actual, sin embargo, algunos de ellos por su fecha de publicación no consideran el evento histórico del 12 de julio de 2006, que reviste una importancia vital en la generación del actual modelo, independiente de su período de retorno, que se estima, hasta ahora, en 500 años.

Además, proponen como líneas de investigación futura calibrar nuevos modelos con una mejora en la cantidad de datos, y antecedentes de operación de centrales hidroeléctricas, considerando los planes de urbanización futuros y actualmente en ejecución.

La publicación sobre los circos glaciales, morfología y las estructuras de la zona alta del Biobío, aporta a la definición de los sectores con principales riesgos de inicio de remoción en masa e inestabilidades geológicas de relevancia.

En referencia a la descripción geológica de la zona de la presa Ralco, el estudio citado permite conocer las condiciones de inestabilidad del vaso de inundación y riesgos

geológicos de la obra, que servirán de información base para los análisis de riesgo del SAT.

Finalmente, la memoria de análisis de remociones en masa en la ladera norte del río Biobío, entrega una importante visión de la problemática de estos fenómenos en eventos extremos, lo cual, puede servir de base para la estandarización de modelos de análisis para el resto del territorio, acoplando variables de precipitaciones a riesgos de remociones en masa en distintos sectores.

2.6 CENTRO DE CIENCIAS AMBIENTALES EULA-CHILE

2.6.1 Descripción

El organismo cuenta con gran variedad de estudios referentes a la cuenca del río Biobío y sus características geomorfológicas, edafológicas, hidrológicas, pluviométricas, ecológicas, impacto de obras en su configuración y comportamiento natural, económicas y caracterización del uso del recurso hídrico, entre otros.

Gran parte de la información recopilada corresponde a estudios de la década de los años 90, los cuales sirven como base referencial para el estudio actualmente en desarrollo. Destacan los relacionados con la implementación de un sistema de apoyo para la previsión y la alerta de crecidas en el río Biobío financiado mediante el Proyecto FONDECYT N°1941033, ejecutado en el período comprendido entre marzo de 1994 y marzo de 1996.

Se describen a continuación los estudios seleccionados:

- **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO Y DISPONIBILIDAD DE AGUA, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO, PARA DOS SUBCUENCAS DEL RÍO BIOBÍO INCORPORANDO EL IMPACTO DEL APORTE NIVAL EN LA ZONA CORDILLERANA (2008).** Tesis doctoral, que genera una herramienta que analiza el comportamiento de las subcuencas en estudio (Lonquimay y Vergara) bajo escenarios de cambio climático, incorporando el aporte nival y la disponibilidad de recurso hídrico durante distintas épocas del año. No analiza la cuenca del río Biobío en su totalidad, sino dos subcuencas correspondientes.
- **RESPUESTA DE PECES NATIVOS A FLUCTUACIONES DE CAUDAL PRODUCIDAS POR LA OPERACIÓN DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN EL RÍO BIOBÍO (2011).** Tesis doctoral, que evalúa si los peces nativos responden a fluctuaciones de caudal producidas por la operación de centrales hidroeléctricas, analizando la zona media del río Biobío. Estudio se centra en temas ecológicos más que en aspectos de crecidas; considera solo época de estiaje.

- **EL RÍO BIOBÍO Y EL MAR ADYACENTE COMO UNIDAD AMBIENTAL (1992).** Publicación del Proyecto EULA, que conceptualiza la naturaleza unitaria del sistema limnimétrico y fluvial del río Biobío y la zona marina costera adyacente a este, incluyendo sus actividades económicas y su impacto en el entorno, constituyendo una descripción de temas ecológicos y del impacto de las actividades antrópicas, más que un estudio hidrológico del río Biobío.
- **USO DEL SUELO Y MANEJO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO (1992).** Publicación del Proyecto EULA basado en el Seminario Ambiental Internacional llevado a cabo en la ciudad de Los Ángeles, Región del Biobío, los días 16 y 17 de enero de 1992. Describe las características de la cuenca del río Biobío, su sistema integrado agua continental-marina, la actividad industrial y las líneas de acción en materia medioambiental, no constituyendo un estudio hidrológico como tal.
- **SUELOS DE LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO, CARACTERÍSTICAS Y PROBLEMAS DE USO (1993).** Publicación del Proyecto EULA, que presenta los tipos de suelos que conforman la cuenca del río Biobío, sus características físicas, químicas y de aptitud de uso agrícola y forestal. Los análisis corresponden a una parte denominada “ZONA RECONOCIDA” en la fecha de publicación, ya que no existía más información respecto de los suelos sobre la cota 600 m.s.n.m (cordilleranos).
- **SISTEMA DE ALERTA DE CRECIDAS EN EL RÍO BIOBÍO. USO RECURSIVO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES, 2001,** este estudio presentar la metodología de Redes Neuronales para la simulación de crecidas en el río Biobío, con la finalidad de asociar el modelo de Redes Neuronales a un Sistema de Alerta Temprana de Crecidas.
- **PRONÓSTICO DE CRECIDAS EN TIEMPO REAL USANDO REDES NEURONALES RECURRENTES, 2008,** Memoria de Título, que busca entregar un marco teórico unificado de los recientes avances en el campo de redes neuronales para pronósticos de crecidas, además, presentar las herramientas y programar los modelos más adecuados para el pronóstico de crecidas en tiempo real, y aplicar redes neuronales que reducen el número de variables de entrada necesarios para realizar pronósticos.

Para más detalles ver los Anexos 1 y 2.

2.6.2 Análisis Crítico

Algunos estudios de la entidad se centran en temas ecológicos, ambientales y descriptivos de su composición geomorfológica y de sus subsistemas, más que en el

comportamiento hidráulico del río Biobío en cuanto a la dinámica que genera las inundaciones y sus causas.

Por lo tanto, los trabajos recopilados de este organismo, deben ser considerados en forma descriptiva más que para obtener una comprensión cualitativa y cuantitativa del fenómeno de inundación.

En relación al estudio de Redes Neuronales, los estudios citados, demuestran su aplicabilidad en las cuencas de Chile, con tiempos de anticipación de respuesta que parten desde las 14 horas y con diversos algoritmos disponibles para su uso.

2.7 ONEMI

2.7.1 Descripción

La ONEMI cuenta con bastante información relevante para este estudio, pues presenta documentación digital como informes técnicos relativos a algunas emergencias ocurridas, acciones preventivas e informes estadísticos y presentaciones referentes a la protección civil, que podrán ayudar a conocer más a fondo la gestión que se requiere para evitar las pérdidas económicas y humanas frente a una emergencia, tal y como ocurrió en el año 2006 con las crecidas y desbordes de varios afluentes, principalmente en la región del Biobío.

De la ONEMI, se utilizaron dos estudios relevantes para la presente consultoría:

- **“INFORME SISTEMA FRONTAL 10 AL 13 DE JULIO 2006”**, Presenta un completo informe de la última gran crecida del Biobío, en el cual se abordan temas asociados a las inundaciones generadas por el Cauce.
- **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÁREAS DE INUNDACIÓN MEDIANTE DIFERENTES MODELOS DIGITALES DE TERRENO”**, se desarrolla un modelo para determinar las zonas inundables del Biobío.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.7.2 Análisis Crítico

No existe un completo y actualizado plan de emergencia que indique los factores que desencadenan una alerta de emergencia y posteriormente cómo se procede. En general se detalla el control de la ayuda y registro de lo que sucede.

2.8 DIRECCIÓN METEOROLÓGICA DE CHILE (METEOCHILE)

2.8.1 Descripción

La Dirección Meteorológica de Chile dependiente de la Dirección General de Aeronáutica Civil, es el organismo responsable del informe meteorológico en el país, cuyo propósito

es satisfacer las necesidades de información y previsión meteorológica de todas las actividades nacionales. De esta forma entrega información meteorológica básica y procesada que requiere la Aeronáutica y a su vez provee de servicios meteorológicos y climatológicos a las diferentes actividades socioeconómicas para su desarrollo. Además, realizar investigación meteorológica, en coordinación con organismos nacionales e internacionales, y administra el Banco Nacional de Datos Meteorológicos.

METEOCHILE posee información meteorológica de relevancia para este estudio, pues al predecir los diversos fenómenos que se producen en la atmósfera a lo largo del país, ayuda a comprender cómo dichos fenómenos podrían afectar a una determinada zona de estudio y en consecuencia tener un escenario más claro al momento de proceder con una alerta y/o emergencia preventiva.

Cabe destacar que, una vez estudiado algunos documentos publicados por esta dirección, se ha observado como los cambios climáticos anuales son uno de los factores condicionantes en los cambios de caudales en las cuencas hidrológicas de la región del Biobío.

De la Dirección Meteorológica de Chile, se obtuvieron 3 estudios relevantes para la presente consultoría:

- “EVENTOS EXTREMOS 2015”, Presenta un análisis de las variables climáticas en el país durante ese año.
- “EVENTOS EXTREMOS 2016”, Presenta un análisis de las variables climáticas en el país durante ese año.
- “EVENTOS EXTREMOS 2017”, Presenta un análisis de las variables climáticas en el país durante ese año.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.8.2 Análisis Crítico

No se encontraron publicaciones que indiquen claramente cuáles son los fenómenos climáticos que han producido cambios en las cuencas, ni tampoco en qué periodos debieran ocurrir dichos cambios, pues se puede observar a simple vista cómo los fenómenos climáticos anuales son uno de los factores condicionantes en los cambios de caudales en las cuencas hidrológicas de la región del Biobío, siendo un ejemplo claro el Fenómeno del Niño y la Niña.

2.9 SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN)

2.9.1 Descripción

El Servicio Nacional de Geología y Minería es el organismo técnico responsable de generar, mantener y difundir información de geología básica y de recursos y peligros geológicos del territorio nacional, para el bienestar de la comunidad y al servicio del país, y de regular y fiscalizar el cumplimiento de normativas mineras en materia de seguridad, propiedad y planes de cierre, para contribuir al desarrollo de la minería nacional.

Dentro de sus objetivos destacan la posibilidad de mejorar la acción fiscalizadora en seguridad minera, mediante el incremento de la cobertura y calidad de las fiscalizaciones a las instalaciones/faenas, para fortalecer la seguridad de los trabajadores y disminuir la accidentabilidad en la industria extractiva minera, según la normativa vigente.

SERNAGEOMIN cuenta con bastante información relevante para el presente estudio, dentro de los cuales destacan las referencias geológicas y geomorfológicas de la zona en estudio, los factores condicionantes para que se produzcan inundaciones y anegamiento, las áreas recurrentemente inundadas y/o anegadas, zonas de peligro y zonas de seguridad frente a la ocurrencia de un tsunami en zona de estudio, así como también ciertas recomendaciones en cuanto a la construcción y la intervención adicional en los cauces y riberas de los ríos, en especial rellenos artificiales que puedan disminuir su capacidad de carga.

Del SERNAGEOMIN, se obtuvieron dos estudios relevantes para la presente consultoría:

- **“EVALUACIÓN PRELIMINAR DE PELIGROS GEOLÓGICOS: ÁREA DE CONCEPCIÓN-TALCAHUANO-CHIGUAYANTE”**, Presenta un análisis de las variables Geológicas que podrían generar riesgo ante eventos extremos en el área del gran Concepción.
- **“PELIGRO DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI: ÁREA CONCEPCIÓN – TALCAHUANO – HUALPÉN – CHIGUAYANTE”**, Presenta un análisis de la inundación por Tsunami en el área del gran Concepción.
- **“EVOLUCIÓN GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA CUATERNARIA DEL TRAMO SUPERIOR DEL VALLE DEL RÍO LAJA”**. Publicación de la Revista Geológica de Chile, en la cual, se entrega una descripción de los procesos geológicos e interrelaciones entre vulcanismo y remociones en masa que originaron el paisaje actual de la zona alta del valle del río Laja.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.9.2 Análisis Crítico

Aunque los estudios presentan información cuyas variables están asociadas al presente trabajo, falta claridad y orden respecto a los datos históricos y factores geológicos que incidieron en las zonas inundadas y anegadas, el rango de validez de sus estudios, la proyección que se espera para las zonas de peligro y zonas de seguridad frente a la ocurrencia de un siniestro.

La publicación sobre el valle del río Laja, entrega una primera aproximación de los sectores con riesgo de remociones en masa y eventos de volcanismo, lo cual, permitirá en un futuro SAT establecer umbrales de medición o monitoreo para determinar riesgos por esta índole.

2.10 SUBSECRETARÍA DE DESARROLLO REGIONAL (SUBDERE)

2.10.1 Descripción

La Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere) es un organismo de Gobierno, dependiente del Ministerio del Interior y de Seguridad Pública, encargado de impulsar y conducir reformas institucionales en materia de descentralización, con el objetivo de contribuir a una efectiva transferencia de poder de decisión a los gobiernos regionales y a los municipios en materias políticas, económicas y administrativas.

De la SUBDERE, se obtiene un estudio relevante para la presente consultoría:

- **“PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA PARTICIPATIVA EN REDUCCIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES EN LAS COMUNAS PERTENECIENTES A LA COMISIÓN DE MUNICIPIOS RIBEREÑOS DEL RÍO BIOBÍO DE LA ASOCIACIÓN DE MUNICIPALIDADES DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO”,** Presenta un análisis de las zonas con riesgo de inundación de las 15 comunas ribereñas de la cuenca del río Biobío. Se describe las áreas de inundación por comuna, encontrándose estas georreferenciadas. El estudio fue realizado con participación de los habitantes de las comunas, incluyendo talleres de alfabetización digital, Geotecnología y Mesas de Riesgos.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.10.2 Análisis Crítico

Gran parte de sus estudios se centra en la descripción de la participación ciudadana en su desarrollo, que es uno de los fines de los organismos de gobierno, no aportando mayores antecedentes que contribuyan al objetivo del presente trabajo.

Sin embargo, en su segunda parte, se describe las áreas de inundación por comuna, encontrándose estas georreferenciadas, identificando recurrencias, datos pluviométricos y posibles medidas de mitigación, lo cual constituye información de absoluta relevancia para el desarrollo del estudio encomendado, sobre todo el detalle de las áreas de inundación, que fue realizado tomando en consideración el testimonio de los habitantes, el cual se adopta con cierto resguardo dado que, al ser eventos en su mayoría de naturaleza traumática, estos tienden a magnificarlos.

2.11 COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

2.11.1 Descripción

Dentro de los antecedentes recabados, se obtuvo información, entre las cuales destacan las referencias de infraestructura tanto de hidráulica como de riego existentes en la zona de estudio, así como la sectorización de esta. Dicha información en conjunto sirve como indicador de las zonas con posible peligro de inundación y anegamiento debido a la intervención adicional en los cauces y riberas de los ríos.

En la CNR, se obtuvo el estudio siguiente:

- **“DIAGNÓSTICO PARA DESARROLLAR PLAN DE RIEGO EN CUENCA DEL BÍO-BÍO”**, Presenta un análisis de la infraestructura hidráulica de riego presente en la cuenca del Biobío.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.11.2 Análisis Crítico

De la información caracterizada en la CNR, es de utilidad las referencias de infraestructura tanto de hidráulica como de riego existentes en la zona de estudio. El resto de la información no aporta mayormente a los fines del presente estudio.

2.12 MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

2.12.1 Descripción

Del Ministerio de Medio Ambiente, se identificó un estudio relevante para la presente consultoría:

- **“DIAGNÓSTICO Y CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS Y CUERPOS DE AGUA SEGÚN OBJETIVOS DE CALIDAD”**, Presenta la caracterización de los cauces en la cuenca del Biobío y las descargas de aguas tratadas en dichos cauces.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.12.2 Análisis Crítico

Dentro de las antecedentes recopilados, se obtuvo información relevante para este estudio, entre las cuales destaca la caracterización de los cauces de la cuenca del Biobío (clima, geología y volcanismo, hidrogeología, suelos, etc.), así como reportes y ubicaciones de las estaciones fluviométricas.

Además, se documentan las plantas de tratamientos de aguas e instalaciones industriales operativas y a su vez se detallan sus respectivas descargas a la cuenca del río Biobío.

2.13 UNIVERSIDAD DE BIOBÍO

2.13.1 Descripción

Respecto del estudio, el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Facultad de Ingeniería cuenta con diversos trabajos de Memorias de Títulos de alumnos disponibles para ser consultados tanto de manera física como digital, siendo los más relevantes aquellos del área Civil – Hidráulico referentes al río Biobío, sus cuencas y subcuencas, incluyendo estudios específicos de la crecida histórica del río mencionado en julio del año 2006.

De los trabajos más relevantes para este proyecto, se puede obtener bastante información entre los cuales destacan modelos de curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de precipitaciones para estaciones fluviométricas, modelos estadísticos para predicción de precipitaciones anuales, determinación de zonas homogéneas en base a precipitaciones máximas anuales, así como también modelos estadísticos para comprobar el grado de incerteza de diferentes aspectos de los estudios mencionados anteriormente.

De la Universidad del Biobío, se definieron ocho Memorias de Título relevantes para la presente consultoría:

- **“ACTUALIZACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA, DE ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, EN LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO”**, Presenta la caracterización actualizada de las curvas IDF en la cuenca del Biobío.
- **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÁREAS DE INUNDACIÓN MEDIANTE DIFERENTES MODELOS DIGITALES DE TERRENO”**. Presenta la

determinación de áreas de inundación mediante modelos de terreno (MDT) y el grado de incerteza de estos.

- **“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE EMBALSES EN EL RÉGIMEN DE CRECIDAS DEL RÍO BÍO- BÍO”**. Presentación de hidrogramas de caudales unitarios para la subcuenca Rucalhue del río Biobío.
- **“ANÁLISIS MORFOLÓGICO DE LAS CUENCAS ASOCIADAS A LAS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS DE LA REGIÓN DEL BÍO-BÍO”**. Presenta la caracterización morfológica de la cuenca del Biobío según los parámetros hidrológicos tipo Linsley.
- **“CARACTERIZACION DE CAUDALES Y PRECIPITACIONES MEDIAS DIARIAS EN LA REGION DEL BÍO-BÍO”**. Presentación de caudales y precipitaciones provenientes de estaciones fluviométricas en la región del Biobío
- **“POTENCIALES EFECTOS DE LA FALLA DE LOS EMBALSES SOBRE EL RÍO BÍO-BÍO”**. Presenta los problemas de inundación por posibles crecidas extremas y repentinas debido a fallas en embalses del Alto Biobío.
- **“VALIDACION DE LAS CURVAS DE DESCARGA DE LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS DE LA REGION DEL Biobío APLICADA A LA CUENCA DEL RIO BIO-BÍO”**. Presenta la caracterización morfológicamente las estaciones hidrométricas y sus descargas en la cuenca del río del Biobío.
- **“ZONAS AMENAZADAS POR INUNDACIÓN DEL RÍO Biobío ENTRE SAN ROSENDO Y LA DESEMBOCADURA”**. Presenta áreas de amenaza por inundación por desborde de los ríos en zonas de estudio y material histórico de dichas zonas.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.13.2 Análisis Crítico

Los antecedentes mencionados, entregan información útil para el desarrollo del SAT para crecidas, sin embargo, algunos trabajos no consideran el evento histórico ocurrido en el año 2006, por lo que se debe tener en consideración la actualización de dicha información con estudios complementarios, con el fin de que en conjunto pueden dar a conocer de una forma más fidedigna la condición real y actual de la cuenca del Biobío, tanto de forma cuantitativa como cualitativa.

2.14 COLBUN

2.14.1 Descripción

La empresa Colbún S.A. en la cuenca del Biobío cuenta con 3 centrales hidroeléctricas Rucue, Angostura y Quilleco.

- **CENTRAL ANGOSTURA** se ubica en el Río Biobío aguas arriba de la localidad de Santa Bárbara en la Localidad de Quilaco y corresponde a una central de Embalse. Fue construida el año 2014 y tiene una potencia instalada de generación de 323,8 MW.
- **CENTRAL QUILLECO** se ubica en el río Laja aguas arriba de la Localidad de Tucapel, corresponde a una central de pasada, que fue construida en el año 2007 y tiene una potencia instalada de generación de 70,8 MW.
- **CENTRAL RUCÚE** se ubica en el río Laja aguas arriba de la localidad de Tucapel, corresponde a una central de pasada, que fue construida el año 1998 y tiene una potencia instalada de generación de 178,4 MW.

El estudio disponible por parte de Colbún corresponde a:

- “PLAN DE ACCIÓN DURANTE EMERGENCIAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ANGOSTURA”. Esta información fue proporcionada por la DGA a Nivel Central y corresponde al plan de acción durante emergencia de la Central Angostura, en este informe se describen los escenarios posibles de inundación ante crecidas y las acciones a definir en función de aquello.

Para mayor detalle revisar los anexos 1 y 2.

2.14.2 Análisis Crítico

Aunque se hicieron las gestiones, no fue posible conseguir información directa de parte de esta empresa. La información presentada, corresponde a la facilitada por el Nivel Central de la Dirección General de Aguas.

El Plan de Alertas de Crecida desarrollado por la empresa, aporta información importante y es una buena referencia. Aunque tiene un espacio para ser ampliado, mejorado y actualizado según estándares internacionales, materia que será abordada en el futuro modelo que planea desarrollar la DGA, con las pautas e información del presente estudio.

2.15 ENEL

2.15.1 Descripción

La empresa ENEL Generación Chile S.A. corresponde a la antigua empresa ENDESA, la cual se encarga de las obras de generación Dentro de las centrales que dispone la empresa en la cuenca del Biobío, se encuentran en el río Laja El Abanico y El Toro, en el río Biobío se encuentra las centrales Ralco, Palmucho y Pangue.

- **CENTRAL EL TORO** se encuentra ubicada a 90 km al oriente de Los Ángeles, Región del Biobío, ubicada en el Río Laja y corresponde a una central con embalse, teniendo una capacidad de generación instalada de 450 MW, esta central fue puesta en marcha el año 1973.
- **CENTRAL EL ABANICO** se encuentra ubicada a 90 km al oriente de Los Ángeles, Región del Biobío, esta central se encuentra ubicada en el Río Laja y corresponde a una de pasada, teniendo una capacidad de generación instalada de 136 MW, que fue puesta en servicio el año 1948.
- **CENTRAL RALCO** se encuentra ubicada a 120 km al Oriente de Los Ángeles Región del Biobío, ubicada en el Río Biobío y corresponde a una central de Embalse, teniendo una capacidad de generación instalada de 690 MW, que fue puesta en servicio el año 2004.
- **CENTRAL PANGUE** se encuentra ubicada a 100 km al Oriente de Los Ángeles, Región del Biobío. Se encuentra ubicada en el río Biobío y corresponde a una central de embalse, teniendo una capacidad de generación instalada de 467 MW, esta central fue puesta en servicio el año 1996.
- **CENTRAL PALMUCHO** se encuentra ubicada a 100 km al Oriente de Los Ángeles, Región del Biobío, ubicada en el río Biobío y corresponde a una central de pasada, teniendo una capacidad de generación instalada de 32 MW, fue puesta en servicio el año 2007.

La empresa ENEL al ser consultada por información relevante para este estudio, facilitó los siguientes documentos:

- **“MANUAL DE OPERACIÓN EMBALSE RALCO”**, documento realizado de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 20.304, la cual considera que dicho manual debe ser desarrollado por los Embalses que cumplan la misión de Regular, en este caso corresponde al Embalse Ralco, cuyo manual de operaciones fue desarrollado por la empresa y aprobado finalmente por los servicios públicos, establece la operación ante alertas de Crecidas y Emergencias.
- **“RESOLUCIÓN QUE APRUEBA EL PROTOCOLO DE ENTREGA DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN DE ALERTA DE CRECIDAS”** La ONEMI aprobó mediante resolución 311 del año 2016 el manual de operación ante

alerta de crecidas, el cual debe ser considerado dentro del nuevo estudio para el Sistema de Alerta Temprana para crecidas en la cuenca del río Biobío.

Para mayor detalle revisar los Anexos 1 y 2

2.15.2 Análisis Crítico

Se tiene información hidráulica e hidrológica, valiosa e interesante para los fines propios de la empresa generadora.

En particular, este Consultor no tuvo acceso a toda la información de los caudales generados o los caudales vertidos de manera histórica o bien la curva de embalse.

2.16 SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA (SOCHID)

2.16.1 Descripción

La Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID), es una corporación a la cual pueden pertenecer todos los ingenieros y demás profesionales relacionados de alguna manera con la hidráulica o ciencias afines.

Dentro de la información disponible que tiene la SOCHID para sus asociados se encuentran los papers de los congresos nacionales de Hidráulica, de los cuales se revisó la información de los últimos 20 años, los antecedentes relevantes son los siguientes:

- **“CÁLCULO DE LA CRECIDA MÁXIMA PROBABLE PARA LA CENTRAL PANGUE”**, determina a partir de un modelo de Hidrograma Unitario y de la información disponible, el caudal máximo probable afluente al embalse Pangue.
- **“INFLUENCIA DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS DEL RÍO LAJA SOBRE SU RÉGIMEN NATURAL”**, Determina como han impactado las obras hidráulicas en el régimen Hidrológico de la cuenca del río Laja.
- **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL RÍO BIO BIO ANTE MANIOBRAS DE TOMA Y RECHAZO DE CARGA DE LA CENTRAL PANGUE”**, Este estudio presenta el impacto de la Central Pangue en el comportamiento del cauce aguas abajo.
- **“UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE CRECIDAS EN TIEMPO REAL: APLICACIÓN AL RÍO BIOBIO”**, Determina un modelo matemático para la predicción de crecidas en el río Biobío.
- **“UN MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA ANTRÓPICO ANTE DECISIONES DE ALERTA EN EVENTOS DE CRECIDA. EXPERIMENTACIÓN EN EL RÍO BIOBIO”**, corresponde a un sistema de apoyo para tomar la decisión de qué hacer ante eventos de crecidas en función de las alternativas disponibles.

- “UN MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA ANTRÓPICO ANTE DECISIONES DE ALERTA EN EVENTOS DE CRECIDA”, Este estudio determina el comportamiento de la población ante una política de gestión de crecida en la cuenca del Biobío.
- **“PLANTEAMIENTO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE CRECIDAS EN TIEMPO REAL EN EL RÍO BIOBIO”**, este estudio determina los niveles de inundación ante las crecidas en la cuenca del Biobío.
- **“RASTREO DE CRECIDAS EN EL BAJO BIOBIO APLICACIÓN A PROBLEMAS DE INUNDACIÓN”**, este estudio determina las zonas de inundación en la zona de desembocadura del río Biobío.
- **“APORTES AL BALANCE HIDRICO DE LA CUENCA DEL LAJA”**, Este estudio determina el balance hídrico de la cuenca para predecir las consecuencias asociadas a cambios artificiales en el río.
- **INFLUENCIA DEL SISTEMA DE EMBALSES RALCO – PANGUE EN LAS CRECIDAS DEL BIOBIO**, estudia el comportamiento de los embalses Ranco y Pangue ante eventos de crecidas.

Para más detalle ver los Anexos 1 y 2.

2.16.2 Análisis Crítico

Los estudios disponibles en la SOCHID corresponden a los estudios presentados en sus congresos y seminarios, los cuales corresponden a papers, que si bien es cierto aportan información, estos no profundizan en el detalle de la información que se utilizó para su desarrollo ni tampoco en los cálculos realizados.

Además muchos de los estudios presentados en la SOCHID corresponden a ejercicios académicos, algunos alejados de los requerimientos de la realidad o de lo posible de implementar de acuerdo a los recursos disponibles para un modelo de alerta de crecidas.

2.17 UNIVERSIDAD DE CHILE

2.17.1 Descripción

En esta institución se encontraron dos estudios relevantes para el proyecto, uno corresponde a una memoria de título y otro a un estudio presentado en el marco de un congreso hidráulico.

- “SISTEMA DE ALERTA DE CRECIDAS EN EL RÍO BIOBÍO. USO RECURSIVO DE UN MODELO DE REDES NEURONALES”. Publicado por Ricardo González, Ximena Vargas, Andrés López y Luis Belmar, en el marco del III Encuentro de Aguas presenta un modelo de alerta de crecidas para la estación Biobío en Desembocadura, utilizando datos de la estación Biobío en Rucalhue. Define un umbral de altura en la estación de 2,6 m a partir del cual se considera que existe una crecida importante de los niveles del río. A partir de los datos disponibles se consideraron 29 crecidas de las cuales se utilizaron 15 para entrenar la Red Neuronal propuesta, 9 crecidas para validar los resultados de la Red Neuronal y 5 crecidas para probar la eficacia del modelo propuesto. Con esta metodología se logró hacer pronósticos con hasta 20 horas de anticipación, lo que permitía dar la alerta con un promedio de 14 horas de antelación. Finalmente, el modelo arrojó un total de 7 falsas alarmas de las cuales 4 requerían una evacuación.
- “PRONÓSTICO DE **CRECIDAS EN TIEMPO REAL USANDO REDES NEURONALES RECURRENTES**”. Corresponde a la memoria de título de Milena Muñoz Bonacic, en esta se utilizan redes neuronales para hacer pronósticos de caudales de la parte alta de la cuenca del río Mapocho, considerando las estaciones Estero Arrayan en la Montosa y Río Mapocho en los Almendros, las cuales presentan un marcado régimen Nivo - Pluvial. La metodología propuesta considera redes neuronales recurrentes y considera como datos de entrada para la red datos de precipitación y temperatura de estaciones representativas de las cuencas estudiadas además del caudal en la misma estación Fluviométrica. Se considera además, dadas las características de las cuencas, crecidas tanto pluviales como nivales. Para Arrayan en la Montosa se contó con 21 crecidas pluviales y 11 crecidas nivales y para Mapocho en los Almendros se contó con 27 crecidas pluviales y 10 crecidas nivales. Se comparan los resultados obtenidos entre el método propuesto de redes neuronales y modelos paramétricos auto regresivos de media móvil (ARMAX) en los cuales se concluye que siempre los modelos de redes neuronales obtienen mejores desempeños y menores errores. Finalmente, a la luz de los resultados se obtuvieron pronósticos confiables con hasta 12 horas de anticipación para Arrayan en la Montosa y hasta 6 horas de anticipación para Mapocho en los Almendros.
- “ESTUDIO GEOLÓGICO – **ESTRUCTURAL EN EL VALLE DEL ALTO BIOBÍO, LONQUIMAY, CHILE**”. Publicación presentada en el XII Congreso de Geología de Chile, corresponde a un acercamiento al

conocimiento de la geología de la zona alta del Biobío, en los aspectos geomorfológicos y Estructurales.

- **“RIESGO VOLCÁNICO A ESCALA NACIONAL/REGIONAL: ESTUDIO COMPARADO DE VARIANTES METODOLÓGICAS, PARA SU EVALUACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CONTEXTO VOLCÁNICO DE CHILE”**. Memoria de Título, en la cual, se realizó un análisis de riesgo de 90 volcanes en Chile, entre los cuales se encuentran algunos de la zona alta del río Biobío como el Callaqui y Antuco, este análisis se realizó a través del método de la National Early Warning System.

2.17.2 Análisis Crítico

Los primeros dos trabajos presentan un enfoque similar, en el que solo cambia el set de datos de entrada que se utilizan. En parte, debido a falta de datos y por distintos enfoques esa es la principal debilidad de estos trabajos, ya que para lograr un análisis más robusto es necesario contar con la mayor cantidad de información relevante. Este punto es tratado en las conclusiones del trabajo de Ricardo González, donde indica que para mejorar las estimaciones y reducir las falsas alarmas y errores se debería considerar dentro de los datos de entrada del modelo al menos una estación meteorológica representativa de la cuenca. Estos dos estudios concluyen que las redes neuronales son una herramienta válida para el pronóstico de crecidas en tiempo real.

La publicación sobre la morfología y las estructuras de la zona alta del Biobío, aporta a la definición de los sectores con principales riesgos de inicio de remoción en masa e inestabilidades geológicas de relevancia.

La Memoria de Título presentada, establece con claridad los volcanes pertenecientes a la zona alta del río Biobío, que ante eventos tectónicos o vulcanológicos, podrían generar riesgos de operación o bien de inestabilidad de las condiciones del cauce del río Biobío, lo que acrecentaría los riesgos en eventos de crecidas del río.

2.18 INTERNATIONAL JOURNAL OF RIVER BASIN MANAGEMENT

2.18.1 Descripción

Es una publicación de la organización “International Association for Hydro-Environment Engineering and Research” (IAHR), fundada en 1935, y cuyo objetivo es la organización del trabajo de ingenieros especialistas en temas de aguas.

En esta institución se encontró una publicación relevante para el proyecto:

- **“A BRIEF REVIEW OF FLOOD FORECASTING TECHNIQUES AND THEIR APPLICATIONS”**. Este es un artículo (paper) escrito por Sharad Kumar Jain,

Pankaj Mani, Sanjay K. Jain, Pavithra Prakash, Vijay P. Singh, Desiree Tullos, Sanjay Kumar, S. P. Agarwal & A. P. Dimri, en el cual se hace una revisión de las principales metodologías para hacer pronósticos de crecidas entre las cuales destacan los modelos agregados tipo caja negra, los modelos semi-distribuidos y los modelos totalmente distribuidos. En la descripción de los tipos de modelos se entregan los pros y contras de cada metodología. Entrega datos de modelos de pronóstico de crecidas actualmente en uso en diferentes países y sus respectivos enfoques y características. Se presentan algunos requerimientos mínimos que debe tener un modelo de pronóstico de este tipo y se entrega una propuesta que este tipo de modelos deben apuntar en el futuro a integrar el uso de herramientas GIS y percepción remota, dado el gran avance que ha tenido estas áreas. Finalmente hace un análisis de las grandes incertidumbres que presentan este tipo de técnicas, las cuáles son sus principales fuentes y cómo abordarlas.

2.18.2 Análisis Crítico

Este artículo hace una revisión actualizada (2018) de las técnicas y métodos de pronósticos de crecidas utilizadas, si bien menciona que el uso de redes neuronales no se ha expandido debido a su fuerte dependencia en los datos y la calidad de estos y al hecho que no consideran los diferentes cambios que pueda sufrir una cuenca, es claro en decir que todos los modelos deben ser actualizados y que en la práctica la mejor opción es un enfoque múltiple que integre distintas técnicas de manera de obtener un sistema de pronóstico y alerta robusto. Especial énfasis se pone en la integración de estos modelos con los modelos de pronóstico meteorológicos.

El enfoque propuesto que considera el uso de información obtenida mediante percepción remota es particularmente interesante debido a la gran cantidad de productos meteorológicos disponibles en tiempo real que de cierta forma complementan y subsanan la falta de información de estaciones en tierra.

2.19 EUROPEAN GEOSCIENCES UNION

2.19.1 Descripción

En esta institución se encontró una publicación relevante para el proyecto:

- “WATER LEVEL FORECASTING THROUGH FUZZY LOGIC AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPROACHES”. Este artículo, escrito por S. Alvisi, G. Mascellani, M. Franchini y A. Bárdossy, hace una comparación entre dos métodos para predecir caudales de crecida. El primer método corresponde a Redes Neuronales y el segundo a los conocidos como de Lógica Difusa. La aplicación de

estos métodos se hizo en el río Reno en Boloña, Italia. En estos se prueban los modelos con información meteorológica agregada y distribuida y luego se comparan los resultados y los desempeños. Consistentemente se demuestra que los modelos de redes neuronales mejoran mientras mejora la calidad de la información, mejorando los resultados con información distribuida mientras que los modelos de lógica difusa no mejoran los resultados y en algunos casos los empeoran cuando se usa información distribuida. Finalmente concluye que las metodologías son buenos enfoques pero que en el caso de estudio las redes neuronales tuvieron un mejor desempeño general.

2.19.2 Análisis Crítico

Este artículo es interesante respecto de la toma de decisión acerca de que enfoque utilizar, si bien ninguno de los dos métodos es descartado el hecho que la redes neuronales mejoren su desempeño ante mayor detalle de la información hace que sean una mejor opción dado que es esperable que la red de monitoreo de los datos de entrada mejore su calidad y resolución en el futuro.

2.20 AUSTRALIAN BUREAU OF METEOROLOGY

2.20.1 Descripción

El Bureau de Meteorología es una Agencia Ejecutiva del Gobierno Australiano responsable de proporcionar servicios de meteorología, hidrología y clima a Australia y sus áreas circundantes. Fue creado por la Ley de Meteorología de 1906, que congregó todos los servicios meteorológicos estatales que existían a la fecha en una sola entidad. Los estados australianos transfirieron oficialmente sus responsabilidades y registros climáticos al Bureau de Meteorología el 1 de enero de 1908.

En esta institución se encontró una publicación relevante para el proyecto:

- **“A REVIEW OF METHODS AND SYSTEMS AVAILABLE FOR FLASH FLOOD FORECASTING”.** Este es un informe realizado por H. A. Prasantha Hapuarachchi y Q. J. Wang para la Oficina de Meteorología de Australia en el cual se hace una revisión de los métodos existentes para pronóstico de crecidas en tiempo real y de alerta temprana. Este estudio fue realizado para conocer el estado del arte respecto de esta materia, conocer los métodos aplicados y en operación a la fecha del estudio y para identificar aquellos estudios necesarios para desarrollar un sistema de pronóstico robusto para Australia. En este informe se hace una revisión de las principales técnicas existentes, luego se pasa a una revisión de los modelos aplicados en distintas partes del mundo y finalmente se detalla conceptualmente todo lo necesario para implementar un sistema robusto y

confiable. En esto se incluyen los datos necesarios, el enfoque del modelo a implementar y toda la investigación necesaria que se debe hacer para lograr lo propuesto.

2.20.2 Análisis Crítico

Este informe es muy completo y presenta una buena información de lo que debe comprender un sistema de este tipo, pero lamentablemente tiene 10 años de antigüedad lo que hace que algunas de las cosas expuestas no estén actualizadas debido a los grandes avances que han existido especialmente respecto a los datos meteorológicos y la percepción remota.

2.21 EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS DEL BIOBIO (ESSBIO)

2.21.1 Descripción

ESSBIO corresponde a una empresa privada de Servicios Sanitarios, la cual tiene concesionada gran parte de las Localidades de la Región del Biobio y su función es, dentro del área de concesión, disponer de los servicios de producción y abastecimiento de agua potable y disposición y tratamiento de aguas servidas. En las comunas ribereñas del Biobio la Concesionaria corresponde a la empresa ESSBIO.

En esta institución se encontró una publicación relevante para el proyecto:

- “PLAN DE DESARROLLO ESSBIO”. Corresponde al programa de inversiones que desarrollará la empresa durante los próximos años de acuerdo a la negociación tarifaria aprobada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- “ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE CUENCAS COSTERAS ESSBIO, VIII REGIÓN”. Corresponde a una caracterización hidrológica e hidrogeológica de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de origen pluvial de la región.
- “RED SECUNDARIA”. Corresponde a un archivo SIG en formato *.kmz, el cual contiene toda la red secundaria de ESSBIO, en las comunas de ribereñas del río Biobío. Se encuentra alojado en Anexo 6 – Infraestructura en la carpeta “Red Secundaria”

Además, la empresa facilitó la información de la infraestructura disponible en las comunas ribereñas de la cuenca del Biobio, la cual se detalla en punto 3.

2.21.2 Análisis Crítico

Respecto al Plan de Desarrollo, el documento cuenta con información general de las obras a ejecutar y montos estimados, no obstante no detalla el alcance y detalle de las obras a ejecutar en cada localidad. Si bien es cierto es referencial para establecer cuál es la inversión que realizará la empresa, no se puede determinar si las obras proyectadas tienen algún impacto en el modelo de alerta de crecidas.

En relación al estudio hidrológico e hidrogeológico, este recopila antecedentes pluviométricos y fluviométricos, con la finalidad de realizar una descripción general de los recursos hídricos de las zonas donde ESSBIO posee captaciones de recursos subterráneos, sin embargo, los antecedentes no resultan de interés para los fines del SAT, dado que existen otras fuentes de información (DGA, DMC, entre otras), que poseen estudios específicos en eventos de crecidas del río.

Finalmente, se pone a disposición la red secundaria de ESSBIO de las zonas ribereñas del río Biobío, la cual, podrá ser usada en los análisis de impactos productos de crecidas en el río Biobío.

2.22 MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU)

2.22.1 Análisis Crítico

Se solicitó información acerca de la infraestructura existente y las áreas inundadas de la red primaria y secundaria, frente a lo cual, se pudo acceder a:

1. Información en formato SIG (archivo RED_SEC_BIOBIO.kmz alojado en Anexo 6 – Infraestructura en la carpeta “Red Secundaria”) que presenta toda la red en concesión a ESSBIO pero que depende administrativamente del MINVU. Los antecedentes, también se pueden revisar online a través del siguiente link:
<https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=04433c7804c34a80b4b40e3e1b67d17e>
2. Información en formato SIG y CAD además de informes, memorias de cálculo y otros documentos, proporcionada por ESSBIO de toda la Red Secundaria y obras de PTAP y PTAS involucrada en la zona de estudio, la cual se aloja en en Anexo 6 – Infraestructura

Cabe señalar que esta información permite conocer la red secundaria de aguas lluvias y las áreas de inundación detectadas por SERVIU de acuerdo a información levantada el año 2017.



3 ANTECEDENTES DE INFRAESTRUCTURA

En este numeral se presenta una descripción de la principal infraestructura existente en la cuenca que puede verse afectada ante eventos de crecidas. Para ello, se consultaron las bases de datos de las empresas e instituciones que a continuación se describen. Más detalle en Anexo 6- Infraestructura.

3.1 ANTECEDENTES RECOPILADOS DE INSTITUCIONES

A continuación, se presenta el listado de empresas e instituciones que fueron consultadas para determinar la infraestructura de interés en la cuenca.

Tabla N° 3.1. Instituciones y/o empresas consultadas

EMPRESA / INSTITUCIÓN	INFRAESTRUCTURA
D.O.H	OBRAS DE RIEGO
C.N.R.	OBRAS DE RIEGO
D.G.A.	CAPTACIONES, OBRAS DE RIEGO
ESSBIO	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y AGUAS SERVIDAS
GORE	INFRAESTRUCTURA
DIRECCION DE VIALIDAD	RUTAS PRINCIPALES Y PUENTES
ENEL	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS
COLBÚN	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Fuente: Elaboración Propia

3.2 OBRAS DE RIEGO (DOH, CNR Y DGA)

En esta etapa se identificó la infraestructura asociada a las obras de riego permanente existente en la cuenca, se considera que si bien existen abundante infraestructura de riego, ante una crecida la infraestructura permanente podría verse afectada ante un evento de crecida, por tal razón, se presenta a continuación solo las captaciones permanentes.

Tabla N° 3.2. Listado de Canales de Riego

ASOC. CANAL	UBICACIÓN BOCATOMA	SUPERFICIE RIEGO (Ha)	COORDENADAS UTM / WGS84
CANAL LAJA	RIO LAJA 200 m Aguas arriba del puente camino a Tucapel Ribera Sur	50.000	236793 E/ 5867011N (H19)
CANAL DUQUECO CUEL	RIO DUQUECO 3 Km aguas arriba del Puente de la Ruta 5 Sur	5.485	209817 E/ 5838914N (H19)
CANAL BIOBÍO SUR	Rio Biobío 10 km aguas arriba de Santa Bárbara. 35 Km aguas arriba del cruce con ruta 5 Sur.	40.000	244047 E/5822360 N (H19)
CANAL BIOBÍO NORTE	RIO BIOBÍO 25 Km aguas arriba del cruce con ruta 5 Sur	7.000	232466 E/ 5826436 N (H19)
CANAL ANTUCO	RÍO LAJA (Bocatoma Canal Pinochet) a 5 km aguas arriba de zona urbana de Antuco. Ribera Sur del río.	400	268462 E/5865955 N (H19)
CANAL QUILLAILEO	RÍO QUILLAILEO 200 m Aguas arriba de su confluencia con río Huequecura	2.000	269627 E / 5832037 N (H19)
CANAL BIOBÍO NEGRETE	RIO BIOBÍO a 18 Km al oriente de Localidad de Negrete	10.000	202692 E / 5835850 N (H19)
CANAL ZAÑARTU	RIO LAJA a 400 m de la entrada Nor Oriente de la Localidad de Antuco. Ribera Norte del Río	21.000	265426 E/ 5867885 N (H19)
CANAL LAJA DIGUILLÍN	RIO LAJA 200 m Aguas arriba del puente camino a Tucapel Ribera Norte	63.309	237129 E/5867111 N (H19)

Fuente: Elaboración Propia.
Datos de Superficie obtenidos de la CNR y DOH

En Anexo 6 – Infraestructura en carpeta “Fichas de Canales”, se presentan antecedentes técnicos y de operación de las captaciones de las obras indicadas en la Tabla 3.2, rescatadas de estudios de la DGA y DOH, que sólo fue posible consultar en sala en

dichas bibliotecas técnicas, además, en el capítulo 2, se han presentado estudios de la Dirección de Obras Hidráulicas, que entregan detalles de dichas obras.

3.3 OBRAS DE SANEAMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE (ESSBIO)

Se presenta la principal infraestructura de Tratamiento de Aguas Servidas y Tratamiento de Agua Potable, que se encuentran en la cuenca del río Biobío en las comunas ribereñas al río y que pueden verse afectadas por las crecidas del cauce.

Tabla N° 3.3. Listado de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas

Localidad	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
Concepción, Talcahuano, Hualpén, Chiguayante	Hualpén, al Costado de Costanera Biobío	Planta de Tratamiento del Gran Concepción tiene su descarga de agua tratada en el Río Biobío	668988 E/5925024 S (H18)
Hualqui	Hualqui, a la salida Oriente de la Comuna Ubicada cerca de la descarga del Estero Hualqui al río Biobío	Planta de Tratamiento de la Localidad y tiene su descarga en el Estero Hualqui, cerca de su descarga al Biobío	682837 E/ 5904211 S (H18)
Santa Juana	Santa Juana, en el acceso Nor Poniente de la Localidad	Planta de Tratamiento de la Localidad y tiene su descarga en el Río Biobío.	682064 E / 5884829 S (H18)
Laja, San Rosendo	Laja, se ubica en la salida Sur Oriente de la Localidad a un costado de la empresa CMPC	Planta de Tratamiento de las localidades de Laja y San Rosendo y tiene su descarga en el río Biobío	702538 E / 5870975 S (H18)
Nacimiento	Nacimiento, se ubica en el acceso Nor Poniente de la Localidad	Planta de Tratamiento de aguas servidas de la Localidad y tiene su descarga en el río Biobío	704227 E / 5848970 S (H18)

Localidad	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
Negrete	Negrete, se ubica en el acceso Poniente de la Localidad	Planta de Tratamiento de aguas servidas de la Localidad y tiene su descarga en el río Biobío	716189 E / 5837210 S (H18)
Santa Bárbara	Santa Bárbara, se ubica en el acceso Nor Poniente de la Localidad a un costado de la ruta Q-61-R	Planta de Tratamiento de aguas servidas de la Localidad y tiene su descarga en el río Biobío	760837 E / 5827581 S (H18)
Quilaco	Quilaco, se ubica en el sector Norte de la Localidad	Planta de Tratamiento de aguas servidas de la Localidad y tiene su descarga en el río Biobío	763418 E / 5825493 S (H18)
Yumbel	Yumbel, se ubica a un costado del Camino que une Yumbel centro con el sector Yumbel Estación	Planta de Tratamiento de aguas servidas de la Localidad y tiene su descarga en el río Claro	717244 E / 5888363 S (H18)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.4. Listado de Plantas de Tratamiento de Agua Potable

Localidad	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
Talcahuano, Hualpén, Concepción, Chiguayante	Concepción, Planta Mochita está ubicada entre las avenidas costanera y Avda. Pedro de Valdivia	Planta la Mochita, tiene una captación superficial del Río Biobío mediante equipos de Bombeo.	673473 E / 5920405 S (H18)
Chiguayante	Chiguayante, Se ubica al final del de calle Cochrane, al llegar a la Ribera del río Biobio	Planta de Tratamiento de Filtros rápidos que capta el agua a través de punteras ubicadas en el Cauce	674930 E / 5911821 S (H18)

Localidad	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
San Pedro de la Paz	Planta ubicada entre los puentes Chacabuco y Llacolén a un costado de la Avda. Michimalonco	Planta de Tratamiento que capta desde un sistema de punteras en el cauce.	671301 E / 5920955 S (H18)
Hualqui	Planta ubicada en el acceso Norte de la Localidad a un costado de la ruta O-60	Planta de Tratamiento de Filtros Rápidos, capta sus aguas desde el río Biobío	682725 E / 5906730 S (H18)
Nacimiento	Planta ubicada en la zona Sur Oriente de la Localidad	Planta de Tratamiento de Filtros Rápidos, capta sus aguas desde el río Vergara unos 200 m antes de que este descargue sus aguas al Río Biobío	706276 E / 5847254 S (H18)

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (ENEL – COLBÚN)

A continuación se describen las centrales ubicadas dentro de la cuenca del río Biobío y sus principales características.

Tabla N° 3.5. Listado de Centrales de Pasada

Nombre	Empresa	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
Rucue	Colbún	Se ubica en el río Laja aguas arriba de la localidad de Tucapel	Construida el año 1998 y tiene una potencia instalada de generación de 178,4 MW	246203 E /5861283 S (H19)
Quilleco	Colbún	Se ubica en el río Laja aguas arriba de la Localidad de Tucapel	Construida en el año 2007 y tiene una potencia instalada de generación de 70,8 MW	238059 E / 5863771 S (H19)
El Abanico	ENEL	Se ubica en el río Laja a 90 km al	Tiene una capacidad de	279546 E / 5861792 S (H19)

Nombre	Empresa	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
		oriente de Los Ángeles.	generación instalada de 136 MW, esta central fue puesta en servicio el año 1948	
Palmucho	ENEL	Se encuentra ubicada a 100 km al Oriente de Los Ángeles en el río Biobío.	Tiene una capacidad de generación instalada de 32 MW, esta central fue puesta en servicio el año 2007	282787 E / 5786220 S (H19)
Renaico	MAINCO S.A.	Se encuentra en el río Renaico ubicada unos 4 Km aguas abajo del puente de la Ruta 5.	Tienen una potencia de 6.3 MW y fue puesta en servicio el año 2012	199312 E / 5809341 S (H19)
Laja 1	ENGIE	Se encuentra ubicada en el río Laja a unos 1300 m de distancia del puente de la ruta O- 90-Q	Tiene una potencia instalada de 34,4 MW y fue puesta en servicio el año 2013	719059 E / 5875196 S (H18)
Antuco	ENEL	Se encuentra ubicada en el río Laja Aguas abajo de las centrales Abanico y El Toro	Tiene una potencia instalada de 300 MW y fue puesta en servicio el año 1981	267212 E / 5867515 S (19H)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.6. Listado de Centrales de Embalse

Nombre	Empresa	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
Angostura	Colbún	Se ubica en el Río Biobío aguas arriba de la localidad de Santa Bárbara en la Localidad de Quilaco	Fue construida el año 2014 y tiene una potencia instalada de generación de 323,8 MW	251710 E / 5822338 S (H19)

Nombre	Empresa	Ubicación	Descripción	COORDENADAS UTM / WGS84
El Toro	ENEL	Se ubica en el Río Laja a 90 km al oriente de Los Ángeles, Región del Biobío.	Tiene una capacidad de generación instalada de 450 MW, esta central fue puesta en marcha el año 1973	282528 E / 5871789 S (H19)
Ralco	ENEL	Se ubica en el río Biobío a 120 km al Oriente de Los Ángeles Región del Biobío	Tiene una capacidad de generación instalada de 690 MW, esta central fue puesta en servicio el año 2004	278905 E / 5791420 S (H19)
Pangue	ENEL	Se encuentra ubicada en el río Biobío a 100 km al Oriente de Los Ángeles, Región del Biobío	Tiene una capacidad de generación instalada de 467 MW, esta central fue puesta en servicio el año 1996	270364 E / 5800866 S (H19)

Fuente: Elaboración propia
Datos de Potencia obtenidos de ENEL y Colbún

Esta información corresponde a las centrales que se encuentran a la fecha del presente informe construidas y en operación.

3.5 PUENTES Y RED VIAL

A continuación, se presentan las principales redes viales de la cuenca del Biobío y los puentes que cruzan los principales cauces, que ante eventos de una crecida podrían verse afectados.

Tabla N° 3.7. Listado de Puentes

Nombre	Ruta	Cauce	Longitud (m)	Características	COORDENADAS UTM / WGS84
Juan Pablo II	160	Biobío	2.314	Puente de Hormigón de Ancho 22.20 m en buen estado.	670203 - 5922954
Llacolén	160	Biobío	2.158	Puente de Hormigón de Ancho 21.90 m en buen estado.	671342 - 5921778
Chacabuco	160	Biobío	1.515	Puente de Hormigón de 35.00 m de ancho (2 ramales) en buen estado.	672183 - 5921158
Laja-San Rosendo	O-90-Q	Laja	610	Puente de Hormigón de Ancho 10.50 m en buen estado.	702681 - 5873267
Laja	5 Sur	Laja	115	Puente de Hormigón de Ancho 25.00 m en buen estado.	731437 - 5877686
Salto del Laja	Q-119	Laja	110	Puente de Hormigón de Ancho 10.00 m en buen estado.	732155 - 5877604
Rio Laja	N-59-Q	Laja	150	Puente de Hormigón de Ancho 8.10 m en buen estado.	236915 - 5867374
Vergara (antiguo)	156	Vergara	155	Puente de Hormigón de Ancho 10.80 m en buen estado.	706145 - 5846079
Vergara (nuevo)	Av. Estación	Vergara	185	Puente de Hormigón de Ancho 10.80 m en buen estado.	706372 - 5846837
Coihue	180	Biobío	532	Puente de Hormigón de Ancho 8.10 m en buen estado.	713130 - 5840358
San Carlos de Purén	5 Sur	Biobío	300	Puente de Hormigón de Ancho 25.00 m en buen estado.	740060 - 5834951
San Carlos de Purén (antiguo)	Vía local	Biobío	215	Puente de Hormigón de Ancho 7.00 m en regular estado.	740266 - 5834970

Nombre	Ruta	Cauce	Longitud (m)	Características	COORDENADAS UTM / WGS84
Duqueco	5 Sur	Duqueco	145	Puente de Hormigón de 30.00 m de ancho (2 ramales) en buen estado.	737489 - 5841567
Quilaco	Q-71	Biobío	230	Puente de Hormigón de Ancho 8.00 m en buen estado.	764550 - 5826226
Piulo (antiguo)	Q-779	Biobío	36.00	Puente de Hormigón de Ancho 4.00 m en buen estado.	251109 - 5822709
Piulo (nuevo)	Q-61-R	Biobío	70	Puente de Acero y Hormigón de Ancho 10.00 m en buen estado.	251257 - 5822627
Calderones	Q-61	Duqueco	152	Puente de Hormigón de Ancho 9.60 m en buen estado.	751806 - 5836404
Huequecura	Q-61-R	Huequecura	240	Puente colgante con cubierta de madera de Ancho 3.00 m en buen estado.	253648 - 5819646

Fuente: Elaboración Propia

Datos de Características de Infraestructura obtenidos de Vialidad

La ubicación de la infraestructura antes descrita, se puede revisar en el Anexo de Planos del Informe.

Tabla N° 3.8. Listado de puentes ferroviarios

Nombre	Vía	Cauce	Longitud (m)	Características	COORDENADAS UTM (E - S)
Puente Ferroviario Biobío en Concepción	Subramal Concepción - Curanilahue	Biobío	1.886	Puente de acero de una vía en buen estado.	671159 - 5922223



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

Puente Ferroviario La Laja en Laja	Troncal Red Sur	Laja	405	Puente de Acero de una vía en buen estado.	701976 - 5872878
Puente Ferroviario Biobío en Coihue	Troncal Red Sur	Biobío	520	Puente de Acero de una vía en buen estado.	712774 - 5841297

Fuente: Elaboración Propia
Datos de Características de Infraestructura obtenidos de EFE

4 ANTECEDENTES ADMINISTRATIVOS

La región limita al norte con la Región del Maule (Séptima) y al sur con la Región de la Araucanía (Novena). Estos límites son sólo administrativos, ya que no existen barreras geográficas naturales de relevancia que la separen de dichas regiones. Hacia el este, la Cordillera de los Andes constituye una gran barrera natural que separa a la Región de la República Argentina. Hacia el oeste, el territorio regional enfrenta el Océano Pacífico en toda su extensión e incorpora tres posesiones insulares: las islas Quiriquina, Santa María y Mocha. A continuación, se presentan los límites comunales de la región y la densidad poblacional.

Figura N° 4.1. Comunas en Región del Biobío



Fuente: Biblioteca

Congreso Nacional

de Chile

Densidad de Población

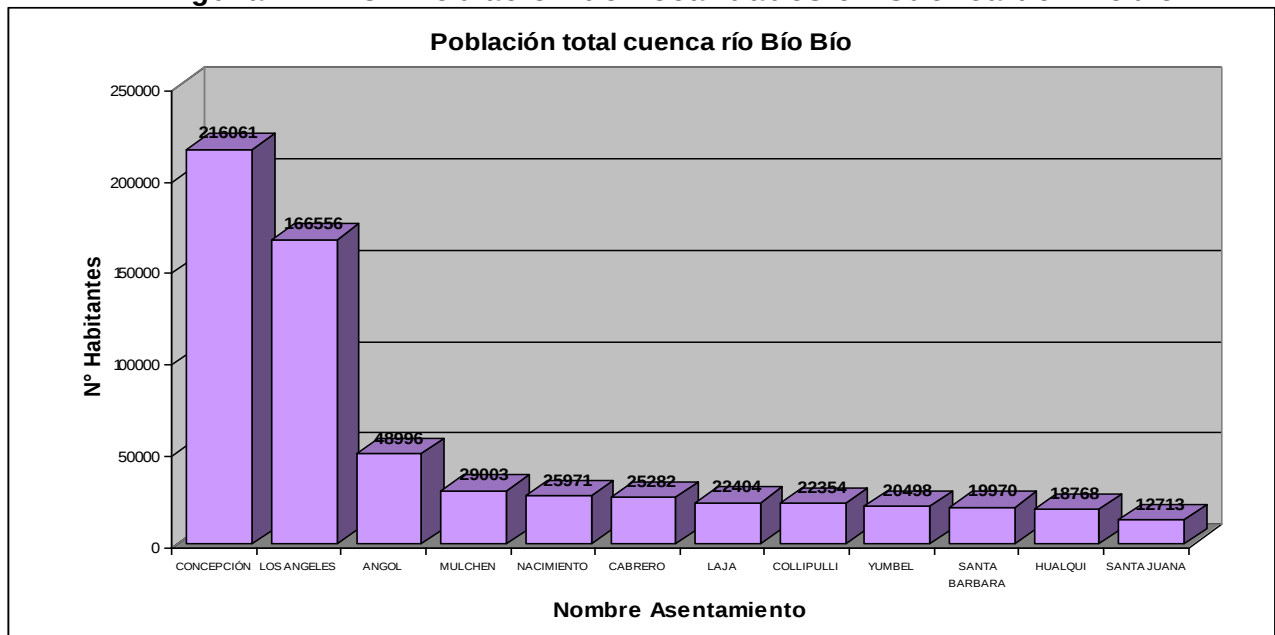
2.1 - 23.2
23.2 - 57.3
57.3 - 108
108 - 715.1
715.1 - 1717.1

Las comunas de la cuenca del río Biobío, desde el punto de vista político-administrativo, se encuentran distribuidas en las provincias de Ñuble, Concepción, Biobío y Malleco. Existen algunas comunas pertenecientes a este sector que se encuentran completamente dentro de la cuenca del río Biobío, como por ejemplo: Hualqui, Los Ángeles, Antuco, Santa Bárbara, Quilaco, Mulchén, Negrete, Nacimiento, Laja, Yumbel, San Rosendo, Angol, Renaico, Collipulli y Ercilla. Otras mantienen parte importante de su territorio y/o población como Concepción, Santa Juana, Cabrero, Traiguén y Talcahuano. También existen comunas que sólo tienen una pequeña porción de su territorio dentro de los límites de la cuenca, como Florida, Coronel, Tucapel, Curacautín, Pinto, Yungay y Quillón.

pág. 52

Las localidades pobladas de mayor importancia en la cuenca, según el número de habitantes, son los siguientes:

Figura N° 4.3. Población de Localidades en Cuenca del Biobío



Fuente: INE 2002 y Colbún 2002

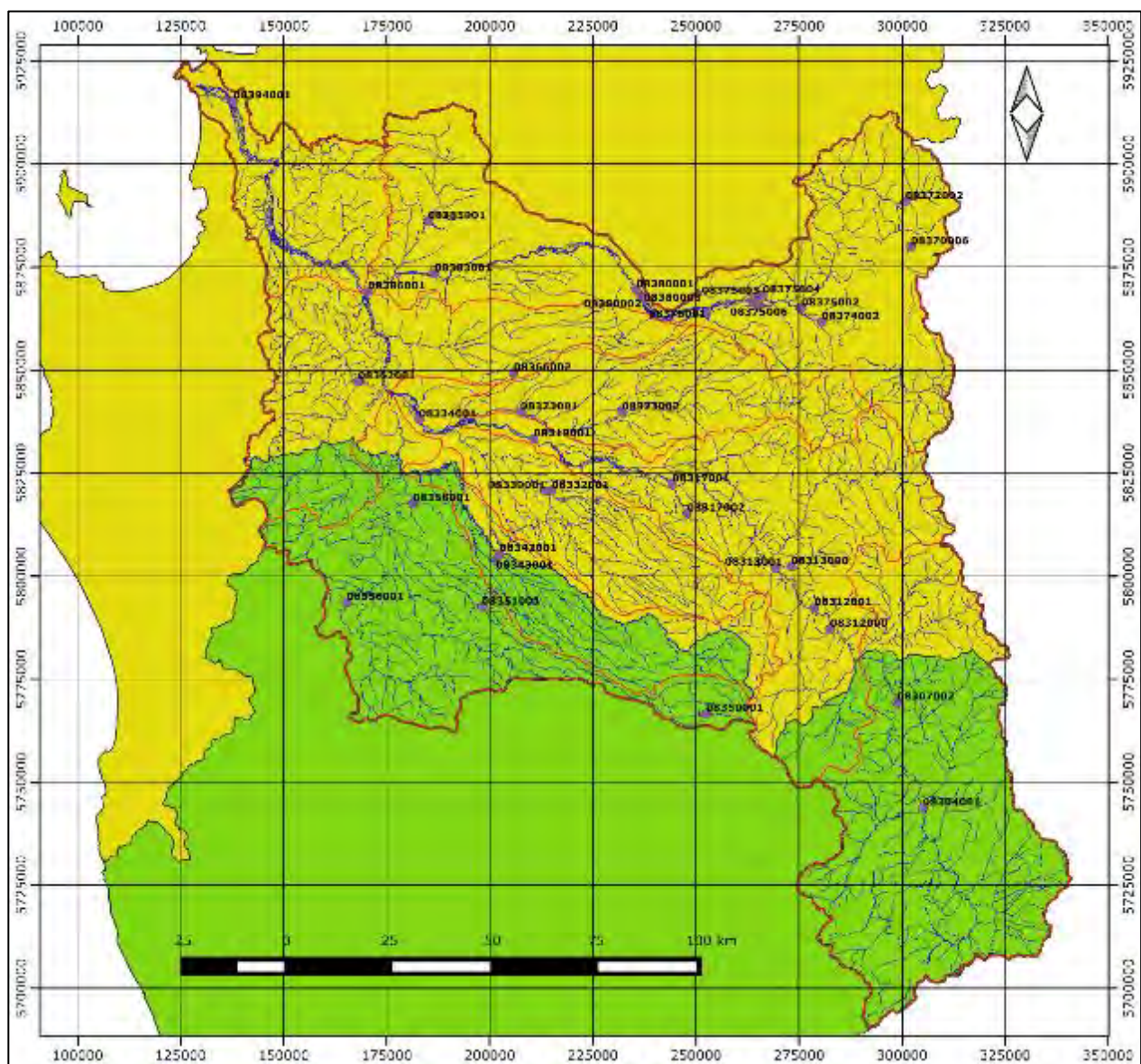
De acuerdo al número de habitantes, la ciudad de Concepción, es la de mayor importancia con 216.061 habitantes al año 2002. La distribución espacial de los asentamientos anteriores, en general, se emplazan próximos al Río Biobío y sus tributarios, Río Vergara, Río Mulchén, Río Bureo, Río Laja y Río Malleco.

5 ANTECEDENTES HIDROLOGICOS

5.1 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

La red de estaciones fluviométricas de la DGA presenta en la figura y tabla siguiente. También se presenta en una tabla, la información de los años con que se cuenta información.

Figura N° 5.1. Mapa de Ubicación de estaciones Fluviométricas

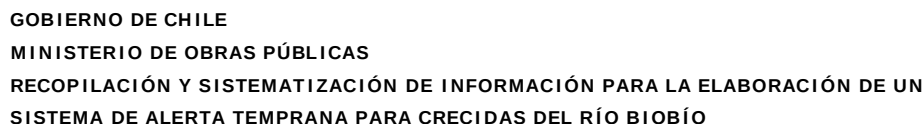


Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 5.1. Estaciones Fluviométricas cuenca Río Biobío – Vigentes y en Desuso

CODIGO	NOMBRE	INICIO	FIN	INSTITUCION	SATELITAL DESDE
08394001	Rio Biobío En Desembocadura	1970-09-24	2018-07-30	DGA	2017-11-16
08372002	Rio Polcura En Cuatro Junta	2002-11-19	2018-12-30	DGA	2015-07-01
08385001	Rio Claro En Camino Yumbel-Estacion	1985-01-09	2000-08-31	DGA	-
08370006	Canal Alto Polcura	2003-01-30	2018-12-30	DGA	2015-10-30
08383001	Rio Laja En Puente Perales	1957-08-28	2018-07-30	DGA	-
08386001	Rio Laja En San Rosendo	1971-04-01	1983-09-30	DGA	-
08380001	Rio Laja En Tucapel	1916-03-01	2015-02-24	DGA	-
08380002	Canal Laja Camino A Tucapel	1933-10-12	2018-12-22	DGA	2015-12-17
08380005	Canal Laja-Diguillán	2004-12-01	2018-12-30	DGA	2015-07-01
08375005	Canal C...	2003-08-10	2018-12-30	DGA	2015-11-05
08375004	Canal Zañartu Despues Bocatoma Rio Laja	2003-06-11	2018-12-30	DGA	2015-07-01
08371001	Ca...ga Central Antuco	2003-03-31	2018-12-30	DGA	2015-07-01
08375006	Canal Mirrihue	2003-01-31	2018-12-30	DGA	2015-06-14
08375001	Rio Polcura A. Desc. Central El Toro	2003-08-07	2018-12-30	DGA	2016-11-01
08375002	Canal Abanico En Km 049	2003-08-06	2018-12-30	DGA	2015-07-17
08376001	Rio Rucue En Camino A Antuco	1983-11-18	2016-10-16	DGA	-
08374002	Canal De Descarga Central El Toro	2003-07-01	2018-12-30	DGA	2015-07-01
08366002	Estero Quilque En Los Angeles	2007-10-01	2018-12-30	DGA	2018-07-06
08362001	Rio Nicodahue En Pichun	1988-04-01	2015-05-28	DGA	-
08323001	Rio Duquenco En Cerrillos	1962-07-01	2018-12-30	DGA	2018-07-31
08323002	Rio Duquenco En Villucura	1941-01-01	2018-07-30	DGA	-
08334001	Rio Biobío En Coihue	1928-11-23	2018-12-30	DGA	2017-08-08
08319001	Rio Biobío En Longitudinal	1965-04-05	2017-04-03	DGA	2016-05-01
08317001	Rio Biobío En Rucalhue	1937-06-01	2018-12-30	DGA	2017-09-29
08332001	Rio Bureo En Mulchen	1929-05-12	2009-03-31	DGA	-
08330001	Rio Mulchen En Mulchen	1937-03-23	2018-12-30	DGA	2017-06-01
08358001	Rio Vergara En Tijeral	1964-01-01	2018-07-30	DGA	-
08317002	Rio Lirquen En Cerro El Padre	1942-12-10	2018-07-18	DGA	-
08342001	Rio Renaico En Longitudinal	1982-06-18	2018-03-14	DGA	-
08343001	Rio Mininco En Longitudinal	1963-06-01	2018-07-30	DGA	-
08313000	Rio Pangue En Captacion	2002-12-04	2018-12-30	DGA	2018-07-31
08313001	Rio Bio Bio Ante Junta Pangue	2002-12-04	2018-12-30	DGA	2018-07-31
08356001	Rio Rahue En Quebrada Culen	1997-07-01	2017-12-28	DGA	-
08351001	Rio Malleco En Collipulli	1920-02-19	2018-12-16	DGA	2017-07-05
08312001	Rio Bio Bio Ante Junta Huirí Huirí	2002-12-07	2018-07-30	DGA	-
08312000	Rio Bio Bio En Angostura Ralco 1	2002-12-06	2018-12-30	DGA	2017-08-30
08307002	Rio Bio-Bio En Llanquén	2003-02-05	2018-12-30	DGA	2018-07-31
08350001	Rio Malleco En La Laguna	1960-06-01	1984-03-10	DGA	-
08304001	Rio Lonquimay Antes Junta Rio Bio Bio	1985-03-28	2016-05-31	DGA	-

Tabla N° 5.2. Años con Información en Estaciones Fluviométricas cuenca Río Biobío – Vigentes y Desuso (Total 90 años)



Fuente: Elaboración Propia

pág. 56

Tabla N° 5.3. Estaciones Meteorológicas cuenca rio Biobío Vigentes y en Desuso

CODIGO	NOMBRE	INICIO	FIN	INSTITUCION	SATELITAL DESDE
08394001	Rio Biobio En Desembocadura	2001-04-01	2018-12-30	DGA	2018-05-01
08367001	Laja	1961-11-01	2018-07-31	DGA	-
08380001	Rio Laja En Tucapel	2001-06-01	2015-02-28	DGA	-
08364001	Las Achiras	1964-01-01	2018-07-31	DGA	-
08366002	Estero Quilque En Los Angeles	2008-01-01	2018-07-31	DGA	2017-11-24
08334002	Los Angeles	1962-07-01	2018-12-30	DGA	2018-08-01
08320001	San Lorenzo En Bio-Bio	1992-08-01	2018-07-31	DGA	-
08324001	Duqueco	1961-11-01	1997-01-31	DGA	-
08323001	Rio Duqueco En Cerrillos	2009-05-01	2018-12-30	DGA	2018-04-04
08334001	Rio Biobio En Coihue	2009-10-01	2018-12-30	DGA	2017-07-06
08333002	San Jose De Munilque	1955-04-01	1985-08-31	DGA	-
08319002	San Carlos De Puren	1985-01-01	2018-07-31	DGA	-
08316001	Quillaileo	1992-09-01	2018-07-31	DGA	-
08318002	Quilaco	1900-01-01	2018-07-31	DGA	-
08317001	Rio Biobio En Rucalhue	2001-04-01	2018-12-30	DGA	2018-08-01
08332002	Mulchen	1962-01-01	2018-07-31	DGA	-
08358002	Angol (La Mona)	1975-01-01	2018-12-30	DGA	2017-09-01
08317003	Cerro El Padre	1943-05-01	2018-07-31	DGA	-
08358003	El Vergel (Angol)	1981-04-01	1996-02-29	DGA	-
08358005	Parque Nahuelbuta	2002-11-07	2018-07-31	DGA	-
08330002	Pilquen	1992-08-01	2018-07-31	DGA	-
08358004	Poco A Poco	1992-08-01	2018-06-30	DGA	-
08313002	Embalse Pangue	2007-07-01	2018-07-31	DGA	2017-10-15
08351003	Collipulli	1962-04-01	2009-12-31	DGA	-
08351001	Rio Malleco En Collipulli	2010-02-01	2018-12-16	DGA	2017-05-01
08341003	El Morro	1955-08-01	1973-08-31	DGA	-
08353001	Ercilla (Vida Nueva)	1998-05-01	2018-06-30	DGA	-
08312002	Embalse Ralco	2007-08-01	2018-12-30	DGA	2018-08-06
08343002	Encimar Malleco	1988-08-01	2018-06-30	DGA	-
08307002	Rio Bio-Bio En Llanquen	2003-02-01	2018-12-30	DGA	2017-09-01
08350002	Laguna Malleco	1955-10-01	2018-06-30	DGA	-

Fuente: DGA

[illegible]

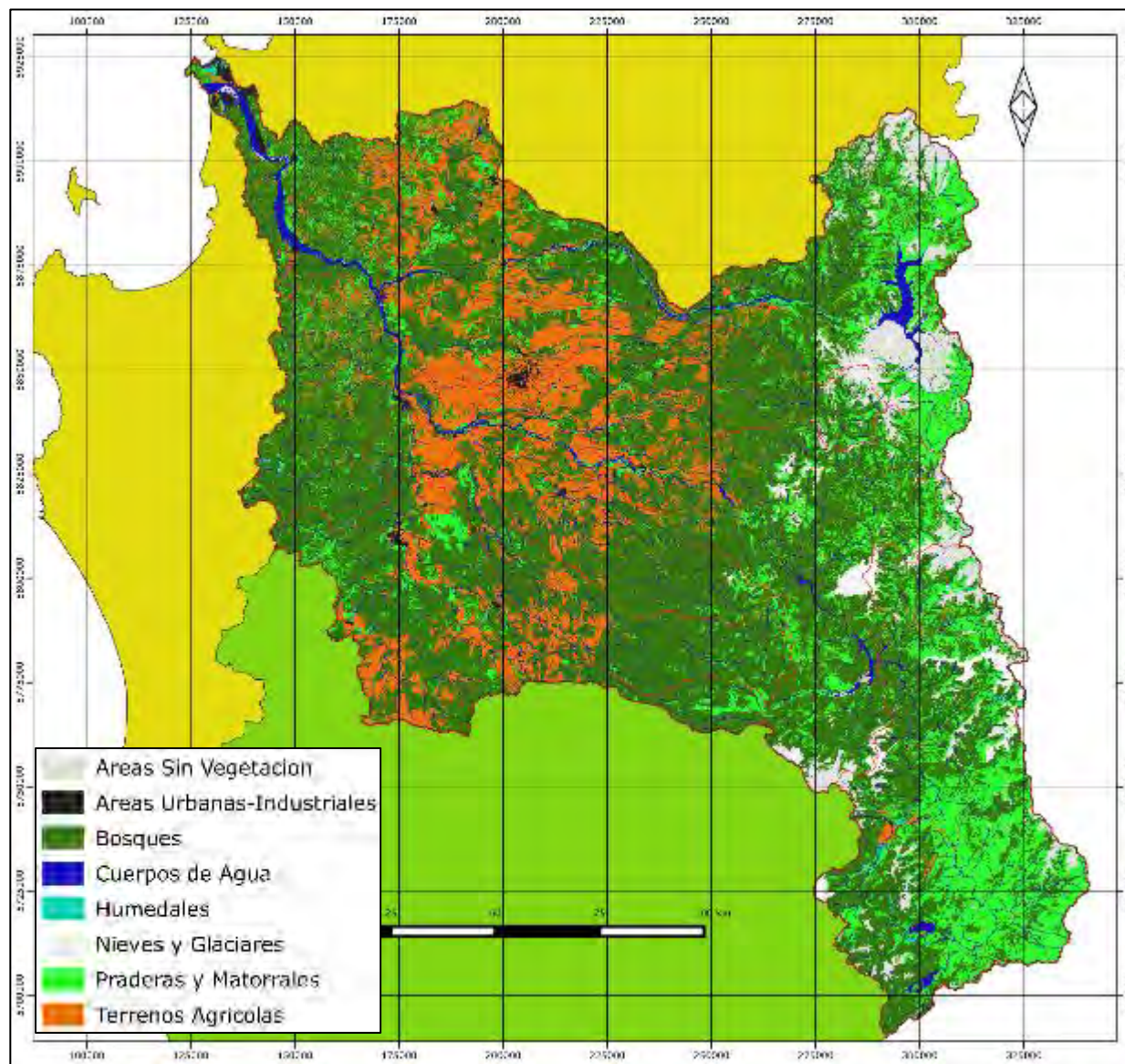
Fuente: Elaboración Propia

pág. 59

5.3 USO DE SUELO DE TODA LA CUENCA

El uso de suelo de la cuenca fue obtenido del CIREN se muestra en la siguiente figura. A continuación, se presentan los principales usos de suelo de la cuenca.

Figura N° 5.3. Mapa de Uso de Suelo de la cuenca del río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla se presenta un desglose de los principales usos de suelo de la cuenca en sus diferentes tipos de cobertura.

Tabla N° 5.5. Principales usos de suelo de la cuenca del río Biobío

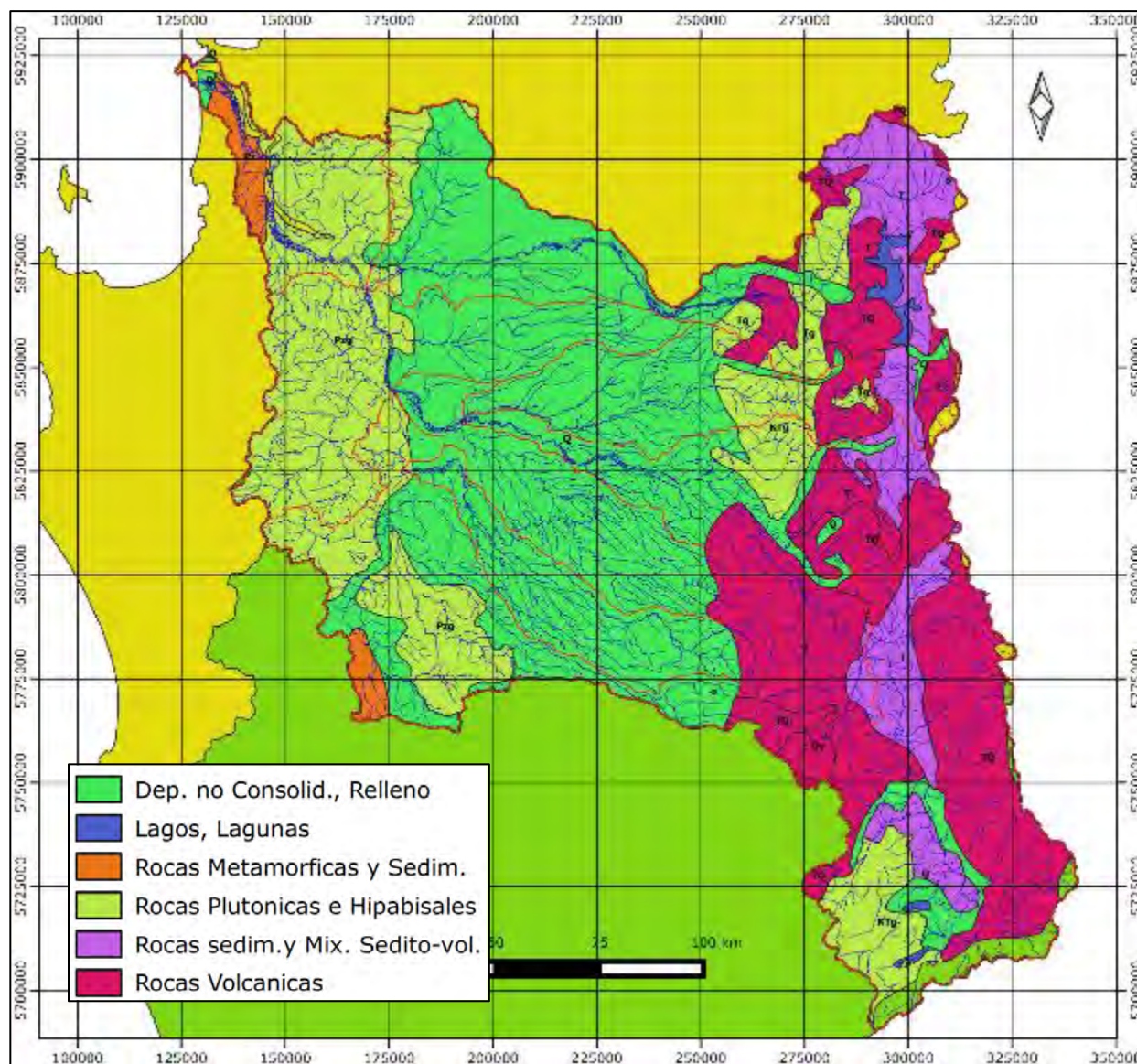
USO SUELO	TIPO USO	DENSIDAD COBERTURA
Afloramientos Rocosos	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Áreas Sobre Límite Vegetación	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Cajas de Ríos	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Corridos de Lava y Escoriales	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Derrumbes Sin Vegetación	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Otros Terrenos Sin Vegetación	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Playas y Dunas	Áreas Sin Vegetación	No aplica
Ciudades-Pueblos-Zonas.Indus.	Áreas Urbanas-Industriales	No aplica
B.Nat.Achaparrado Abierto	Bosques	Abierto
B.Nat.Achaparrado Denso	Bosques	Denso
B.Nat.Achaparrado Semidenso	Bosques	Semidenso
B.Nat.Adulto-Renoval Abierto	Bosques	Abierto
B.Nat.Adulto-Renoval Denso	Bosques	Denso
B.Nat.Adulto-Renoval Semidenso	Bosques	Semidenso
B.Nat-Exóticas Asilv.Semidenso	Bosques	Semidenso
B.Nat-Exóticas Asilves.Abierto	Bosques	Abierto
B.Nat-Exóticas Asilves.Denso	Bosques	Denso
B.Nativo-Plantación Abierto	Bosques	Abierto
B.Nativo-Plantación Semidenso	Bosques	Semidenso
Bosque Nativo Adulto Abierto	Bosques	Abierto
Bosque Nativo Adulto Denso	Bosques	Denso
Bosque Nativo Adulto Semidenso	Bosques	Semidenso
Bosque Nativo-Plantación Denso	Bosques	Denso
Bosques Exóticas Asilvestradas	Bosques	No aplica
Planta.Joven-Recien Cosechada	Bosques	No aplica
Plantación Adulta	Bosques	No aplica
Renoval Abierto	Bosques	Abierto
Renoval Denso	Bosques	Denso
Renoval Semidenso	Bosques	Semidenso
Lago-Laguna-Embalse-Tranque	Cuerpos de Agua	No aplica
Ríos	Cuerpos de Agua	No aplica
Otros Terrenos Húmedos	Humedales	No aplica
Vegas	Humedales	No aplica
Nieves	Nieves y Glaciares	No aplica
Estepa Andina Central	Praderas y Matorrales	No aplica
Matorral Abierto	Praderas y Matorrales	Abierto
Matorral Arborescente. Semidenso	Praderas y Matorrales	Semidenso
Matorral Arborescente Abierto	Praderas y Matorrales	Abierto
Matorral Arborescente Denso	Praderas y Matorrales	Denso
Matorral Denso	Praderas y Matorrales	Denso
Matorral Pradera Abierto	Praderas y Matorrales	Abierto
Matorral Pradera Denso	Praderas y Matorrales	Denso
Matorral Pradera Semidenso	Praderas y Matorrales	Semidenso
Matorral Semidenso	Praderas y Matorrales	Semidenso

Fuente: CIREN

5.4 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La caracterización hidrogeológica fue obtenida del SERNAGEOMIN, la cual se presenta en la figura a continuación.

Figura N° 5.4. Mapa Hidrogeológico cuenca del río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la tabla se presentan las formaciones que componen la caracterización hidrogeológica mostrada en el mapa hidrogeológico.

Tabla N° 5.6. Principales formaciones hidrogeológicas cuenca río Biobío

FORMACION	PERMEABILIDAD	FORMACION PRINCIPAL	IMPORTANCIA HIDROLOGICA	CARACTERISTICA GENERAL
Q	Primaria (en formacion porosa)	Q, Qv, T.	Alta a Media	Dep. no Consolid., Relleno
Pzg	Muy Baja a Ausente (en roca)	Tg,JKg,JTg,Jg,KTg,Pzg,Kg,Mg.	Nula	Rocas Plutonicas e Hipabisales
TQ	Muy Baja a Ausente (en roca)	Qv, TQ, T, Cz, J, K.	Muy Baja	Rocas Volcanicas
	Muy Baja a Ausente (en roca)	Pz	Nula	Rocas Metamorficas y Sedim.
	Muy Baja a Ausente (en roca)	Tg,JKg,JTg,Jg,KTg,Pzg,Kg,Mg.	Nula	Rocas Plutonicas e Hipabisales
Pz	Muy Baja a Ausente (en roca)	Pz	Nula	Rocas Metamorficas y Sedim.
T	Muy Baja a Ausente (en roca)	TQ, T, KT, K, M, J, PzM.	Muy Baja	Rocas sedim.y Mix. Sedito-vol.
	Lagos, Lagunas	Lagos, Lagunas	Lagos, Lagunas	Lagos, Lagunas
T	Muy Baja a Ausente (en roca)	Qv, TQ, T, Cz, J, K.	Muy Baja	Rocas Volcanicas
	Muy Baja a Ausente (en roca)	Qv, TQ, T, Cz, J, K.	Muy Baja	Rocas Volcanicas
Tg	Muy Baja a Ausente (en roca)	Tg,JKg,JTg,Jg,KTg,Pzg,Kg,Mg.	Nula	Rocas Plutonicas e Hipabisales
	Muy Baja a Ausente (en roca)	TQ, T, KT, K, M, J, PzM.	Muy Baja	Rocas sedim.y Mix. Sedito-vol.
KTg	Muy Baja a Ausente (en roca)	Tg,JKg,JTg,Jg,KTg,Pzg,Kg,Mg.	Nula	Rocas Plutonicas e Hipabisales
Qv	Muy Baja a Ausente (en roca)	Qv, TQ, T, Cz, J, K.	Muy Baja	Rocas Volcanicas

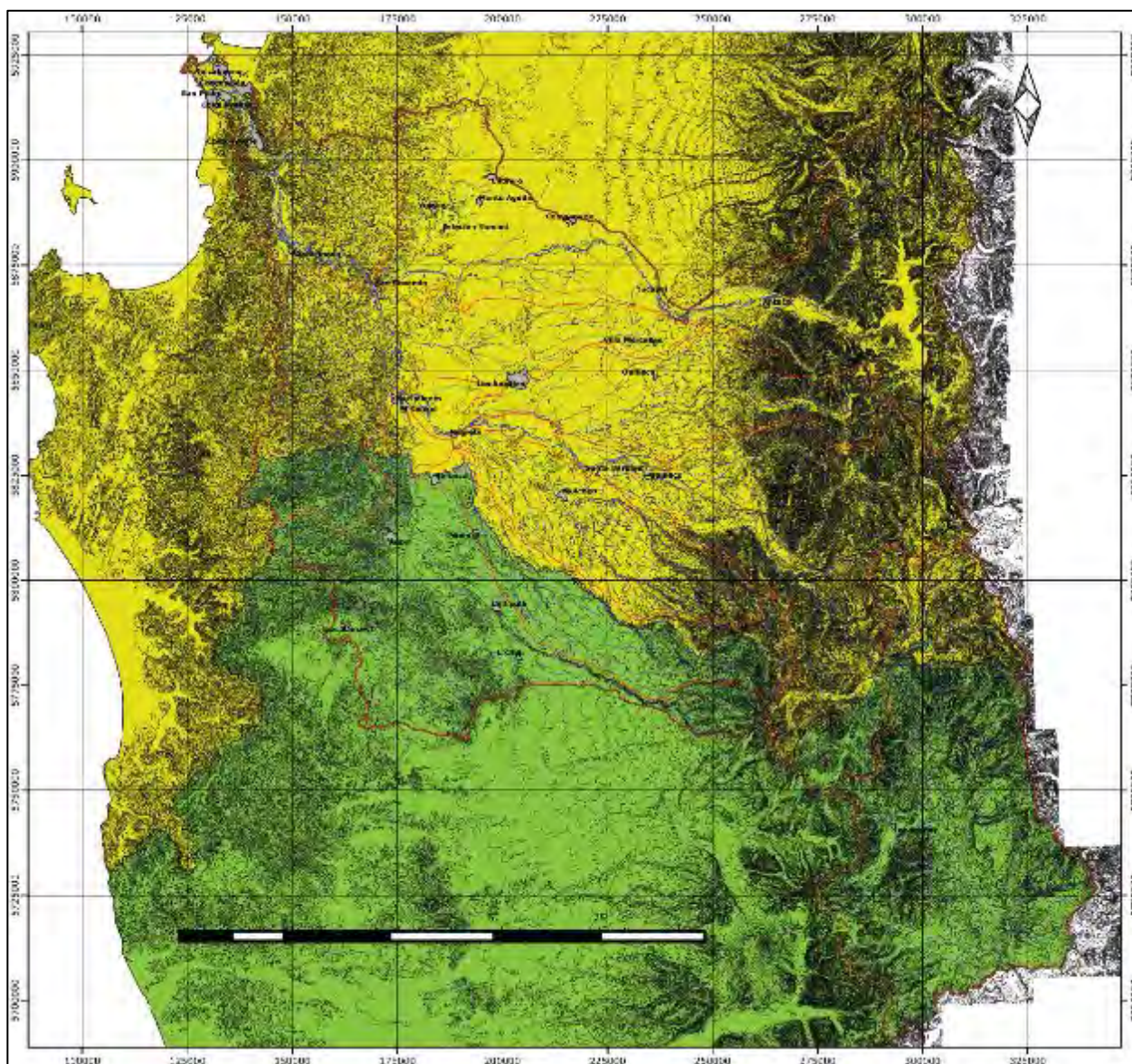
Fuente: SERNAGEOMIN

Respecto a la zona de estudio, según los análisis de SERNAGEOMIN, esta se emplaza en las unidades Pzg, Pz, Q y G.

5.5 TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA

La topografía de la región se obtuvo del IGM en una escala 1:50.000 que corresponde a la mayor resolución disponible. El mapa elaborado con las curvas de nivel de esta topografía, se presenta en la siguiente figura.

Figura N° 5.5. Mapa de Curvas de Nivel cuenca del río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

Mayores antecedentes pueden ser consultados en Anexo de Planos del presente Informe.

5.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Los antecedentes de evapotranspiración potencial se obtuvieron mediante el método de Penman-Monteith propuesto por la FAO.

Mayores antecedentes pueden ser consultados en Anexo de Planos del presente Informe.

5.7 NIVELES DE EMBALSE Y CURVAS DE DESCARGA

Los niveles de los embalses presentes en la cuenca son relevantes para la elaboración de un SAT ya que representan un punto de control de la cuenca, donde se tiene una descarga conocida en función del nivel del embalse y que sigue una regla de operación tanto en la explotación normal como en crecidas.

La presencia de embalses en la parte alta de cuenca altera el régimen nival de ésta y en crecidas salvo una falla, que provocaría una catástrofe de proporciones, se tiene el control de la descarga a través del vertedero de seguridad de los embalses. Esta curva de descarga, como ya se mencionó, depende del nivel del agua en el embalse por lo que es relevante tener esos datos para la aplicación del sistema de pronóstico de crecidas. Los embalses presentes en el río Biobío son Ralco, Pangue y Angostura, cuyas centrales hidroeléctricas asociadas tienen el mismo nombre del embalse, y en el río Laja el embalse Laja cuya central asociada es El Toro.

Se ha demostrado en los estudios recopilados (Estudio “EFECTO DEL SISTEMA DE EMBALSES RALCO PANGUE EN LAS CRECIDAS DEL RIO BIOBÍO”) que éstos solo tienen influencia en la parte alta y media de la cuenca, representando menos de un 30% del caudal de crecida en la parte baja que es la zona más propensa a sufrir inundaciones por desborde de los ríos.

Las curvas de descarga y niveles de cada embalse a la fecha de redacción del presente documento técnico, no han sido proporcionados por las empresas eléctricas propietarias de cada uno, en este caso se trata de ENEL y Colbún. En la siguiente etapa, se continuará insistiendo en solicitar la información, sin perjuicio de no disponer de estos antecedentes, estos se deben integrar a la red de monitoreo en tiempo real del sistema.

Dentro de la información entregada por las empresas están los planes de contingencia ante crecidas o rotura de la presa para el embalse Angostura, y las reglas de operación y tránsito de crecidas para el embalse Ralco; en estos se plantea información relevante que debe ser incluida en el SAT ya que la inundación producto de la falla de una presa puede ser más devastadora que una originada por una crecida del río. Esta información será incluida dentro de los antecedentes de este estudio.

5.8 ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACION HIDROLÓGICA

Los datos hidrológicos disponibles y presentados en el presente documento, tienen 4 deficiencias principales:

- **Calidad:** la calidad de los datos se considera regular, debido a que casi todas las estaciones presentan periodos con lagunas en sus registros; estas lagunas, dada la corta longitud los registros en gran parte de las estaciones, hacen que los datos no sean utilizables para los fines de obtener un SAT. Además, la consistencia de los datos es cuestionable, especialmente en los registros más antiguos, los cuales dependían fuertemente de quien era el operador que tomaba los datos.
- **Cantidad:** los datos con los que cuentan las estaciones antes de la automatización corresponden a un par de mediciones diarias (mañana y tarde), lo que no los hace aptos para caracterizar crecidas en tiempo real. Esto disminuye dramáticamente la disponibilidad de datos para hacer rastreo de crecidas en intervalos menores a un día, lo que limita la precisión de los modelos hidrológicos a desarrollar.
- **Distribución:** este punto se refiere a la ubicación espacial y densidad de las estaciones disponibles; la densidad es baja, y la mayoría de las estaciones se encuentran en la parte baja de la cuenca. Esta situación disminuye la eficiencia de los modelos ya que no se cuenta con información confiable de una gran parte de la cuenca, por lo que se deben extrapolar valores desde otras estaciones.
- **Disponibilidad:** los datos generalmente son difíciles de acceder, están alojados en una plataforma que presenta muchos problemas y no poseen un estándar entre las diferentes instituciones; esto hace que los datos obtenidos de distintas fuentes deban ser pre-procesados para su utilización, lo que dificulta la operación de un modelo que debe trabajar en tiempo real.

Adicionalmente, es necesario tener presente que existe información en ENEL, antigua ENDESA, que por lo general no están disponibles en forma directa. Esta información ha sido solicitada pero aún no ha sido entregada por la empresa.

Cabe destacar que si bien hace alrededor de unos 30 años que se tienen algunas estaciones con datos horarios reales, la verdadera automatización con datos en tiempo real comenzó hace unos 5 años y no han sido automatizadas todas las estaciones de la red de monitoreo. En el caso de implementarse el sistema de alerta en tiempo real, sólo se podrá utilizar las estaciones automatizadas y el resto sólo podrá utilizarse para calibrar y verificar los modelos propuestos.

No es alcance de este estudio realizar catastro de las tecnologías de medición actuales en la región. Lo cual es relevante realizar en próximos estudios, de modo de analizar si estos responden apropiadamente en situaciones de crecida.

5.8.1 Estaciones Fluviométricas

De las 39 estaciones consideradas y vigentes, 23 poseen transmisión de datos satelital, de las 23 solo 8 poseen más de 30 años de registro, siendo 16 años el promedio de años de registro el de las otras estaciones. Además, muchas de estas estaciones cambiaron de ubicación o sufrieron modificaciones cuando fueron automatizadas, lo que hace que sus datos históricos no sean representativos de la estación actual, lo mismo ocurre con algunas crecidas que destruyen las estaciones y después estas al ser reparadas cambian su configuración.

Más importante desde el punto de vista hidráulico para un eventual rastreo de la crecida se encuentra el tema de la extrapolación de la curva de descarga de las estaciones, especialmente en crecidas. Revisando los datos se encontró que todas las estaciones presentan datos en la zona extrapolada de la curva durante las crecidas de cierta importancia, restando validez a los datos entregados, por lo que es relevante realizar a futuro un catastro a las tecnologías de medición empleadas actualmente en la región. En general las extrapolaciones se hacen mediante ajustes de mínimos cuadrados, tomando como base los aforos con caudales bajos, muy inferiores a los extrapolados para las crecidas. Esto constituye un problema, ya que para dar confiabilidad a esas extrapolaciones se debe revisar la parte alta de las curvas de descarga mediante estudios hidráulico - fluviales, que tomen en cuenta los aspectos relacionados con los cambios de sección, de rugosidad en las zonas altas de los cauces y de eventuales influencias de singularidades tanto aguas abajo como aguas arriba de las secciones de aforo existentes.

Finalmente hay que hacer presente que de las estaciones que presentan un mejor registro de los datos se encuentran en zonas que no son susceptibles de ser inundadas y ríos que son de menor importancia durante una crecida.

5.8.2 Estaciones Meteorológicas

De las 33 estaciones meteorológicas consideradas y vigentes solo 12 poseen transmisión satelital y de estas solo 3 poseen más de 30 años de datos los cuales no están completos y no todas tienen registro horario de precipitaciones. La automatización de estas lleva en promedio un año funcionando y la ubicación espacial de éstas no cubre la parte alta de la cuenca. No existe monitoreo de la línea de nieves ni de glaciares.

En general el monitoreo meteorológico es bien pobre, con densidad de una estación por cada 650 km² aproximadamente y la mayoría ubicada en la parte baja de la cuenca, este valor es muy bajo para implementar un SAT robusto.

5.9 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO

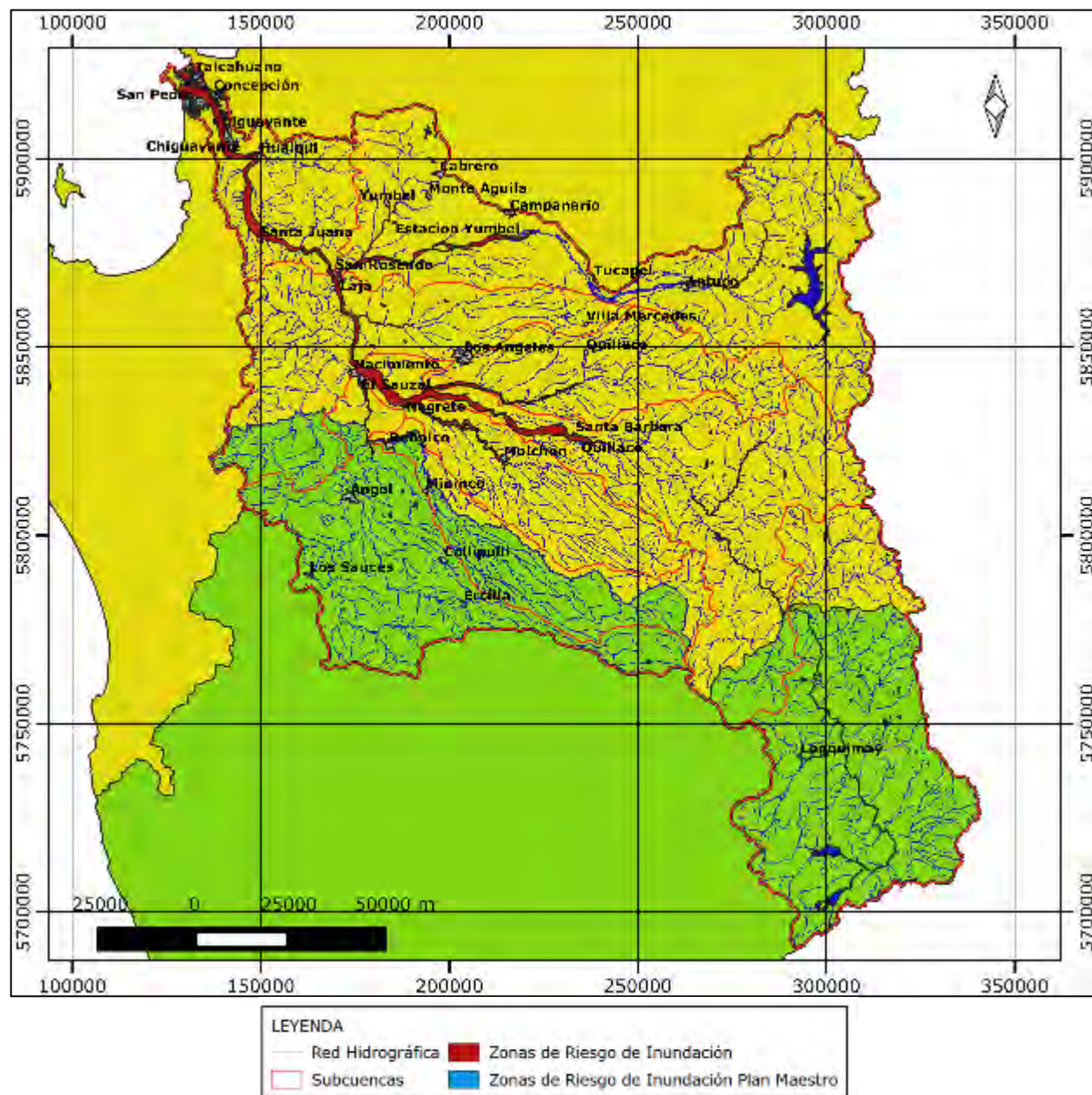
A partir del análisis de la bibliografía del proyecto, de las visitas a terreno, y del levantamiento de información de prensa e internet, se determinaron las siguientes zonas o localidades ribereñas con riesgo producto de las crecidas de los ríos:

- Mulchén, Ríos Bureo y Mulchén.
- Laja y San Rosendo, Río Laja.
- Nacimiento y El Sauzal, Río Vergara.
- Santa Bárbara y Quilaco, Río Biobío.
- Hualqui, Río Biobío.
- Concepción, Río Biobío.
- San Pedro de la Paz, Río Biobío.
- Chiguayante, Río Biobío
- Coronel, sector ribereño río Biobío.
- Negrete, La Suerte y Mesamavida, sector confluencia río Biobío, río Duqueco y estero Paillihue.
- Los Ángeles, Estero Quilque.
- Ruta 5, cruce con río Duqueco.

De todas las zonas antes mencionadas la más afectada por las crecidas es Hualqui y sus alrededores, y en general la zona baja del río Biobío, entre la desembocadura y San Rosendo.

A continuación, se presenta una imagen con información sobre zonas de inundación que incorpora antecedentes levantados en un estudio del MOP en 2013 – 2014 proporcionada por el Gobierno Regional de la Región del Biobío.

**Figura N° 5.6. Mapa con zonas de inundación identificadas en estudio MOP
2013 – 2014**



Fuente: Elaboración Propia

Mayor detalle del mapa, se puede encontrar en el Anexo de Planos del Informe.

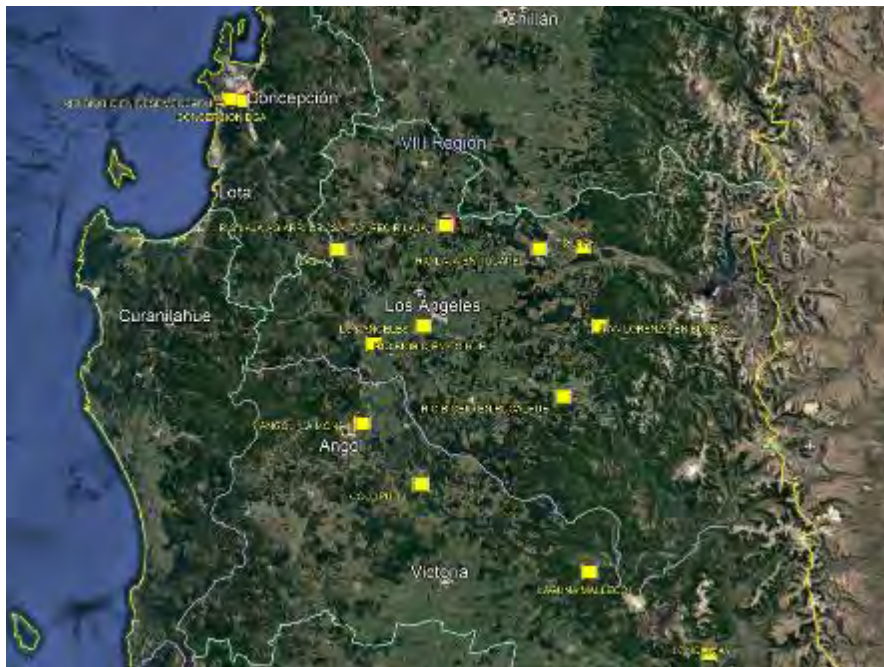
5.10 ESTADÍSTICA Y RELLENO DE ESTACIONES PRINCIPALES

5.10.1 Metodología de Análisis de Información de Precipitación Diaria

5.10.1.1 Recopilación Información

- a) Datos obtenidos desde el sitio de reportes hidrometeorológicos de la DGA.
<http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- b) Se seleccionaron 14 estaciones de la cuenca hidrográfica Río Biobío, considerando estaciones con información vigente y con la mayor cantidad de datos posible, distribuidas en zonas representativas de la cuenca. A continuación se presenta los criterios de selección, enumerados en orden de prevalencia e importancia en la decisión:
 - Estación con transmisión satelital (no excluyente)
 - Estaciones con vigencia.
 - Estaciones con mayor cantidad de información posible (años)
 - Estaciones con estándar actualizado (instalación reciente)
 - Estaciones pluviométricas representativas de cada zona representativa de la cuenca.
 - Estaciones distribuidas en las subcuencas principales

Figura N° 5.7. Estaciones Pluviométricas Seleccionadas



Fuente: Elaboración Propia

- c) En archivo “Estaciones hidrométricas – Cuenca Biobio.xls” alojado en el Anexo 3, se indican gráficamente los periodos de información disponible en cada estación, con fechas de instalación y supresión de cada estación. Se consideran estaciones con información a partir del año 1928 a 2019
- d) Se descargaron los datos de Precipitaciones Diarias de las 14 estaciones seleccionadas indicadas en archivos “estaciones seleccionadas.xls” y “estaciones seleccionadas.kmz” alojadas en el Anexo 3 del Informe. En la planilla se indican los años con y sin datos de cada estación pluviométrica.
- e) Se analizó un periodo de 35 años (1983 a 2018).

5.10.1.2 Clasificación Estaciones

- a) Se distribuyen las estaciones según zona geográfica homogéneas: Zona Alta, Zona Intermedia Norte, Zona Intermedia Sur y Zona Costera.

5.10.1.3 Análisis de Consistencia

- a) Se analiza la consistencia de los datos descargados (originales) realizando histogramas y curva acumulada de cada estación, luego se grafica la curva doble masa acumulada de las combinaciones posibles entre estación de cada zona homogénea definida.

5.10.1.4 Relleno de Información

- a) De las curvas doble masa acumulada en cada zona homogénea, se calculan los coeficientes de correlación de todas las combinaciones posibles, optando por utilizar las estaciones con mejor correlación entre ellas para el relleno de estadística faltante.
- b) En general se decide realizar el relleno con método de "Combinación Lineal Ponderada", pues al faltar información de años completos en algunas estaciones cercanas se imposibilita utilizar el método de "Razón Normal". Sin embargo, se pudo utilizar ambos métodos en la estación Laguna Malleco verificando que ambos métodos entregan resultados coherentes.
- c) El método de combinación lineal ponderada fue utilizado con los datos de las series de estaciones cercanas con información existente, y con mejor correlación estadística respecto a la rellenada. Esta metodología indica que para un instante t determinado, el dato incompleto $x(t)$ se puede expresar como:

$$x(t) = \frac{r_1 \cdot x_1(t) + r_2 \cdot x_2(t) + r_3 \cdot x_3(t) + \dots}{r_1 + r_2 + r_3 + \dots}$$

Donde:

r_i : es el coeficiente de correlación entre la serie i -enésima y la serie incompleta y $x_i(t)$ es el valor del instante t de la serie i -énésima.

Los coeficientes de correlación son los calculados en las curvas de doble masa acumulada. La ventaja de este método es que el número de series que se utilizan para el relleno es arbitrario en principio, bastando una estación cercana y con buena correlación para completar información.

5.10.1.5 *Análisis de Consistencia con relleno de datos*

- a) Finalmente se analiza la consistencia de los datos rellenos realizando la curva acumulada de cada estación y curva doble masa acumulada de las posibles combinaciones entre estación distribuida por zona, para verificar la consistencia de la información rellena.
- b) Se entregan planillas con información rellena para cada estación analizada. Los datos rellenos se visualizan en color rojo.

5.10.1.6 *Consideraciones especiales relleno precipitación:*

- a) En estaciones ubicadas en Zona Costera fue posible realizar el relleno de datos desde el periodo 1996 a 2018, ya que en el periodo anterior sólo contiene información la estación Laja.

5.10.1.7 *Análisis de frecuencia. Curvas de Duración*

- a) Para confeccionar las curvas de duración se ajustaron distribuciones de probabilidad a las series anuales de los datos de las precipitaciones diarias máximas para cada estación en estudio. Las curvas de duración se calcularon para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 200 años.
- b) Para cada serie de datos se ajustaron las distribuciones de probabilidad comúnmente usadas en hidrología, utilizándose en este estudio específicamente 6 distribuciones teóricas para el ajuste de los datos, a saber: Normal, Log-Normal, Log-Pearson III, General de Valores Extremos (GEV), Gumbel o Valores Extremos Tipo I (EVI) y Weibull.
- c) Las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste se determinaron con una 'prueba de bondad de ajuste', la cual consiste en un procedimiento que compara los resultados de la muestra con aquellos que se espera observar si la distribución propuesta es correcta. Asumiendo una probabilidad de equivocarnos, rechazamos la distribución propuesta si existe una diferencia suficiente entre las frecuencias observadas y las esperadas. Esta probabilidad

de error se conoce como significancia y la distribución propuesta o teórica se conoce como hipótesis nula. Para este estudio se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual es aplicable a muestras de tamaño pequeño y se basa en una comparación entre las funciones de distribución acumulativa que se observan en la muestra ordenada y la distribución propuesta bajo la hipótesis nula. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y propuesta, entonces la hipótesis nula de que la distribución es la teórica, se rechaza.

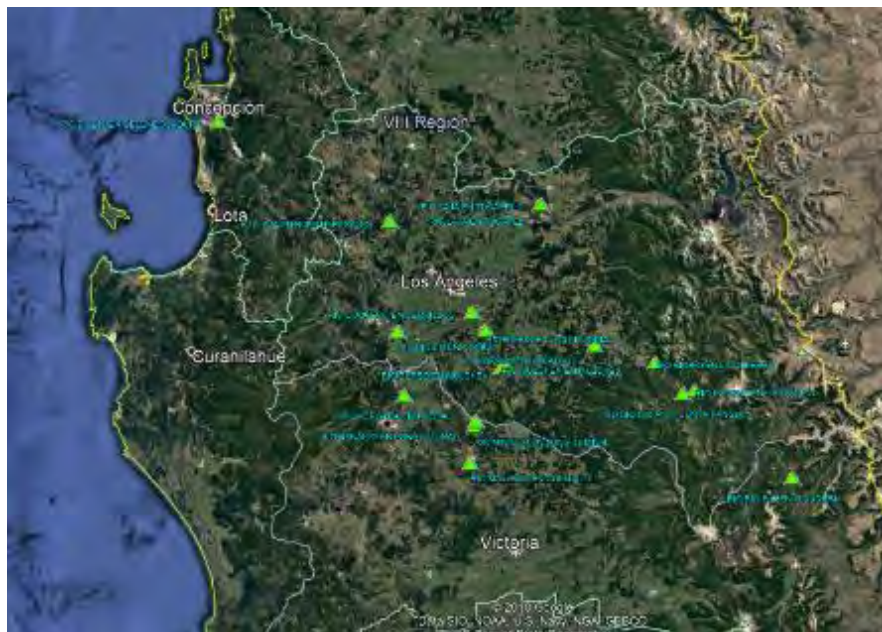
- d) En el Anexo 3 se indica en cada tabla de resultados la distribución de probabilidad que se estimó con mejor ajuste para cada serie de datos por estación, adjuntándose en la sección 5.11 los gráficos de las curvas de duración resultantes

5.10.2 Metodología Análisis información Caudal

5.10.2.1 Información

- a) Datos obtenidos desde el sitio de reportes hidrometeorológicos de la DGA. <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- b) Se seleccionaron 18 estaciones de la cuenca hidrográfica Río Biobío, considerando estaciones con información vigente y con la mayor cantidad de datos posible, distribuidas en las subcuencas principales de la cuenca del Biobío. A continuación se presenta los criterios de selección, enumerados en orden de prevalencia e importancia en la decisión:
- Estación con transmisión satelital (no excluyente).
 - Estaciones con vigencia.
 - Estaciones con mayor cantidad de información posible (años)
 - Estaciones con estándar actualizado (instalación reciente)
 - Estaciones pluviométricas representativas de cada zona representativa de la cuenca.
 - Estaciones distribuidas en las subcuencas principales

Figura N° 5.8. Estaciones Fluviométricas Seleccionadas



Fuente: Elaboración Propia

- c) En archivo "Estaciones hidrométricas – Cuenca Biobio.xls" alojado en el Anexo 3, se indican gráficamente los períodos de información disponible en cada estación, con fechas de instalación y supresión de estación una. Se consideran estaciones con información a partir del año 1928 a 2019
- d) Se descargaron los datos de Caudales Medios Diarios y Caudales Máximos Instantáneos de las 18 estaciones seleccionadas indicadas en archivos "estaciones seleccionadas.xls" y "estaciones seleccionadas.kmz". En la planilla se indican los años con y sin datos de cada estación Fluviométrica.
- e) De las planillas de caudales medios diarios descargadas, se seleccionaron para cada estación los caudales máximos por cada mes y años de estadística disponible, generándose para cada estación una planilla de datos de Caudales Máximos Medios Diarios.

5.10.2.2 Clasificación

- a) Se distribuyen las estaciones según subcuencas principales y su ubicación, esto es: Subcuencas Río Biobío, Subcuenca Río Laja, Subcuencas Afluentes Norte y Subcuencas Afluentes Sur.

5.10.2.3 *Análisis de consistencia*

- a) Se analiza la consistencia de los datos realizando el histograma y curva acumulada de cada estación, luego se grafica la curva doble masa acumulada de las posibles combinaciones entre estaciones de cada zona definida como comparable.

5.10.2.4 *Relleno de Información*

- a) Con las curvas doble masa acumulada de las combinaciones entre estación por zona, se verifica la correlación que existe entre ellas, optando por la mejor correlación para el relleno.
- b) Se dispone de los métodos “Combinación Lineal Ponderada” y “Razón Normal” para el relleno de datos de cada estación, con el fin de utilizar el más óptimo para el estudio.
- c) El método de combinación lineal ponderada fue utilizado con los datos de las series de estaciones cercanas con información existente, y con mejor correlación estadística respecto a la rellenada. Esta metodología indica que para un instante t determinado, el dato incompleto $x(t)$ se puede expresar como:

$$x(t) = \frac{r_1 \cdot x_1(t) + r_2 \cdot x_2(t) + r_3 \cdot x_3(t) + \dots}{r_1 + r_2 + r_3 + \dots}$$

Donde:

r_i : es el coeficiente de correlación entre la serie i -enésima y la serie incompleta y $x_i(t)$ es el valor del instante t de la serie i -énésima.

Los coeficientes de correlación son los calculados en las curvas de doble masa acumulada. La ventaja de este método es que el número de series que se utilizan para el relleno es arbitrario en principio, bastando una estación cercana y con buena correlación para completar información.

5.10.2.5 *Análisis de consistencia con relleno de datos*

- a) Finalmente se analiza la consistencia de los datos rellenados realizando la curva acumulada de cada estación y curva doble masa acumulada de las posibles combinaciones entre estación distribuida por su ubicación, debiendo resultar una línea creciente recta.
- b) Se entregan planillas con información rellenada para cada estación analizada. Los datos rellenados se visualizan en color rojo.

5.10.2.6 Consideraciones especiales relleno caudal:

- a) Se decide realizar el relleno con método de "Combinación Lineal Ponderada".
- b) En estación Río Biobío en Longitudinal no fue posible utilizar el método de relleno, pues el periodo de información disponible es limitado y su correlación con estaciones cercanas es menor a 0.3.
- c) En las estaciones del grupo Río Laja fue posible realizar el relleno de datos desde el periodo 1993 a 2018, ya que en el período anterior sólo contiene información la estación Laja en Puente Perales. Sin embargo, para lograr esto (ya que la estación Laja en Tucapel 2 presenta un período limitado de información), y sólo la estación Laja en Puente Perales no basta para hacer un relleno consistente de las demás estaciones, se busca una correlación entre "Laja en Puente Perales" con "Laja en Tucapel 2", en el período donde poseen información (2010 a 2018), para así lograr extender el período de relleno de estadística.

5.10.2.7 Análisis de frecuencia. Curvas de Duración

- e) Para confeccionar las curvas de duración se ajustaron distribuciones de probabilidad a las series anuales de los datos de caudales medios diarios máximos para cada estación en estudio. Las curvas de duración se calcularon para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 200 años.
- f) Para cada serie de datos se ajustaron las distribuciones de probabilidad comúnmente usadas en hidrología, utilizándose en este estudio específicamente 6 distribuciones teóricas para el ajuste de los datos, a saber: Normal, Log-Normal, Log-Pearson III, General de Valores Extremos (GEV), Gumbel o Valores Extremos Tipo I (EVI) y Weibull.
- g) Las distribuciones de probabilidad de mejor ajuste se determinaron con una 'prueba de bondad de ajuste', la cual consiste en un procedimiento que compara los resultados de la muestra con aquellos que se espera observar si la distribución propuesta es correcta. Asumiendo una probabilidad de equivocarnos, rechazamos la distribución propuesta si existe una diferencia suficiente entre las frecuencias observadas y las esperadas. Esta probabilidad de error se conoce como significancia y la distribución propuesta o teórica se conoce como hipótesis nula. Para este estudio se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov, la cual es aplicable a muestras de tamaño pequeño y se basa en una comparación entre las funciones de distribución acumulativa que se observan en la muestra ordenada y la distribución propuesta bajo la hipótesis nula. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y propuesta, entonces la hipótesis nula de que la distribución es la teórica, se rechaza.

- h) En el Anexo 3 se indica en cada tabla de resultados la distribución de probabilidad que se estimó con mejor ajuste para cada serie de datos por estación, adjuntándose en la sección 5.11 los gráficos de las curvas de duración resultantes.

5.10.3 Resultados

En la siguiente tabla se presenta una síntesis del rango de datos disponibles y comentarios a la correlación.

Tabla N° 5.7. Rango de Datos Disponibles y Consistencias – Pluviométricas y Fluvimétricas

Nombre estación pluviométrica	Rango datos disponibles	%	Rango datos rellenados	%	Dispone transmisión satelital	Estación vigente	Comentario respecto a correlación, consistencia o relleno
ZONA ALTA							
LAGUNA MALLECO	1983 - 2018	94%	Diario	6%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno días puntuales
LONQUIMAY	1987 - 2018	83%	1983 - 1986	17%	SI	SI	Buena correlación, relleno en periodo señalado más días puntuales
RÍO BIOBÍO EN RUCALHUE	2001 - 2018	44%	1983 - 2000	56%	SI	SI	Buena correlación, relleno en periodo señalado más meses faltantes
SAN LORENZO EN BIOBÍO	1992 - 2018	69%	1983 - 1991	31%	NO	SI	Buena correlación, relleno en periodo señalado más días puntuales
TRUPAN	1983 - 2018	97%	Diario	3%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno días puntuales
ZONA INTERMEDIA							
ANGOL (LA MONA)	1983 - 2018	81%	Diario	19%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno días puntuales
COLLIPULLI	1983 - 2010	69%	2010 - 2018	31%	SI	NO	Buena correlación, relleno periodo señalado más días puntuales
LOS ANGELES	1983 - 2018	97%	Diario	3%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno días puntuales
RÍO BIOBÍO EN COIHUE	2010 - 2018	19%	1983 - 2009	81%	SI	SI	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes
RÍO LAJA AG.ARR. DEL SALTO (REC.R.LAJA)	2010 - 2018	17%	1983 - 2009	83%	SI	SI	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes

RÍO LAJA EN TUCAPEL	2001 - 2015	28%	83 - 00 / 15 - 18	72%	SI	SI	Buena correlación, relleno periodo señalado más días puntuales
ZONA COSTERA							
CONCEPCIÓN DGA.	1996 - 2018	58%	1983 - 1995	42%	SI	SI	Buena correlación, relleno en periodo señalado más días puntuales
LAJA	1983 - 2018	97%	Diario	3%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno días puntuales
RIO BIOBÍO EN DESEMBOCADURA	2001 - 2018	44%	1983 - 2000	56%	SI	SI	Buena correlación, relleno periodo señalado más meses faltantes

Fuente: Elaboración Propia

Nombre estación Fluviométrica	Rango datos disponibles	%	Rango datos rellenados	%	Dispone transmisión satelital	Estación vigente	Comentario respecto a correlación, consistencia o relleno
RIO BIOBIO							
RÍO BIOBÍO EN RUCALHUE	1983 - 2018	92%	Puntuales	8%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO BIOBÍO EN LONGITUDINAL	2011 - 2015	11%	83 - 10 / 16 - 18	89%	SI	SI	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes
RÍO BIOBÍO EN DESEMBOCADURA	1983 - 2018	94%	Puntuales	6%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO BIOBÍO EN COIHUE	1984 - 2018	83%	1983	17%	SI	SI	Buena correlación, relleno periodo señalado más meses faltantes
RIO BIO BIO ANTE JUNTA PANGUE	2002-2018	94%	Puntuales	6%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RIO PANGUE EN CAPTACION	2003-2018	94%	Puntuales	6%	SI	SI	Buena correlación, relleno puntuales
RIO BIO BIO EN LLANQUEN	2003-2018	94%	Puntuales	6%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RIO BIOBIO EN LA CULEBRA	2014-2018	83%	Puntuales	17%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RIO LAJA							
RÍO LAJA EN TUCAPEL	1993 - 2015	36%	83 - 92 / 16 -18	64%	NO	SI	Buena correlación, relleno periodo señalado más meses faltantes

RÍO LAJA EN PUENTE PERALES	1983 - 2018	92%	Puntuales	8%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO LAJA EN TUCAPEL 2	2015 - 2018	11%	1983 - 2014	89%	SI	SI	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes
AFLUENTES NORTE							
RÍO DUQUECO EN CERRILLOS	1983 - 2018	89%	Puntuales	11%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO MULCHEN EN MULCHEN	1983 - 2010	67%	2011 - 2018	33%	SI	SI	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes
RÍO BUREO EN MULCHEN	1983 - 2009	67%	2010 - 2018	33%	NO	NO	Correlación con pocos datos, relleno en periodo señalado más meses faltantes
AFLUENTES SUR							
RÍO RENAICO EN LONGITUDINAL	1983 - 2018	86%	Puntuales	14%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO MALLECO EN COLLIPULLI	1983 - 2018	92%	Puntuales	8%	SI	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO VERGARA EN TIJERAL	1983 - 2018	86%	Puntuales	14%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales
RÍO MININCO EN LONGITUDINAL	1983 - 2018	94%	Puntuales	6%	NO	SI	Buena correlación, consistente y relleno puntuales

En las tablas siguientes se presenta una síntesis de los resultados obtenidos, para mayor detalle ver Anexo N° 3.

Tabla N° 5.8. Caudales Máximos (m³/s)

AÑO	RIO BIOBIO EN RUCALHUE	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	2972	17-jun
1984	2488	18-jul
1985	3362	27-may
1986	3599	17-jun
1987	2052	12-jul
1988	1510	22-jun
1989	2267	28-jun
1990	2693	10-sep
1991	4179	28-may
1992	2519	01-jun
1993	4297	26-jun
1994	3362	24-jul
1995	2599	11-jul
1996	1583	12-jun
1997	3014	29-jul
1998	515	16-ago
1999	1363	06-sep
2000	3260	30-jun
2001	4803	03-jul
2002	3519	24-ago
2003	4442	20-jun
2004	1229	12-abr
2005	1928	02-jul
2006	5589	11-jul
2007	915	dato completado
2008	1345	20-may
2009	3093	dato completado
2010	1357	23-jun
2011	1317	12-ago
2012	1013	28-may
2013	1060	10-sep
2014	4109	dato completado
2015	1514	05-jun
2016	698	16-ago
2017	888	06-oct
2018	1628	dato completado

AÑO	RIO BIOBIO EN LONGITUDINAL	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	6162	dato completado
1984	4124	dato completado
1985	4321	dato completado
1986	5722	dato completado
1987	3474	dato completado
1988	2591	dato completado
1989	4192	dato completado
1990	3596	dato completado
1991	7733	dato completado
1992	4811	dato completado
1993	5848	dato completado
1994	5451	dato completado
1995	4161	dato completado
1996	2176	dato completado
1997	5257	dato completado
1998	1191	dato completado
1999	2683	dato completado
2000	4584	dato completado
2001	7107	dato completado
2002	6641	dato completado
2003	7350	dato completado
2004	2108	dato completado
2005	4306	dato completado
2006	8746	dato completado
2007	1258	dato completado
2008	2927	dato completado
2009	3098	dato completado
2010	2118	dato completado
2011	2031	43689
2012	1458	dato completado
2013	1524	43684
2014	2931	43679
2015	2786	43706
2016	1016	dato completado
2017	1741	dato completado
2018	2038	dato completado

AÑO	RIO DUQUECO EN CERRILLOS	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983	1194	17-jun
1984	615	01-jul
1985	699	28-may
1986	775	13-jun
1987	389	14-ago
1988	404	23-ago
1989	735	29-ago
1990	474	10-sep
1991	644	09-jul
1992	643	05-jun
1993	953	26-jun
1994	276	19 y 20-09-2019
1995	447	11-jul
1996	295	12-jun
1997	647	20-jun
1998	125	17-ago
1999	433	06-sep
2000	418	07-ago
2001	904	03-jul
2002	237	dato completado
2003	171	dato completado
2004	357	12-abr
2005	820	02-jul
2006	1554	11-jul
2007	220	05-jul
2008	488	04-ago
2009	474	05-jul
2010	290	23-jun
2011	502	12-ago
2012	313	28-may
2013	335	12-ago
2014	766	29-jul
2015	650	29-ago
2016	237	25-jul
2017	443	06-oct
2018	388	27-jun

AÑO	RIO MULCHEN EN MULCHEN	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983	71	17-jun
1984	197	24-may
1985	95	03-jul
1986	183	13-jun
1987	90	14-ago
1988	82	19-ago
1989	159	29-jun
1990	87	07-ago
1991	196	29-may
1992	224	05-jun
1993	183	08-jul
1994	148	24-jul
1995	119	24-ago
1996	51	15-jun
1997	140	20-jun
1998	25	17-ago
1999	333	dato completado
2000	128	30-jun
2001	609	dato completado
2002	133	24-ago
2003	261	dato completado
2004	56	20-jun
2005	143	02-jul
2006	1004	dato completado
2007	73	14-ago
2008	128	02-sep
2009	225	dato completado
2010	137	dato completado
2011	238	dato completado
2012	148	dato completado
2013	159	dato completado
2014	363	dato completado
2015	308	dato completado
2016	112	dato completado
2017	210	dato completado
2018	184	dato completado

AÑO	RIO BUREO EN MULCHEN	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	355	17-jun
1984	354	17-jul
1985	308	02-jul
1986	372	13-jun
1987	327	12-jul
1988	227	18 y 19-08-2019
1989	361	28-jun
1990	206	07-ago
1991	429	28-may
1992	391	05-jun
1993	384	08-jul
1994	352	24-jul
1995	346	23-ago
1996	216	12-jun
1997	336	23-abr
1998	129	16-ago
1999	278	20-ago
2000	340	30-jun
2001	400	28-may
2002	340	24-ago
2003	341	20-jun
2004	173	02-jul
2005	301	28-may
2006	509	11-jul
2007	107	19-jul
2008	303	01-sep
2009	344	dato completado
2010	210	dato completado
2011	364	dato completado
2012	227	dato completado
2013	243	dato completado
2014	555	dato completado
2015	471	dato completado
2016	172	dato completado
2017	321	dato completado
2018	281	dato completado

AÑO	RIO RENAICO EN LONGITUDINAL	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	257	17-jun
1984	257	17-jul
1985	462	27-may
1986	534	17-jun
1987	306	13-jul
1988	234	19-ago
1989	526	29-jun
1990	312	10-sep
1991	524	28-may
1992	549	01-jun
1993	506	26-jun
1994	677	25-jul
1995	451	11-jul
1996	132	15-jun
1997	644	20-jun
1998	72	17-ago
1999	312	01-sep
2000	500	11-sep
2001	641	28-may
2002	601	24-ago
2003	790	20-jun
2004	245	02-jul
2005	521	29-may
2006	455	dato completado
2007	119	dato completado
2008	361	02-sep
2009	147	23-oct
2010	266	dato completado
2011	224	10-ago
2012	199	23-jun
2013	182	01-jun
2014	404	29-jul
2015	267	05-jun
2016	263	25-jul
2017	249	06-oct
2018	254	dato completado

AÑO	RIO MALLECO EN COLLIPULLI	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	371	17-jun
1984	389	17-jul
1985	290	02-jul
1986	372	16-jun
1987	181	11-jul
1988	158	22-jun
1989	310	28-jun
1990	172	10-sep
1991	397	29-may
1992	357	01-jun
1993	304	26-jun
1994	280	24-jul
1995	293	24-ago
1996	107	15-jun
1997	295	20-jun
1998	73	17-ago
1999	180	20-ago
2000	243	04-jun
2001	362	03-jul
2002	394	24-ago
2003	465	dato completado
2004	187	dato completado
2005	501	28-may
2006	666	11-jul
2007	104	19-jul
2008	432	01-sep
2009	173	21-may
2010	554	23-jun
2011	315	10-ago
2012	269	23-jun
2013	221	01-jun
2014	502	29-jul
2015	322	02-jun
2016	200	25-jul
2017	145	06-oct
2018	296	27-jun

AÑO	RIO VERGARA EN TIJERAL	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	326	18-jun
1984	999	27-may
1985	527	03-jul
1986	711	17-jun
1987	627	25-jul
1988	423	29-jul
1989	441	30-jun
1990	526	08-jun
1991	851	29-may
1992	819	05-jun
1993	550	09-jul
1994	515	25-jul
1995	422	25-ago
1996	266	24-ago
1997	581	21-jun
1998	155	17-ago
1999	388	02-sep
2000	584	27-jun
2001	585	02-ago
2002	561	25-ago
2003	530	21-jun
2004	268	13-jul
2005	587	03-jul
2006	493	12-jul
2007	334	14-ago
2008	328	dato completado
2009	270	20-jun
2010	235	09-jul
2011	239	11-ago
2012	165	dato completado
2013	142	dato completado
2014	348	dato completado
2015	153	dato completado
2016	361	26-jul
2017	622	17-jun
2018	392	28-jun

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

AÑO	RIO LAJA EN TUCAPEL	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993	1062	dato completado
1994	751	dato completado
1995	718	dato completado
1996	461	dato completado
1997	777	dato completado
1998	233	dato completado
1999	466	dato completado
2000	412	07-jul
2001	881	03-jul
2002	1001	24-ago
2003	1180	20-jun
2004	444	12-abr
2005	793	02-jul
2006	1334	11-jul
2007	413	05-jul
2008	820	21-may
2009	547	19-jun
2010	258	23-jun
2011	605	12-ago
2012	578	28-may
2013	625	10-sep
2014	863	02-ago
2015	374	dato completado
2016	222	dato completado
2017	333	dato completado
2018	284	dato completado

AÑO	RIO LAJA EN PUENTE PERALES	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983	1330	18-jun
1984	680	18-jul
1985	1058	03-jul
1986	1402	17-jun
1987	707	15-jul
1988	683	30-jun
1989	654	30-jun
1990	652	10-sep
1991	1351	29-may
1992	581	25-may
1993	1126	26-jun
1994	796	25-jul
1995	761	11-jul
1996	489	13-jun
1997	824	20-jun
1998	247	17-ago
1999	494	05-sep
2000	1211	01-jul
2001	1501	04-jul
2002	1706	26-ago
2003	1873	22-jun
2004	374	09-jun
2005	1493	02-jul
2006	2060	12-jul
2007	246	06-jul
2008	1312	23-may
2009	731	19-jun
2010	263	23-jun
2011	387,0959259	dato completado
2012	615	29-may
2013	438	11-sep
2014	754	03-ago
2015	396	06-jun
2016	199	17-jun
2017	295	06-oct
2018	301	28-jun

AÑO	RIO LAJA EN TUCAPEL 2	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993	1113	dato completado
1994	787	dato completado
1995	752	dato completado
1996	483	dato completado
1997	814	dato completado
1998	244	dato completado
1999	488	dato completado
2000	1044	dato completado
2001	1372	dato completado
2002	1559	dato completado
2003	1728	dato completado
2004	388	dato completado
2005	1347	dato completado
2006	1909	dato completado
2007	281	dato completado
2008	1209	dato completado
2009	693	dato completado
2010	262	dato completado
2011	433	dato completado
2012	607	dato completado
2013	477	dato completado
2014	777	dato completado
2015	391	dato completado
2016	300	16-ago
2017	462	06-oct
2018	297	dato completado

AÑO	RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA	
	Q máx. (m ³ /s)	fecha
1983	9221	18-jun
1984	6355	18-jul
1985	6489	04-jul
1986	8833	18-jun
1987	5286	13-jul
1988	4113	20-ago
1989	6366	30-jun
1990	5088	11-sep
1991	11428	29-may
1992	7286	06-jun
1993	8455	27-jun
1994	7184	25-jul
1995	5161	01-jul
1996	2733	14-jun
1997	7719	21-jun
1998	1839	18-ago
1999	4031	21-ago
2000	7733	02-jul
2001	10180	29-may
2002	10537	25-ago
2003	10948	21-jun
2004	3364	14-jul
2005	7436	03-jul
2006	13746	13-jul
2007	2367	15-ago
2008	5127	03-sep
2009	4201	20-jun
2010	2903	24-jun
2011	3378	13-ago
2012	1929	22-jun
2013	2932	11-sep
2014	5384	30-jul
2015	3976	30-ago
2016	1030	14-oct
2017	2766	07-oct
2018	3060	28-jun

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

AÑO	RIO BIOBIO EN COIHUE	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983	6101	dato completado
1984	3416	18-jul
1985	3245	27-may
1986	4582	18-jun
1987	2987	13-jul
1988	2218	19-ago
1989	3819	29-jun
1990	2938	09-sep
1991	7372	29-may
1992	4484	01-jun
1993	5687	28-ago
1994	5687	24-jul
1995	4641	11-jul
1996	2178	13-jun
1997	5208	dato completado
1998	1178	dato completado
1999	2656	dato completado
2000	4167	dato completado
2001	6879	dato completado
2002	5658	25-ago
2003	6466	20-jun
2004	1692	13-jul
2005	3391	02-jul
2006	6668	12-jul
2007	1041	20-jul
2008	2324	02-sep
2009	1973	19-jun
2010	2046	23-jun
2011	2115	12-ago
2012	1472	29-may
2013	1469	10-sep
2014	2820	29-jul
2015	2078	29-ago
2016	1481	25-jul
2017	1513	06-oct
2018	1674	27-jun

AÑO	RIO MININCO EN LONGITUDINAL	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983	67,8	13-jul
1984	232	25-may
1985	192	08-jul
1986	224	16-jun
1987	115	14-ago
1988	103	29-jul
1989	111	24-ago
1990	93,3	07-ago
1991	167	29-may
1992	233	05-jun
1993	176	08-jul
1994	121	24-jul
1995	104	11-jul
1996	44,1	24-ago
1997	159	20-jun
1998	19,6	17-ago
1999	112	13-sep
2000	138	27-jun
2001	114	01-ago
2002	140	24-ago
2003	79,8	20-jun
2004	50,3	13-jul
2005	212	02-jul
2006	208	11-jul
2007	84,9	14-ago
2008	191	01-sep
2009	76,1	24-ago
2010	91,1	18-ago
2011	84,5	29-ago
2012	28,2	01-jul
2013	47,4	07-ago
2014	141	29-jul
2015	92,8	07-ago
2016	80	25-jul
2017	72,5	28-ago
2018	75	27-jun

AÑO	RIO BIOBIO ANTE JUNTA PANGUE	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993		
1994		
1995		
1996		
1997		
1998		
1999		
2000		
2001		
2002		
2003	2600	20-jun
2004	860	11-jul
2005	1091	04-jul
2006	2412	11-jul
2007	440	02-oct
2008	637	01-ago
2009	1065	02-oct
2010	525	23-jun
2011	563	13-sept
2012	580	30-may
2013	531	17-sept
2014	918	07-ago
2015	543	15-oct
2016	384	23-ago
2017	607	14-nov
2018	468	05-jul

AÑO	RIO PANGUE EN CAPTACION	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993		
1994		
1995		
1996		
1997		
1998		
1999		
2000		
2001		
2002	12,1	04-dic
2003	142	20-jun
2004	51	02-jul
2005	79	27-jun
2006	199	11-jul
2007	21	19-jul
2008	63	20-may
2009	51	19-jun
2010	45	23-jun
2011	41	11-ago
2012	44	28-may
2013	48	10-sept
2014	69	02-ago
2015	638	05-jun
2016	249	16-ago
2017	371	15-nov
2018	513	27-jun

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

AÑO	RIO BIOBIO EN LLANQUEN	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993		
1994		
1995		
1996		
1997		
1998		
1999		
2000		
2001		
2002		
2003	1486	20-jun
2004	672	02-jul
2005	899	02-jul
2006	1592	11-jul
2007	356	25-oct
2008	656	02-sept
2009	844	30-oct
2010	436	21-oct
2011	423	28-sept
2012	370	02-jun
2013	1014	10-sept
2014	1149	02-ago
2015	638	05-jun
2016	249	16-ago
2017	371	15-nov
2018	513	27-jun

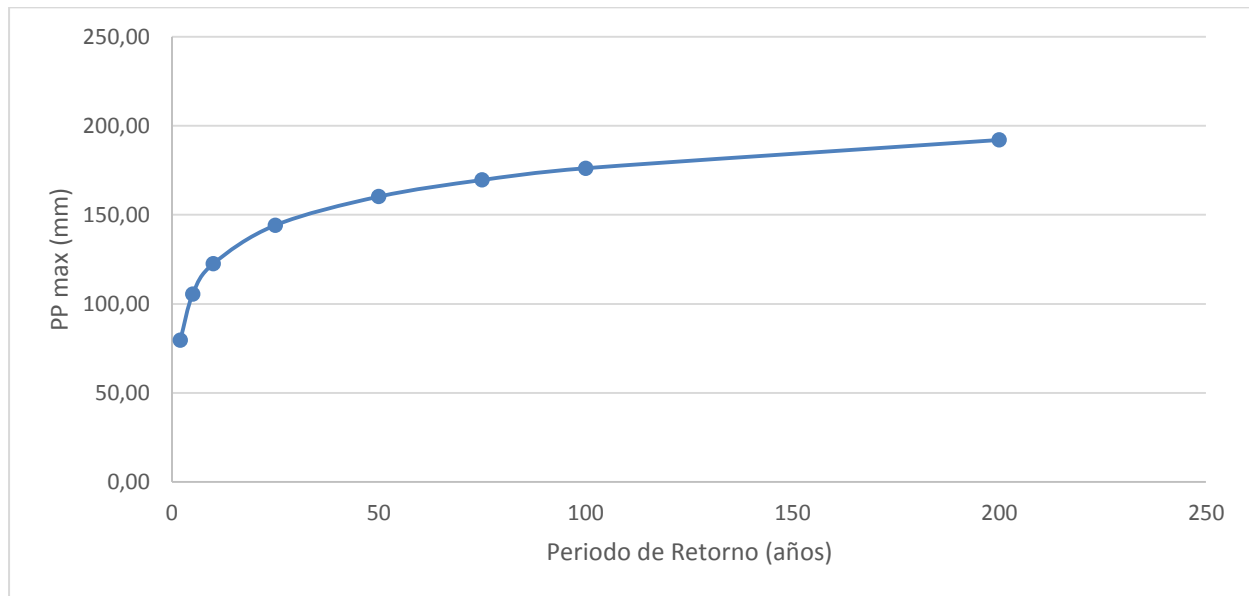
AÑO	RIO BIOBIO EN LA CULEBRA	
	Q máx. (m3/s)	fecha
1983		
1984		
1985		
1986		
1987		
1988		
1989		
1990		
1991		
1992		
1993		
1994		
1995		
1996		
1997		
1998		
1999		
2000		
2001		
2002		
2003		
2004		
2005		
2006		
2007		
2008		
2009		
2010		
2011		
2012		
2013	198	30-dic
2014	1396	03-ago
2015	1269	29-ago
2016	590	16-ago
2017	905	15-nov
2018	1074	dato completado

5.11 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

A continuación se presentan las curvas de duración para los periodos de retorno 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 y 200 años para las estaciones. Mayor detalle ver Anexo N°3.

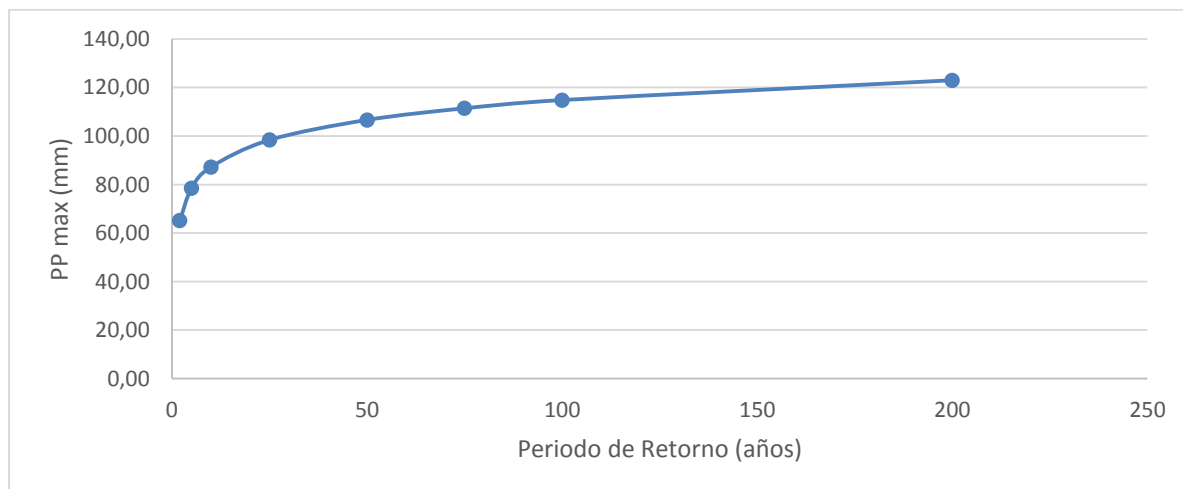
5.11.1 Precipitaciones Máximas

Figura N° 5.9. CURVA DE DURACION ANGOL (LA MONA)



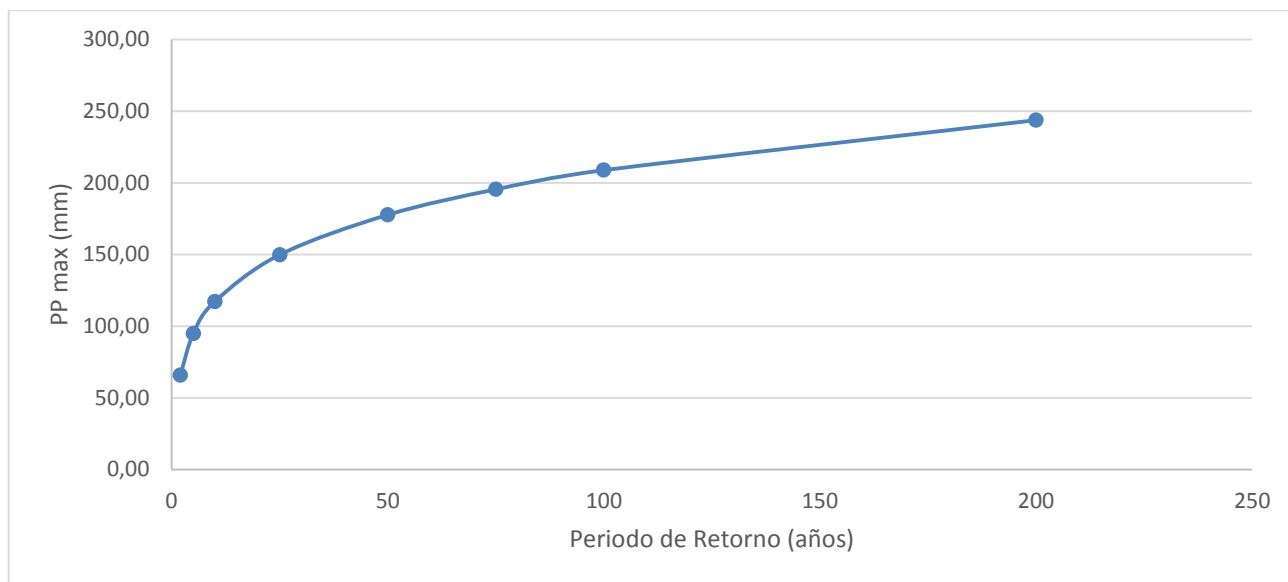
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.10. CURVA DE DURACION COLLIPULLI



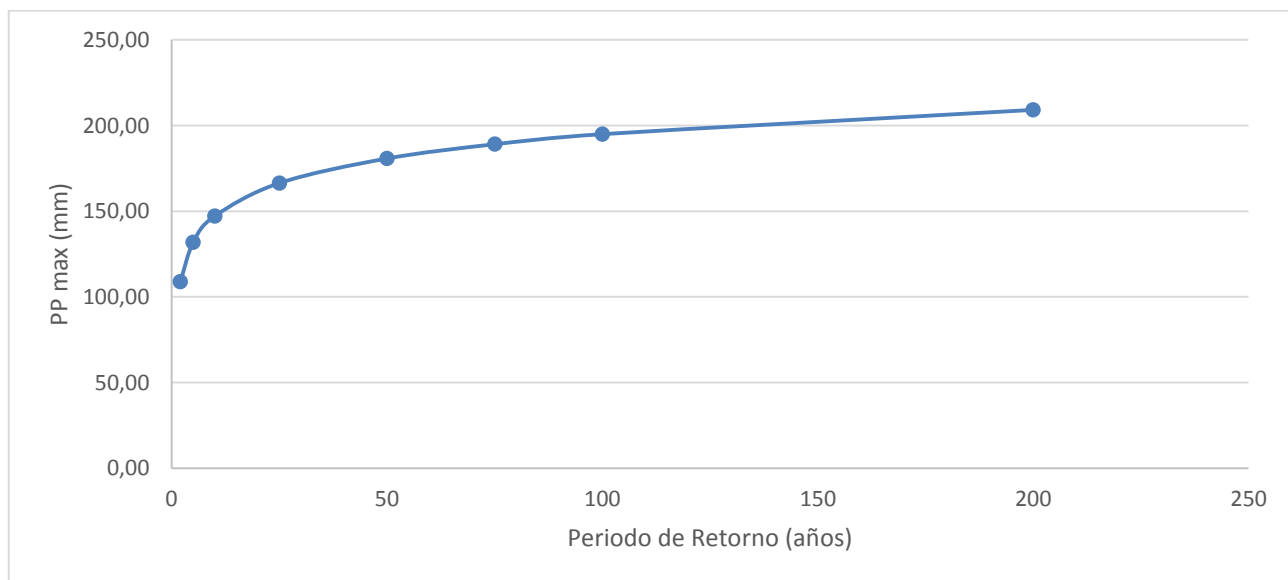
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.11. CURVA DE DURACION CONCEPCION DGA



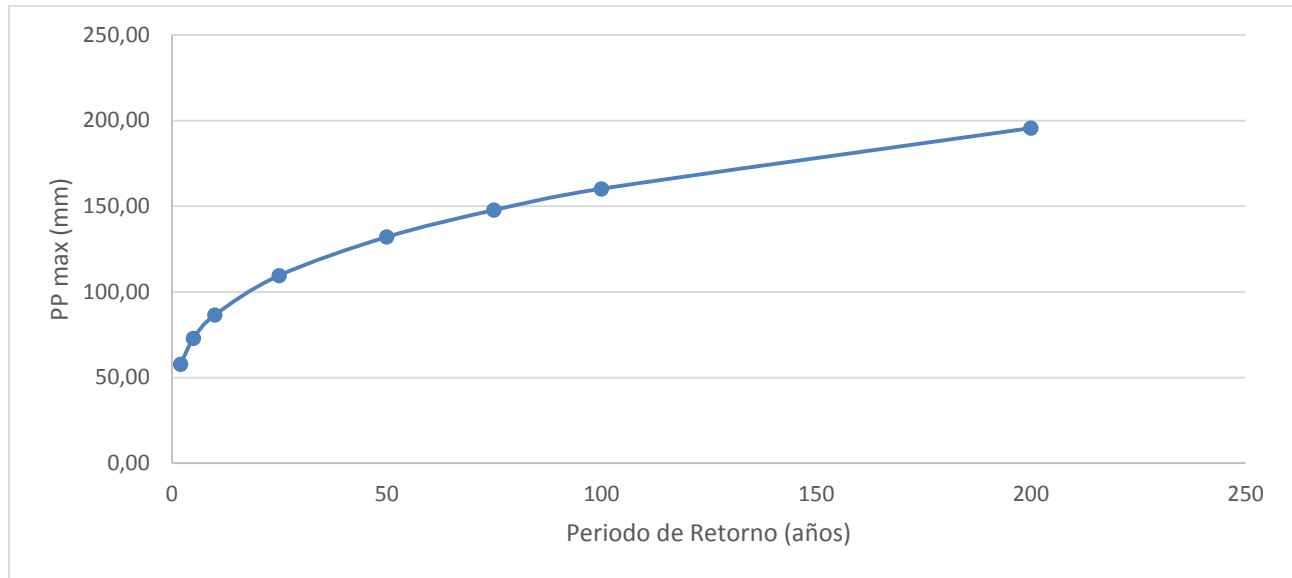
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.12. CURVA DE DURACION LAGUNA MALLECO



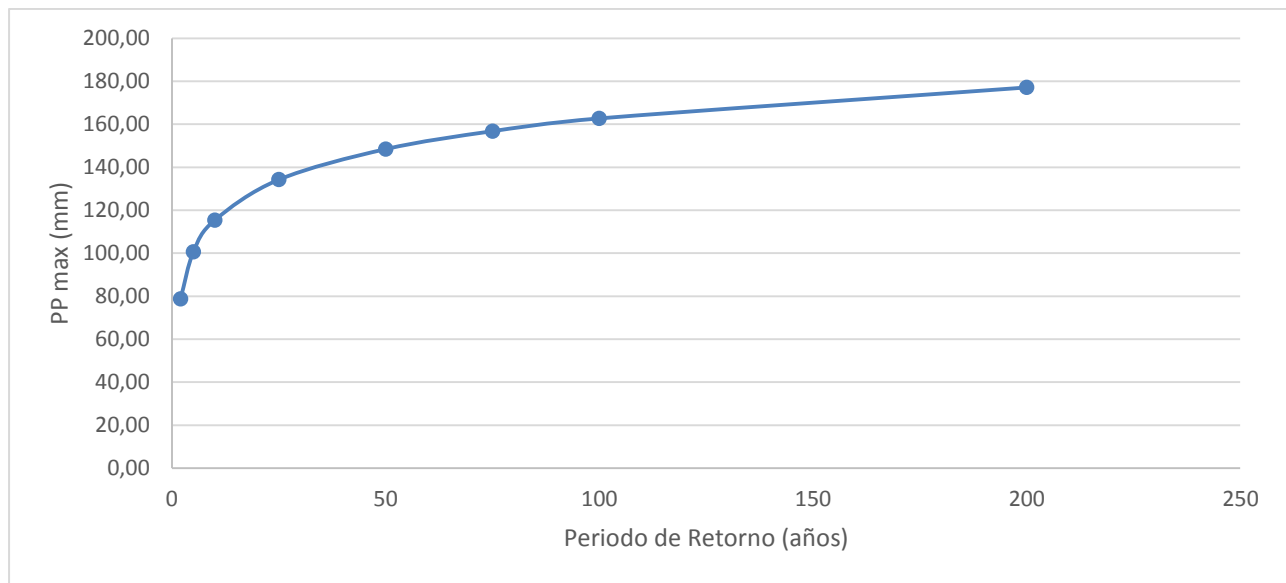
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.13. CURVA DE DURACION LAJA



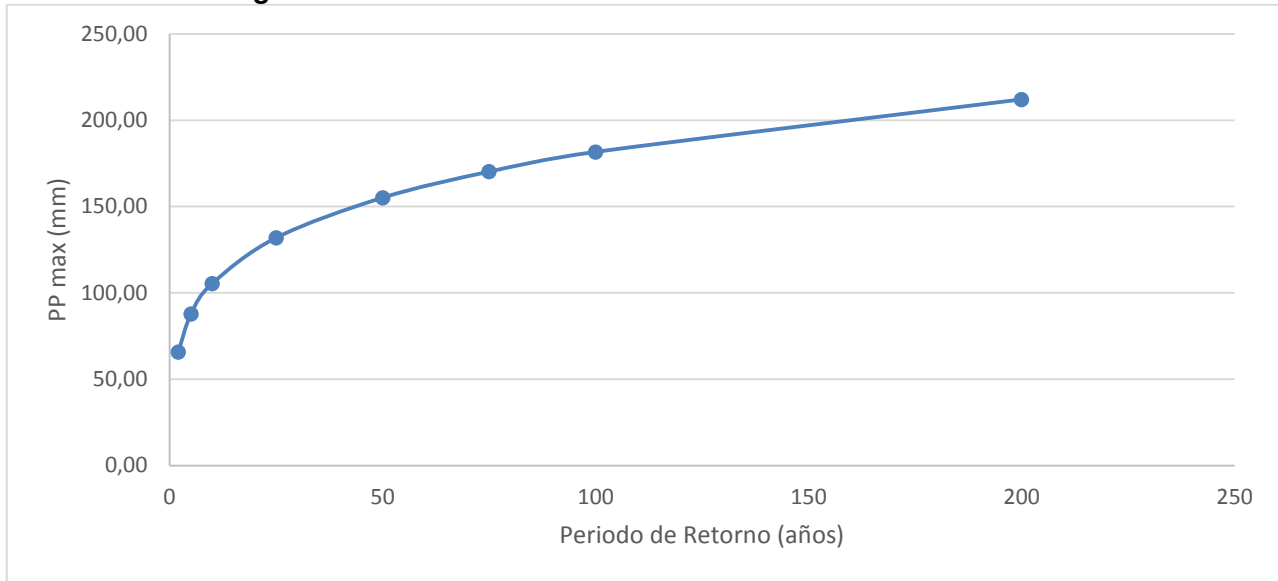
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.14. CURVA DE DURACION LONQUIMAY



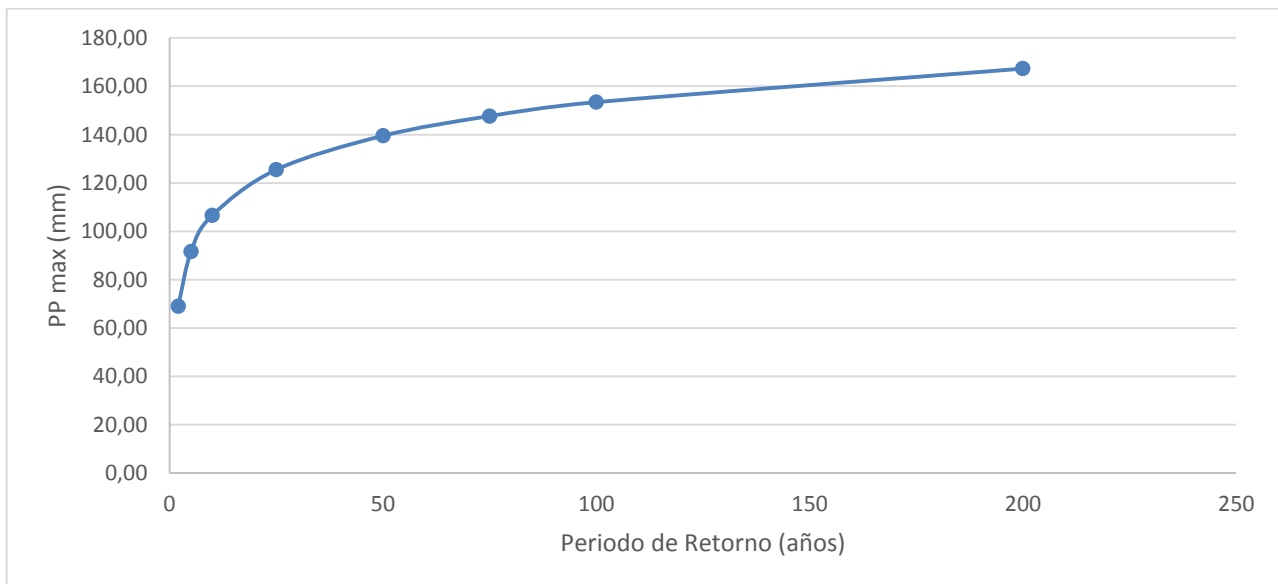
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.15. CURVA DE DURACION LOS ANGELES



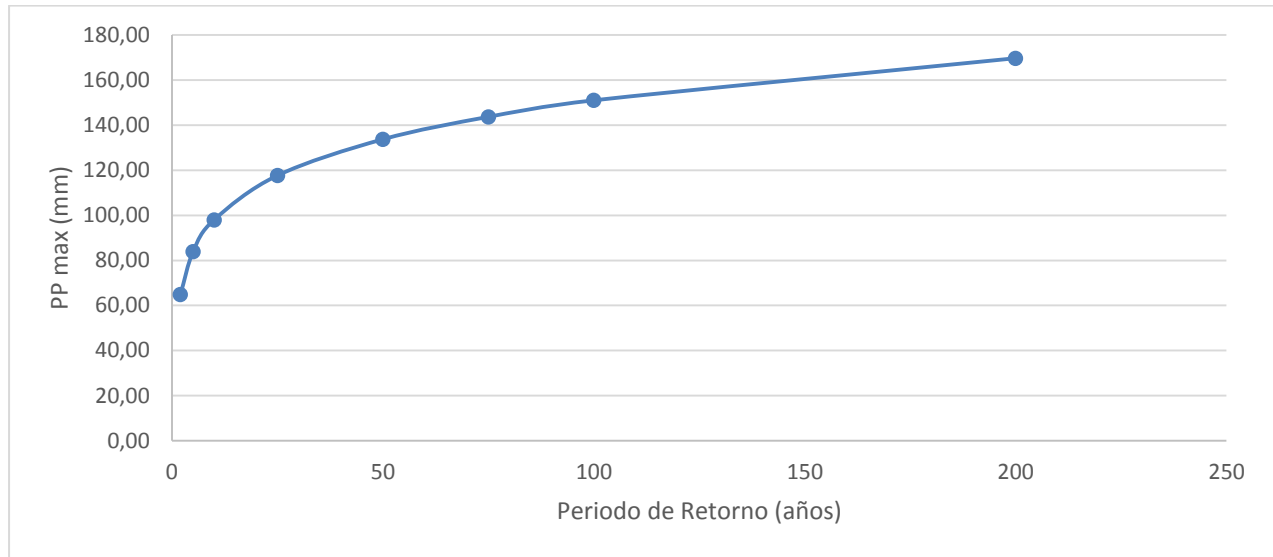
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.16. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN COIHUE



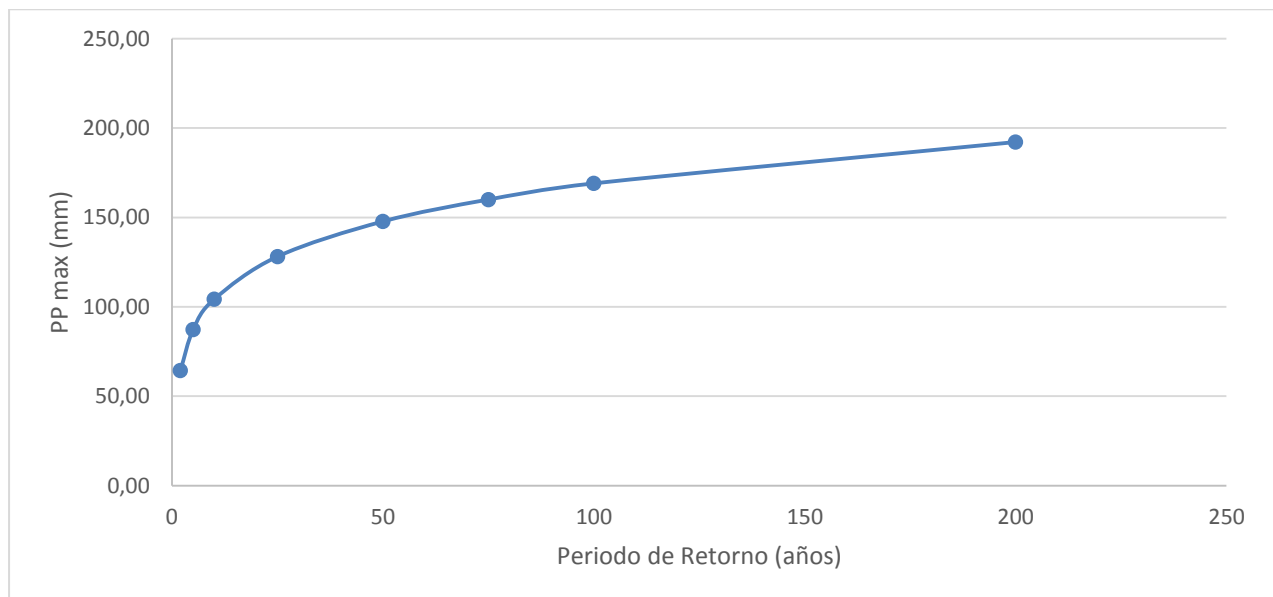
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.17. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA



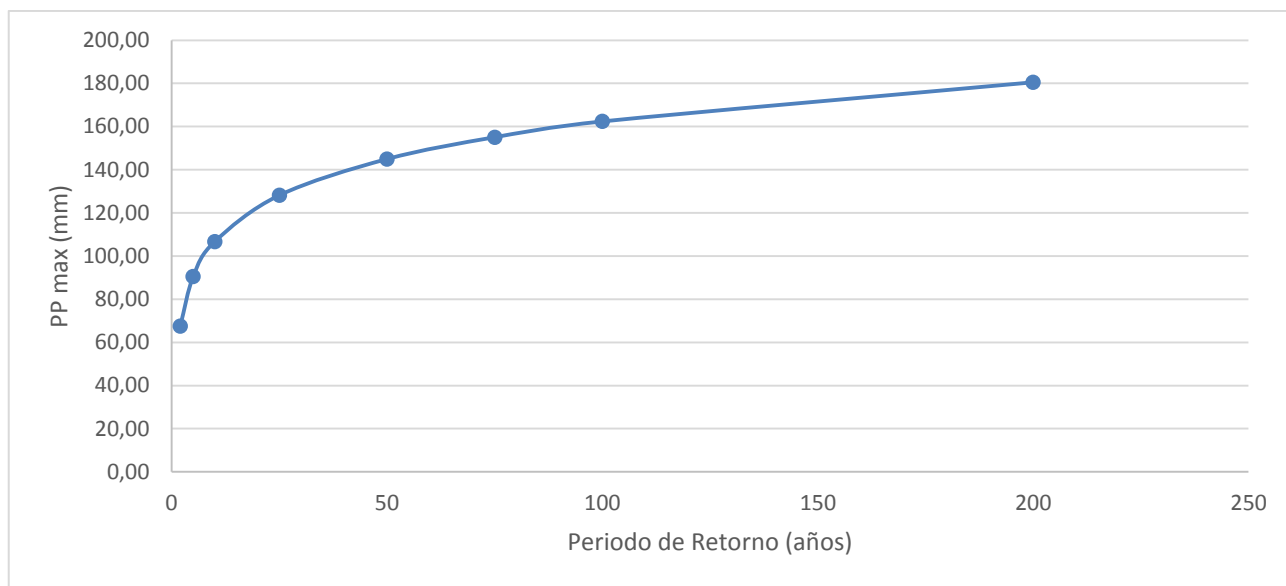
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.18. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN RUCALHUE



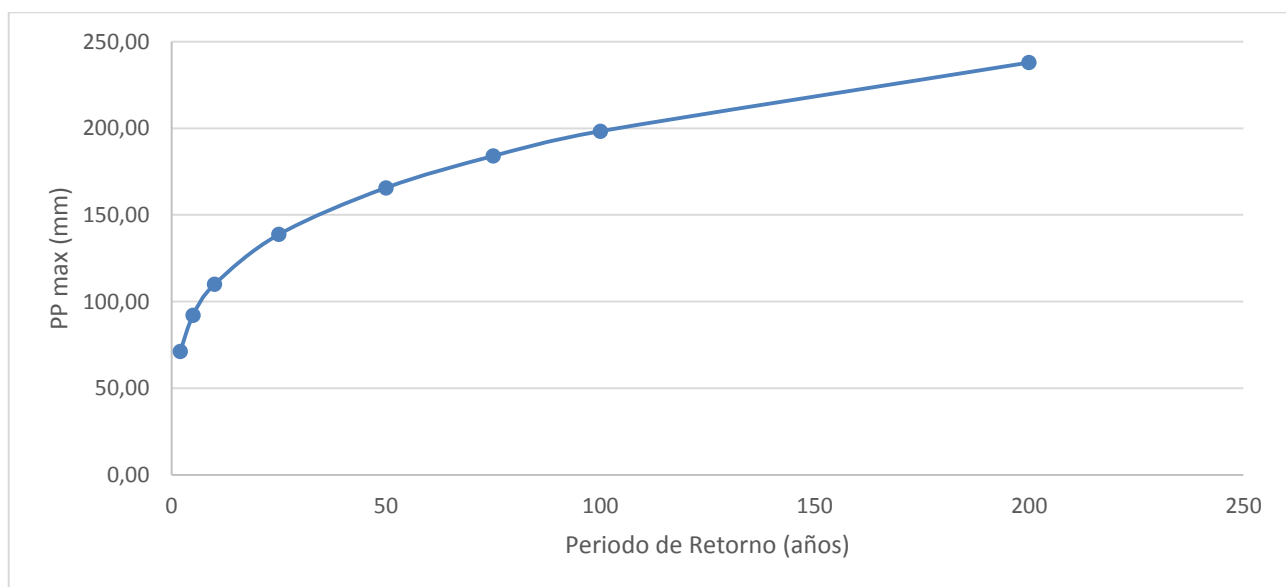
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 5.19. CURVA DE DURACION RIO LAJA AG.ARR. DEL SALTO
(REC.R.LAJA)**



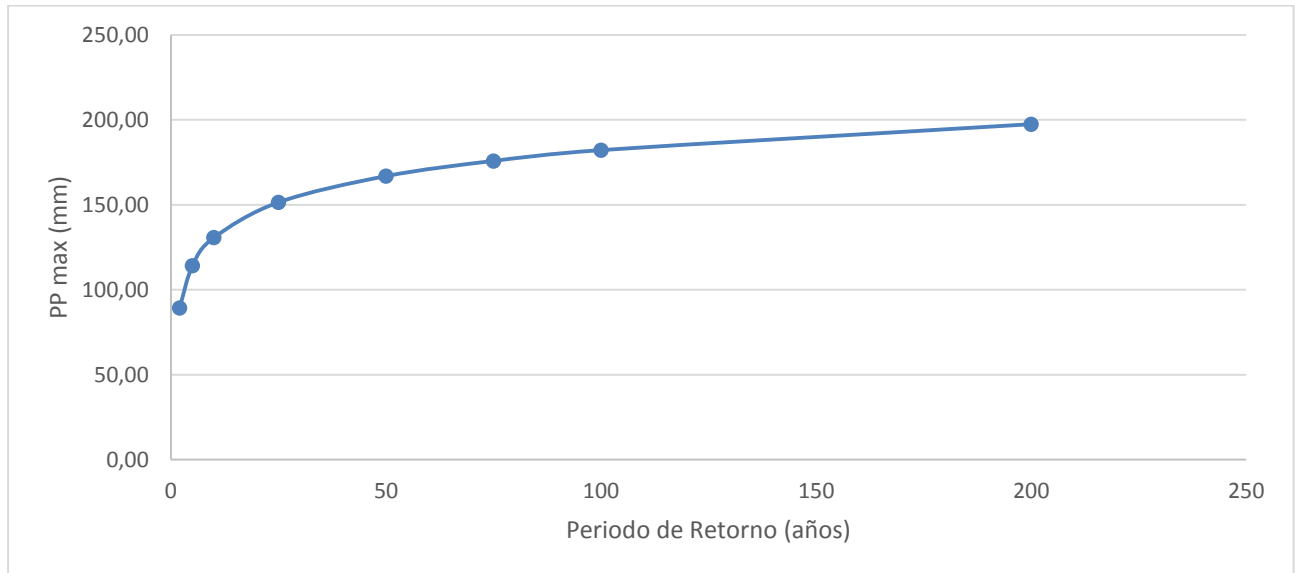
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.20. CURVA DE DURACION RIO LAJA EN TUCAPEL



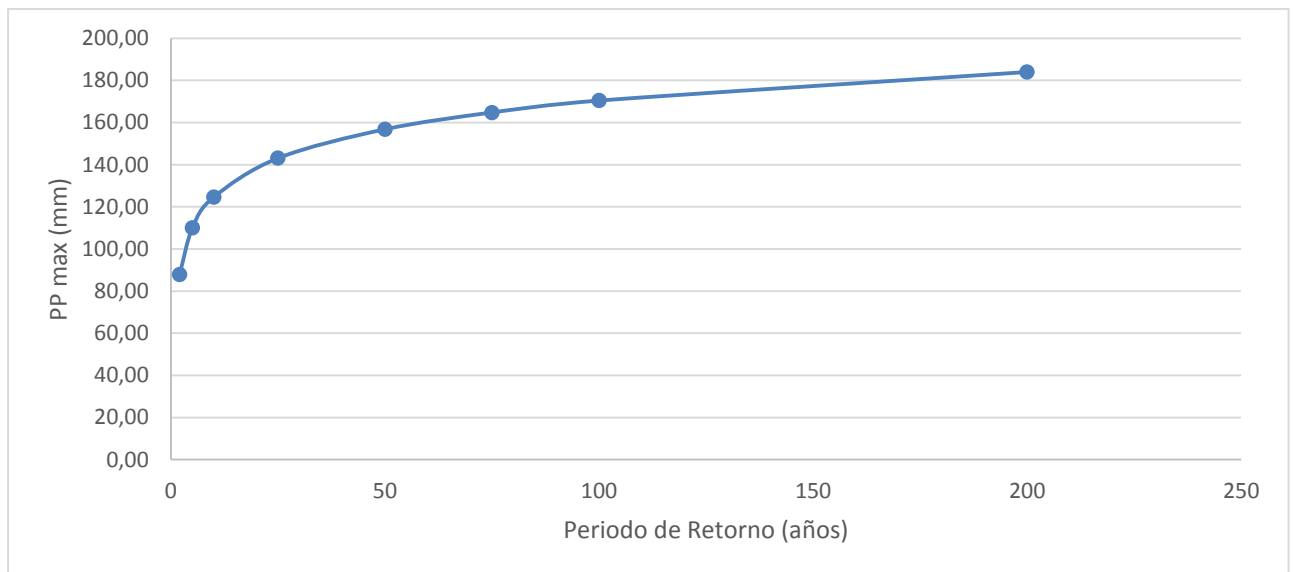
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.21. CURVA DE DURACION SAN LORENZO EN BIOBIO



Fuente: Elaboración Propia

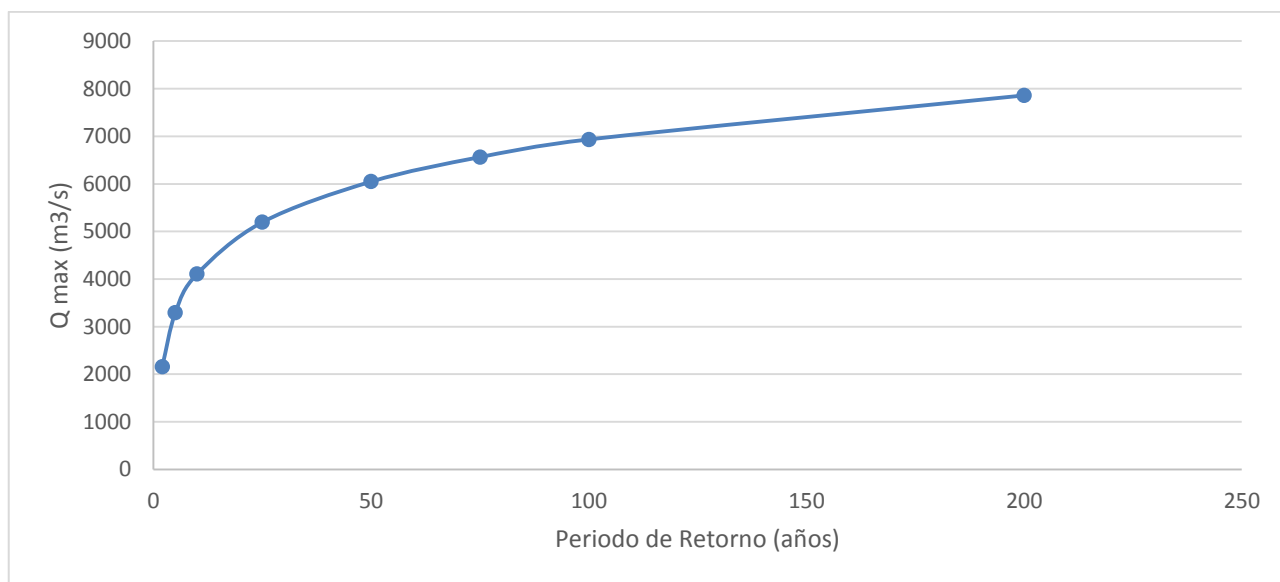
Figura N° 5.22. CURVA DE DURACION TRUPAN



Fuente: Elaboración Propia

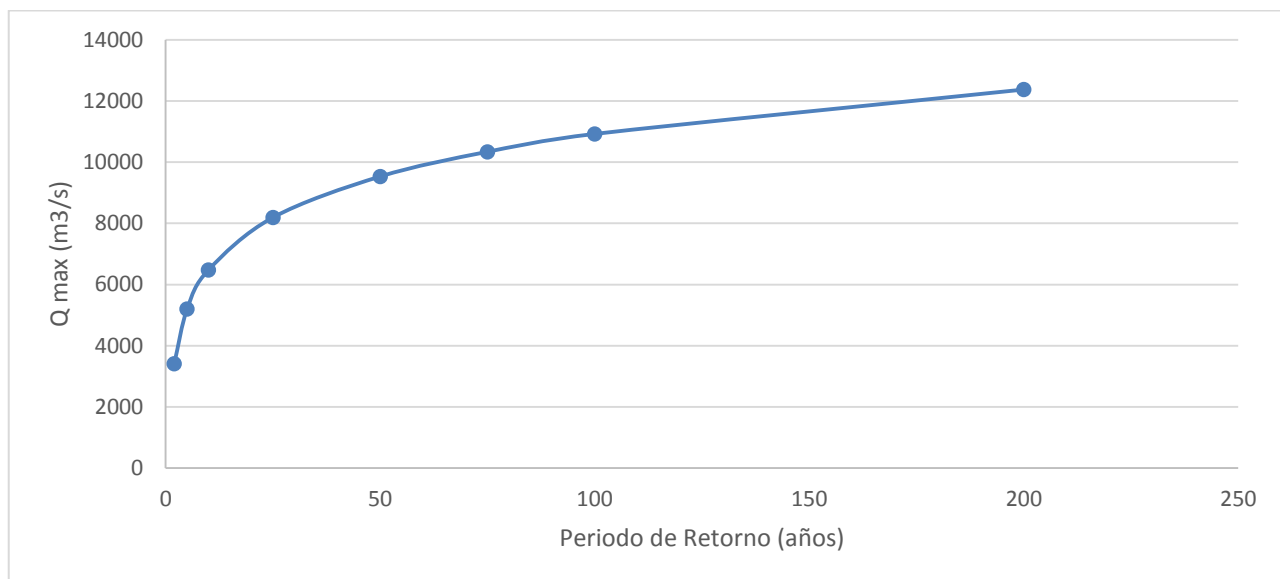
5.11.2 Caudales Máximos

Figura N° 5.23. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN RUCALHUE



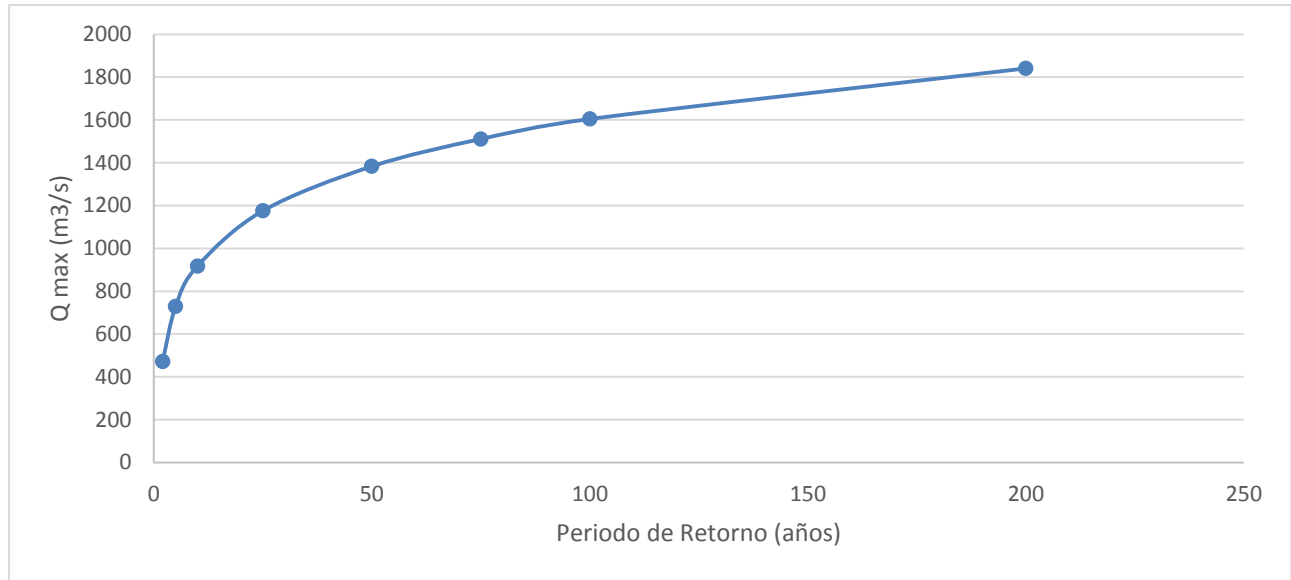
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.24. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN LONGITUDINAL



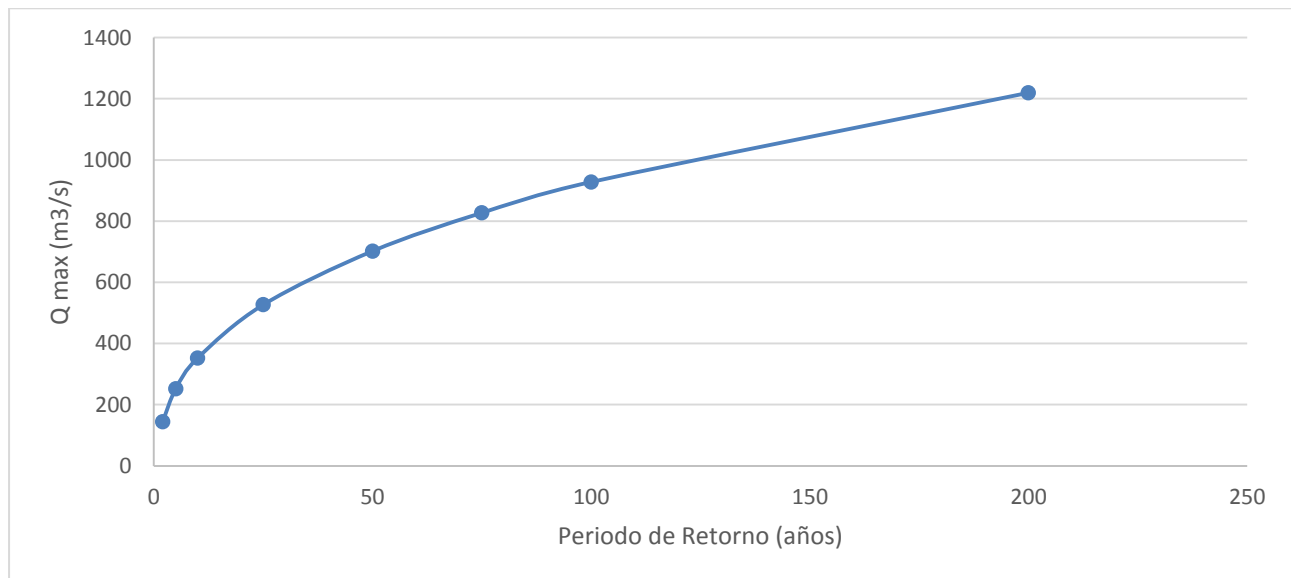
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.25. CURVA DE DURACION RIO DUQUECO EN CERRILLOS



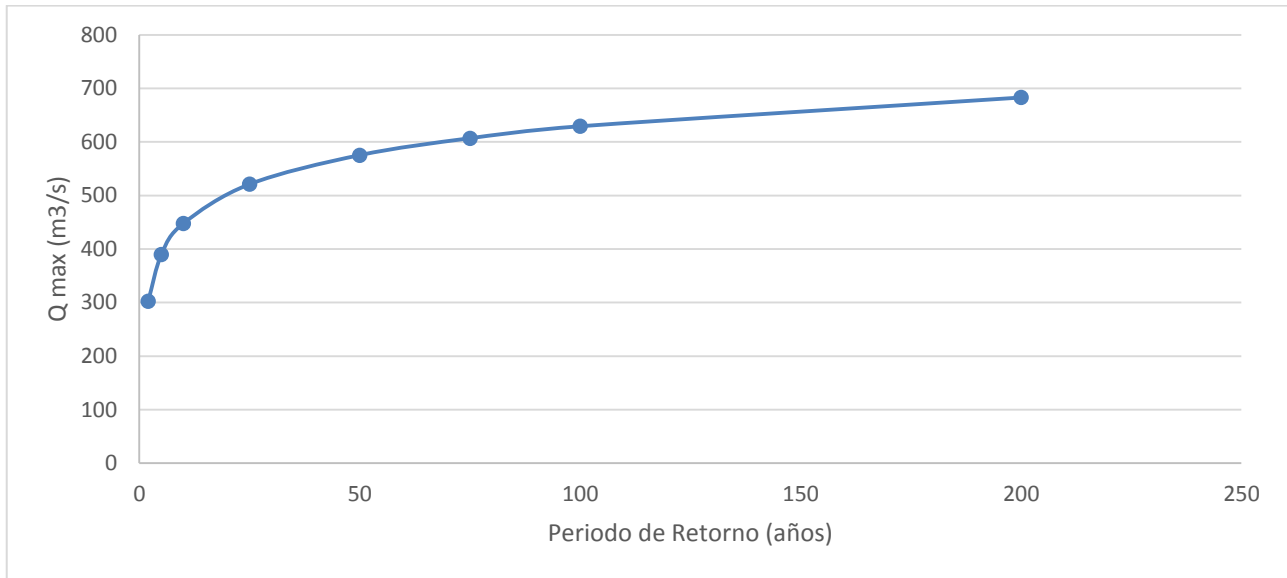
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.26. CURVA DE DURACION RIO MULCHEN EN MULCHEN



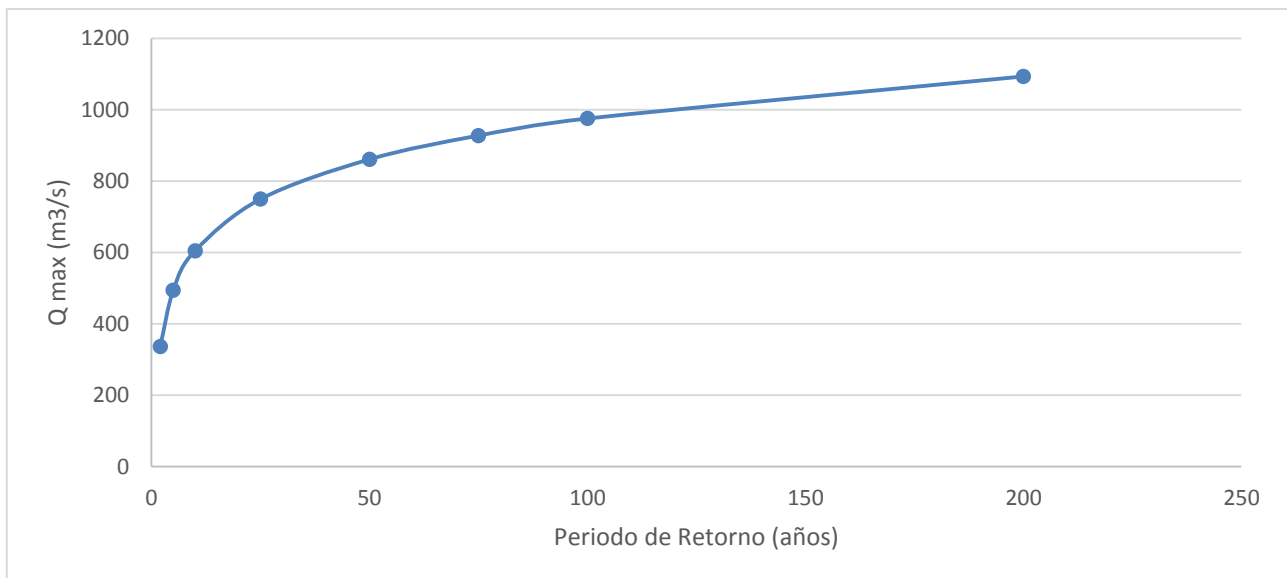
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.27. CURVA DE DURACION RIO BUREO EN MULCHEN



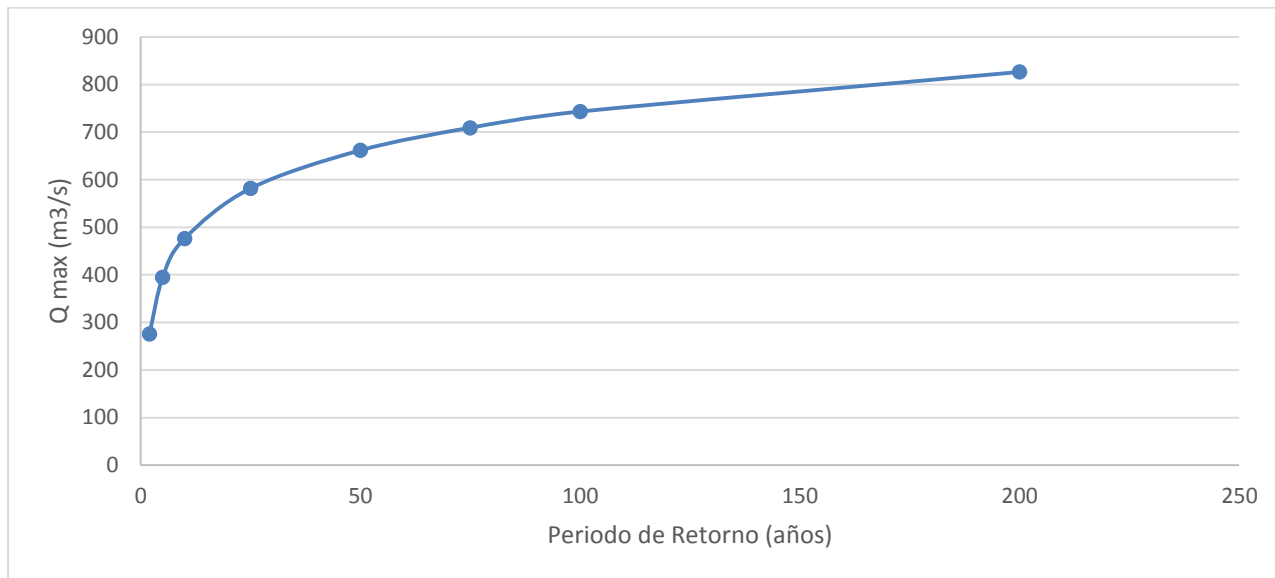
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.28. CURVA DE DURACION RIO RENAICO EN LONGITUDINAL



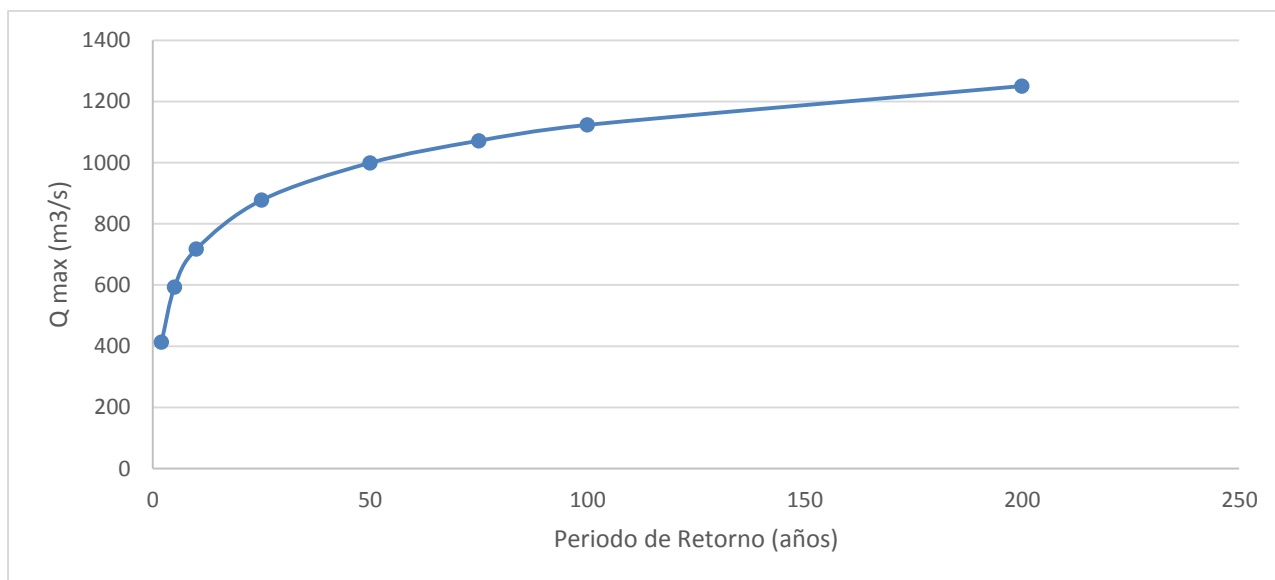
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.29. CURVA DE DURACION RIO MALLECO EN COLLIPULLI



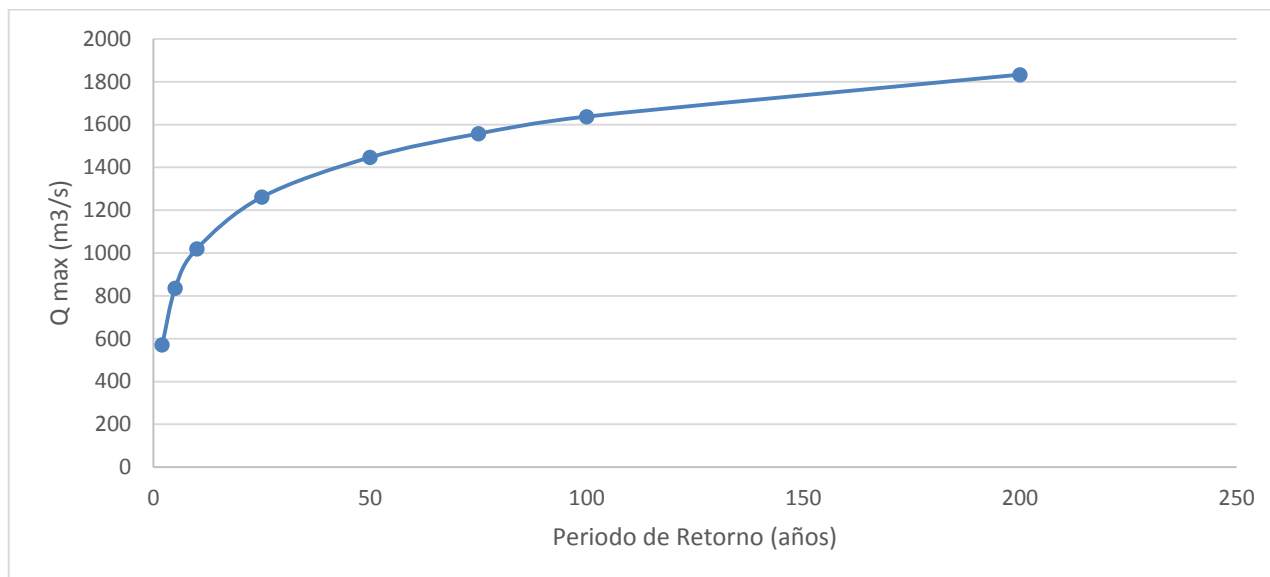
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.30. CURVA DE DURACION RIO VERGARA EN TIJERAL



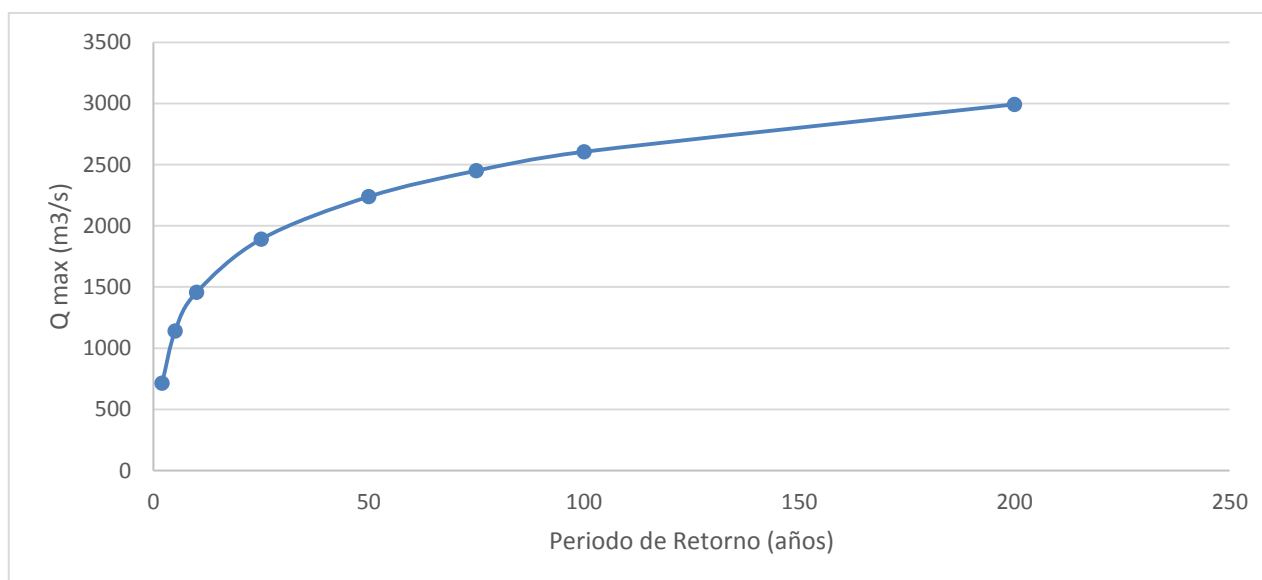
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.31. CURVA DE DURACION RIO LAJA EN TUCAPEL



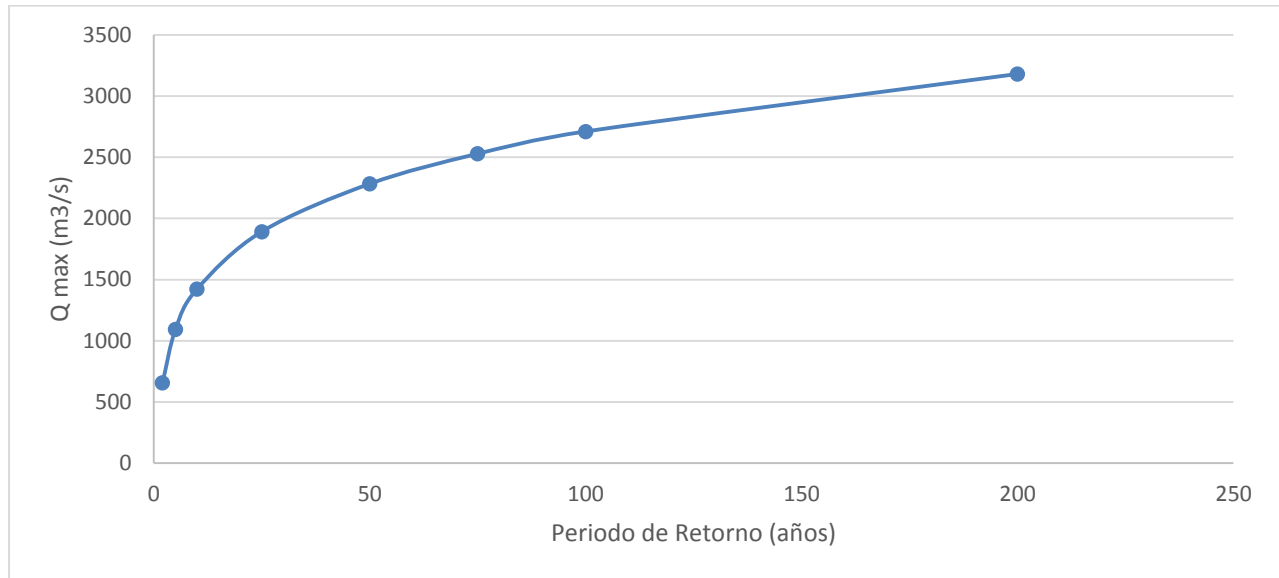
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.32. CURVA DE DURACION RIO LAJA EN PUENTE PERALES



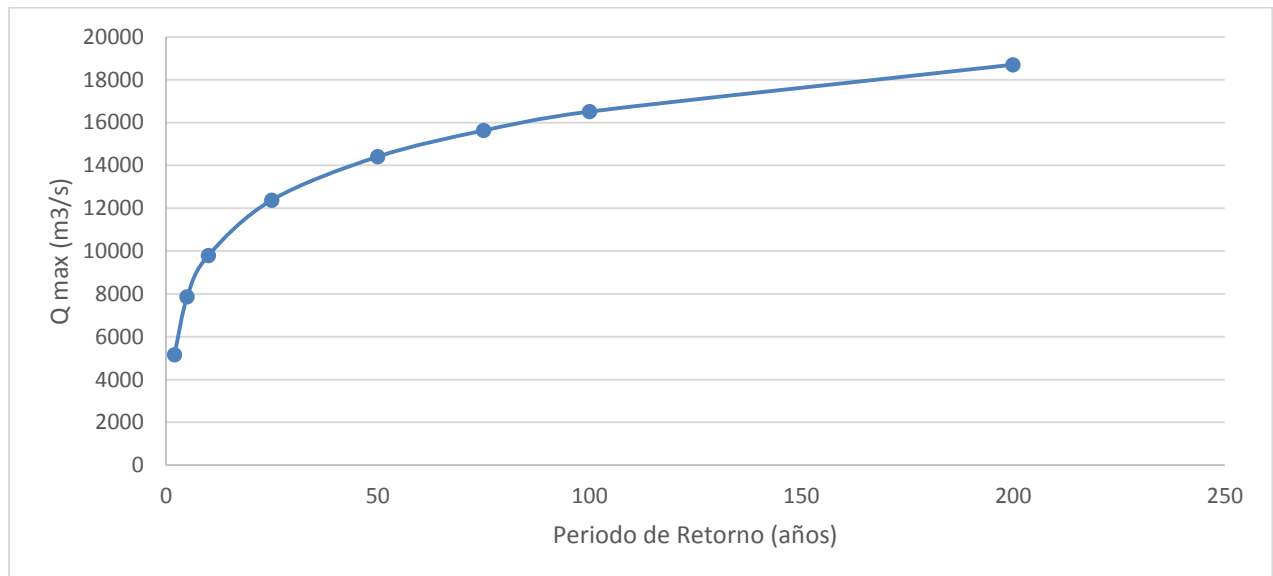
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.33. CURVA DE DURACION RIO LAJA EN TUCAPEL 2



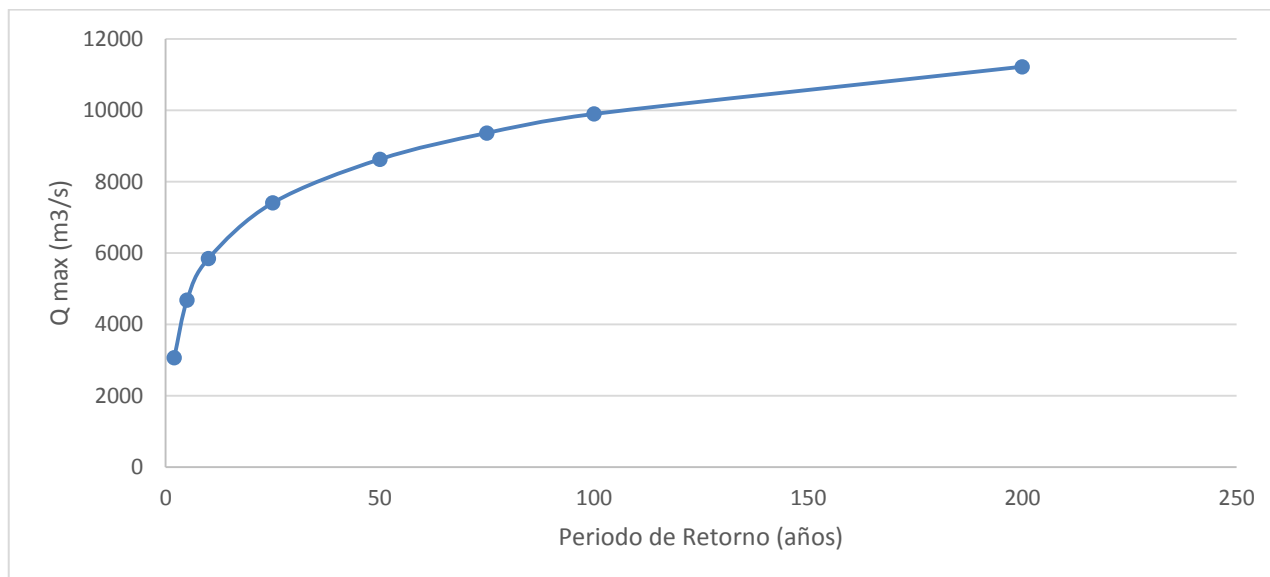
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.34. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN DESEMBOCADURA



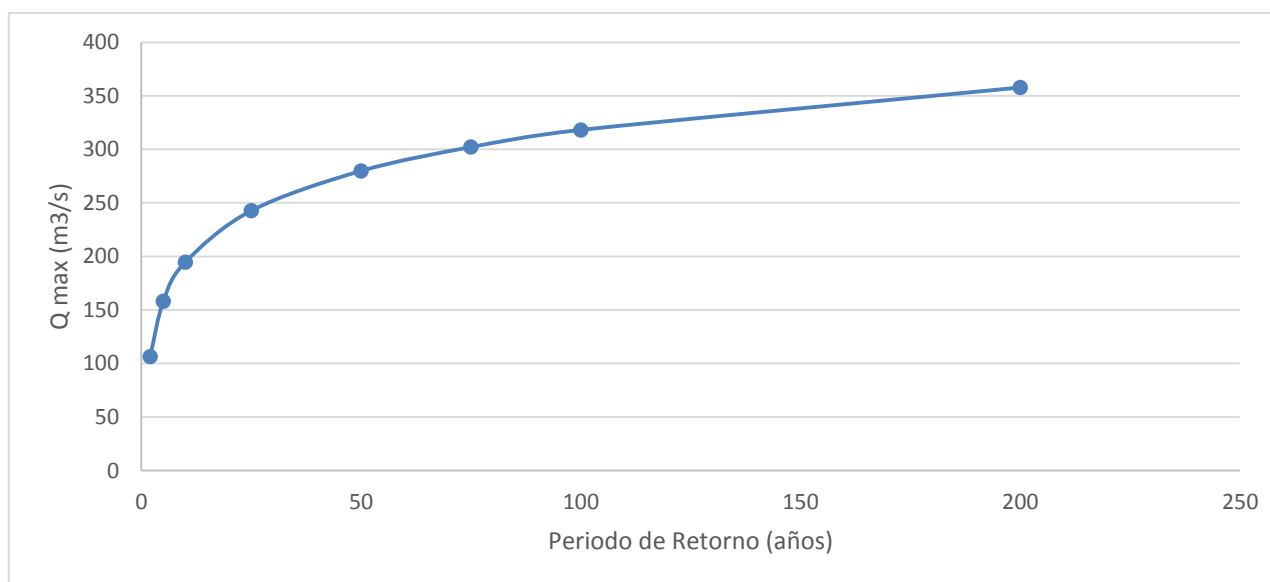
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.35. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN COIHUE



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.36. CURVA DE DURACION RIO MININCO EN LONGITUDINAL



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.37. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO ANTE JUNTA PANGUE

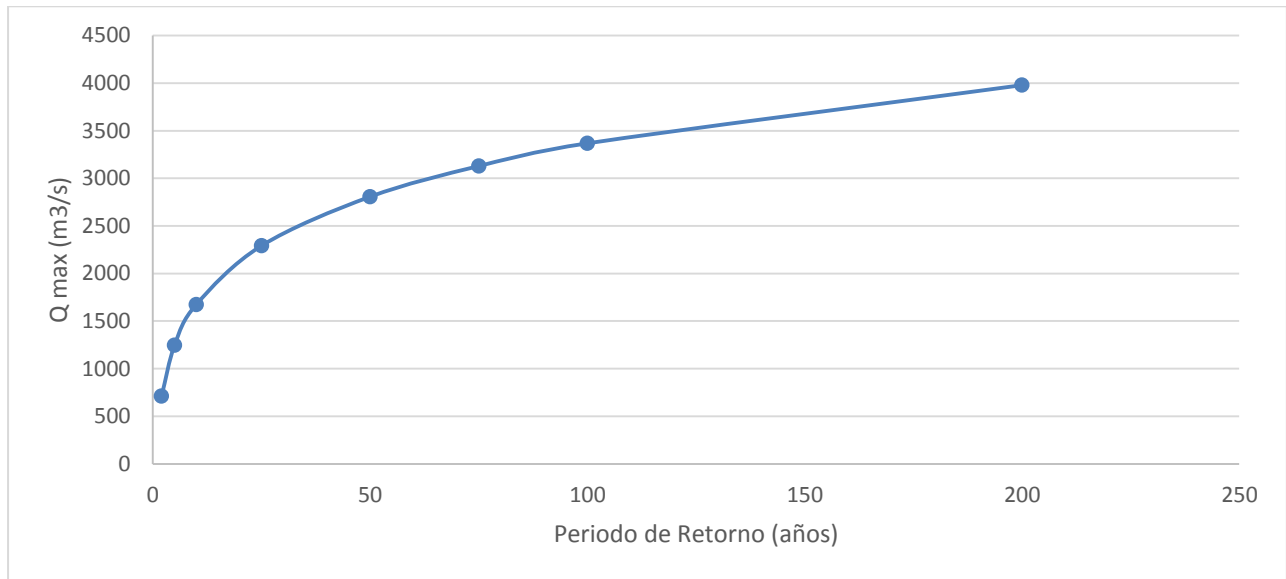
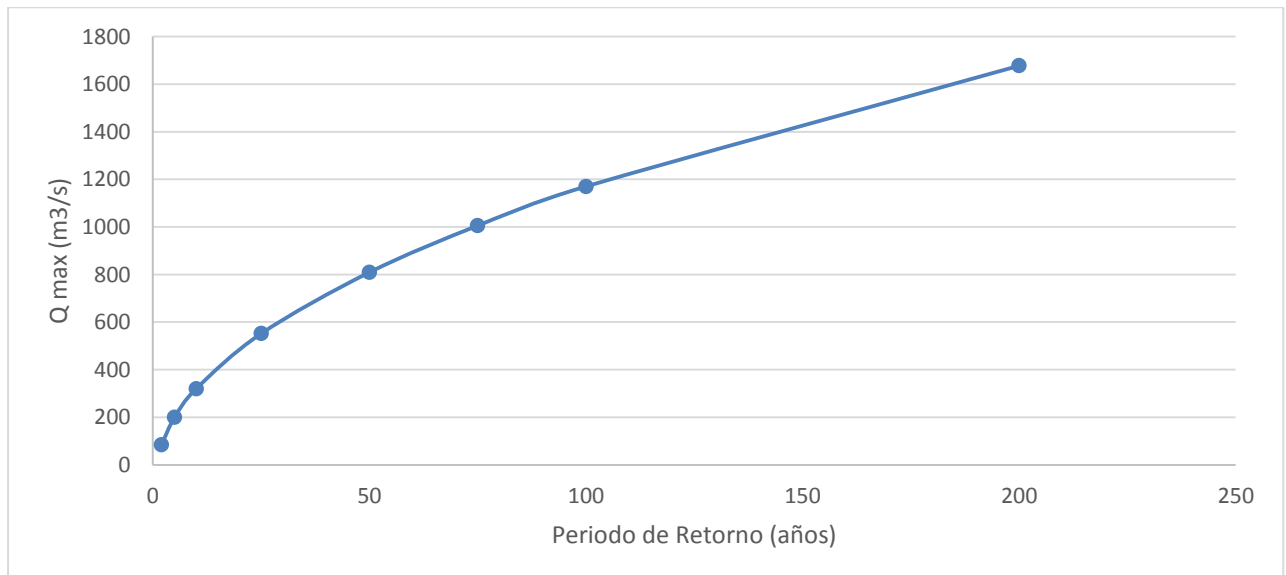
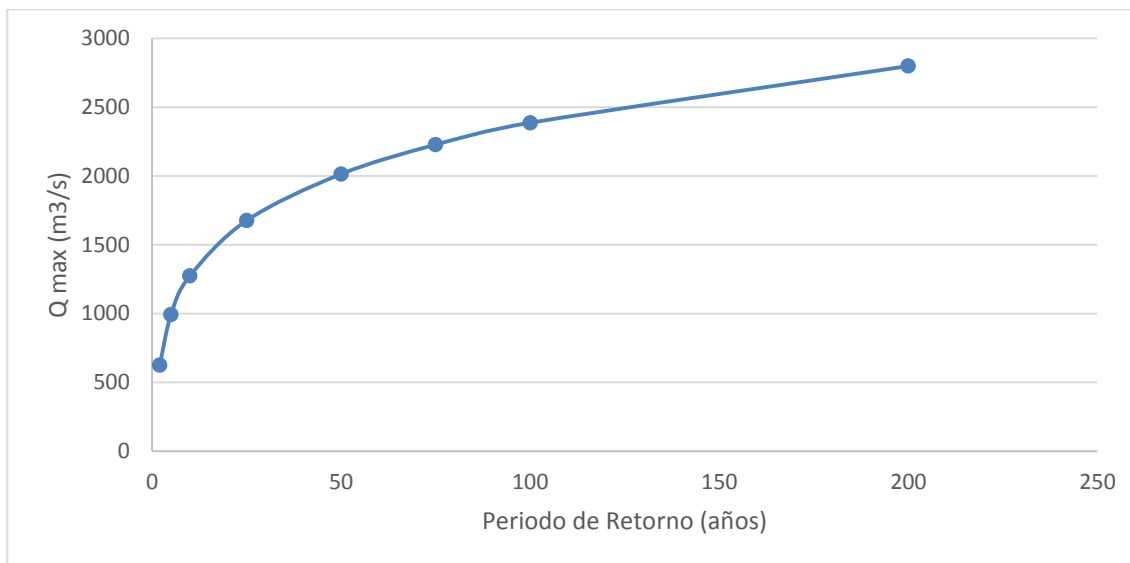


Figura N° 5.38. CURVA DE DURACION RIO PANGUE EN CAPTACIÓN



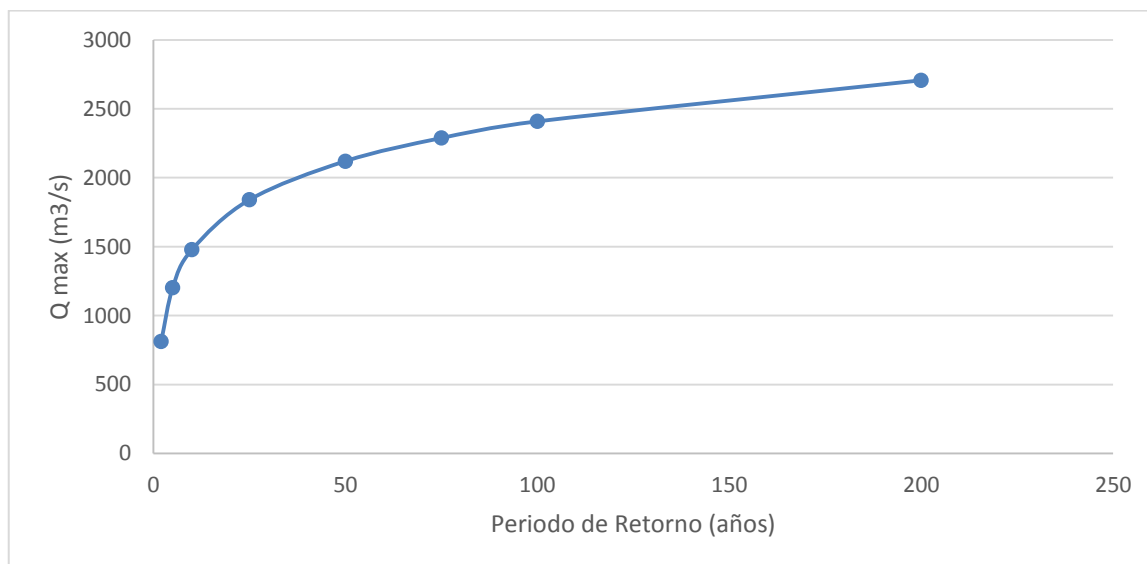
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.39. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN LLANQUEN



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 5.40. CURVA DE DURACION RIO BIOBIO EN LA CULEBRA



Fuente: Elaboración Propia

5.12 MEJORAMIENTO HIDROLÓGICO ROBUSTO

5.12.1 Metodología

El siguiente apartado, contiene la metodología empleada por este consultor para realizar la propuesta robusta de la red de monitoreo a implementar en el marco del SAT de la cuenca del río Biobío.

En relación a esto, para elaborar una propuesta de mejoramiento, se debe definir el modelo de seguimiento de las crecidas se tiene pensado utilizar. En el caso de este estudio se propone un **modelo basado en redes neuronales** para rastrear la crecida, los que básicamente utilizan una estación aguas arriba para poder predecir, con anticipación, el nivel (caudal) que se producirá en un punto aguas abajo del río.

Entre otros aspectos, para la propuesta monitoreo, se considerará **el tiempo de efecto de la onda de crecida en el cauce**, el cual depende de la distancia hacia aguas abajo entre la estación de referencia y el punto de interés, pudiendo ser en casos como el de las localidades de Santa Bárbara y Quilaco tan sólo de 2 horas entre la salida del embalse Angostura y la llegada a las localidades antes mencionadas, según reportes de la DGA. Por esta razón, y en base a los antecedentes disponibles, se utilizará esta variable para la propuesta concreta a desarrollar.

Retomando lo inicialmente señalado, el modelo de rastreo de crecidas propuesto por este consultor considera lo siguiente.

- Un **módulo principal** de rastreo de crecidas, ya sea con redes neuronales o con algún modelo hidráulico (matemático, físico, etc.) de la respuesta del río, que permita dar alerta con anticipación a las localidades potencialmente afectadas. Este modelo debe integrar al menos datos de niveles (caudales) del río, precipitaciones en la cuenca aportante, temperatura y humedad precedente, de manera de utilizar la mayor cantidad de variables involucradas en la escorrentía directa producida por una crecida.
- Para evitar falta de datos y para tener un sistema más robusto, se deben tener modelos calibrados de **precipitación-escorrentía** para **todas las estaciones fluviométricas** a lo largo del río, esto, ya que dada la naturaleza de este tipo de fenómenos o por causas de fuerza mayor, alguna de las estaciones utilizadas para hacer el rastreo, podría estar fuera de línea o bien, debido a los mismos efectos de la crecida quedar inutilizada; a pesar de esto, de igual manera se puede tener una estimación del caudal que escurrirá por dicho punto con algún grado de anticipación, tan sólo con la información de precipitaciones que se estén

registrando. Este tipo de estimaciones suma en alguna medida incertezas, pero permite que el sistema de monitoreo y pronóstico siga funcionando. A respecto de esta propuesta, se debe considerar que para proveer de buenos datos al modelo, se debe tener una cobertura homogénea de estaciones de precipitación y temperatura.

- Un **modelo de pronóstico meteorológico**, que en conjunto con los modelos anteriormente descritos, permita poner el sistema en alerta y comenzar un monitoreo más exhaustivo. Este modelo debido a que es la información oficial para Chile, será el de la Dirección Meteorológica de Chile.

Considerando la naturaleza y requerimientos de los modelos que se utilizaran para el SAT se presenta la siguiente propuesta de mejoramiento, que considera las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en sus guías y manuales. Cabe señalar, que estos lineamientos y directrices fueron las adoptadas en otras cuencas del continente, y su utilización ha sido ampliamente recomendada por organismos de seguridad y emergencia de este continente y otros.

En esta metodología (Guía de prácticas Hidrológicas) se establecen criterios básicos y mínimos para una red de monitoreo robusta, tanto con enfoque para medición de registro así como para eventos de tormenta y crecidas. Esta se basa en que se debe contar con una red de referencia con estaciones de buena calidad que sirvan para alimentar de datos a los sistemas como uno de alerta temprana y que a la vez sirvan para dar consistencia al resto de la red, ya sea mediante relleno de datos, calibración de estaciones, etc..; en vista de lo anterior y considerando que una importante conclusión obtenida a partir del análisis de los datos, es la deficiencia en la calidad de la información hidrometeorológica, es esencial iniciar un plan destinado a fortalecer y mejorar la red de monitoreo existente de manera de establecer una red de referencia de calidad, para luego continuar con la instalación de nuevas estaciones.

Los mejoramientos propuestos, para la red actual, que se deben considerar son al menos los siguientes:

- i. Hacer estaciones más robustas, de manera de minimizar las pérdidas en la recolección de los datos.
- ii. Mejorar la consistencia y disponibilidad de los datos, idealmente estos deberían estar normados y disponibles en tiempo real. Esto se debe considerar para estaciones fluviométricas y meteorológicas.
- iii. Automatizar la transmisión de datos de toda la red actual, ya sea implementando estaciones satelitales o con Data Logger, que tomen y envíen datos de manera remota, automática y en tiempo real.
- iv. Aumentar la resolución, tanto temporal como espacial (distribución) de las estaciones. Se deben planificar cuidadosamente la ampliación de la cobertura de

las estaciones, de manera que sean funcionales para la implementación de un SAT.

En línea con la implementación del sistema de monitoreo hidrometeorológico propuesto, que forma parte integral del SAT, se deben seguir las siguientes recomendaciones, las cuales, serán ajustadas a la realizada de la cuenca de interés.

- a. Instalar estaciones fluviométricas en todos los lugares susceptibles de sufrir desbordes de los ríos o esteros aledaños y con el fin de hacer un rastreo correcto de la crecida se debe considerar la instalación de estaciones con no más de 10 kilómetros de separación, este criterio dado por la OMM, también se analizará en función de la ubicación espacial de los poblados o localidades susceptibles de ser afectados por la crecida, recogiendo los aprendizajes y experiencia de los eventos del año 2006. El mejoramiento debe incluir estaciones fluviométricas que midan al menos niveles y caudales en las zonas susceptibles de ser afectadas. Como algunas zonas identificadas pertenecen a las mismas secciones del río dichas zonas se podrían agrupar en una sola estación.
- b. Instalar estaciones meteorológicas, de precipitaciones y de nieve en la parte alta de la cuenca, de manera de caracterizar el comportamiento de la cobertura nival y precipitaciones en esa zona de la cuenca, junto con establecer la línea de Isoterma 0.
- c. Instalar estaciones de monitoreo de glaciares que permitan caracterizar los aportes por deshielos.
- d. Como se menciona anteriormente, los embalses son una parte importante del SAT, por lo que se deben integrar a la red de monitoreo, de manera de contar con estadísticas en línea de los niveles y la descarga total de los embalses presentes en la cuenca. Estos representan puntos de control en el sistema, y si bien según estudios no tienen un gran peso en la descarga del río en la zona de la desembocadura, si cambian la dinámica de los caudales en el río y por ende del rastreo de crecidas. Específicamente el embalse Angostura es el punto de control desde la perspectiva de la medición de caudales hacia las cuencas intermedia y baja del río Biobío, que es la zona donde se producen inundaciones por efecto de las crecidas. Adicionalmente hay algunas localidades que se podrían ver afectadas por la operación o falla de éstos, Santa Bárbara y Quilaco entre otras, por lo que se debe incluir un monitoreo de la estabilidad de los muros de los embalses de manera de poder tomar las medidas necesarias en caso de peligro de falla de una presa. Esta actividad debe estar siendo recolectada por los operadores de los embalses, por lo que la DGA debería establecer un contacto en línea para la obtención de esa información.

- e. Evaluar la integración de herramientas de percepción remota al sistema de monitoreo; actualmente existen satélites, sondas y radares que miden en tiempo real precipitaciones, temperatura, niveles de ríos, entre otras variables relevantes para un SAT. Estas pueden ser de gran importancia para hacer el seguimiento de una tormenta y que permitan levantar las distintas alertas en los tiempos adecuados.

La ampliación de la red meteorológica se realiza siguiendo la recomendaciones de la OMM, la que define una densidad mínima para una red básica robusta de monitoreo meteorológico, lo anterior, **con el enfoque de mantener un monitoreo de las crecidas del río.**

Tabla N° 5.9. Distribución de Estaciones en una Red Básica.

Grupo	Tipo de estación	Distancia (Km)	Radio de acción promedio (Km)
1-R	Referencia.	De 300 a 400	Entre 150 y 200 * Una por cada 4 o 5 del primer grupo
1	SP - CP - AM	De 150 a 200	Entre 75 y 100 * Aprox. una por cada 10 estaciones del 2 grupo
2	CO - ME	De 50 a 60	Entre 25 y 30 * Aprox. 10 estaciones por una del primer grupo
3	PM - PG	De 25 a 30	Entre 12 y 15 * La mitad de la distancia en áreas montañosas

* Sugerencia técnica OMM.

Fuente: Nota téc. No. 111 -OMM. Adaptado López. 2008

El primer grupo debe ser robusto ya que debe soportar a toda prueba las condiciones e inclemencias a las que estará sometido; está compuesto por estaciones sinópticas (SP) y meteorológicas (AM o agrometeorológicas). El grupo “1 – R” corresponde a un subgrupo de estaciones del grupo 1 que corresponde a las estaciones de referencia que deben tener estadísticas de gran calidad y longitud y a la vez permanecer largos periodos de tiempo sin cambios.

El segundo grupo sirve para alimentar de estadísticas al sistema y está compuesto por estaciones climatológicas ordinarias (CO) y por algunas con fines especiales (ME).

El tercer grupo solo considera estaciones de precipitación, ya sea nieve o lluvia, o fenómenos atmosféricos relacionados con ésta. La densidad de este tipo de estaciones es mucho mayor debido a que se debe caracterizar homogéneamente este tipo de fenómenos. Generalmente los equipos que se utilizan en este tipo de estaciones son pluviómetros (PM) o pluviógrafos (PG).

Siguiendo con la metodología de la OMM, esta institución establece criterios de áreas de influencia de las distintas estaciones, según su tipo, para desarrollar una Red Mínima Funcional. Estos criterios van en línea con la tabla anterior y se presentan a continuación.

Tabla N° 5.10. Valores Medios para Red Mínima Funcional-OMM

TIPO	Distancia media (Km)	Radio de acción (Km)
Climatológica Principal (CP) y Agrometeorológica (AM)	150	75
Climatológica Ordinaria (CO)	50	25
Pluviométrica (PM – PG)	25	13

Fuente: nota técnica No. 111 - OMM, 1970

Como la cuenca del río Biobío tiene una importante área nival durante el invierno, según el estudio de Peña y Vidal (1993) esta se ubica en torno a la cota 900 msnm, se considera dentro de la ampliación de la red, con el fin de monitorear la isoterma 0, **instalar estaciones en elevaciones cercana a esta cota**, estas deben considerar medición de temperatura, por lo que deben ser estaciones climatológicas.

En el caso de las estaciones meteorológicas, considerando la información disponible, es muy difícil dar lugares específicos, ya que la ubicación depende de la topografía de la zona de emplazamiento, de la cobertura de bosques, orientación en el caso de las de nieve, de la facilidad de acceso y la propiedad de los terrenos donde debe ser instalada la estación.

Se propone como punto de partida instalar estaciones meteorológicas junto a todas las estaciones pluviométricas, tanto existentes como en las propuestas.

A continuación, comenzar una campaña para cubrir la mayor parte de la cuenca y llegar a una densidad acorde a las recomendaciones de la OMM y a lo que se requiere para un SAT robusto. Con los datos actuales se determinó una ubicación tentativa para las estaciones meteorológicas propuestas.

Se aceptó el criterio de instalar estaciones pluviométricas **en zonas con peligro de remoción en masa**, ya que estas pueden entregar información valiosa para monitorear riesgos potenciales de deslizamiento de taludes, y el costo de perder una estación de este tipo es relativamente bajo en comparación de su aporte a prevenir catástrofes. Las estaciones meteorológicas completas por otro lado se proyectarán en zonas seguras y con buena accesibilidad.

Para realizar la ampliación definitiva de la red meteorológica se debe analizar desde el punto de vista técnico y de factibilidad, ya que emplazar estaciones depende no

solamente de la información que se requiere, sino que también si la ubicación de la estación es apta para registrar de manera correcta los datos requeridos y en el caso de la red primario y de referencia, si se puede acceder a ella de manera fácil, por lo que la campaña de extensión de la red de monitoreo debe ser realizada cuidadosamente y considerando datos de terreno recolectados especialmente con esos fines (topografía de detalle de las zonas de emplazamiento) y no modelos de elevación a gran escala como los disponibles en esta etapa del proyecto, que no representan el detalle del relieve que requiere la instalación de una estación meteorológica.

5.12.2 Estaciones Propuestas

5.12.2.1 Estaciones Meteorológicas

Para elaborar la propuesta de mejoramiento de la red de monitoreo meteorológica, como ya se presentó en la metodología, se siguieron las recomendaciones de la OMM y se consideraron como requisitos mínimos los criterios planteados en el método de la red mínima funcional de la misma organización.

Como los criterios mínimos expuestos en las guías obedecen a terreno planos con ausencia de accidentes orográficos de importancia, la literatura recomienda aumentar la densidad propuesta por los criterios mínimos de 2 a 3 veces, esto aplica a la parte alta de la cuenca y a las zonas costeras donde se ubica la cordillera de la costa.

Para filtrar los resultados obtenidos mediante las propuestas de densidad de estaciones de la OMM, se realizó un proceso analítico jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) de manera de obtener una propuesta con mayor factibilidad técnica.

5.12.2.2 Estaciones Fluviométricas

Para el caso de las estaciones fluviométricas, estas se propone ubicarlas cercanas o adyacentes a aquellas estaciones meteorológicas del Grupo 2, que se encuentren cercanas al cauce, incorporando la estación meteorológica en la estación fluviométrica. Este criterio, se recomienda para eventos de crecidas, en los cuales, la estación por razones de diversa índole pueda fallar o verse destruida, dejando el monitoreo del evento de tormenta a la estación meteorológica.

La selección de estas estaciones, seguirá el mismo patrón que el de las estaciones meteorológicas a través del método AHP.

5.12.2.3 Estaciones Grupo 1 y 1 – R

Para este grupo no se proponen nuevas estaciones, se plantea dejarlo como grupo base al cual se le deben realizar los mejoramientos correspondientes para cumplir con el estándar requerido para ser utilizados en un SAT. De este grupo de estaciones se debe elegir un subgrupo de estaciones de referencia, las que deben ser aquellas con mayor

número de datos, con mayor consistencia y que no hayan sufrido cambios durante un largo periodo de tiempo.

Para el grupo de estaciones de referencia existen 7 estaciones vigentes con un set de datos extenso y consistente de las cuales solo 2 poseen transmisión de datos remota. Por lo que en este subgrupo se incluirán todas las estaciones elegibles, las que deberán ser mejoradas como ya se dijo anteriormente ya que este grupo debe contar con transmisión de datos remota como requisito mínimo.

Tabla N° 5.11. Estaciones sub-grupo 1-R

Código BNA	Nombre	Transmisión Remota
8364001	Las Achiras	No
8334002	Los Ángeles	Si
8318002	Quilaco	No
8332002	Mulchén	No
8358002	Angol (La Mona)	Si
8317003	Cerro El Padre	No
8350002	Laguna Malleco	No

Este número de estaciones de referencia es acorde a las recomendaciones ya que se tienen aproximadamente 4 estaciones del grupo 1 por cada estación del subgrupo 1-R.

5.12.2.4 Estaciones Grupo 2

Las estaciones del grupo 2 alimentan el sistema de datos, son menos robustas que las estaciones del grupo 1 y en este caso el criterio para ubicarlas fue cubrir las zonas de la cuenca intermedia que no están cubiertas y hacer el monitoreo de la línea de nieves en torno a la cota 900 msnm. Si bien su radio de influencia máximo recomendado es de 25 a 30 km, en este caso se consideró un menor radio para tener un mejor monitoreo de la isoterma 0, ya que la DGA informó que el gran problema de la crecida del año 2006 fue que la isoterma 0 estuvo en una cota superior a lo normal de un frente de invierno y que la lluvia fue homogénea en toda la cuenca. Se proyectaron 38 estaciones del grupo 2.

Para ubicar estas estaciones se consideró cubrir una franja altitudinal cercana a la isoterma 0 histórica que atraviesa la cuenca desde el norte hacia el sur y que estuvieran cercanas a algún poblado o camino para tener acceso a ellas.

Adicionalmente se dispusieron algunas estaciones del grupo 2 para cubrir las zonas de la cuenca intermedia donde no existe cobertura del grupo 1 de estaciones.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

A continuación, se presenta un mapa con la ubicación propuesta de las estaciones según la metodología de la OMM presentada.

Figura N° 5.41. Mapa de estaciones Meteorológicas grupo 2 propuestas metodo OMM

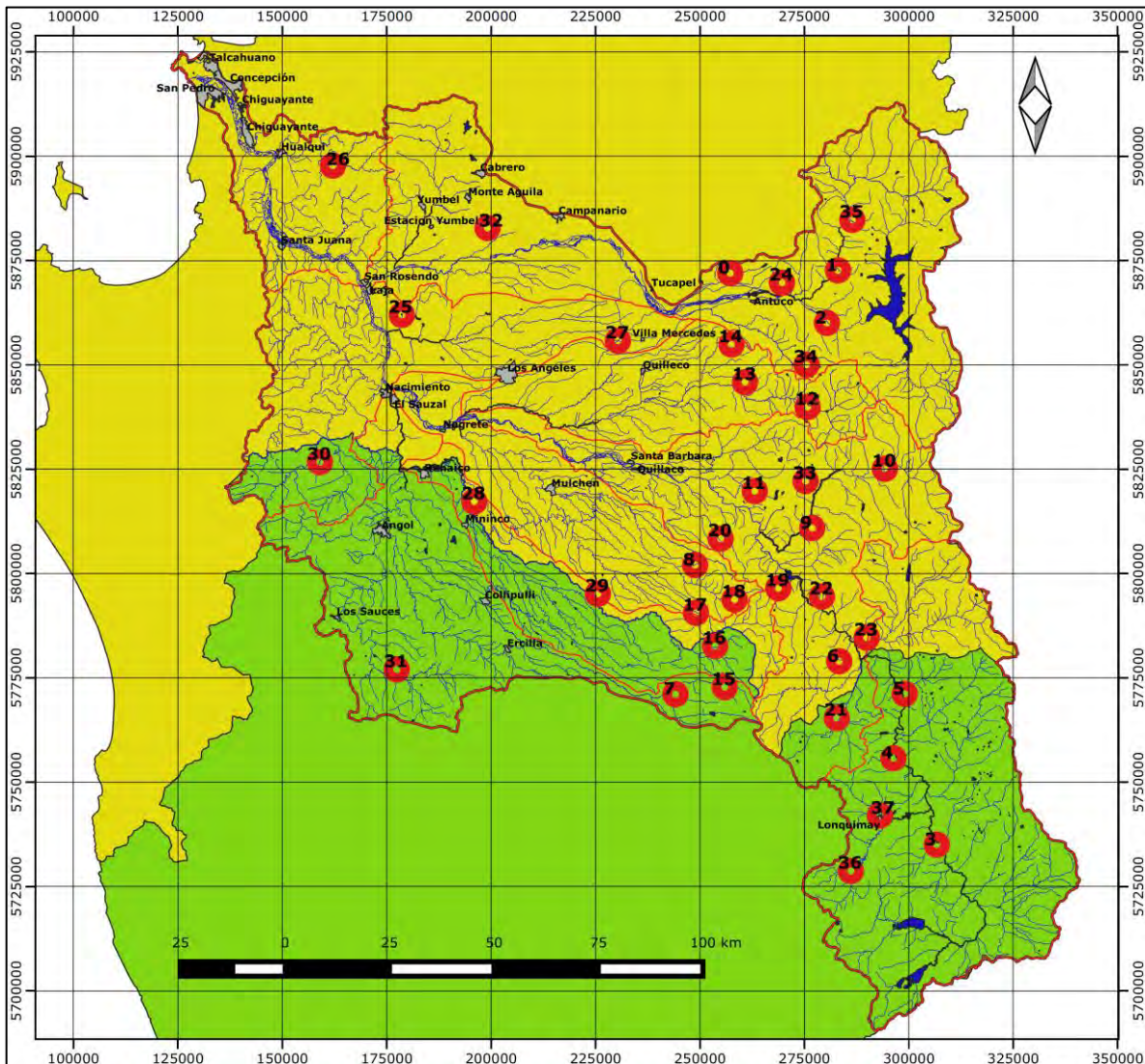


Tabla N° 5.12. Estaciones grupo 2 propuestas

ID	UTM Norte	UTM Este
0	5871992	257218
1	5872640	283030
2	5860054	280356
3	5735035	306664
4	5755761	296286
5	5771173	299002

ID	UTM Norte	UTM Este
6	5778982	283321
7	5771091	244109
8	5802050	248820
9	5810907	276847
10	5825090	294252
11	5819748	263108
12	5839918	275748
13	5845863	260767
14	5854877	257502
15	5772771	255890
16	5782631	253598
17	5790586	249012
18	5793777	258255
19	5796475	268731
20	5808374	254931
21	5765395	282728
22	5794485	279175
23	5784616	289897
24	5869696	269601
25	5861966	178619
26	5897747	162095
27	5855798	230330
28	5817261	195936
29	5795151	225536
30	5826699	158999
31	5777036	177391
32	5882799	199097
33	5822156	275256
34	5850040	275496
35	5884750	286443
36	5728724	286114
37	5742018	293033

5.12.2.5 Estaciones Grupo 3

Las estaciones del grupo 3 solo registran precipitaciones, son menos robustas y más económicas y se instalan intentando cubrir toda la cuenca monitoreada. En este caso se privilegió dada la baja cobertura de monitoreo y la gran importancia de monitorear las precipitaciones en un SAT disponer este tipo de estaciones en toda la cuenca, donde se tiene una buena cobertura de la red actual, por lo que se dispusieron estaciones del grupo 3 intercaladas con estaciones del grupo 2, que poseen una instrumentación más completa.

En total se proyectaron 85 estaciones, las que fueron dispuestas de manera de ir cubriendo franjas altitudinales donde los factores orográficos cobran mayor importancia en los fenómenos climáticos. La disposición de las estaciones se hizo considerando un radio de influencia de la estación del orden de 5 kilómetros.

A continuación, se presenta un mapa con la ubicación propuesta de las estaciones según la metodología de la OMM presentada.

**Figura N° 5.42. Mapa de estaciones Meteorológicas grupo 3 propuestas
método OMM**

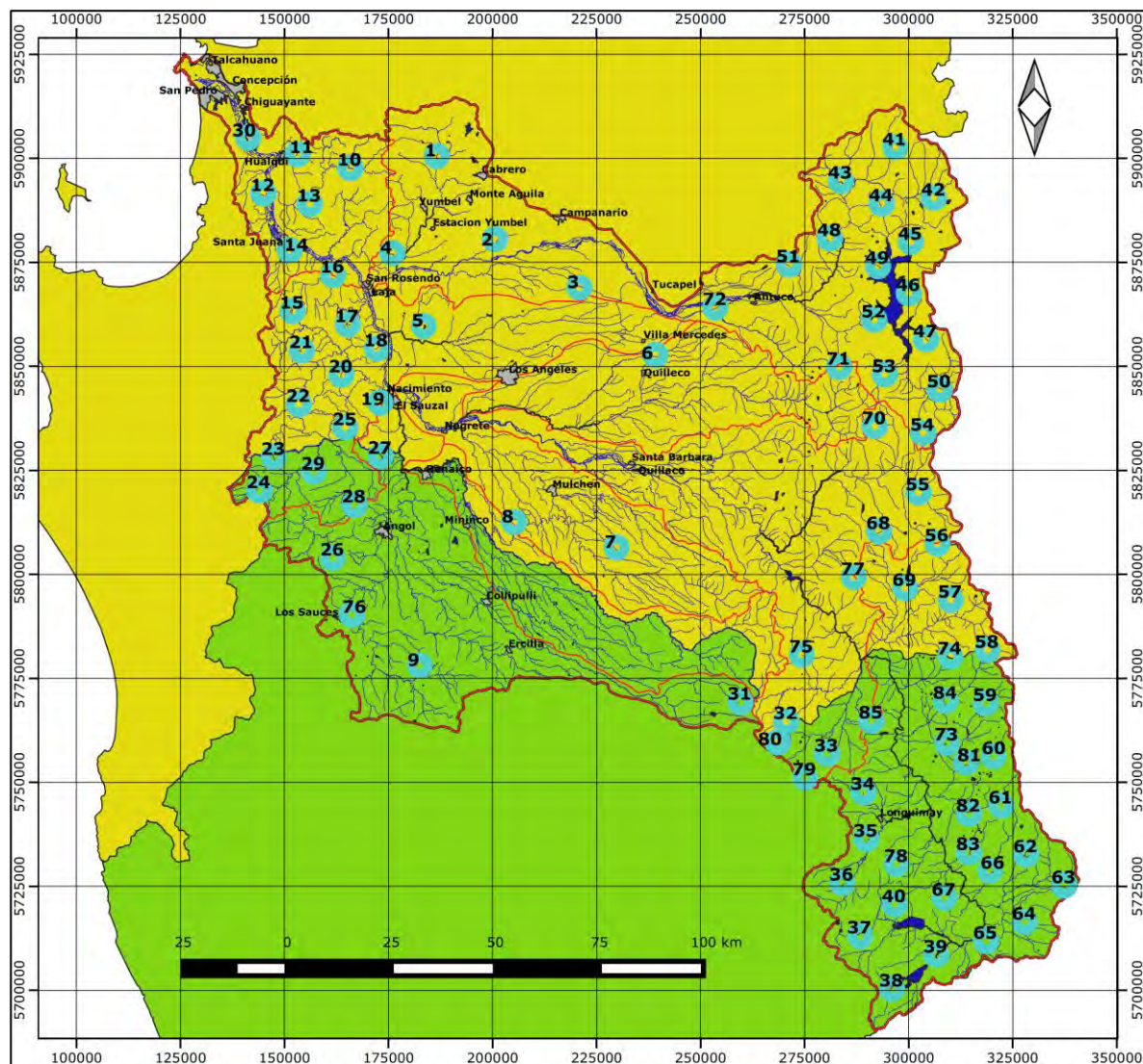


Tabla N° 5.13. Estaciones grupo 3 propuestas

ID	UTM Norte	UTM Este
1	5900567	186580
2	5880559	200590
3	5868927	220849
4	5877217	175889
5	5859717	183464
6	5852717	239091
7	5806489	229748
8	5812580	205094
9	5778083	182481
10	5897678	165802
11	5900947	153105
12	5891574	144916
13	5889068	156059
14	5877943	151247
15	5863339	151927
16	5871967	161652
17	5860078	165179
18	5854295	172153
19	5841268	172986
20	5848000	163667
21	5853848	154173
22	5840926	153450
23	5828176	147445
24	5820156	143911
25	5835311	164611
26	5803973	161608
27	5828437	173056
28	5816746	166811
29	5824642	157035
30	5904980	141249
31	5769326	259552
32	5764672	270557
33	5756887	280380
34	5747660	289129
35	5736405	289824
36	5725853	284027
37	5713138	288321

ID	UTM Norte	UTM Este
38	5700400	295969
39	5708566	306632
40	5720672	296637
41	5902602	296747
42	5890476	306055
43	5894591	283683
44	5889142	293503
45	5879903	300501
46	5867575	300021
47	5856452	304149
48	5880791	281060
49	5874113	292620
50	5844405	307455
51	5874488	271229
52	5861219	291707
53	5848077	294253
54	5834006	303455
55	5819668	302335
56	5807400	306905
57	5793854	310098
58	5781816	318933
59	5769026	318518
60	5756245	320373
61	5744394	322271
62	5732638	328202
63	5725238	337397
64	5716446	327900
65	5711873	318575
66	5728766	319565
67	5722244	308588
68	5810339	292858
69	5796688	299138
70	5835573	291830
71	5849875	283283
72	5864175	253519
73	5759544	309208
74	5780238	309975
75	5780673	274315

ID	UTM Norte	UTM Este
76	5790293	166177
77	5799309	286769
78	5730325	297095
79	5751162	275086
80	5759672	268499
81	5754725	313731
82	5742435	314470
83	5733202	314470
84	5769556	308910
85	5841271	226286
86	5865367	267819
87	5791302	214937

5.12.3 Proceso Analítico Jerárquico

Para determinar las estaciones del grupo 2 y grupo 3 factibles técnicamente de construir se procedió a hacer un análisis siguiendo la metodología descrita por Valdés (2013) presentada anteriormente, en esta en conjunto con herramientas SIG se utiliza el AHP para determinar los pesos de los criterios o variables consideradas como relevantes para definir la instalación de una estación meteorológica.

Los criterios considerados y con buena información disponible fueron los siguientes:

- Pendiente.
- Factor de seguridad al deslizamiento
- Cercanía a caminos
- Cercanía a poblados
- Geología

Para cada grupo de estaciones se determinó un vector de pesos de cada criterio siguiendo las siguientes consideraciones.

Para el grupo 2 se consideraron con una mayor preponderancia la pendiente y el factor de seguridad al deslizamiento, luego en segundo orden de importancia se consideró la accesibilidad, es decir la cercanía a pueblos y caminos y finalmente la geología, la cual está implícitamente contenida en los dos primeros factores.

Para el grupo 3 se consideró como lo más importante la accesibilidad y en segundo plano se consideraron la pendiente y el factor de seguridad al deslizamiento ya que para estas estaciones se acepta mayor riesgo de perderla por aluviones, pero siempre se debe tener acceso a la estación.

Los vectores de pesos obtenidos se presentan a continuación.

Tabla N° 5.14. Pesos criterios grupo 2

Criterio	Peso
Pendiente	34.24%
FS Deslizamiento	34.24%
Cercanía Caminos	12.98%
Cercanía a Poblados	12.98%
Geología	5.57%
Total	100.00%

Tabla N° 5.15. Pesos criterios grupo 3

Criterio	Peso
Pendiente	14.29%
FS Deslizamiento	14.29%
Cercanía Caminos	33.35%
Cercanía a Poblados	33.35%
Geología	4.72%
Total	100.00%

Con estos vectores de pesos de los criterios y con la ayuda de un software SIG y con los valores de los criterios normalizados, se calculó mediante algebra de mapas la sumatoria de los pesos ponderados de cada criterio por su valor normalizado obteniéndose la clasificación por AHP de cada celda de la grilla donde se obtiene un valor entre 0 y 4 con los siguientes intervalos.

Tabla N° 5.16 Clasificaciones obtenidas mediante AHP

Valor	Clasificación
0 – 1	No Apto
1 – 2	Levemente Apto
2 – 3	Moderadamente Apto
3 – 4	Apto

Los resultados obtenidos y las estaciones seleccionadas a partir de la aplicación del AHP se presentan a continuación.

Figura N° 5.43. Mapa resultados AHP para estaciones grupo 2

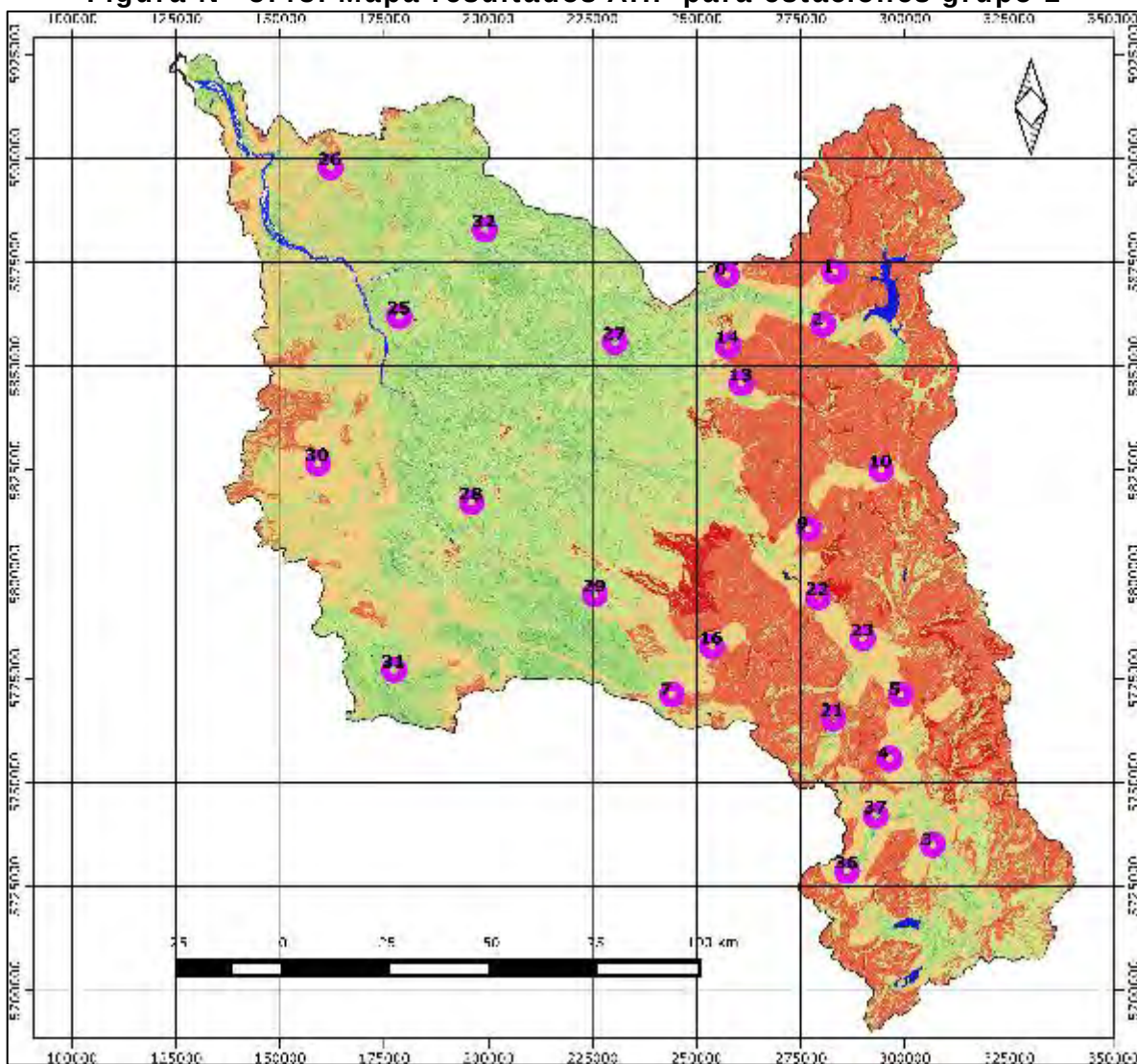
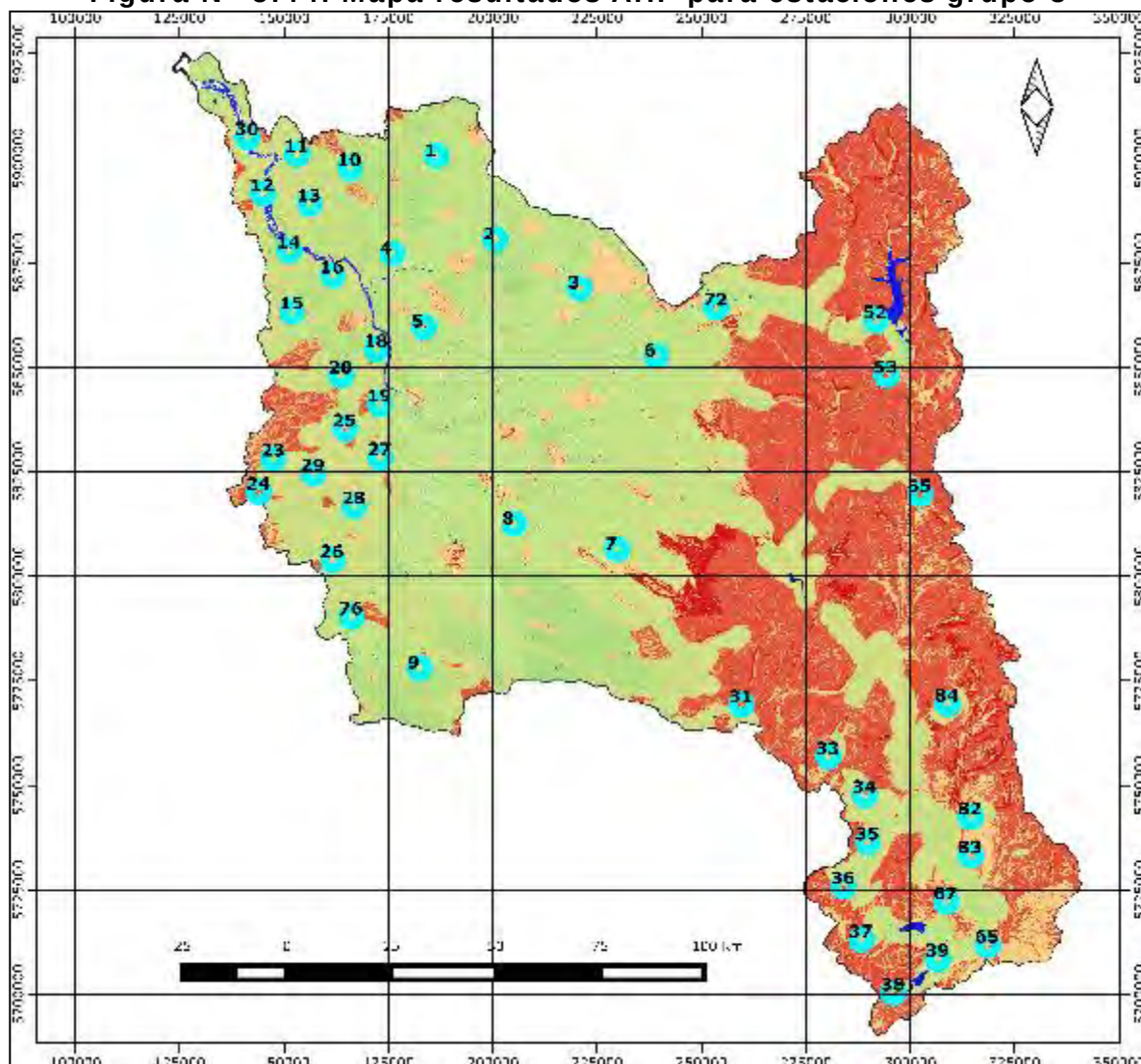


Figura N° 5.44. Mapa resultados AHP para estaciones grupo 3



Se puede observar que en la parte alta de la cuenca se eliminó una gran parte de las estaciones del grupo 3 luego de la aplicación del AHP, pero de igual manera la red se mantiene homogénea ya que las zonas de la parte alta que no se cubren con el grupo 3 se cubren con estaciones del grupo 2 que son más completas en cuanto a instrumentación. Esto evita acumular estaciones que estén midiendo datos similares.

El análisis hecho para cada estación a la luz de los resultados de el AHP se presenta en los cuadros a continuación, en ellos se entrega la justificación de la aceptación o eliminación de cada estación propuesta con el método de la OMM.

Tabla N° 5.17. AHP estaciones grupo 2

ID	UTM Norte	UTM Este	Acepta/Elimina	Comentario
0	5871992	257218	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
1	5872640	283030	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
2	5860054	280356	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
3	5735035	306664	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
4	5755761	296286	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
5	5771173	299002	Elimina	Cercana a estación existente
6	5778982	283321	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
7	5771091	244109	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
8	5802050	248820	Elimina	Baja seguridad frente a deslizamientos
9	5810907	276847	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
10	5825090	294252	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
11	5819748	263108	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
12	5839918	275748	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
13	5845863	260767	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
14	5854877	257502	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
15	5772771	255890	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
16	5782631	253598	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
17	5790586	249012	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
18	5793777	258255	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
19	5796475	268731	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
20	5808374	254931	Elimina	Baja seguridad frente a deslizamientos
21	5765395	282728	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
22	5794485	279175	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
23	5784616	289897	Elimina	Cercana a estación existente
24	5869696	269601	Elimina	Baja seguridad frente a deslizamientos
25	5861966	178619	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
26	5897747	162095	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
27	5855798	230330	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
28	5817261	195936	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
29	5795151	225536	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
30	5826699	158999	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
31	5777036	177391	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
32	5882799	199097	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
33	5822156	275256	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
34	5850040	275496	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente
35	5884750	286443	Elimina	Mala accesibilidad, alta pendiente

ID	UTM Norte	UTM Este	Acepta/Elimina	Comentario
36	5728724	286114	Acepta	Buena accesibilidad, zonas seguras
37	5742018	293033	Elimina	Cercana a estación existente

Tabla N° 5.18. AHP estaciones grupo 3

ID	UTM Norte	UTM Este	Acepta/Elimina	Comentario
1	5900567	186580	Acepta	Buena accesibilidad
2	5880559	200590	Acepta	Buena accesibilidad
3	5868927	220849	Acepta	Buena accesibilidad
4	5877217	175889	Acepta	Buena accesibilidad
5	5859717	183464	Acepta	Buena accesibilidad
6	5852717	239091	Acepta	Buena accesibilidad
7	5806489	229748	Acepta	Mala accesibilidad
8	5812580	205094	Acepta	Buena accesibilidad
9	5778083	182481	Acepta	Buena accesibilidad
10	5897678	165802	Acepta	Buena accesibilidad
11	5900947	153105	Acepta	Buena accesibilidad
12	5891574	144916	Acepta	Buena accesibilidad
13	5889068	156059	Acepta	Buena accesibilidad
14	5877943	151247	Acepta	Buena accesibilidad
15	5863339	151927	Acepta	Buena accesibilidad
16	5871967	161652	Acepta	Buena accesibilidad
17	5860078	165179	Elimina	Mala accesibilidad
18	5854295	172153	Acepta	Buena accesibilidad
19	5841268	172986	Acepta	Buena accesibilidad
20	5848000	163667	Acepta	Buena accesibilidad
21	5853848	154173	Elimina	Mala accesibilidad
22	5840926	153450	Elimina	Mala accesibilidad
23	5828176	147445	Acepta	Buena accesibilidad
24	5820156	143911	Acepta	Buena accesibilidad
25	5835311	164611	Acepta	Buena accesibilidad
26	5803973	161608	Acepta	Buena accesibilidad
27	5828437	173056	Acepta	Buena accesibilidad
28	5816746	166811	Acepta	Buena accesibilidad
29	5824642	157035	Acepta	Buena accesibilidad
30	5904980	141249	Acepta	Buena accesibilidad
31	5769326	259552	Acepta	Buena accesibilidad
32	5764672	270557	Elimina	Mala accesibilidad

ID	UTM Norte	UTM Este	Acepta/Elimina	Comentario
33	5756887	280380	Acepta	Buena accesibilidad
34	5747660	289129	Acepta	Buena accesibilidad
35	5736405	289824	Acepta	Buena accesibilidad
36	5725853	284027	Acepta	Buena accesibilidad
37	5713138	288321	Acepta	Buena accesibilidad
38	5700400	295969	Acepta	Buena accesibilidad
39	5708566	306632	Acepta	Buena accesibilidad
40	5720672	296637	Elimina	Mala accesibilidad
41	5902602	296747	Elimina	Mala accesibilidad
42	5890476	306055	Elimina	Mala accesibilidad
43	5894591	283683	Elimina	Mala accesibilidad
44	5889142	293503	Elimina	Mala accesibilidad
45	5879903	300501	Elimina	Mala accesibilidad
46	5867575	300021	Elimina	Mala accesibilidad
47	5856452	304149	Elimina	Mala accesibilidad
48	5880791	281060	Elimina	Mala accesibilidad
49	5874113	292620	Elimina	Mala accesibilidad
50	5844405	307455	Elimina	Mala accesibilidad
51	5874488	271229	Elimina	Mala accesibilidad
52	5861219	291707	Acepta	Buena accesibilidad
53	5848077	294253	Acepta	Buena accesibilidad
54	5834006	303455	Elimina	Mala accesibilidad
55	5819668	302335	Acepta	Buena accesibilidad
56	5807400	306905	Elimina	Mala accesibilidad
57	5793854	310098	Elimina	Mala accesibilidad
58	5781816	318933	Elimina	Mala accesibilidad
59	5769026	318518	Elimina	Mala accesibilidad
60	5756245	320373	Elimina	Mala accesibilidad
61	5744394	322271	Elimina	Mala accesibilidad
62	5732638	328202	Elimina	Mala accesibilidad
63	5725238	337397	Elimina	Mala accesibilidad
64	5716446	327900	Elimina	Mala accesibilidad
65	5711873	318575	Acepta	Buena accesibilidad
66	5728766	319565	Elimina	Mala accesibilidad
67	5722244	308588	Acepta	Buena accesibilidad
68	5810339	292858	Elimina	Mala accesibilidad
69	5796688	299138	Elimina	Mala accesibilidad
70	5835573	291830	Elimina	Mala accesibilidad

ID	UTM Norte	UTM Este	Acepta/Elimina	Comentario
71	5849875	283283	Elimina	Mala accesibilidad
72	5864175	253519	Acepta	Buena accesibilidad
73	5759544	309208	Elimina	Mala accesibilidad
74	5780238	309975	Elimina	Mala accesibilidad
75	5780673	274315	Elimina	Mala accesibilidad
76	5790293	166177	Acepta	Buena accesibilidad
77	5799309	286769	Elimina	Mala accesibilidad
78	5730325	297095	Elimina	Mala accesibilidad
79	5751162	275086	Elimina	Mala accesibilidad
80	5759672	268499	Elimina	Mala accesibilidad
81	5754725	313731	Elimina	Mala accesibilidad
82	5742435	314470	Acepta	Buena accesibilidad
83	5733202	314470	Acepta	Buena accesibilidad
84	5769556	308910	Acepta	Buena accesibilidad
85	5841271	226286	Acepta	Buena accesibilidad
86	5865367	267819	Acepta	Buena accesibilidad
87	5791302	214937	Acepta	Buena accesibilidad

5.12.4 Análisis de consistencia AHP

Para analizar la robustez del análisis realizado, se hizo un análisis de consistencia de la categorización de los criterios y posteriormente un análisis de sensibilidad.

Saaty (1970) demostró que para una matriz recíproca el mayor valor propio de la matriz $\lambda_{\max}$, es igual al orden n de la matriz ($\lambda_{\max} = n$), por lo que definió el índice de consistencia CI de la siguiente manera.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Este índice debe ser comparado con el índice de consistencia aleatorio RI el cual se obtiene de un muestreo de matrices recíprocas generadas aleatoriamente. En el cuadro a continuación se presenta el valor de RI para distintos ordenes de matrices, obtenidos a partir del RI promedio de una muestra aleatoria de 500 matrices .

Tabla N° 5.19. Valores de RI para distintos tamaños de matrices

n	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.9
5	1.12

n	RI
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49

Finalmente se calcula el grado de consistencia CR comparando CI con RI de la siguiente manera.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

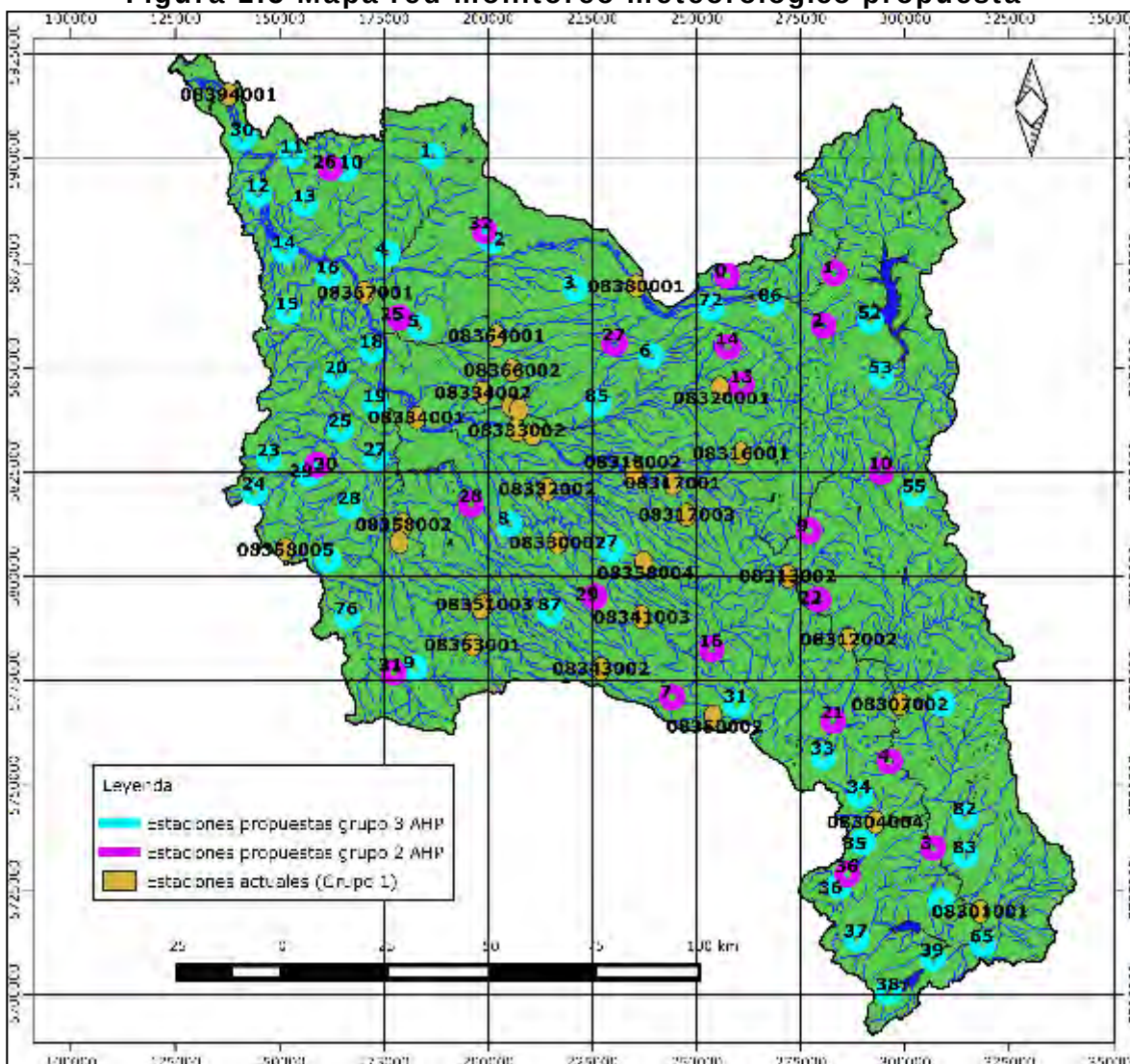
Si CR es menor que 10% la inconsistencia es aceptable y si es mayor a 10% se deben revisar los juicios subjetivos respecto de los criterios considerados.

En el caso de este estudio se tiene para el análisis del grupo 2 un CR = 1,6% y para el grupo 3 un CR = 5,5% ambos considerados aceptables.

5.12.5 Resultados y recomendaciones

El resultado de la red de monitoreo meteorológico robusto se presenta a continuación, en esta se puede ver una buena cobertura espacial de la cuenca suficiente para caracterizar adecuadamente los fenómenos meteorológicos de la cuenca. Con ello se podrá dar aviso con al menos 48 hrs de antelación ante fenómenos que puedan ocasionar crecidas y minimizando el riesgo de la población.

Figura 1.5 Mapa red monitoreo meteorologico propuesta



5.13 MEJORAMIENTO HIDROLÓGICO PROPUESTO PARA SAT

5.13.1 Criterios

Para definir la red hidrométrica propuesta a una red funcional SAT, se realizará un análisis desde el punto de vista de sub-cuenca, considerando además, la componente social involucrada en el área de estudio del SAT, especialmente las zonas donde se identificaron potenciales peligros de inundación para proponer el mínimo de estaciones necesarias para el sistema.

5.13.1.1 Estaciones Fluviométricas

Para poder hacer oportuna y correctamente el pronóstico de la evolución de la onda de crecida del río y calibrar de la mejor manera los modelos involucrados en la implementación del SAT, se recomienda la instalación de Estaciones fluviométricas, donde se han utilizado los siguientes criterios para su ubicación:

- Estaciones en las salidas de las sub-cuencas donde aún no exista (hay muchas salidas de subcuencas que ya están siendo monitoreadas)
- Lograr una cobertura espacial (tanto en altura como en latitud) que cumpla al menos con los criterios de la red mínima propuesta por la OMM y que permitan caracterizar y predecir el fenómeno de precipitación escorrentía que ocurre en cada subcuenca de manera de poder hacer un pronóstico de la evolución de la onda de crecida a lo largo del cauce de los ríos monitoreados y poder dar las alarmas correspondientes. Dada la gran extensión de la cuenca del río Biobío, cada subcuenca tiene un régimen de comportamiento distinto incluso durante una misma tormenta, lo que obliga a monitorear estos comportamientos e incorporarlos en los modelos que se implementan con motivo del SAT.
- Énfasis en determinar las alarmas tempranas en aquellos los sectores vulnerables ante eventos de crecidas, que en el pasado han sido afectados por eventos extremos como el del año 2006.

5.13.1.2 Estaciones Meteorológicas

Se propone la instalación de Estaciones Meteorológicas o mejoramiento de las existentes en las zonas de los ríos cercanas a las zonas afectadas, esto con el fin de que los modelos de pronóstico de la crecida tengan un punto de control y permitan hacer los pronósticos con distintos tiempos de anticipación.

En las zonas donde las inundaciones se producen por el peraltamiento de los ríos en las juntas, producto del nivel que impone el escurrimiento en el río Biobío, se privilegiará instalar la estación en la sección que impone el control ya que en el cauce influenciado las lecturas especialmente de caudal pueden ser erróneas.

Los criterios utilizados para la ubicación de las estaciones mínimas propuestas para el SAT es la siguiente:

- Densidad mínima para red funcional

- Criterios OMM
- Análisis Jerárquico
- Cobertura espacial en la cuenca para elaboración de gradientes
- Utilidad para implementación de un SAT
- Utilidad social de la estación, con énfasis en sectores vulnerables ante eventos de crecidas.

Cabe destacar que las estaciones meteorológicas propuestas se agrupan en 2 tipos:

- Tipo 1: Estas corresponden a estaciones meteorológicas o climatológicas con registro en línea que deben tener instrumentación para medir temperatura, precipitaciones, presión atmosférica, viento, humedad.
- Tipo 2: Estas corresponden a estaciones de medición de precipitaciones con registro en línea por lo que solo deben contar con instrumental para medir precipitaciones, ya sea sólidas o líquidas.

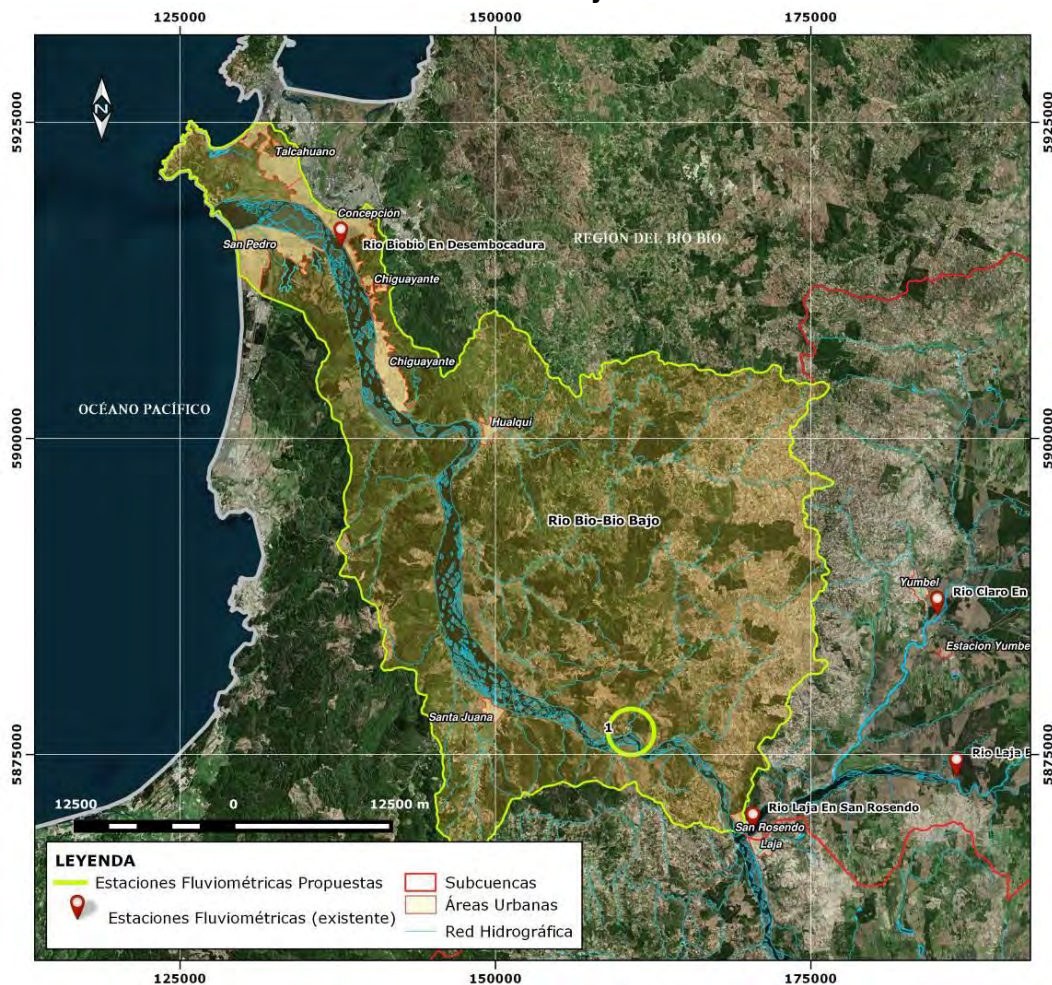
A continuación, se realizará el análisis de las principales subcuencas de la zona en estudio.

5.13.2 Subcuenca Biobío Bajo

5.13.2.1 Estaciones Fluviométricas

Esta corresponde a una cuenca costera con presencia de la cordillera de la costa y que presenta importantes zonas con problemas de inundaciones por crecidas del río Biobío, por ejemplo Hualqui, Concepción, Chiguayante y San Pedro. Actualmente existe un control fluviométrico cercano a la salida de la subcuenca que corresponde a la estación Biobío en Desembocadura. Este consultor propone instalar una estación fluviométrica aguas arriba de Hualqui que permita calibrar las herramientas de pronóstico del SAT, complementándose con las estaciones ubicadas en la subcuenca Laja Bajo y entregar en base a los registros de la velocidad de propagación de la onda de crecidas alertas con una antelación suficiente para la evacuación de sectores vulnerables. Además, dicha estación cumple una segunda función de medir los niveles aguas abajo de la confluencia con el río Laja. Cabe destacar que en este tramo no existen aportes intermedios de relevancia. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la sub-cuenca.

Figura N° 5.45. Mapa Estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca Biobío Bajo



5.13.2.2 Estaciones Meteorológicas

Se propone una estación meteorológica de tipo 1 de manera de poder caracterizar correctamente el gradiente térmico de la subcuenca y de 2 estaciones meteorológicas tipo 2 que permitan tener una medida de la precipitación que ocurre en la sub-cuenca, el objetivo de esta propuesta es que las nuevas estaciones puedan complementarse con las estaciones de la zona de la cuenca intermedia (sub-cuenca Laja Bajo), e ir generando pronósticos en tiempo real de los eventos de crecidas a través del modelo SAT. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la sub-cuenca.

Tabla N° 5.20. Estaciones Propuestas subcuenca Biobío Bajo

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Fluviométrica	1	Aguas arriba de Hualqui	Control de niveles aguas abajo de Laja y calibración de modelos

Meteorológica tipo 1	1	Zona baja subcuenca	Control de gradiente térmico y de precipitaciones
Meteorológica tipo 2	2	Zona alta subcuenca	Control de precipitaciones para pronóstico en línea

Figura N° 5.46. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca Biobío Bajo

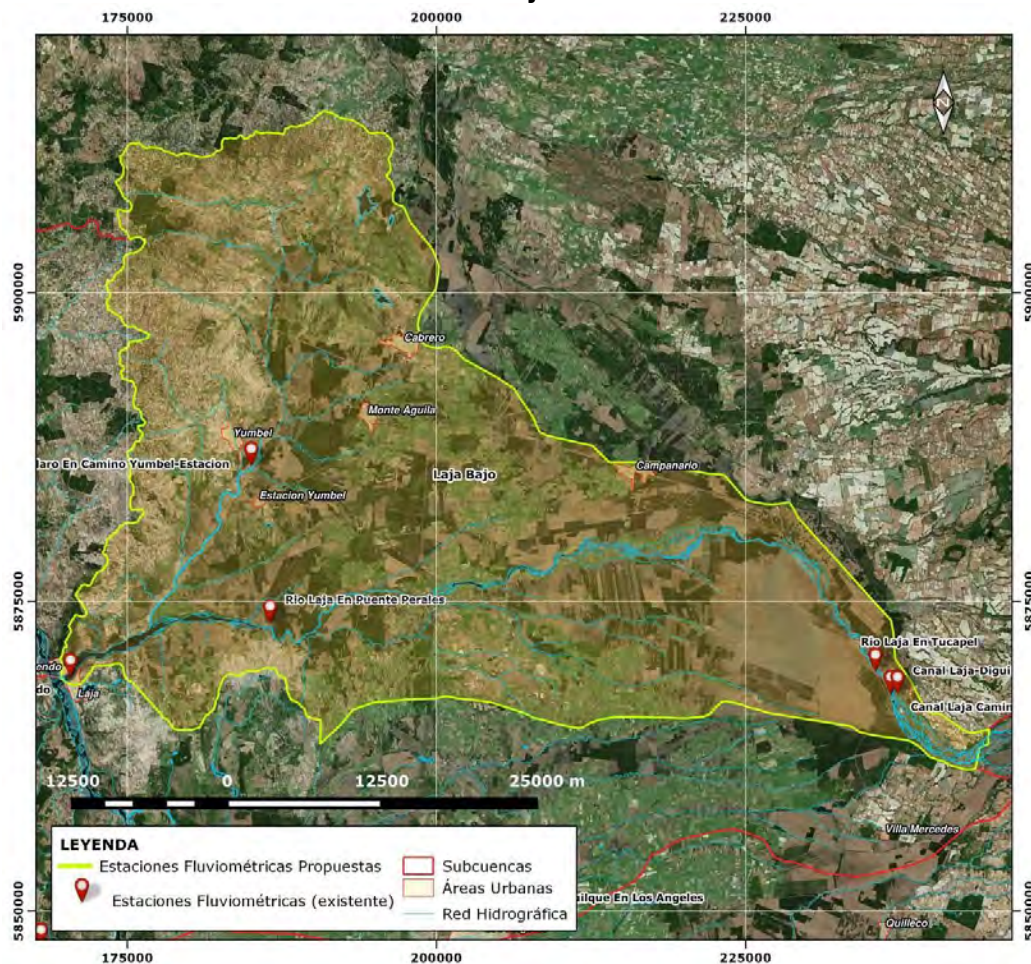


5.13.3 Subcuenca Laja Bajo

5.13.3.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una subcuenca de la planicie intermedia, que presenta zonas con problemas de inundaciones por las crecidas del río Laja y su peraltamiento en la junta con el río Biobío. Se tiene un control fluviométrico en la salida de la subcuenca que corresponde a la estación Laja en San Rosendo, con 2 controles intermedios más en el río Laja y un control en el río Claro, por lo cual el flujo se estima bien caracterizado, con la finalidad de obtener registros de caudal en caso de eventos de crecidas. Por otra parte, las localidades de Laja y San Rosendo ubicadas en la zona baja de la subcuenca, en el enfoque de un SAT, quedarían cubiertas y resguardadas con el control de la estación de la zona alta Río Laja en Tucapel, distante aproximadamente 80 km, que entregarían una adecuada alerta en términos de tiempo de anticipación. A continuación, se presenta una figura con las estaciones fluviométricas.

Figura N° 5.47. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca Laja Bajo



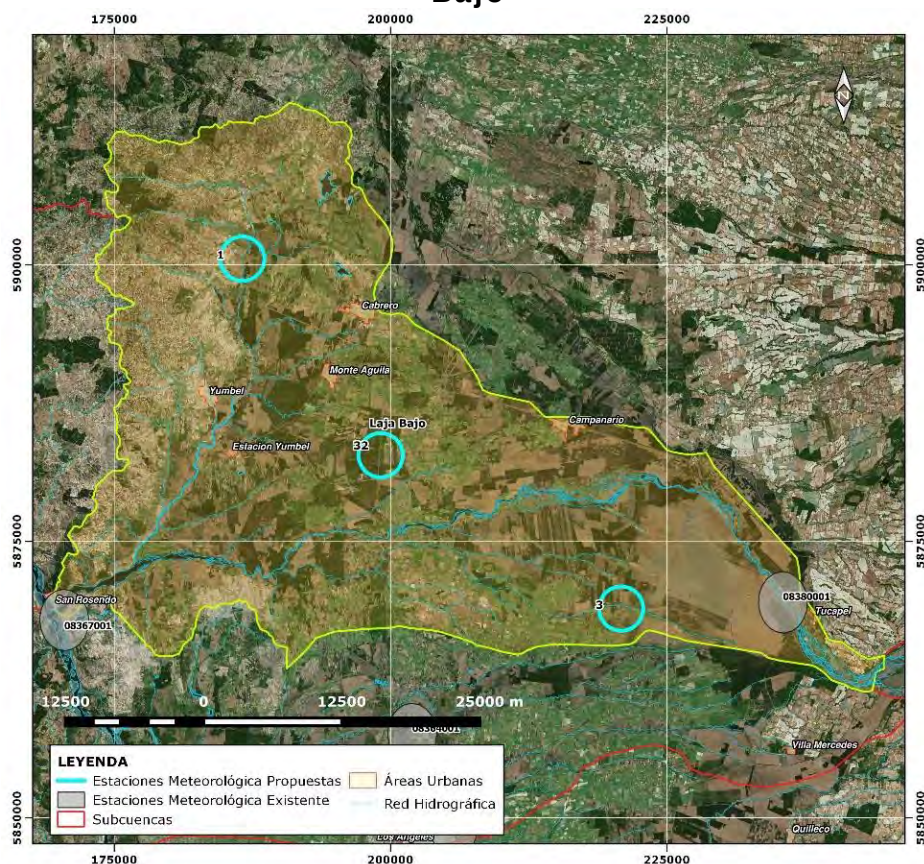
5.13.3.2 Estaciones Meteorológicas

Respecto de las estaciones meteorológicas, se propone una estación tipo 1 de manera de poder caracterizar correctamente el gradiente térmico de la cuenca y 2 estaciones tipo 2 que permitan tener una medida de la precipitación que ocurre en la subcuenca, el objetivo de esta propuesta es que las nuevas estaciones puedan complementare con las estaciones de la zona de la cuenca intermedia (Biobío entre río Vergara y río Laja), e ir generando pronósticos en tiempo real de los eventos de crecidas a través del modelo SAT. A continuación, se presenta una figura con las estaciones meteorológicas propuestas para la sub-cuenca.

Tabla N° 5.21. Estaciones Propuestas subcuenca Laja Bajo

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	1	Zona media subcuenca	Control de gradiente térmico y de precipitaciones
Meteorológica tipo2	2	Distribuido en la subcuenca	Control de precipitaciones para pronóstico en línea

Figura N° 5.48. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca Laja Bajo



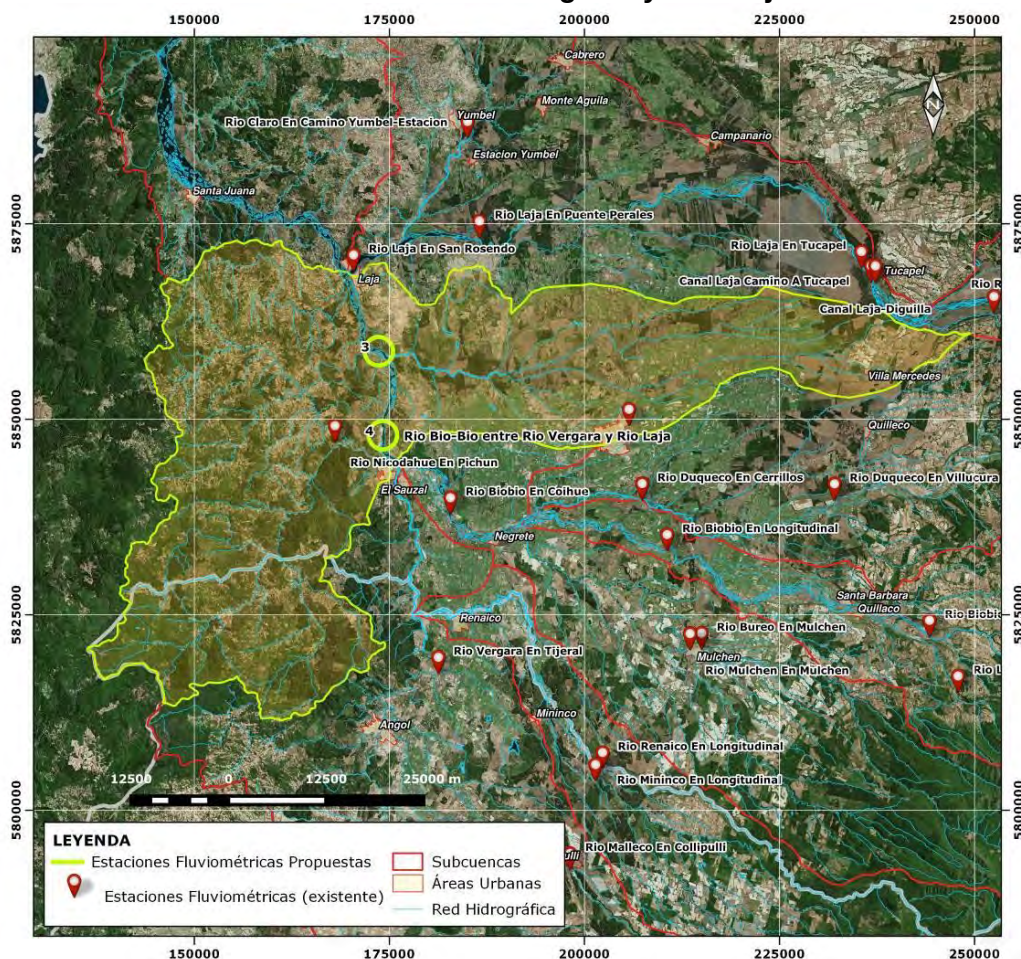
5.13.4 Subcuenca Biobío entre río Vergara y río Laja

5.13.4.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una subcuenca de la planicie intermedia, que presenta zonas con problemas de inundaciones por las crecidas en la junta con el río Laja. Se propone instalar una estación Fluviométrica en el río Biobío aguas abajo de la confluencia con el río Guaqui, esto también ayudará a estimar el aporte del estero Quilque y calibrar el sistema SAT. Por otra parte, se propone una estación cercana a la entrada de la cuenca, con el fin de monitorear el flujo en el Biobío y calibrarlo con el aporte del río Guaqui.

Ambas estaciones propuestas, actuarán complementándose con las estaciones ubicadas en la subcuenca río Vergara y río Malleco, y entregarán en base a los registros de la velocidad de propagación de la onda de crecidas alertas con una antelación suficiente para la evacuación de sectores vulnerables (Laja, San Rosendo). A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Figura N° 5.49. Mapa estaciones Fluviometricas propuestas subcuenca Biobío entre río Vergara y río Laja



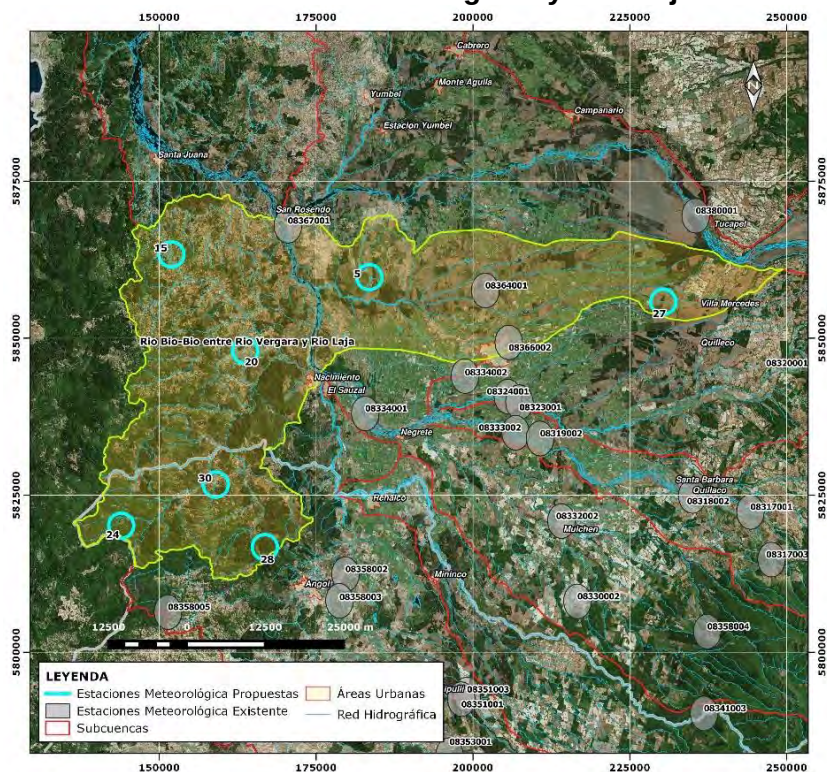
5.13.4.2 Estaciones Meteorológicas

Respecto de las estaciones meteorológicas, se proponen 2 estaciones tipo 1 de manera de poder caracterizar correctamente el gradiente térmico de la cuenca y 4 estaciones tipo 2 que permitan tener una medida de la precipitación que ocurre en la subcuenca, e ir generando pronósticos en tiempo real de los eventos de crecidas a través del modelo SAT. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Tabla N° 5.22. Estaciones Propuestas subcuenca Biobío entre río Vergara y río Laja

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Fluviométrica	1	Aguas abajo de Guaqui	Control de caudales en parte baja de la cuenca
Fluviométrica	1	Entrada de la subcuenca	Control de caudales en parte alta de la cuenca
Meteorológica tipo 1	2	Zonas de la subcuenca sin monitoreo meteorológico	Control de gradiente térmico y de precipitaciones
Meteorológica tipo 2	4	Distribuido en la subcuenca	Control de precipitaciones para pronóstico en línea

Figura N° 5.50. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca Biobío entre río Vergara y río Laja



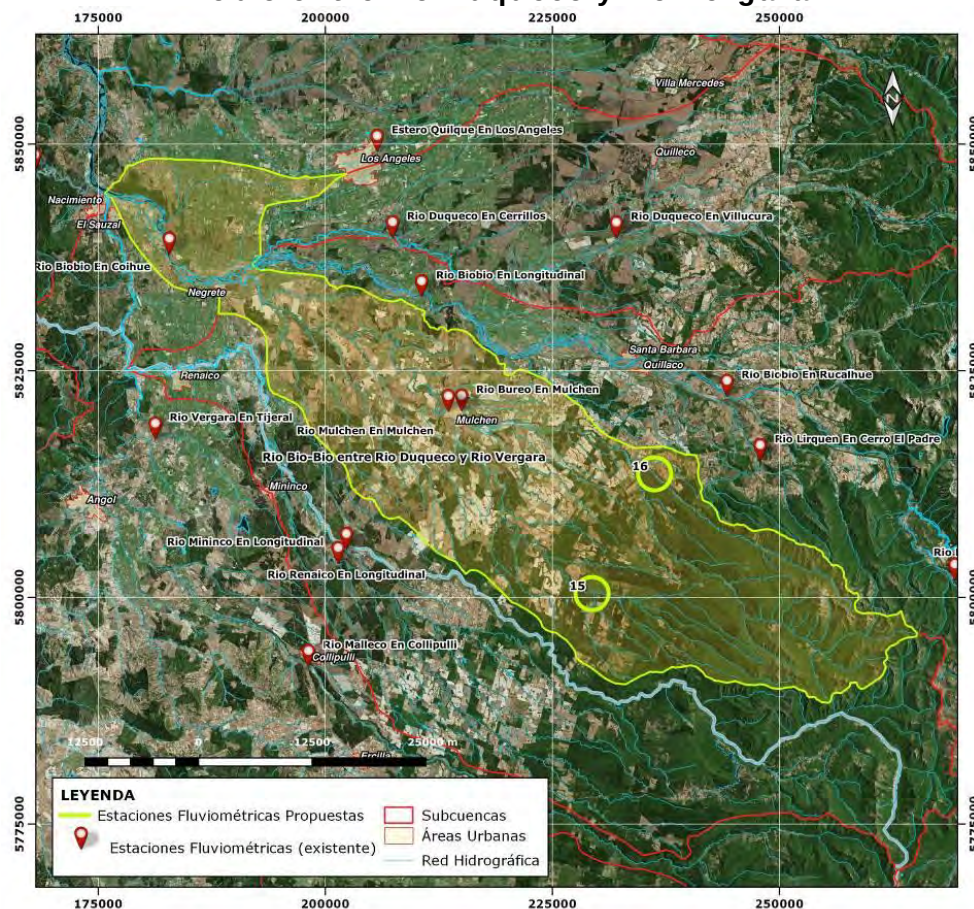
5.13.5 Subcuenca Biobío entre río Duqueco y río Vergara

5.13.5.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una cuenca de la planicie intermedia, que presenta zonas con importantes problemas de inundaciones por las crecidas en los ríos Bureo y Mulchén en Mulchén y con el peraltamiento en crecidas que produce el río Biobío en la junta con el

río Duqueco. En el río Biobío, aguas arriba de la junta con el río Duqueco, se monitorean los niveles a través de la estación existente Longitudinal, lo cual es suficiente para calibrar las herramientas de pronóstico del SAT y poder dar la alarma con la debida de anticipación a Negrete. Dado lo señalado, se proponen estaciones en la parte intermedia de las cuencas de los ríos Bureo y Mulchén de manera de monitorear la parte media de la subcuenca. Con ello, se podrá predecir la evolución de la onda de crecida de manera certera y no depender exclusivamente de estaciones ubicadas en los puntos que presentan problemas de inundación. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la sub-cuenca.

Figura N° 5.51. Mapa estaciones Fluviometricas propuestas subcuenca Biobío entre río Duqueco y río Vergara



5.13.5.2 Estaciones Meteorológicas

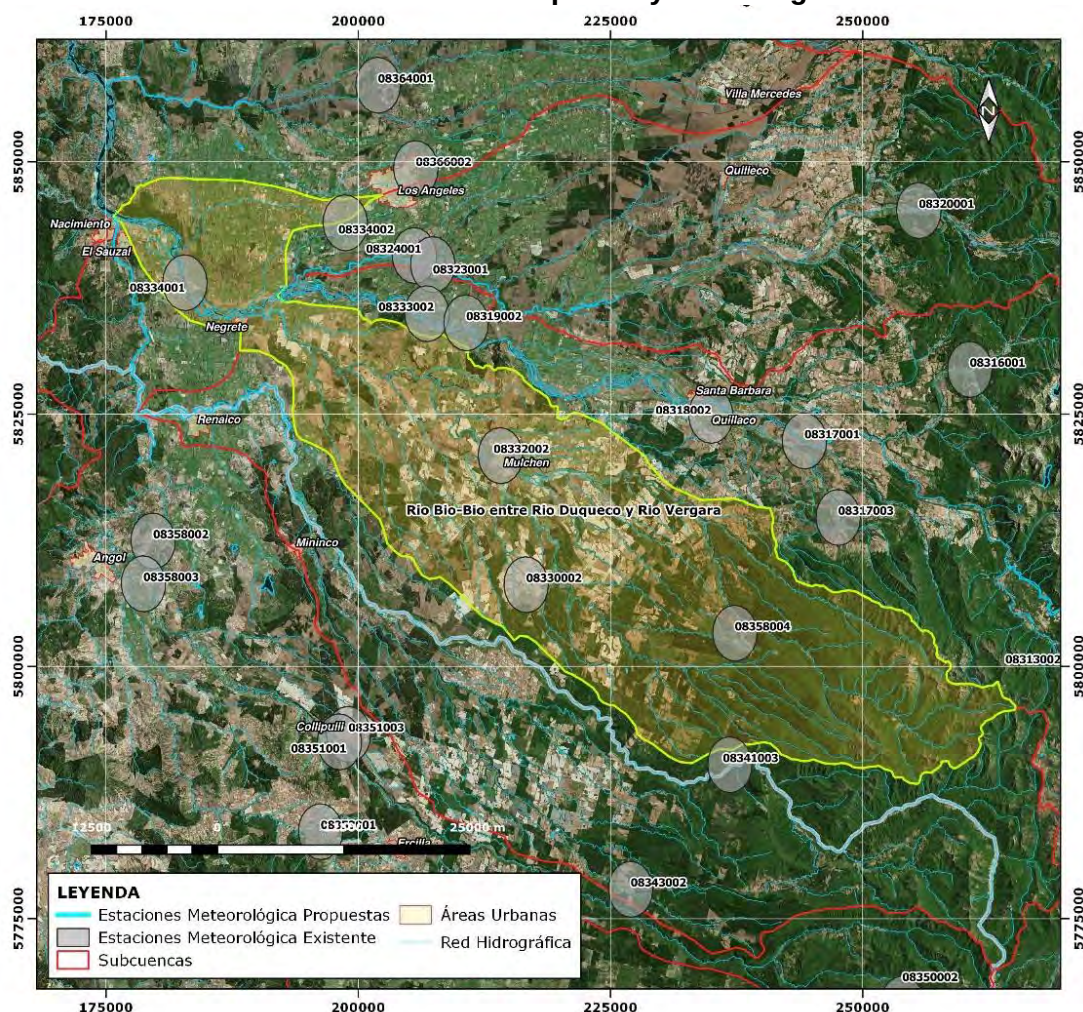
Respecto de las estaciones meteorológicas esta cuenca se encuentra bien cubierta por la red actual, además la red existente permite la implementación de un SAT, por lo que no se recomiendan estaciones adicionales.

Tabla N° 5.23. Estaciones Propuestas subcuenca Biobío entre río Duqueco y río Vergara

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Fluviométrica	2	Zona intermedia de cuenca	Control de caudales y modelo de pronóstico

A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Figura N° 5.52. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca Biobío entre río Duqueco y río Vergara



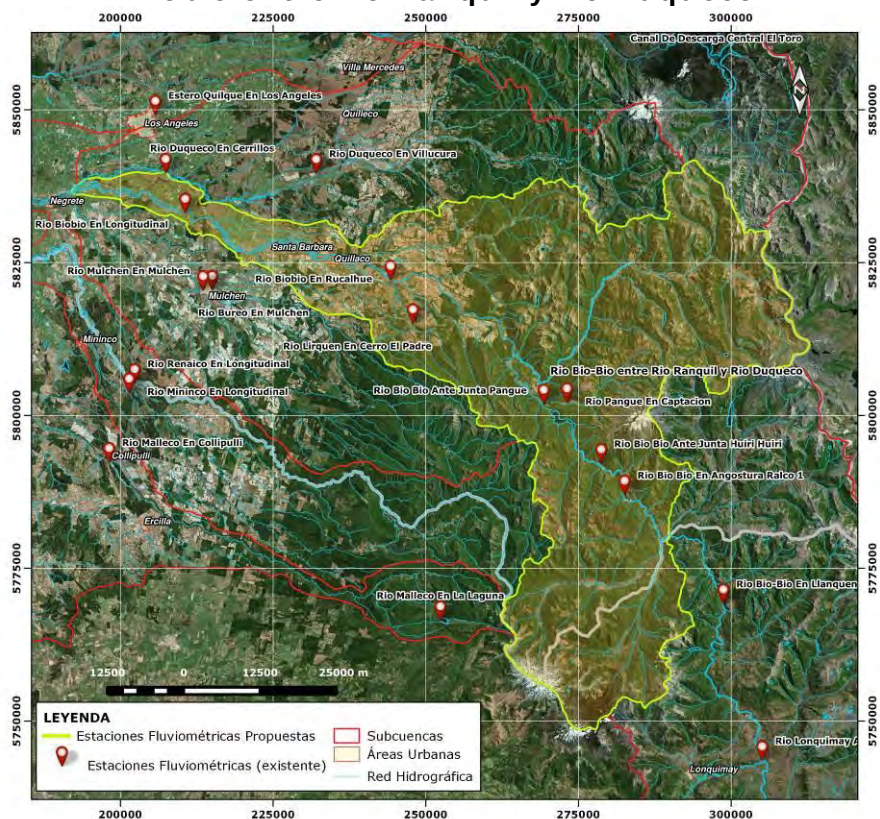
5.13.6 Subcuenca Biobío entre río Ranquil y río Duqueco

5.13.6.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una subcuenca de la parte alta de la zona en estudio y que presenta localidades con importantes problemas de inundaciones por las crecidas del río Biobío,

por ejemplo en Negrete, Santa Bárbara y Quilaco. En esta subcuenca DGA dispone de mediciones en los embalses existentes (reglas propias o información de las empresas encargadas de dichos embalses) por lo que se tiene un registro de niveles suficiente para alertar a dichas localidades con la debida anticipación. Esta subcuenca está fuertemente controlada por la operación de los embalses de la parte alta por lo que se recomienda hacer las gestiones para contar con los registros en línea de la operación de las centrales y de los caudales de entrada a los embalses. Actualmente existe un protocolo de entrega de información, la cual es oportuna, pero sería recomendable mantener un sistema en línea de dicha información de manera de anticipar tiempos de respuesta de la autoridad. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la sub-cuenca.

Figura N° 5.53. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca Biobío entre río Ranquil y río Duqueco



5.13.6.2 Estaciones Meteorológicas

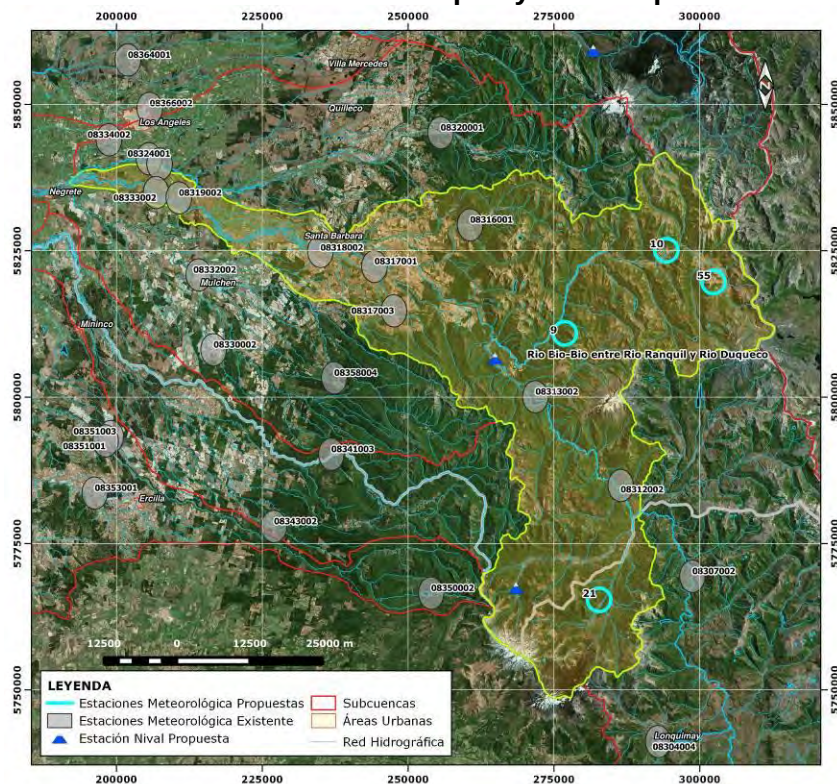
Respecto de las estaciones meteorológicas la parte baja se encuentra bien cubierta por la red actual por lo que sólo se recomiendan estaciones para la parte más alta las que corresponden a 3 estaciones tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico y de precipitaciones de la cuenca y una estación tipo 2 en la parte alta. Por otra parte, se propone una estación nival de modo de caracterizar dicha componente en Callaqui y Lonquimay de manera de mejorar la calibración de los modelos SAT.

Tabla N° 5.24. Estaciones Propuestas subcuenca Biobío entre río Ranquil y río Duqueco

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	3	Zonas de la subcuenca sin monitoreo meteorológico	Control de gradiente térmico y de precipitaciones
Meteorológica tipo 2	1	Control de precipitaciones zona alta de la subcuenca	Control de Precipitaciones
Nivometricas	2	Callaqui y Lonquimay	Control Nival

A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Figura N° 5.54. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca Biobío entre río Ranquil y río Duqueco

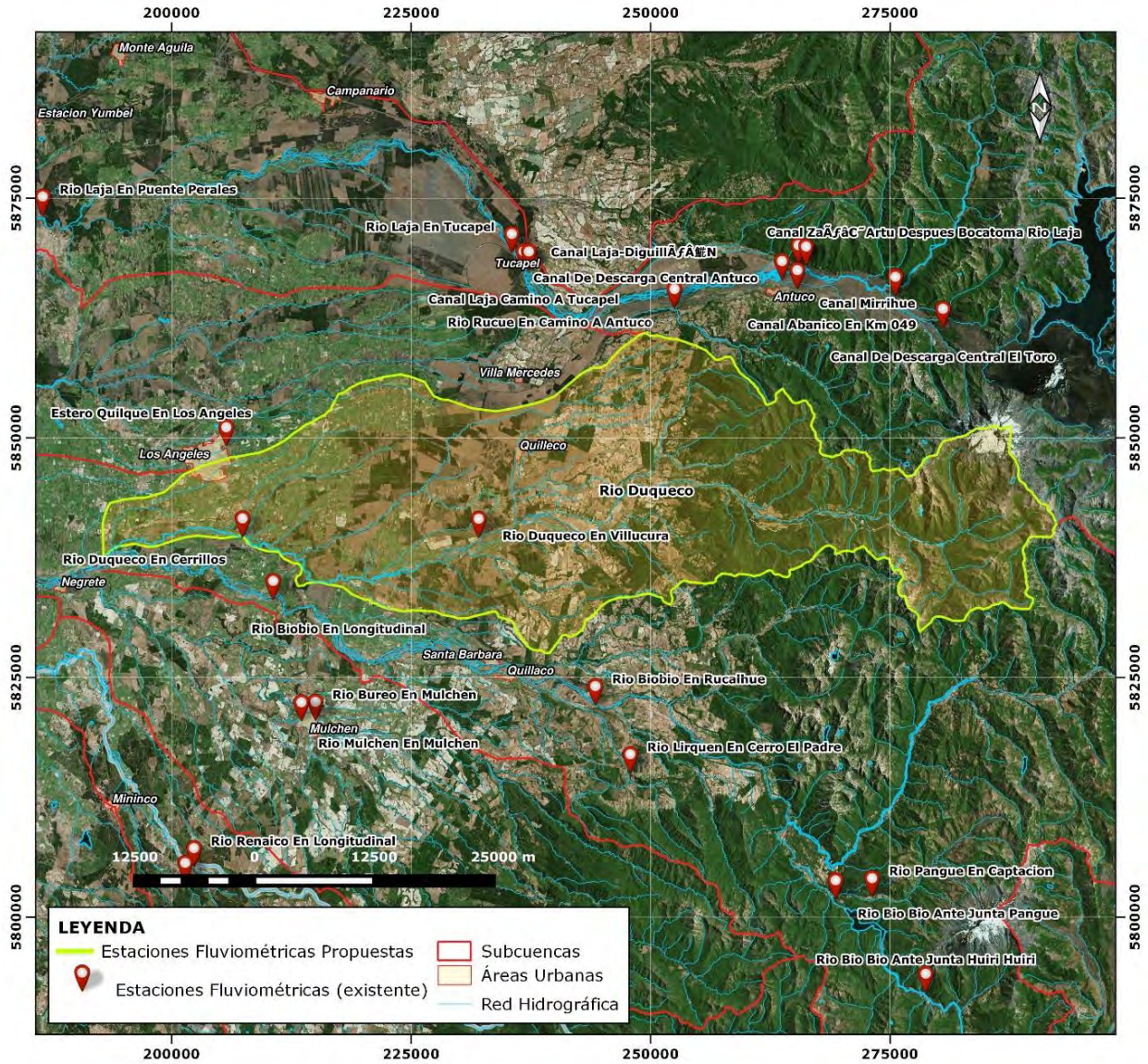


5.13.7 Subcuenca río Duqueco

5.13.7.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una cuenca de la parte precordillerana, que presenta zonas con importantes problemas de inundaciones por las crecidas del río Biobío que producen un peralte en los niveles del río Duqueco y en la zona del puente de la ruta 5. No se propone instalar estaciones fluviométricas ya que se considera que la cuenca está bien cubierta y una estación en la junta con el Biobío para el propósito de un SAT no se justifica debido a la influencia que tendría su escurrimiento. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Figura N° 5.55. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca río Duqueco



5.13.7.2 Estaciones Meteorológicas

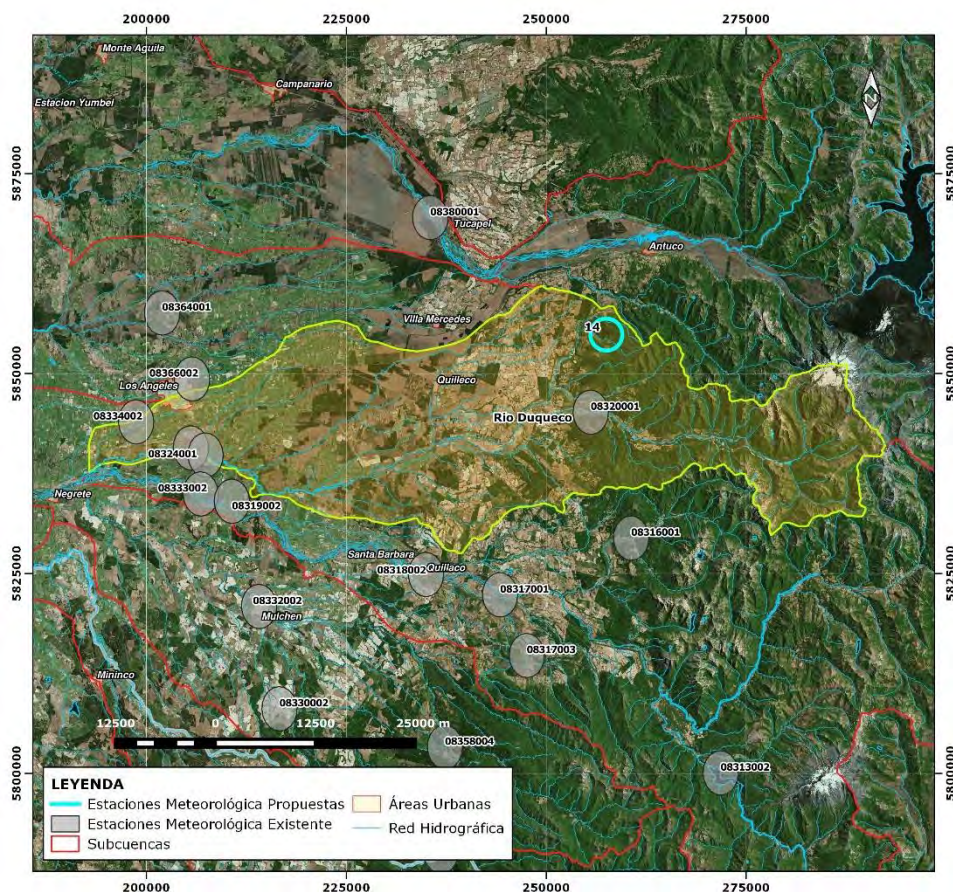
Respecto de las estaciones meteorológicas la parte baja se encuentra bien cubierta por la red actual por lo que solo se recomiendan estaciones para la parte intermedia las que corresponden a 1 estación tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico de la cuenca y una estación tipo 2 que permita caracterizar el gradiente de precipitaciones.

Tabla N° 5.25. Estaciones Propuestas subcuenca río Duqueco

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	1	Zona sin cobertura de la subcuenca	Control de gradiente térmico y de precipitaciones
Meteorológica tipo 2	1	Zona sin cobertura de la subcuenca	Control de Precipitaciones

A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Figura N° 5.56. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca río Duqueco

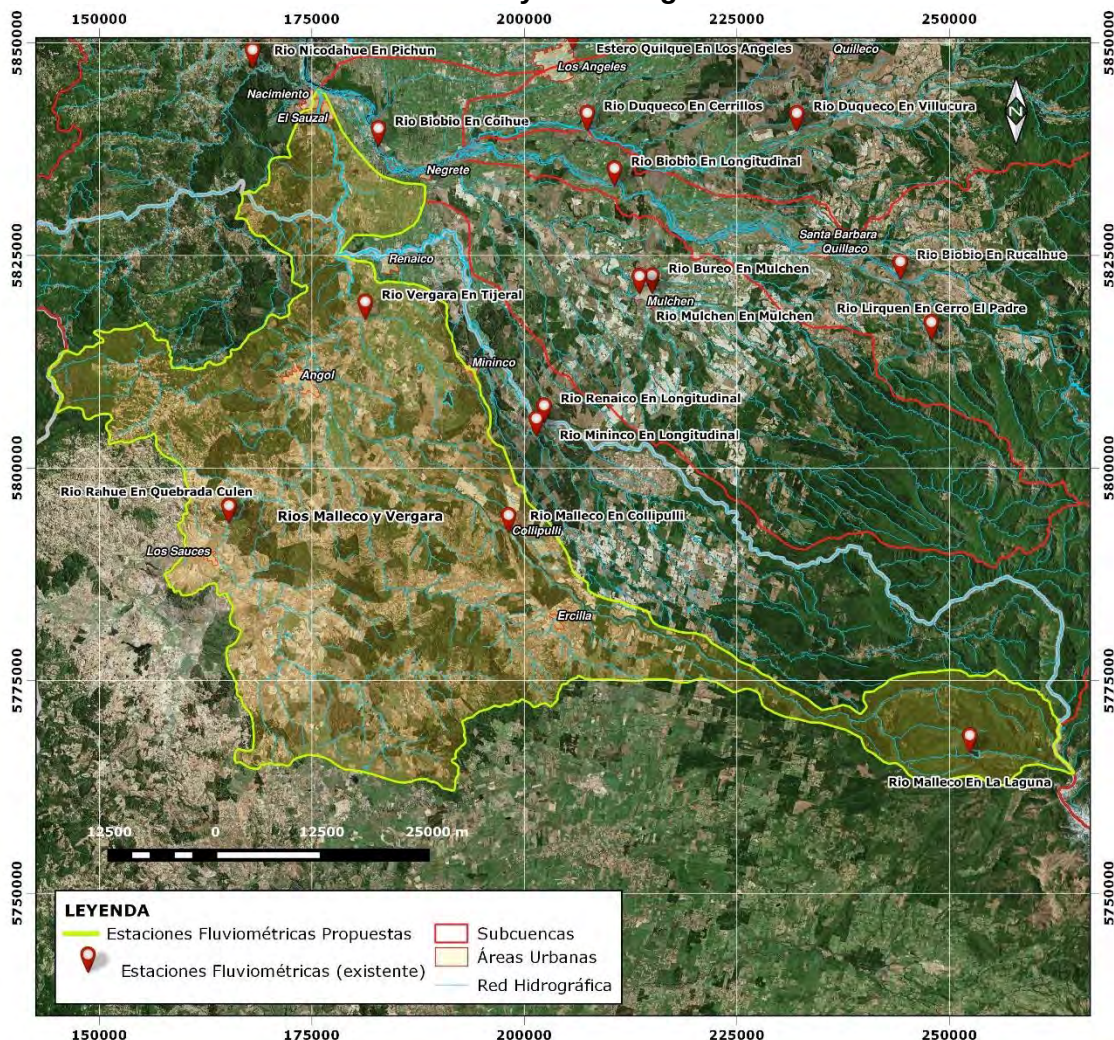


5.13.8 Subcuenca río Vergara y Malleco

5.13.8.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una cuenca de la parte baja y que presenta una zona con importantes problemas de inundaciones por las crecidas del río Biobío que producen un peralte en los niveles del río Vergara en Nacimiento. No se propone instalar estaciones fluviométricas ya que se considera que la cuenca está bien cubierta y una estación en la junta del río Vergara con el Biobío para el propósito de un SAT no se justifica debido a la influencia que tendría su escurrimiento y se propone una estación en el Biobío en la zona de la junta cercana a la salida de esta subcuenca. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca

Figura N° 5.57. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca río Malleco y río Vergara



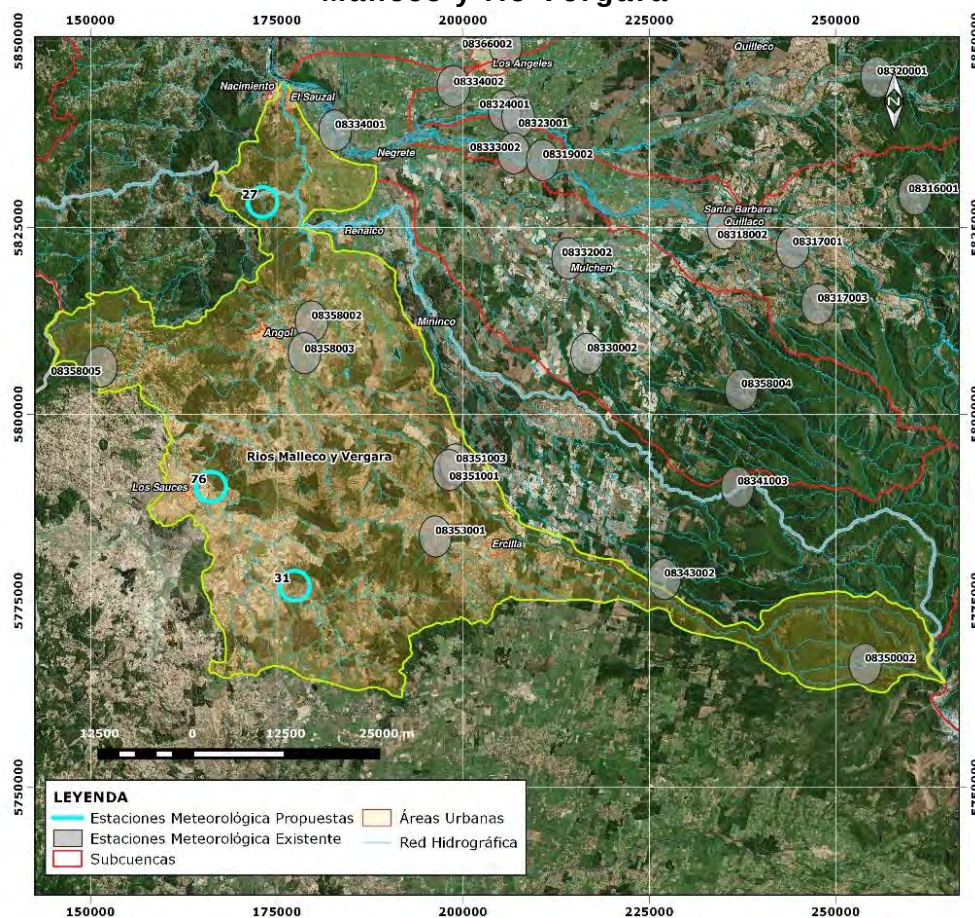
5.13.8.2 Estaciones Meteorológicas

Respecto de las estaciones meteorológicas se encuentra bien cubierta en su zona intermedia por la red actual, por lo que solo se recomiendan estaciones para la parte baja y alta, las que corresponden a 1 estación tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico de la cuenca y 2 estaciones tipo 2 que permitan caracterizar los fenómenos de precipitación escorrentía correctamente. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Tabla N° 5.26. Estaciones Propuestas subcuenca río Malleco y río Vergara

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	1	Zona alta de la subcuenca sin cobertura	Control de gradiente térmico y precipitaciones
Meteorológica tipo2	2	Zona alta y baja de la subcuenca sin cobertura	Control de Precipitaciones

Figura N° 5.58. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca río Malleco y río Vergara



Respecto de las estaciones meteorológicas se encuentra bien cubierta en su zona intermedia por la red actual, por lo que solo se recomiendan estaciones para la parte baja y alta, las que corresponden a 2 estaciones tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico de la cuenca y 1 estaciones tipo 2 que permita caracterizar los fenómenos de precipitación escorrentía correctamente. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	2	Zona alta y baja de la subcuenca sin cobertura	Control de gradiente térmico y precipitaciones
Meteorológica tipo 2	1	Zona baja de la subcuenca sin cobertura	Control de Precipitaciones

Este mapa detallado de la Cordillera de la Cruz en Chile muestra la distribución de las subcuencas hidrográficas y las estaciones meteorológicas. Las subcuencas están delimitadas por líneas amarillas y rojas, con nombres como 'Renaico', 'Negrete', 'Santa Barbara', 'Mininco', 'Colipulli', 'Ercilla' y 'Rio Renaico'. Las estaciones meteorológicas se representan por círculos grises con códigos numéricos (ej. 08334001, 08333002, 08319002, 08318002, 08317001, 08317003, 08358004, 08313001, 08351003, 08353001, 08343002, 08350002). Se destacan dos estaciones propuestas con círculos azules y el número '28' y '16'. Las áreas urbanas están sombreadas en beige. La red hidrográfica se muestra en azul. El mapa incluye una escala de 0 a 25000 m y una leyenda en la parte inferior izquierda.

LEYENDA

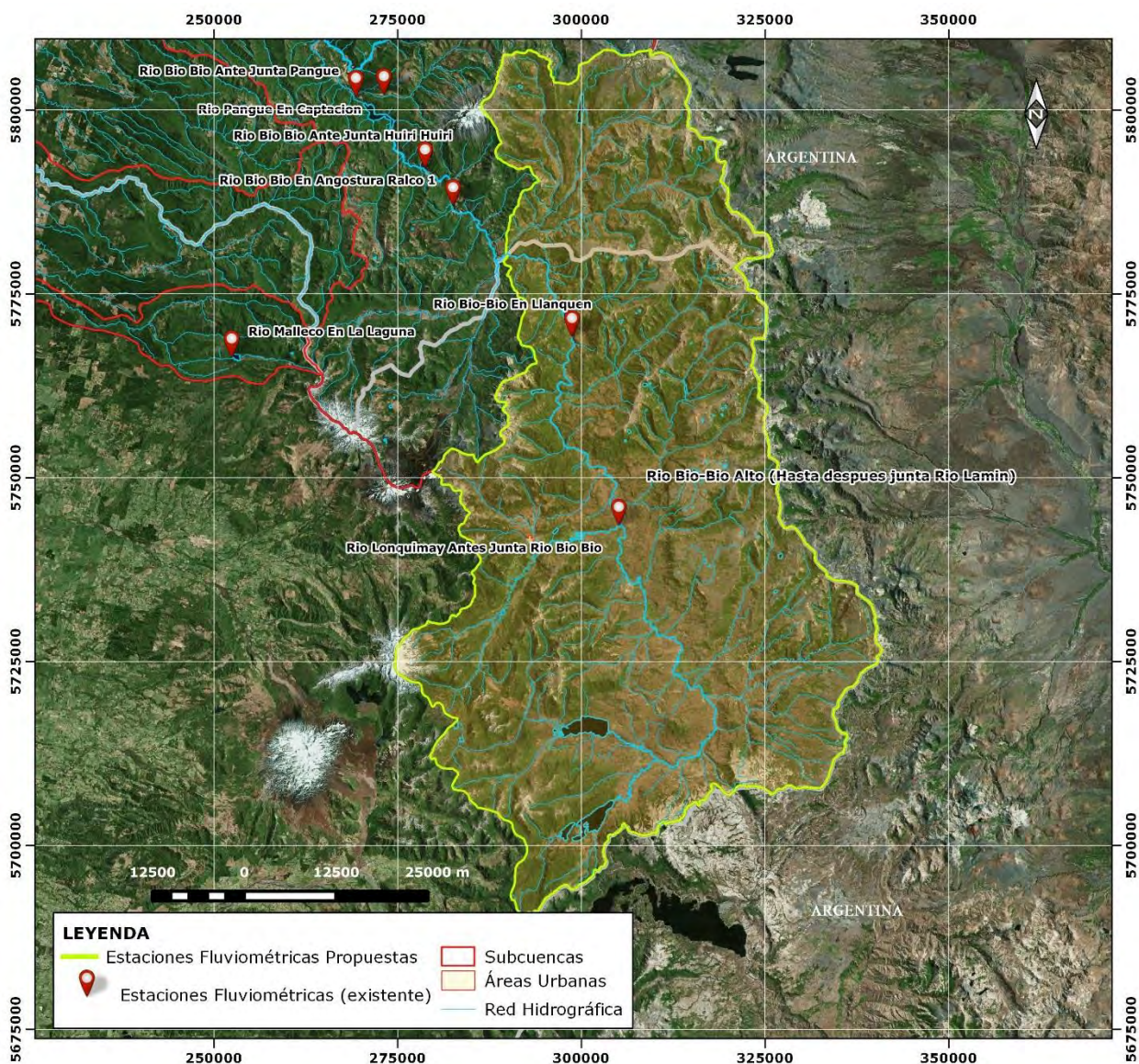
- Estaciones Meteorológica Propuestas
- Estaciones Meteorológica Existente
- Subcuencas
- Áreas Urbanas
- Red Hidrográfica

5.13.10 Subcuenca río Biobío Alto

5.13.10.1 Estaciones Fluviométricas

Corresponde a una subcuenca de la parte alta y que no ha presentado problemas de inundaciones por crecidas. No se propone instalar estaciones fluviométricas ya que se considera que la cuenca está bien cubierta, las estaciones existentes pueden complementarse perfectamente con las estaciones ubicadas aguas abajo, con la finalidad de entregar antecedentes de pronóstico en el modelo SAT. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca

Figura N° 5.61. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca río Biobío Alto



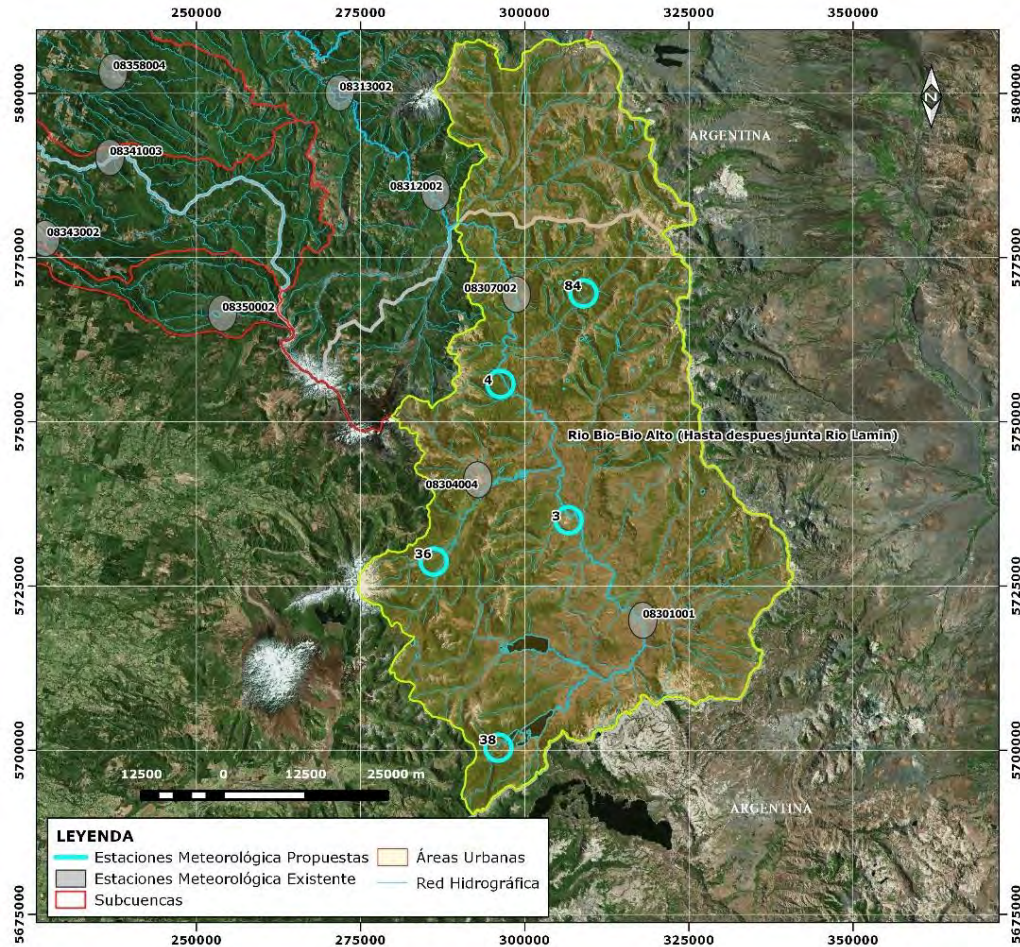
5.13.10.2 Estaciones Meteorológicas

Respecto de las estaciones meteorológicas se recomiendan 3 estaciones tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico de la cuenca y la ubicación de la isoterma 0 y 2 estaciones tipo 2 que permita caracterizar los fenómenos de precipitación escorrentía correctamente. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Tabla N° 5.28. Estaciones Propuestas subcuenca río Biobío Alto

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	3	Zona alta y baja de la subcuenca sin cobertura	Control de gradiente térmico, Isoterma 0 y precipitaciones
Meteorológica tipo 2	2	Zona baja y alta de la subcuenca sin cobertura	Control de Precipitaciones

Figura N° 5.62. Mapa estaciones Meteorológicas propuestas subcuenca río Biobío Alto

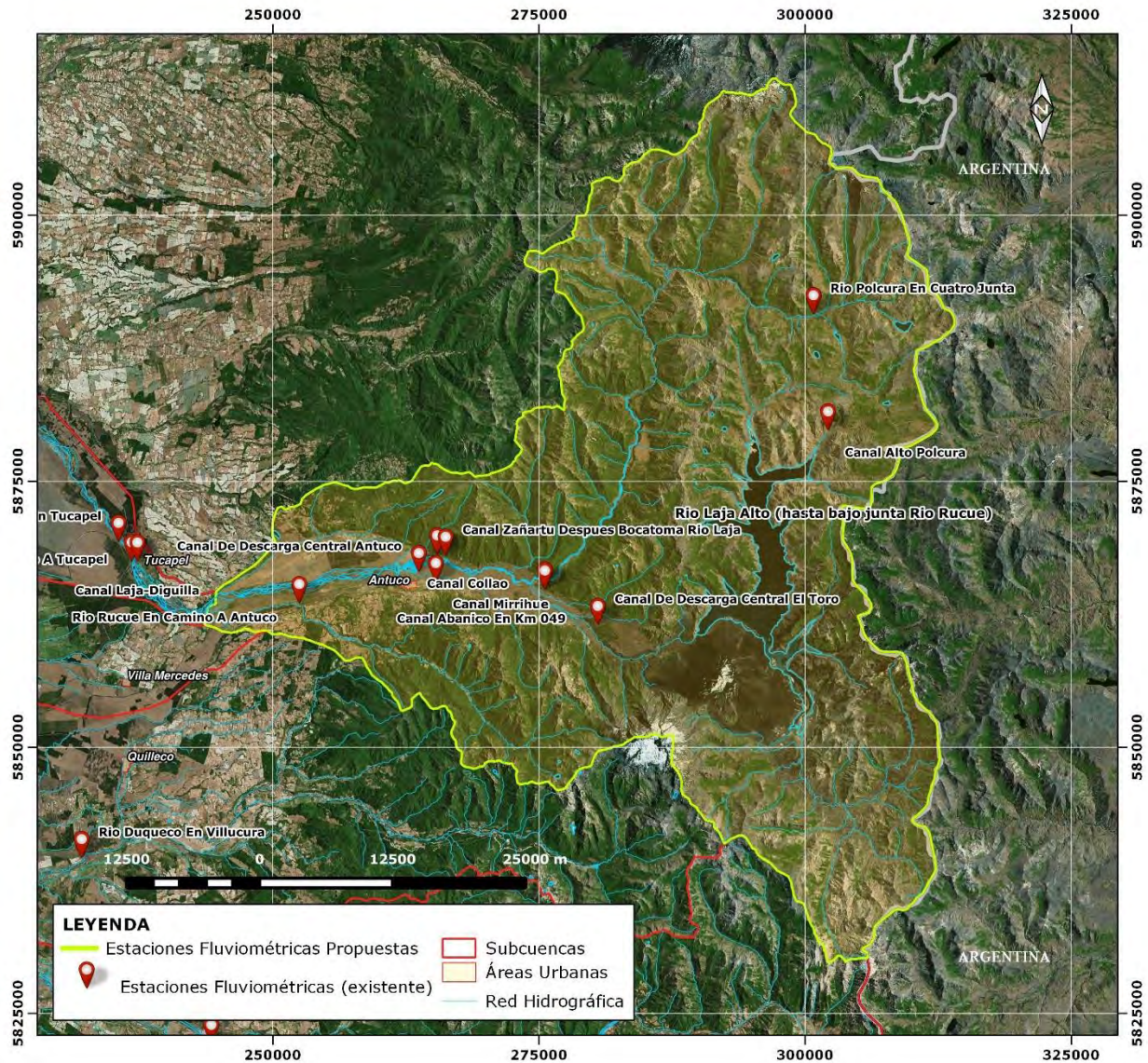


5.13.11 Subcuenca río Laja Alto

5.13.11.1 Estaciones Fluviométricas

Esta corresponde a una subcuenca de la parte alta y que no ha presentado problemas de inundaciones por crecidas. No se propone instalar estaciones fluviométricas ya que se considera que la cuenca está bien cubierta, las estaciones existentes pueden complementarse perfectamente con las estaciones ubicadas aguas abajo, con la finalidad de entregar antecedentes de pronóstico en el modelo SAT. A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca

Figura N° 5.63. Mapa estaciones Fluviométricas propuestas subcuenca río Laja Alto



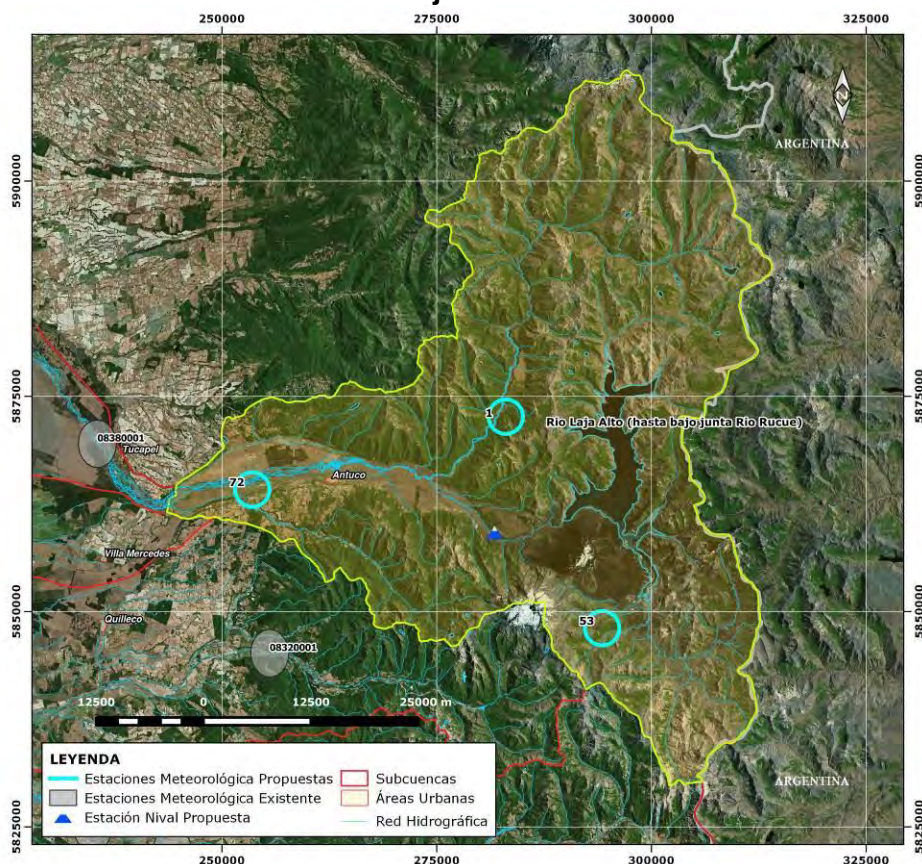
5.13.11.2 Estaciones Meteorológicas

Respecto de las estaciones meteorológicas se recomienda 1 estación tipo 1 para caracterizar el gradiente térmico de la cuenca y la ubicación de la isoterma 0 y 3 estaciones tipo 2 que permitan caracterizar los fenómenos de precipitación escorrentía correctamente. Por otra parte, se recomienda incorporar una estación Nivometricas en volcán Antuco (según información de DGA se encuentra en proceso de ejecución). A continuación, se presenta una figura con las estaciones propuestas para la subcuenca.

Tabla N° 5.29. Estaciones Propuestas subcuenca río Laja Alto

Tipo de Estación	Cantidad	Ubicación	Justificación
Meteorológica tipo 1	1	Zona alta de la subcuenca sin cobertura	Control de gradiente térmico, Isoterma 0 y precipitaciones
Meteorológica tipo 2	3	Zona baja y alta de la cuenca sin cobertura	Control de Precipitaciones
Nivometricas	1	Zona Alta, Volcán Antuco	Control Nival

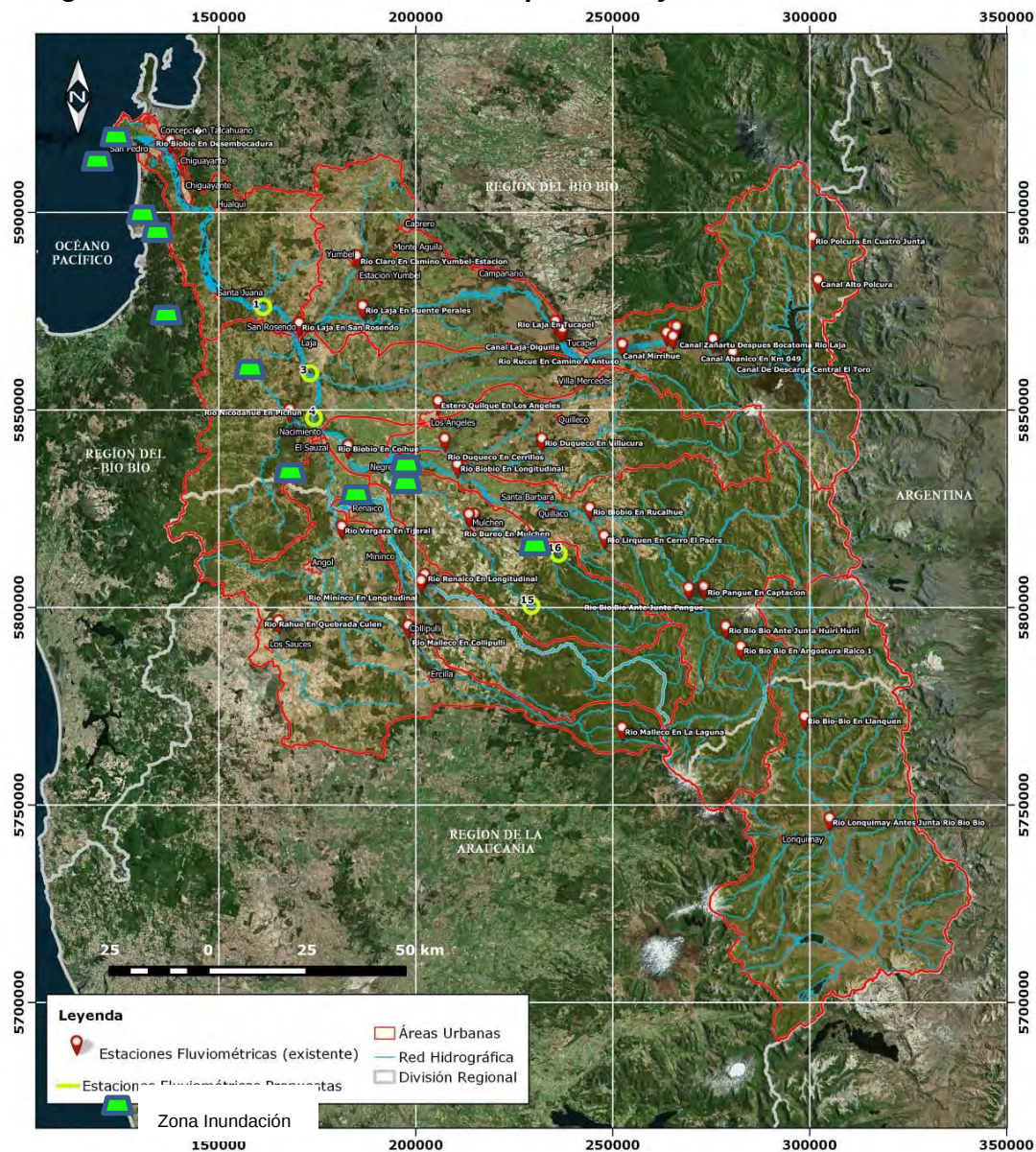
Figura N° 5.64. Mapa estaciones Meteorologicas propuestas subcuenca río Laja Alto



5.13.12 Análisis a Nivel de Cuenca

Luego del análisis a nivel de subcuenca se procede a realizar un análisis de la cuenca con motivo de la implementación de un SAT, a modo de verificar a nivel conceptual si el sistema mínimo propuesto minimiza el riesgo de la población ante crecidas. En la siguiente figura se visualizan las estaciones fluviométricas existentes, propuestas y las principales zonas de inundación detectadas en capítulos precedentes.

Figura N° 5.65. Estaciones Propuestas y Áreas de Inundación



En términos generales, todas las estaciones fluviométricas propuestas cumplen una doble finalidad en el entorno de un SAT:

- Complementar con información de caudales en aquellas zonas **vulnerables** y que requieren de datos en tiempo real, para determinar los tiempos de evacuación ante eventos de crecidas;
- Complementarse con el **resto de las estaciones existentes** en la cuenca, con la finalidad de realizar modelos de pronóstico integrados para un SAT.

De similar forma, las estaciones meteorológicas propuestas, buscan entregar robustez al SAT, en caso de falla de alguna de las estaciones fluviométricas, con la finalidad de monitorear la crecida a través del modelo de pronóstico que se adopte.

Como un ejercicio y para determinar la robustez del modelo de estaciones fluviométricas propuesto, se analizan los tiempos de alerta que las estaciones entregarían en caso de no actuar en forma complementaria, lo cual, podría ocurrir en caso de una falla catastrófica del SAT.

Las características del cauce se presentan a continuación:

Tabla N° 5.30. Características del río Biobío

Sección	Estación de Referencia	Longitud Sección (Km)	Pendiente Promedio (°)	Profundidad Promedio (m)	Ancho Promedio (m)
Sección Alta del Biobío	Estación Junta Panguelhue	44,6	7,1	5,06	30
Sección Media del Biobío	Estación Rucalhue - Coihue	76,62	3,45	2,62	116
Sección Media Baja del Biobío	Estación coihue-Rio Laja	40,46	8,59	2,92	260

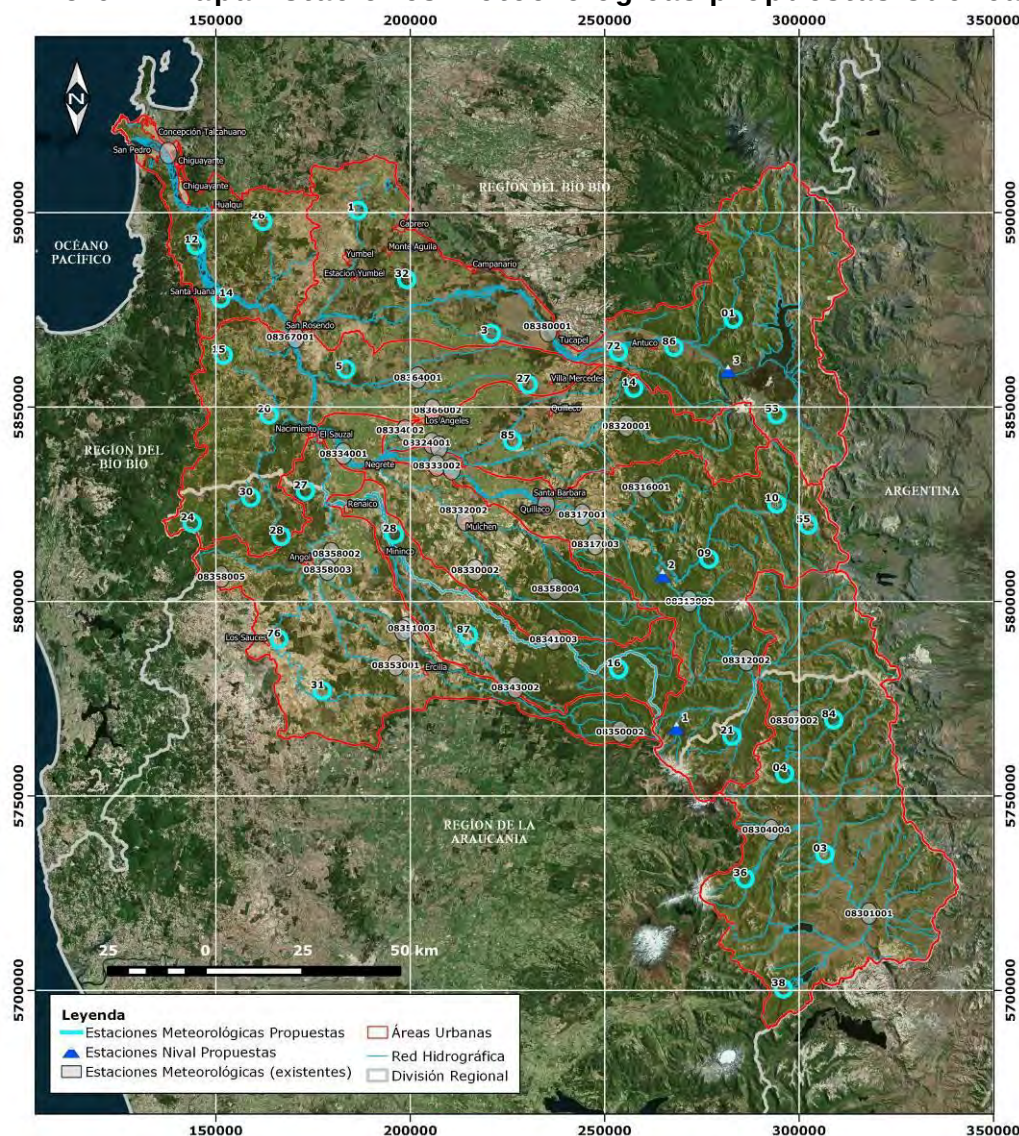
Si estimamos a modo conceptual que la crecida del 2006 alcanzó una velocidad de 4 m/s en el cauce, podemos determinar los tiempos en que se puede dar la alerta temprana en función de los registros de las estaciones (existentes y propuestas), tal como se visualiza a continuación:

Tabla N° 5.31. Tiempos de Alerta

Localidad	Distancia Rio Entre Localidades (Km)	Tiempo (hr)
San Pedro de la Paz	0	16
Concepción	3	16
Chiguayante	12	15
Hualqui	7,3	15
Santa Juana	21	13
Laja	25	12
Nacimiento	24	10
Negrete	15	9
Mulchén	24	7
Los Ángeles	21	6
Santa Bárbara	42	3
Quilaco	3,5	3
Alto Biobío	38	1

Cabe destacar que esto es solo un ejercicio teórico conceptual, ya que para determinar el efecto real de las inundaciones se requiere realizar un modelo hidráulico de la cuenca, en donde se superpongan los DEM, los cursos de agua, embalses, zonas pobladas y lluvias con diversos periodos de retorno, para con ello definir los umbrales de lluvia y niveles para dar la alarma a la población en forma oportuna.

Figura N° 5.67. Mapa Estaciones Meteorológicas propuestas Cuenca BioBio



Adicionalmente para establecer un mejor monitoreo, especialmente de los fenómenos nivales, se sugiere tal como lo hace la OMM la instalación de estaciones especiales temporales las cuales se instalan durante las épocas invernales, miden la evolución de la cobertura nival y posteriormente son retiradas para mantención y su vuelta a operaciones en la temporada siguiente, la ubicación de estas estaciones responde a lograr la mayor cobertura por lo que las ubicaciones sugeridas son las que fueron descartadas por los distintos filtros aplicados a la propuesta inicial basada solo en criterios y recomendaciones de la OMM.

Cabe destacar, que se debe tener cuidado con las estaciones de medición de precipitaciones mixtas (líquida y sólida), en las cuales se recomienda sean

aconditionadas para dicha situación, pues se corre el riesgo de subestimar la medición (formar conos de nieve a la entrada y perturbar la medición) o entregar datos cuando no corresponde (derretimiento de los conos de nieve y que se registre como precipitación).

UBICACIÓN ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS PROPUESTAS		
Estación	UTM Norte	UTM Este
1	5.900.399	147.823
3	5.866.419	170.125
4	5.847.971	174.157
15	5.800.428	229.353
16	5.813.631	236.248

UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS PROPUESTAS		
Estación	UTM Norte	UTM Este
1	5.872.640	283.030
3	5.735.035	306.664
4	5.755.761	296.286
9	5.810.907	276.847
10	5.825.090	294.252
14	5.854.877	257.502
16	5.782.631	253.598
21	5.765.395	282.728
26	5.897.747	162.095
27	5.855.798	230.330
28	5.817.261	195.936
30	5.826.699	158.999
31	5.777.036	177.391
32	5.882.799	199.097
36	5.728.724	286.114
1	5.900.567	186.580
3	5.868.927	220.849
5	5.859.717	183.464
12	5.891.574	144.916
14	5.877.943	151.247
15	5.863.339	151.927
20	5.848.000	163.667
24	5.820.156	143.911

UBICACIÓN ESTACIONES METEOROLÓGICAS PROPUESTAS		
27	5.828.437	173.056
28	5.816.746	166.811
38	5.700.400	295.969
53	5.848.077	294.253
55	5.819.668	302.335
72	5.864.175	253.519
76	5.790.293	166.177
84	5.769.556	308.910
86	5.865.367	267.819
85	5.841.271	226.286
87	5.791.302	214.937

UBICACIÓN ESTACIONES NIVALES PROPUESTAS		
Estación	UTM Norte	UTM Este
1	5.767.311	268.473
2	5.806.493	264.902
3	5.859.116	281.719

6 METODOLOGIA PARA UN MODELO CONCEPTUAL SAT

6.1 INTRODUCCIÓN

En base a los antecedentes e información disponibles; la cual fue recopilada y analizada en los capítulos anteriores por parte de este consultor, se procederá a realizar una descripción de los tipos de Sistemas de Alerta Temprana que se manejan en la actualidad y que en opinión de este consultor debiera implementarse en las cuencas de interés de la zona de estudio. Posteriormente, se desarrollará cada componente de dichos sistemas, con la finalidad de interiorizar respecto a que aspectos deben considerarse y a que recursos disponer para su implementación.

Cabe señalar, que TYPESA a través de su departamento de Obras Hidráulicas en España, ha participado en la conceptualización y diseño de Sistemas de Alerta Temprana en diversas cuencas tanto de Europa, como en otros continentes, la experiencia y conocimiento desarrollado en esta índole, nos permite realizar una propuesta que estimamos es coherente con los objetivos definidos por la DGA así como con la disponibilidad de recursos tanto logísticos así como de información existente.

6.2 DEFINICIÓN DE SAT

Un SAT en opinión de este consultor y basados en la experiencia internacional, se define como el conjunto de capacidades necesarias para generar y difundir información de alerta que sea oportuna y significativa, con el fin de permitir que las personas, las comunidades y las organizaciones amenazadas por una amenaza se preparen y actúen de forma apropiada y con suficiente tiempo de anticipación para reducir la posibilidad de que se produzcan pérdidas o daños.

Existen 2 tipos de SAT reconocidos:

- **EL SAT CENTRAL:** es un sistema que utiliza tecnología que requiere de conocimiento técnico experto en lo que se refiere a la observación y monitoreo del fenómeno y en la elaboración del pronóstico de crecida. La observación y monitoreo se basa en redes telemétricas de estaciones de lluvia y nivel de los ríos, que permiten pronósticos de crecida precisos y con anticipación. Se apoya en redes de observación global, como el radar, que permiten desarrollar modelos y pronósticos de tiempo, y utiliza una base científica que requiere la participación de profesionales con conocimiento y entrenamiento avanzado para desarrollar modelos hidrometeorológicos, en los cuales se basan los pronósticos de crecidas. Estos pronósticos permiten la difusión de avisos con antelación a las alertas, aumentando así el tiempo de preparación.

- **EL SAT LOCAL:** es un sistema sencillo que se caracteriza por el uso de equipos de bajo costo y de fácil manejo, operados por miembros de las comunidades, tanto en las componentes de observación y monitoreo del fenómeno como en la comunicación de la alerta. Están basados en la participación activa de voluntarios de las comunidades que viven en la cuenca donde se ha establecido el SAT. Los voluntarios cumplen funciones de trabajo en la respuesta, pero también participan en tareas de prevención, con obras de mitigación de bajo costo y que no requieren de conocimiento técnico experto. El papel del voluntario en el control y monitoreo hidrometeorológico es de vital importancia en estos sistemas

Luego, en base a los antecedentes disponibles y la capacidad de operación de la DGA, este consultor recomienda que el nivel requerido para la zona de Biobío corresponda a un SAT del tipo “Local”. A continuación, se indicarán y detallarán los elementos de un Sistema de Alerta Temprana de este tipo.

6.3 COMPONENTES DE UN SAT

Se recomienda que los componentes básicos sean los siguientes:

- a) Componentes Hidrológicas
 - a) Observación y monitoreo hidrometeorológico.
 - b) Pronóstico de Crecidas.
- b) Componentes Organizativas
 - c) Identificación y Comunicación de la Alerta.
 - d) Comunicación de la Alerta.
- e) Planes de emergencia.

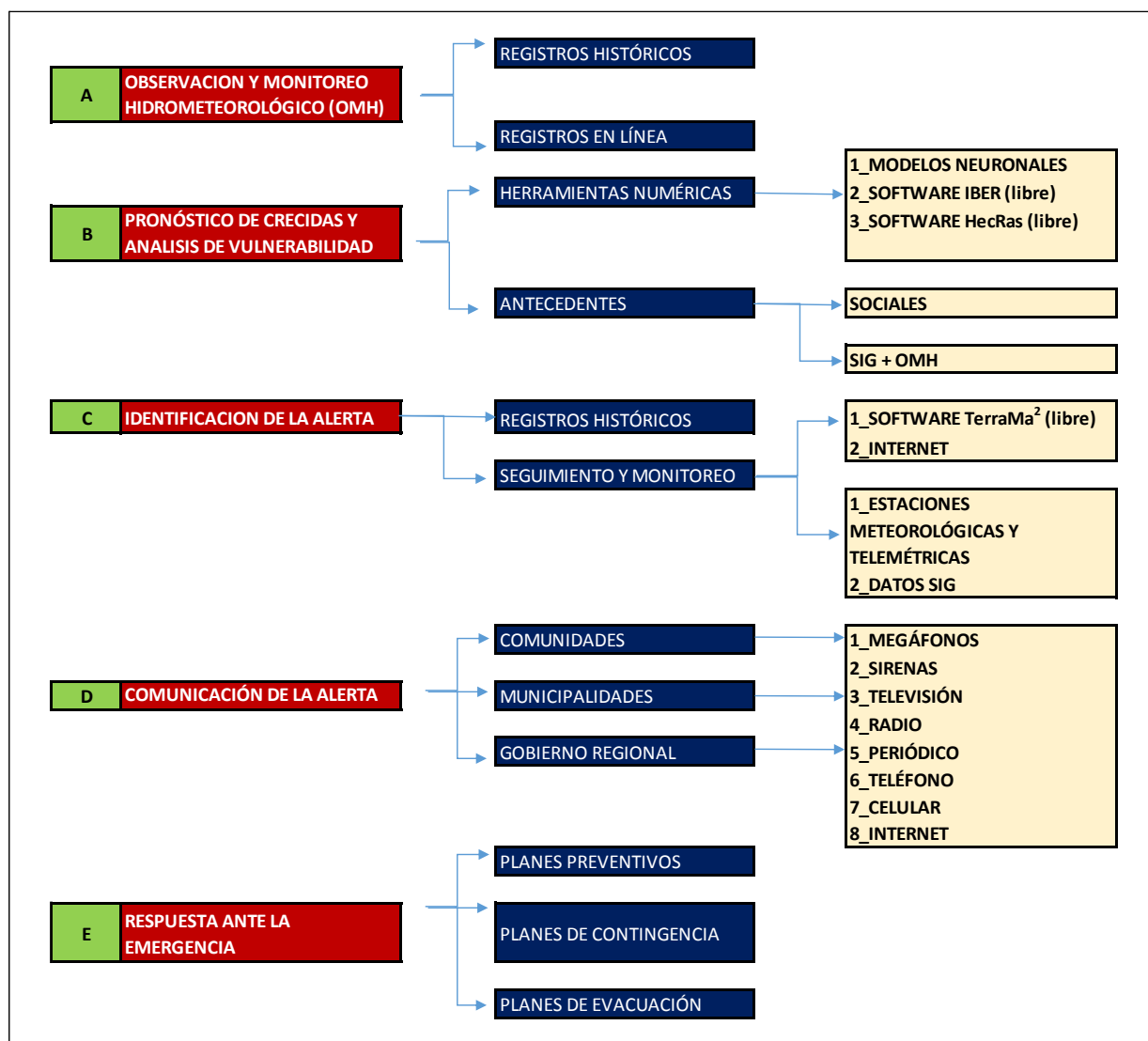
Figura N° 6.1. Componentes de un SAT



Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta un diagrama de flujo con las sub-etapas que componen la metodología para la planificación de un SAT de inundaciones.

Figura N° 6.2. Diagrama de Flujo - Metodología para la Planificación de un SAT



Fuente; Elaboración Propia

Cabe destacar, que el año 2016 ya se tenía un primer plan de SAT en la región del Biobío, similar a lo presentado anteriormente (trabajado por la intendencia, los municipios, DGA y la empresa privada), que se componía de 3 ejes los que fueron compartidos por ENDESA (ENEL):

- Pronóstico: Modelo de simulación que indica las cotas en presas y velocidades en el río.

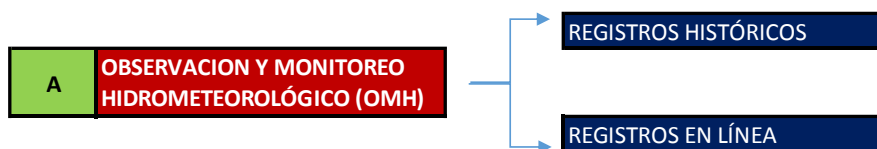
- Comunicación de la Alerta: Mediante Bocinas o Sirenas si colapsa la Presa. Comunicación por radio a las comunas próximas a los embalses.

En los siguientes capítulos se detallarán cada uno de los componentes antes señalados.

6.4 OBSERVACIÓN Y MONITOREO HIDROMETEOROLÓGICO (A)

La primera componente tiene por objetivo la identificación de los eventos extremos y desastres que se presentan en la región de análisis, para ello se debe recurrir a los registros históricos de lluvia y caudal o bien a los registros en línea que se mantengan en el sector.

Figura N° 6.3. Diagrama de Operación y Mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

1. MODELOS NEURONALES

El gran problema que se tiene en la región del Biobío, es que a pesar de que se cuenta con información horaria en línea, la plataforma donde se accede a dicha información no es expedita, ya que demora bastante obtener información estación por estación, por lo que urge contar con una nueva plataforma en donde se pueda extraer información a través de internet en bloques de big data para acelerar los procesos y que la información que vaya a Pronóstico posteriormente sea lo más rápida posible.

6.4.1 Parámetros hidrometeorológicos

Se deben obtener los siguientes parámetros hidrometeorológicos de la cuenca:

- El ciclo hidrológico
- Las características morfométricas de una cuenca de drenaje
- El tiempo de concentración
- La relación lluvia-escorrentía
- El tiempo de traslado de la escorrentía superficial
- El tiempo de traslado de la crecida
- Se deben instalar los equipos para el monitoreo de la lluvia y el nivel de los ríos, como también, las instrucciones básicas para su instalación y lectura.

6.4.2 Ubicación de Equipos

Para seleccionar los sitios en donde se ubicarán los equipos de medición de lluvias y de niveles del río, es necesario:

- Elaborar el mapa cartográfico de la cuenca para implementar el SAT (se utilizan hojas cartográficas, generalmente de escala 1:50,000) con mapas físicos o bien seguir procedimientos con SIG (Sistemas de Información Geográfica). Casi todas las Oficinas de Protección Civil cuentan con Técnicos en SIG;
- Identificar los ríos principales, elevaciones principales, por ejemplo: elevación del nacimiento del río principal. Se identifican las comunidades;
- Recabar toda la información de campo o entrevistas (principalmente con los comunitarios) sobre inundaciones históricas, régimen de lluvias, etc. Se hace un análisis preliminar de la información;
- Identificar las sub-cuencas, considerando los afluentes que trasladan más caudal
- Utilizar los mapas de precipitación como ayuda para entender el régimen de las lluvias. Colectar información sobre las estaciones hidrometeorológicas en la zona o áreas cercanas;
- Usar todo tipo de información, datos, mapas, documentos, etc. para apoyar el diseño del SAT.

De acuerdo a los criterios mínimos de la Organización Meteorológica Mundial, OMM, una red de medidores de lluvia (pluviometría) debe enmarcarse en unidades por kilómetro cuadrado siguiente:

Tabla N° 6.1. Densidades Mínimas por Estación

Unidad fisiográfica	Densidades mínimas por estación (superficie en km ² por estación)	
	Sin registro	Con registro
Zonas costeras	900	9 000
Zonas montañosas	250	2 500
Llanuras interiores	575	5 750
Zonas escarpadas/ondulantes	575	5 750
Pequeñas islas	25	250
Zonas urbanas		10 a 20
Zonas polares y áridas	10.000	100 000

Fuente: Organización Meteorológica Mundial 2010

Lo conveniente es dividir la cuenca en zonas, es decir zona montañosa, zona intermedia (ondulante) y zona costera. Con el área de cada zona, se define entonces el número de pluviómetros a instalar.

6.4.2.1 Equipos Pluviométricos

Para determinar los sitios donde se ubicará el pluviómetro se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Accesible a los voluntarios que harán las lecturas y garantizar la seguridad física;
- Preferiblemente en la parte alta de la cuenca;
- Cubrir toda la extensión de la cuenca, (mínimo una estación);
- Área despejada de follajes;
- Zona sin peligro de inundación;
- Sitio relativamente plano;
- El pluviómetro debe ubicarse a un (1) metro sobre la superficie del suelo, a nivel, evitando cualquier inclinación, sobre una base vertical.

6.4.2.2 Equipos de Control Niveles del río.

Para la ubicación de los limnómetros (reglas o escalas) para el control de niveles de las aguas del río, se deben seguir los siguientes criterios:

- Medir el nivel mínimo del río o quebrada durante la época seca. Esta medición debe hacerse donde se va a colocar la escala;
- Considerar la accesibilidad de las personas responsables de la lectura;
- Colocar las escalas, miras o limnómetros sobre estructuras permanentes como puentes, columnas de concreto u otro tipo de base;
- El nivel mínimo del río o quebrada debe coincidir con el punto cero y será a partir de éste donde se realizarán las lecturas;
- Las miras deben ubicarse en un área plana;
- Deben estar cerca de un centro poblado (accesible) para facilitar su lectura;
- Se deben colocar en la parte alta, media y baja de la cuenca;
- Colocación en un tramo recto del río o quebrada sin curva por lo menos 100 metros aguas arriba y aguas abajo de la escala;
- Debe ubicarse abajo de la confluencia de dos o más afluentes;
- La sección del río (forma del perfil del lecho del río) debe ser la más estrecha
- El río no debe desbordarse en este punto;
- La escala, mira o limnómetro debe ubicarse lo suficientemente alejado del sitio de respuesta (comunidad en riesgo de inundación);
- Preferiblemente no ubicarse muy cerca de la cabecera de los ríos.

Figura N° 6.4. Ubicación de Reglas Limnimétricas

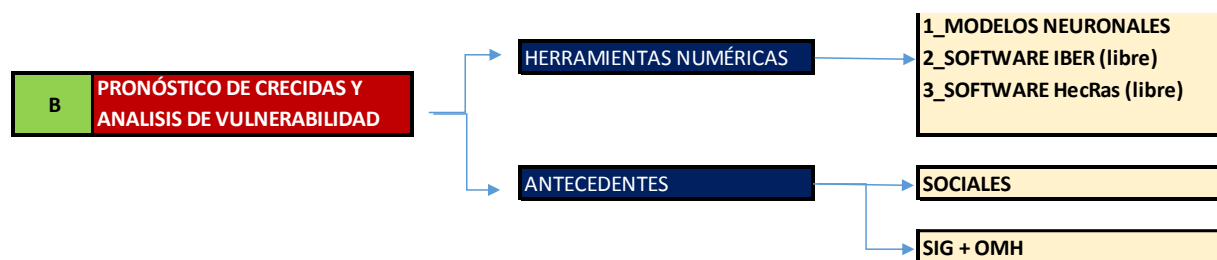


6.5 PRONÓSTICO DE CRECIDAS Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD (B)

En la segunda etapa del SAT se requiere realizar el pronóstico y análisis de vulnerabilidad de la zona en estudio. Para ello se deben utilizar herramientas de simulación hidrológicas/hidráulicas como Modelos Neuronales, IBER, HecRas, etc de modo de predecir y simular los eventos extremos e identificar las zonas vulnerables a inundaciones (incluso las roturas de presas). La incorporación de herramientas GIS, como ArcHydro permite el aumento del alcance del análisis de vulnerabilidad a niveles de predicción y simulación también para optimizar de mejor manera los esfuerzos y recursos en la zona.

El objetivo del Pronóstico (B) es determinar umbrales de lluvia y de niveles de ríos que indiquen el grado de peligrosidad, información que al ser incorporada en los SAT aumenta el tiempo de respuesta de la comunidad ante una eventual inundación.

Figura N° 6.5. Diagrama Pronóstico Crecida y Vulnerabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Actualmente en la región del Biobío se aplica la Ley de Embalses, que considera a ciertos embalses como Ralco en “Embalse de Control de Crecidas”, lo que conlleva a manejar anticipadamente su nivel, con el fin de evacuar controladamente el recurso hídrico antes que se presente la crecida. Para ello se practica la simulación de crecidas con Onemi, DGA y otras empresas relacionadas. Sin embargo, estas simulaciones son ejecutadas por la empresa privada y generalmente son sesgadas ya que solo toman en consideración la zona de influencia del embalse. A continuación, se describen los modelos hidráulicos/hidrológicos que se ocupan actualmente para realizar pronósticos y finalmente definir los umbrales de diseño.

6.5.1 Modelos de Pronóstico

6.5.1.1 Modelo ArcHydro

El análisis hidrológico tiene como objetivo conocer los caudales máximos alcanzados en un punto de un río para uno o varios eventos de lluvia. Por ello, se requiere conocer de la cuenca:

- La delimitación de la cuenca
- La medición del área y la longitud
- Altura máxima y mínima
- Índice de compacidad
- Factor de forma
- Curva hipsométrica
- Pendiente media
- Caracterización de la red de drenaje
- El perfil altimétrico del cauce principal

La plataforma ArcGIS provee herramientas para estimar estas variables de manera mucho más precisa. Una de estas herramientas es ArcHydro, desarrollado por el Centro de Investigaciones en recursos de agua de la Universidad de Texas que incluye un modelo de datos de carácter geoespacial y temporal para llevar a cabo simulaciones hidrológicas. El insumo fundamental para la delimitación de cuencas son los modelos digitales de elevación (DEM). Las elevaciones definen, en gran medida, la dirección, forma y patrón de los drenajes en un área de estudio. De esta manera, se podrá modelar de la manera más realista posible el comportamiento de las cuencas.

ArcHydro es un modelo de datos que propone una estructura estándar para almacenar en una base de datos geográfica la información asociada con los recursos hídricos de un área determinada. ArcHydro usa el modelo vectorial y otros modelos de datos geográficos para almacenar la información de objetos de la superficie terrestre relacionados con el agua. La información asociada con los recursos hídricos se compone principalmente de dos partes:

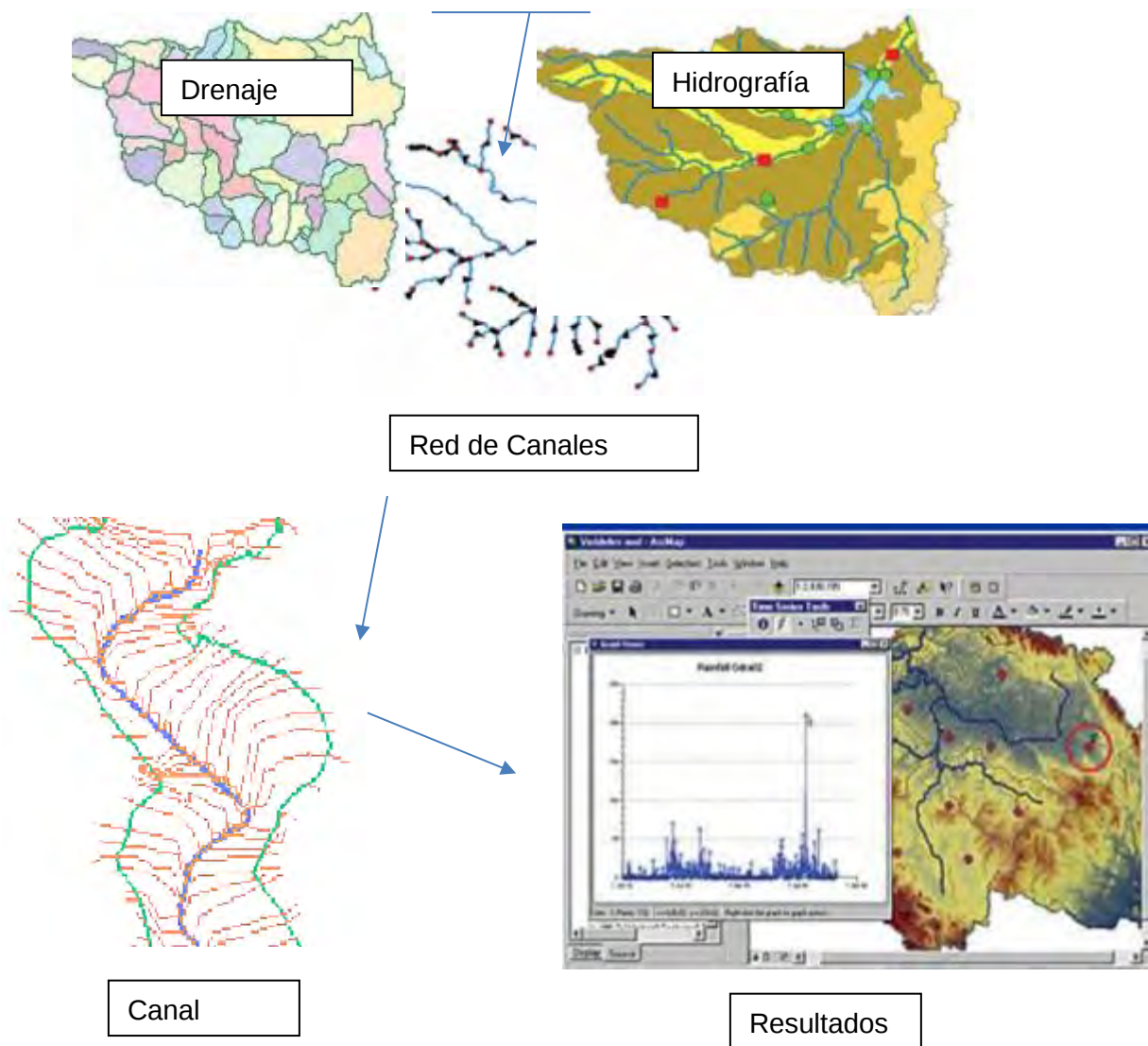
- **Información geoespacial.** Se refiere a los rasgos de la superficie terrestre relacionados con el recurso; se almacena en forma vectorial o matricial.
- **Serie de tiempo.** Son datos históricos resultantes de la medición de variables o parámetros asociados con el recurso, en un lugar y periodo de tiempo específicos.

La base de datos geográfica es la columna vertebral de un sistema de información hidrológica, que se puede definir como un sistema de cómputo. Las capas que se incluyen en la base de datos con estructura ArcHydro son generalmente cuerpos de agua, estaciones hidrométricas, climatológicas y de calidad del agua, presas, y aprovechamientos superficiales y descargas del Registro Público de Derechos de Agua.

Luego de lo anterior, se delimitan las cuencas usando alguna herramienta disponible. Para ello se definen puntos de control a la salida de cada cuenca abierta y puntos virtuales en cada cuenca cerrada. Los puntos de control son estaciones hidrométricas y puntos a la salida de presas; a dichos puntos se les determinaron sus coordenadas geográficas con GPS para tener una mejor precisión. Cada cuenca se procesa por separado y al final se unen los resultados de cada una para tener la región hidrológica completa, aplicando el proceso de regionalización).

El modelo de datos ArchHydro permite integrar en un solo depósito de datos (base de datos geográfica) toda la información requerida para el cálculo de disponibilidad, así como los resultados del mismo. La estructura es estándar, flexible y adaptable a los requerimientos del cálculo. La base de datos almacena los metadatos de cada capa incluida ahí, de manera que el usuario conoce las características de la información y con ello la calidad de la misma. El sistema muestra los resultados de forma tabular a través de una interfaz gráfica, dichos resultados son almacenados en la base de datos ArchHydro para futuras consultas. Finalmente, la interfaz de usuario permite automatizar y facilitar el cálculo, y constituye una herramienta útil en la toma de decisiones relacionada en la gestión del recurso hídrico.

Figura N° 6.6. Componentes Principales de ArchHydro



6.5.1.2 Modelo Hec-HMS

El programa HEC HMS ha sido desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, de los Estados Unidos, y es uno de los modelos hidrológicos más utilizados en la modelización Hidrológica de cuencas hidrográficas.

El Hec-Hms, es un programa de simulación hidrológica gratuito, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvia.

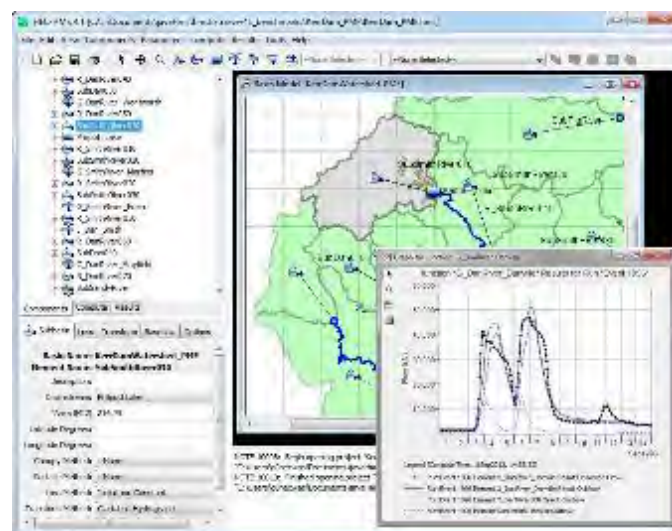
Para realizar éstos cálculos, parte de los datos de un hietograma de precipitación y a través de una serie de modelos se calcula el exceso de precipitación (o precipitación neta) y luego se genera el hidrograma a la salida de la subcuenca.

La aplicación tiene una interfaz gráfica, que permite al usuario introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológicos, a través de módulos integrados y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión.

Los resultados arrojados por Hec-Hms permiten:

- Dimensionar obras de control de inundaciones, como muros de encauzamiento y embalses.
- Establecer dimensiones preliminares de alcantarillas viales, luz en los puentes y sistemas de drenaje pluvial.
- Estudiar el impacto ambiental de las crecientes, causado por la transformación del uso de los suelos en cuencas rurales y urbanas.

Figura N° 6.7. HEC-HMS



6.5.1.3 Modelo IBER

IBER es un software libre en español, de cálculo del flujo en lámina libre bidimensional, en el que las ecuaciones se resuelven utilizando un esquema numérico en volúmenes finitos. Ofrece grandes ventajas respecto a los cálculos con modelos unidimensionales dando más estabilidad y convergencia, siendo capaz de simular con mayor ajuste a la realidad y ampliándose por tanto enormemente su campo de utilización.

Con IBER se pueden realizar gran cantidad de modelos numéricos como el cálculo de flujo en ríos, definición de zonas inundables, evaluación de zonas de riesgo, y delimitación de vías de intenso desagüe. Se incluye entre sus posibilidades el transporte de sedimentos y transporte de fondo junto con el flujo de marea en estuarios. La simulación de paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos, se puede realizar también incluyendo el efecto del viento, y es buena herramienta para modelizar la rotura de balsas y presas.

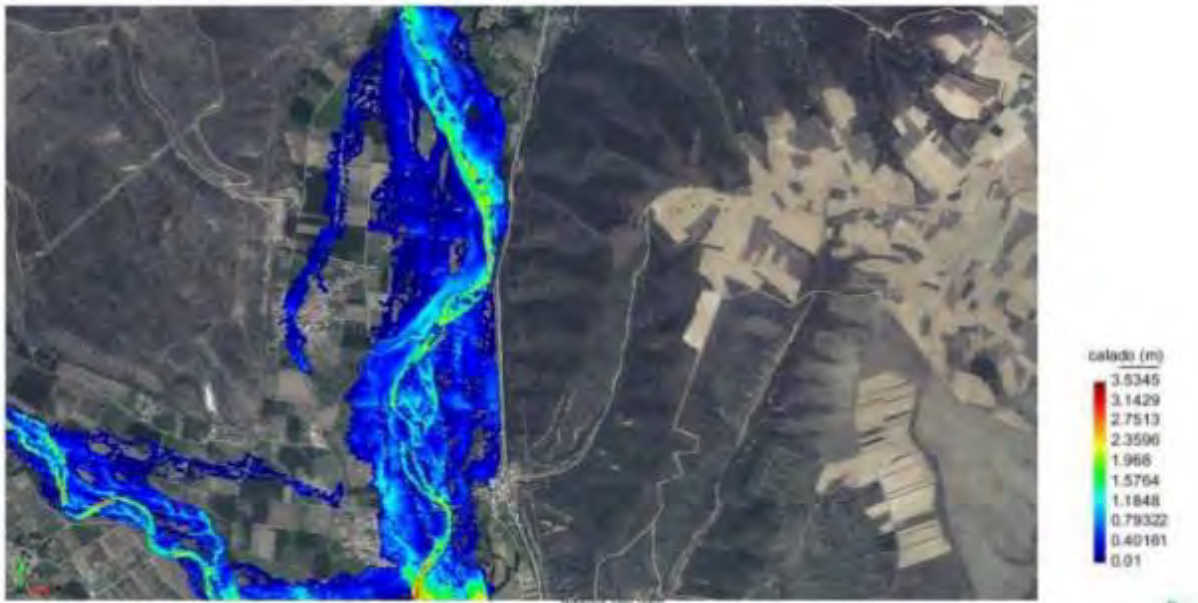
Figura N° 6.8. Modelación de inundación mediante IBER



Fuente: Elaboración Propia

Este modelo, en la región del Biobío se propone utilizarlo para determinar con exactitud las alturas y velocidades que puedan ocurrir ante crecidas o roturas de presas.

Figura N° 6.9. Mapas de Altura de Agua para el Qmaxd modelado en Iber para zona de Santiago del Molinillo (León) en España



Fuente: Elaboración Propia

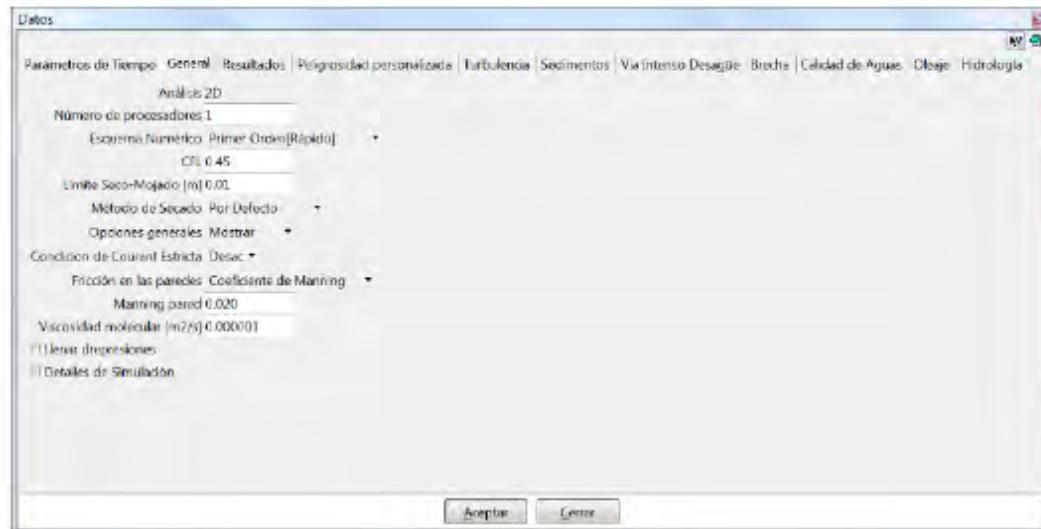
Cabe destacar que el modelo IBER consta de un módulo hidrodinámico, uno de turbulencia y un tercer módulo de transporte de sedimentos. En Iber el proceso de cálculo se lleva en 3 fases: Pre-proceso, Cálculo y Post Proceso, los cuales se detallan a continuación.

6.5.1.3.1 Pre-Proceso

Se debe seguir el siguiente esquema de trabajo en Iber, diferenciado en los siguientes pasos:

- Crear o importar una geometría.
- Asignar condiciones de contorno e iniciales.
- Asignar una serie de parámetros de entrada (rugosidad del fondo, modelo de turbulencia, etc.).
- Construir una malla de cálculo.
- Definición de la brecha de rotura de presa (si lo hay).
- Asignar opciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, activación de módulos adicionales).

Figura N° 6.10. Pantalla General de la Ventana Datos del Problema



6.5.1.3.2 Cálculo

El siguiente paso de la resolución es el cálculo. Simplemente para ello se selecciona el menú Calcular. Esta última permite tener un mejor control del proceso de cálculo, o acceder al archivo que muestra el estado del proceso, mientras el cálculo se está ejecutando.

En la ventana que se abre aparece información sobre diferentes parámetros del cálculo:

- En primer lugar, el programa hace una serie comprobaciones de la geometría. Si hay algún fallo grave en la geometría, en alguna condición o parámetro mal asignado, se detiene el cálculo.
- Initial volume: indica el volumen inicial, el cual depende del caudal que se le haya asignado como condición de entrada y de los elementos a los que se asigna la condición de entrada.
- Simulation time: indica el tiempo de simulación que lleva en segundos. Los intervalos de tiempo que se van visualizando son los intervalos en los que se obtiene salidas de resultados, en función del valor que se le haya asignado en Datos del problema a la casilla Intervalo de Resultados.
- Time step: es el paso de tiempo, relacionado con la condición de Courant.
- Time: es el tiempo de cálculo que tarda en realizar cada intervalo de resultados, el cual viene expresado por la hora en tiempo real.
- Qin: es el caudal de entrada expresado en m³/s. Este caudal debe coincidir con el que se ha asignado en las condiciones de entrada.
- Qout: es el caudal de salida expresado en m³/s; lleva signo negativo.

Figura N° 6.11. Cuadro de Diálogo del Proceso de Cálculo

Información de salida para 'current' Sun Jun 14 23:24:33

70.0%
80.0%
90.0%
100.0%

NUMERICAL SCHEME: Run 1st Order

Initial volume: 20839.67 m3

Simulation time	Time step	Time	Qin	Qout
0.000	1.00000	23:24:34:85	0.000	0.000
20.009	0.01902	23:24:37:83	0.000	0.000
40.018	0.01902	23:24:40:81	0.000	0.000
60.006	0.01902	23:24:43:80	0.000	0.000
80.016	0.01902	23:24:46:78	0.000	0.000
100.006	0.01902	23:24:49:78	0.000	0.000
120.015	0.01902	23:24:52:77	0.000	0.000
140.005	0.01902	23:24:55:77	0.000	0.000
160.014	0.01902	23:24:58:78	0.000	0.000
180.004	0.01902	23:25:01:76	0.000	0.000
200.013	0.01902	23:25:04:85	0.000	0.000
220.003	0.00894	23:25:14:92	0.000	0.000
240.003	0.00927	23:25:30:18	0.000	0.000
260.003	0.00951	23:25:49:12	0.000	61.122
280.005	0.00979	23:26:08:53	0.000	57.774
300.001	0.01000	23:26:27:26	0.000	48.820
320.009	0.01021	23:26:45:76	0.000	41.645

Close

6.5.1.3.3 Post Proceso

Una vez finalizado el cálculo o durante el proceso del mismo pueden visualizarse los resultados existentes accediendo al área de trabajo del postproceso de Iber. De este se pueden obtener los siguientes resultados:

- Ver resultados.
- Obtención de Gráficas
- Generación de animaciones.
- Exportación de resultados a raster

Figura N° 6.12. Iconos para crear los distintos tipos de gráficas

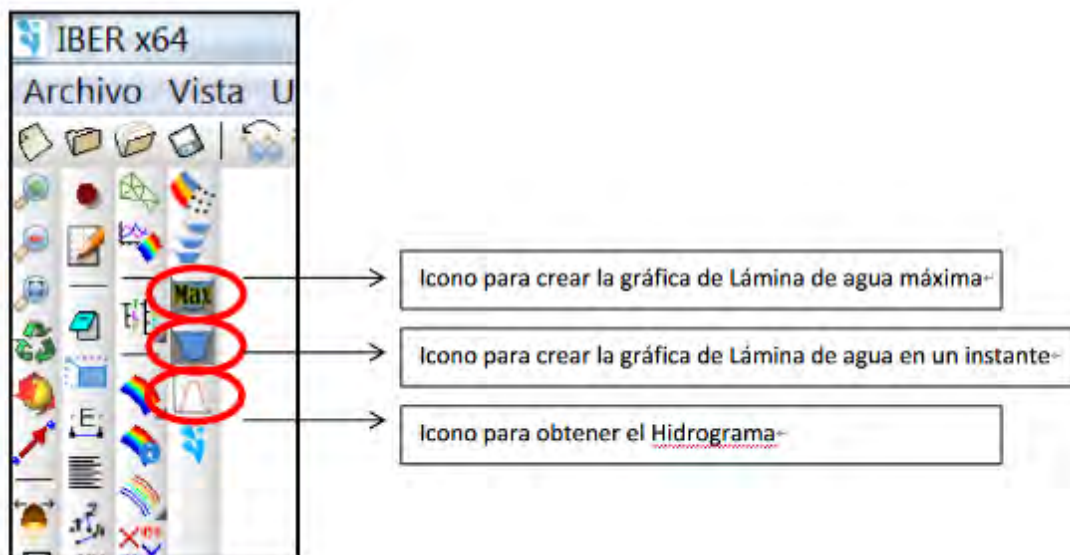
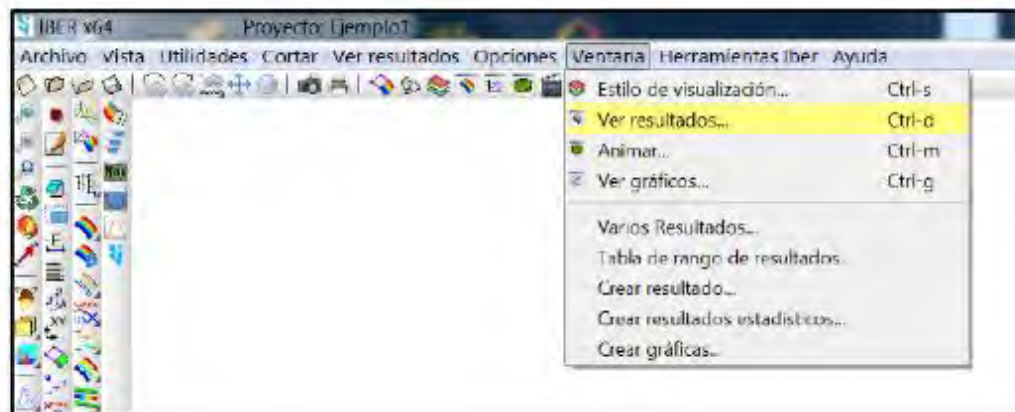


Figura N° 6.13. Comandos para visualizar resultados



6.5.1.4 Modelo HEC-RAS

HecRas es un modelo altamente utilizado por los profesionales del área hidráulica como pronóstico de alturas de agua en flujos. El uso de un modelo numérico unidimensional y bidimensional como el Hec-Ras (que resuelve la ecuación de la energía) y todo su entorno complementario (pre y post-proceso en Arc- View) para la resolución de problemas hidráulicos y/o fluviales conlleva una responsabilidad importante en cuanto a la necesidad de conocer las limitaciones en su aplicación. A continuación se presentan las ventajas y desventajas de este modelo.

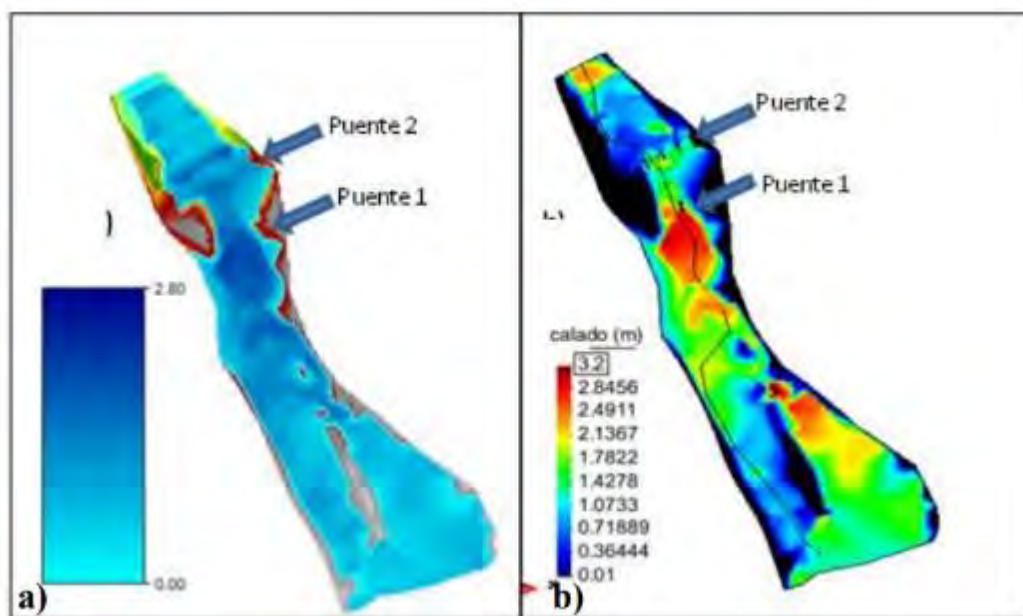
6.5.1.4.1 Ventajas

- **Es un modelo unidimensional y bidimensional (versión 5) en energías**, que permite el cálculo en dominios con escalas muy grandes, de modo que la simulación de kilómetros de río se realiza con una velocidad de cálculo enorme (orden de segundos). Por tanto, la capacidad de repetición y corrección de un cálculo es muy alta.
- El uso de la ecuación de la energía para el balance entre secciones, dada la incertidumbre existente en la estimación de las pérdidas de carga (resistencia al flujo), es un método bastante aproximado en problemas de gran escala (fluviales). La simplificación del flujo turbulento tridimensional a un flujo unidimensional es relativamente aceptable para grandes escalas (ríos y barrancos) con precisiones poco exigentes
- **Tiene gran libertad geométrica**: Permite el análisis con secciones naturales no regulares (secciones fluviales: cauce principal y llanuras de inundación). Es una gran ventaja sobre otro tipo de modelos hidráulicos existentes (y mucho más rígidos).
- **Tiene facilidad de creación**, modificación y edición de geometrías (entorno visual muy cómodo y rápido) e introducción de datos de rugosidad y estructuras transversales (puentes, obras de paso, aliviaderos). Gran comodidad de visualización de resultados y edición de figuras.
- **Gran capacidad de importación y exportación de datos** en entorno Windows (comunicación con Excel, Word, Autocad) para el post-proceso de resultados y presentación.
- Las nuevas tecnologías SIG (Sistemas de Información Geográfica), tipo Arc-View, permiten el proceso de grandes cartografías para generar la geometría del cauce con gran precisión, en formatos importables Hec-Ras (.geo). Asimismo, existen extensiones para el Post-proceso de láminas de inundación y mallas ("grids") de inundación y velocidad.
- **Uso extendido en todo el mundo** y gran experiencia de uso. Hec-Ras es un modelo bien contrastado, herencia directa (y mejorada) del antiguo HEC-2 (1984) en MSDOS.
- **Es de licencia Libre**.

6.5.1.4.2 Limitaciones

- Hec-Ras no es un modelo turbulento. La ecuación de la energía supone siempre distribuciones hidrostáticas de presiones y la ecuación de fricción permanente de Manning. Por tanto, la solución es una pura simplificación, y no se ajusta a la realidad en casos donde las presiones y las tensiones turbulentas se alejan del modelo lineal.
- Hec-Ras no es un modelo 3D (x,y,z), sino que es un modelo 1D y 2D (versión 5), de modo que la solución siempre es una aproximación o promedio de la real. Un ejemplo tan importante como la extensión del flujo por las llanuras de inundación para grandes avenidas es un fenómeno que Hec-Ras no puede evaluar, en principio. La posibilidad de dividir la sección en subsecciones lo convierte en un modelo quasi 2D muy débil pues no tiene en cuenta la transferencia lateral de momentum del flujo. La distribución lateral de velocidades no es correcta. En consecuencia, la solución de flujo en curvas (método de los Flowpaths) es tremendamente aproximada.
- Sólo se pueden modelar ríos y barrancos con pendientes menores de 1:10, ya que no se tiene en cuenta la componente vertical del peso de la columna de agua en las ecuaciones. Ni Saltos ni los obstáculos son reproducidos correctamente (Hec-Ras no realiza balance de fuerzas). Existen métodos para simular o reproducir dichos efectos, pero son altamente arbitrarios y dependen mucho del tipo de flujo.
- El resultado viene altamente condicionado por las consideraciones geométricas adoptadas (Trazado de secciones, Áreas Inefectivas, Leeves, Pérdidas de estrechamiento y expansión, etc...). Por tanto, el resultado sigue siendo bastante “manual” (bajo criterio del calculista)
- Dificultad para hallar la altura crítica en secciones naturales complejas que contienen varias alturas críticas (terrazas fluviales). Por defecto el programa escoge la altura más baja.
- Siempre ofrece por defecto una solución, es decir, Hec-ras no se cuelga nunca. En consecuencia, se debe ser crítico con el resultado numérico.
- Supone que el río tiene contornos fijos, cuando se sabe que en cualquier cauce se produce transporte de sedimentos. Ahora en la versión 5 trae un módulo de sedimentos.
- Limitación en la convergencia de la energía a 40 iteraciones en cada sección de cálculo. Por defecto adopta el valor de calado de menor error.

Figura N° 6.14. A) Mapa inundación con HecRas B) Mapa Inundación con Iber (5 % diferencia)



Fuente: Elaboración Propia

Los principales iconos del programa son los siguientes:

Figura N° 6.15. Iconos de entrada al programa

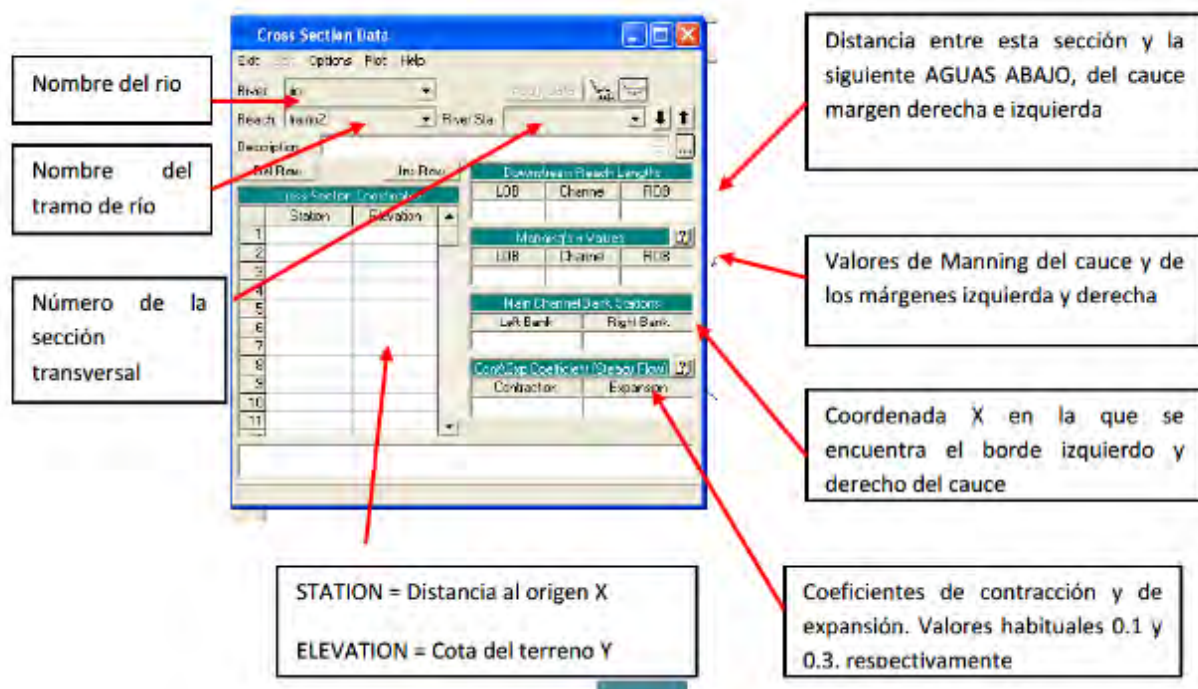


Cuando se lleva a cabo una aplicación, el programa por sí mismo maneja el conjunto de ficheros del proyecto que previamente se habían introducido.

Cuando se crea un nuevo proyecto, es necesario introducir un título del proyecto y un nombre para el fichero de dicho proyecto. El resto de datos que se introduzcan, el programa ya los sitúa en su lugar correspondiente, utilizando el mismo nombre del proyecto excepto la extensión que dependiendo del tipo de datos que se introduzcan, será:

- Proyecto .prj
- Un fichero para cada plan (.p01 a .p99)
- Un fichero para la aplicación de cada plan (.r01 a .r99)
- Un fichero de salida de datos para cada plan (.001 a .099)
- Un fichero para cada conjunto de datos geométricos (.g01 a .g99)
- Un fichero para cada conjunto de datos de flujo (.f01 a .f99)
- Un fichero para cada conjunto de datos de diseños hidráulicos(.h01 a .h99)

Figura N° 6.16. Definición de Secciones Transversales en Hec-Ras



El fichero del proyecto contiene: título del proyecto, el sistema de unidades del proyecto, lista de todos los ficheros que están asociados con el proyecto y una lista con las

variables que utiliza el programa por defecto. También incluye una referencia al último plan que se estuvo trabajando.

Una sección transversal en HEC-RAS presenta tres zonas básicas: por un lado el llamado Channel, que representa la zona del cauce por donde transcurren las aguas bajas del río, y por otro las llamadas LOB (Left Over-Bank) y ROB (Right Over-Bank), que no son más que las llanuras de inundación izquierda y derecha. Los llamados Left Bank y Right Bank son los puntos que definen los límites del Channel. Para introducir los datos de las secciones transversales, lo hacemos en el botón CROSS SECTION de la ventana de GEOMETRIC DATA; siendo ésta la ventana en la que introducimos los diferentes valores que definen la sección.

Para definir las obstrucciones se hace referencia a los elementos introducidos en las secciones transversales que representan zonas bloqueadas para el paso del agua. De esta forma pueden simularse la presencia de edificaciones, muros, etc.

Esta opción permite considerar las áreas en la sección transversal que están permanentemente bloqueando la salida. Los obstáculos cerrados disminuyen la superficie por dónde discurre el flujo y añaden perímetro mojado cuando el agua entra en contacto con el obstáculo.

Hay dos alternativas para introducir las obstrucciones cerradas. La primera opción permite al usuario definir una estación a la izquierda de su cota, y una estación a la derecha y su cota (normal obstructions). Cuando se realiza esta opción, el área a la izquierda de la estación izquierda y el área a la derecha de la estación derecha, estarán completamente bloqueadas.

Figura N° 6.17. Ejemplo de secciones transversales definidas

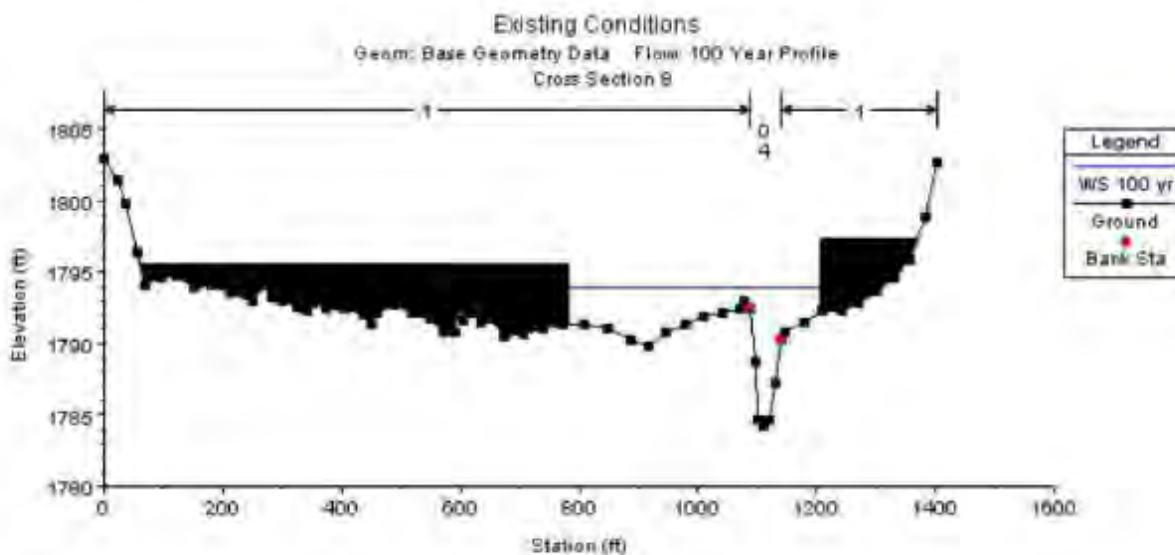
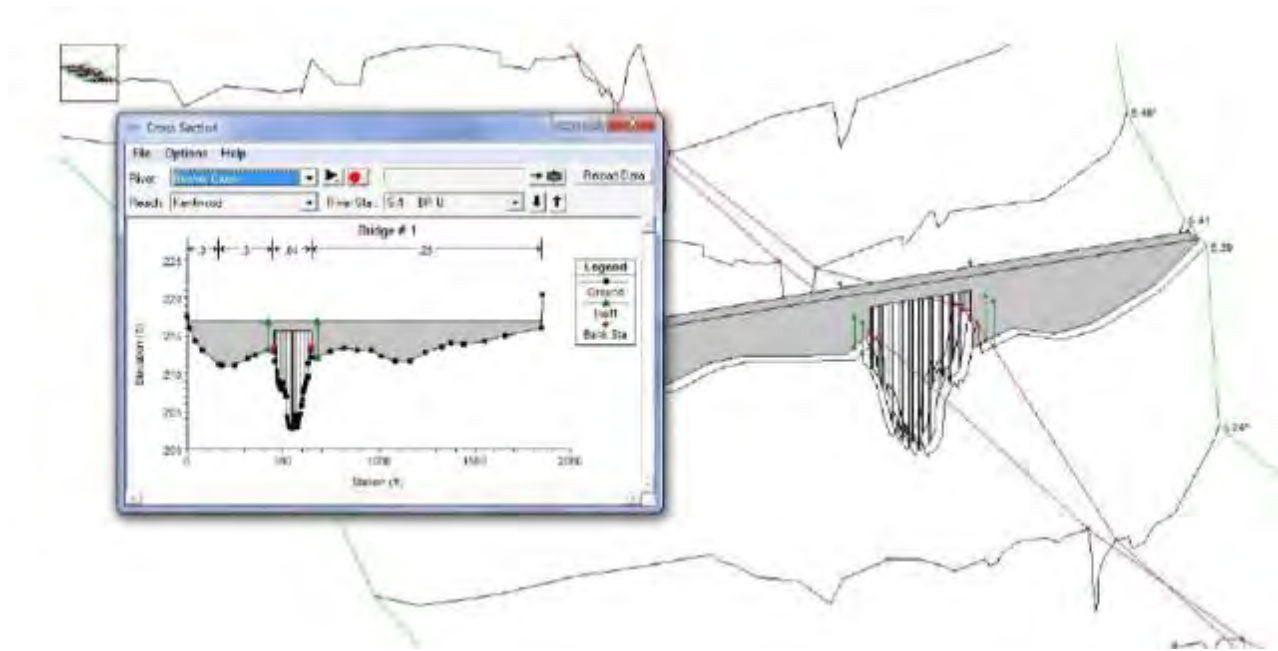


Figura N° 6.18. Ejemplo de secciones transversales definidas



Cuando ya se tiene la geometría y obstrucciones se ingresa al programa las condiciones iniciales, caudal, para hacer correr el software y obtener los resultados.

Figura N° 6.19. Iconos de condiciones iniciales o de borde

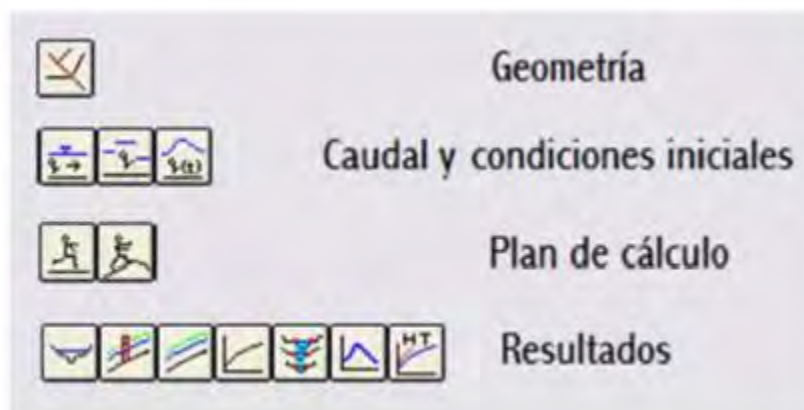
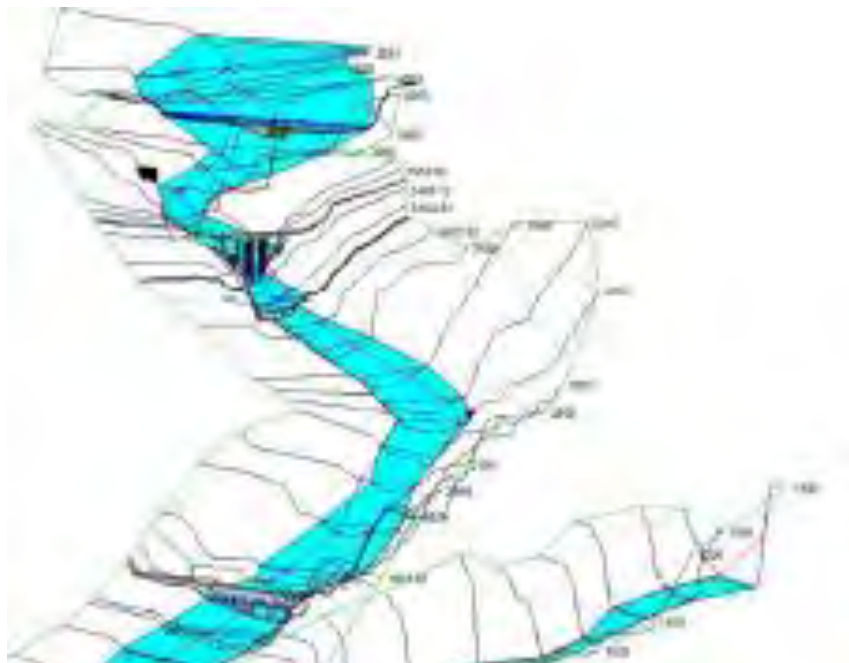


Figura N° 6.20. Visualización de resultaos en 3D

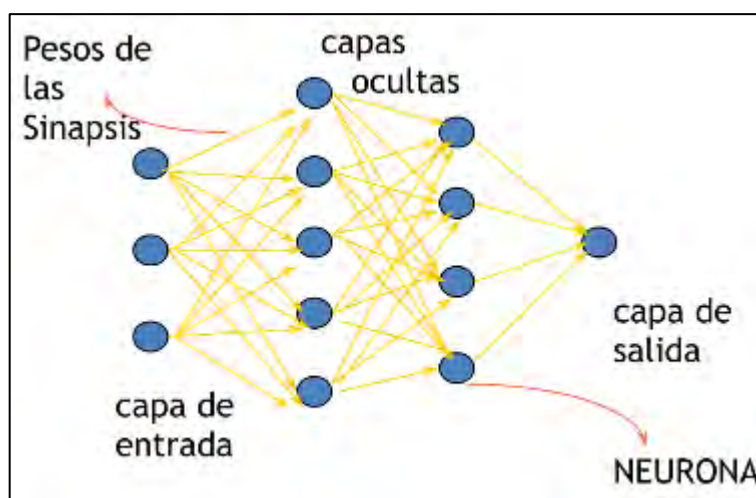


6.5.1.5 Modelo Redes Neuronales

Los modelos neuronales se enmarcan en el área de la Inteligencia Artificial, cuyo principal objetivo es descubrir y simular la inteligencia humana mediante métodos computacionales.

Los problemas que interesa estudiar son aquellos que no pueden expresarse mediante un algoritmo, este tipo de problemas tienen como característica común la experiencia, la cual es usada por el hombre para resolver problemas. A continuación, se presenta una figura con una arquitectura típica de una red neuronal.

Figura N° 6.21. Arquitectura de una red Neuronal



El concepto de Redes Neuronales Artificiales (RNA) surge en 1943 por Walter Pitts y Warren McCulloch que proponen una conceptualización del funcionamiento del cerebro humano basada en una red de células interconectadas, luego de una evolución de esta en el año 1951, Minsky y Edmonds montaron la primera máquina de Redes Neuronales y en 1959 Bernard Widrow y Marcial Hoff fueron los primeros en utilizar una red en la aplicación en un caso real. En el año 1969 se produce un bloqueo en la utilización de las Redes Neuronales hasta 1982 cuando aparece la técnica de aprendizaje denominada retropropagación del error [Rumelhart et al., 1986] y a partir de ese año ha continuado con grandes evoluciones hasta el momento.

La utilización de las Redes Neuronales en ingeniería Civil viene de los años 80s pero solo a partir de 1991 aparecen unas de las primeras aplicaciones en hidrología, como predicción de lluvia [Chang et al., 1991; French et al., 1992; Flood y Kartam, 1994a y b], consumo de agua y estimación de caudales [Daniell, 1991] y predicción de caudales [Karunanithi et al., 1994]. Para los hidrólogos esta es una técnica joven pero ha tenido una rápida aceptación y un florecimiento positivo en publicaciones y conferencias [Govindaraju y Rao, 2000].

No hay una definición universal de las RNA. Pero tal vez varias personas en este campo estarían de acuerdo de que una RNA es una red de muchos procesadores simples (“nodos”), cada uno con una pequeña memoria local.

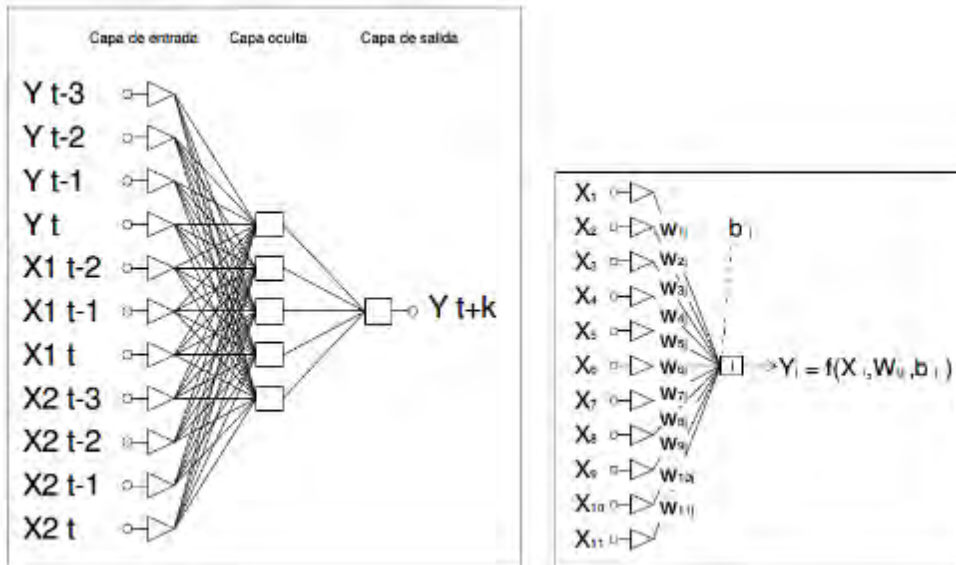
Los nodos están conectados por canales de comunicación (“conexiones”) que generalmente contienen datos numéricos codificados de varias maneras. Los nodos operan sobre sus propios datos y entradas que reciben de las conexiones [Warren, 2005]. Dentro de las varias definiciones encontradas en la literatura, se muestran a continuación algunas de ellas: Las Redes Neuronales Artificiales son sistemas adaptables que aprenden relaciones de un grupo de entradas y salidas y luego son capaces de predecir un conjunto de datos, que no hayan sido vistos previamente, con características similares a los datos de entrada [ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a].

Tienen un buen funcionamiento aunque los datos de entrenamiento contengan errores de medición o ruidos. [Karunanithi et al., 1994; Thirumalaiah y Deo, 1998a Zealand et al., 1999; ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a] y/o cuando la cantidad de variables de entrada es limitada [Sajikumar y Thandaveswara, 1999; Dolling y Varas, 2002]. Contienen características de procesamiento de información innatas, y una vez entrenadas, son fáciles de usar. [ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a]

Una forma de clasificar las RNA es por su número de capas y la dirección del flujo de la información y procesos. En una red feedforward, los nodos se agrupan en capas, empezando por la primera capa de entradas y terminando por una capa final de salidas. Puede haber varias capas ocultas (multilayer) y cada una con uno o más nodos. La información pasa de los nodos de entrada a los de salida. Todos los nodos de una capa se conectan totalmente con los de las capas adyacentes, pero no con los de la misma.

A cada conexión se le asigna un peso sináptico para representar la fuerza de las conexiones entre los nodos y predecir la relación entre las entradas y las salidas (inputs - outputs)

Figura N° 6.22. Esquema Red Neuronal del tipo multiplayer



La capa de entrada corresponde a los datos de entrada para el modelo, en las capas ocultas están las “neuronas” que están interconectadas entre sí y con los datos de entrada, en el entrenamiento de la red neuronal se determinan los pesos de esas conexiones y por ende su influencia en el resultado obtenido en la capa de salida. Estos pesos simulan como las neuronas de un cerebro se interconectan para desarrollar las distintas tareas que hace un ser humano.

El entrenamiento consiste en entregarle a la red neuronal pares conocidos de las capas de entrada y de salida de manera que esta “aprenda” y pueda entregar una salida posteriormente a partir de una capa de entrada.

Para realizar el entrenamiento, los datos disponibles, se deben dividir en:

- Set de Entrenamiento. Se usa para ajustar los pesos y vías de la Red.
- Set de Validación. Se usa durante el Entrenamiento para comprobar cómo se comporta la Red ante datos no “vistos”.
- Set de prueba. Se usa para ver el comportamiento de la Red ante situaciones nuevas.

Las características principales de las redes neuronales son las siguientes:

- No es necesario especificar una relación entre la entrada y la salida, ya que la red extrae esa información de los ejemplos usados en el entrenamiento.
- Representa relaciones no lineales.
- Hacen una buena generalización del problema, mostrando ser versátiles ante situaciones nuevas no vistas en el entrenamiento.
- Tolerancia al ruido, son capaces de dar una buena respuesta incluso cuando los datos presentan inconsistencias.

- Tienen memoria distribuida, lo cual representa una buena tolerancia a los fallos.

6.5.1.5.1 *Ejemplo de Pronóstico*

Se realizó un RNA para predecir los caudales en el río Vernissa en España. Las variables de entrada fueron:

- Precipitación media de la cuenca acumulada cada 4 horas. Calculada haciendo interpolación espacial entre los pluviómetros más cercanos (inversa a la distancia). Se utilizan los datos de tres horas consecutivas de precipitación a partir de dos horas antes del inicio de la predicción (Pacum(4) Cuen41t-2, Pacum(4) Cuen41t-3 y Pacum(4) Cuen41t-4).
- Los caudales observados en las últimas 3 horas en el marco de control del Vernissa (Q 8.9O03t-1, Q 8.9O03t-2 y Q 8.9O03t-3)

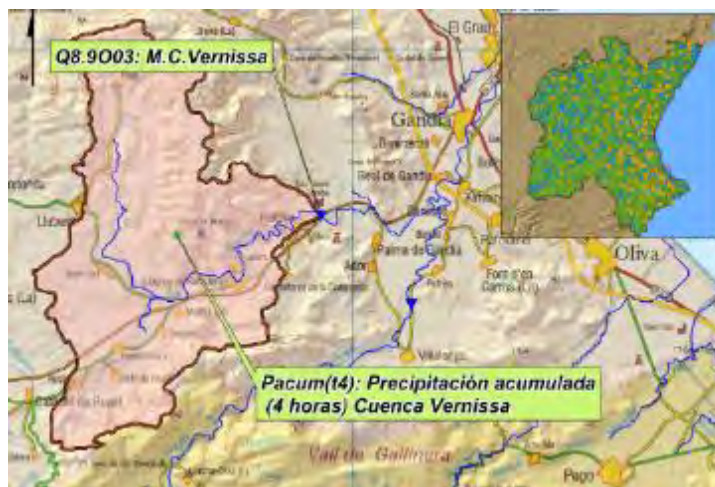
Para la calibración del modelo se utilizaron datos del evento del 2000, 2007 y 2002, siendo los últimos eventos de gran magnitud.

En esta cuenca a diferencia de las demás modeladas se disponen de dos eventos de gran importancia. Esto es un aspecto muy importante para poder validar los resultados de la calibración de las RNA.

La cuenca de Vernissa tiene un área drenante de 102 km² con una longitud máxima de drenaje de 27 km. Su tiempo de concentración según Témez es de 7.6 hr.

El modelo de RNA utilizado para la predicción de caudales, en períodos de eventos, en el marco de control del Vernissa a 1 hora, utiliza datos horarios de la precipitación media de la cuenca acumulada cada 4 horas. Esta variable junto con los caudales observados en el marco de control del Vernissa son las variables utilizadas como entradas al modelo que se expondrá seguidamente.

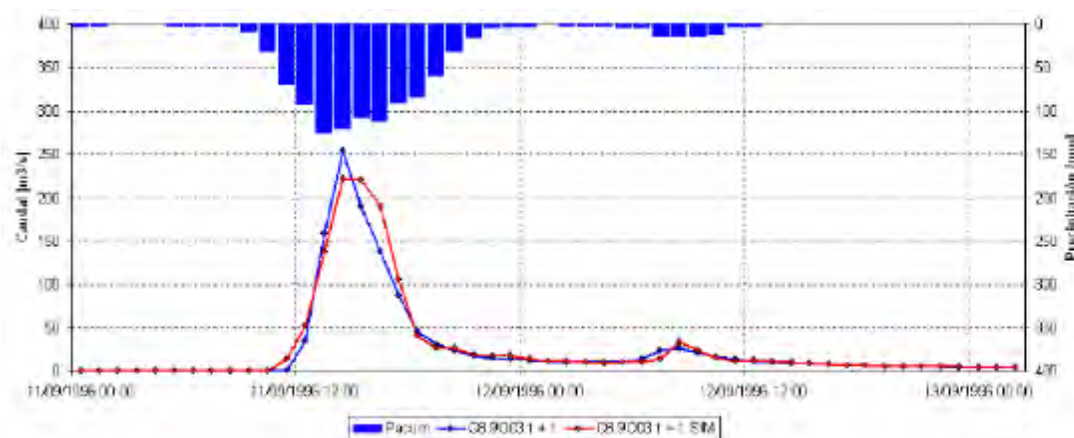
Figura N° 6.23. Ubicación de la Cuenca y puntos de Medición



Se puede considerar que este modelo tiene resultados de muy alta calidad para la predicción de caudales a una hora en el marco de control del Vernissa. Se ha calibrado el modelo con dos eventos que superan los 200 m³/s y validado con un evento de 250 m³/s. La alta correlación de la precipitación con los caudales hace que la predicción sea lo suficientemente buena con un coeficiente de Nash and Sutcliffe de 0.921 para la validación, superando al modelo de persistencia por 1.69 veces.

Los resultados gráficos muestran un muy buen comportamiento del modelo para todos los eventos analizados

Figura N° 6.24. Resultados de Calibración



Luego, Las Redes Neuronales Artificiales son modelos de predicción muy útiles para sistemas de ayuda a la decisión donde se requiere realizar predicciones en tiempo real. La falta de eventos para poder calibrar modelos adecuadamente hace muy difícil la

buena calibración de los modelos. Por eso que se utilizan técnicas de parada temprana para evitar los sobreentrenamientos de las redes.

La facilidad de recalibración y adaptación del modelo hace que sea posible adaptar los modelos a medida que se dispongan de nuevos eventos y así mejorar con el tiempo la precisión de las predicciones de los mismos.

Es importante además de obtener los resultados, realizar una estimación de la incertidumbre de las predicciones que permitan conocer además del caudal predicho medio, también su función de distribución de probabilidad

La incorporación de metodologías como filtro Kalman pueden ser una solución para desarrollar una red neuronal que adapte los pesos de sus conexiones automáticamente cada vez que se obtengan datos nuevos y de esta manera disponer de una RNA adaptativa.

6.5.2 Definición de Umbrales

Cuando sucede una inundación hay una sobreelevación de los niveles normales de las aguas en los cauces de los ríos, que originan desbordamientos y que las planicies de inundación sean inundadas. Durante las temporadas de lluvias, éstas se traducen en nivel de agua en los cauces.

Se entiende por umbral el valor de la magnitud física peligrosa a partir de la cual se justifica la aplicación de una determinada medida de protección. Los umbrales se convierten en “niveles de alerta”, cuando se hace una aplicación para inundaciones. Facilitan a la población de las comunidades, un tiempo de antelación suficiente para prepararse ante una probable inundación.

Para fines de alerta temprana ante inundaciones es posible definir dos tipos de umbrales:

- **Umbral de lluvia:** indica a partir de qué cantidad de precipitación acumulada es probable que el río se desborde provocando una inundación;
- **Umbral del nivel del río:** indica el nivel del río a partir del cual es probable que se presente una inundación.

6.5.2.1 Umbrales de Lluvia

Algunos países como España consideran los umbrales para dos tipos de lluvias: la precipitación ocurrida en 1 hora (en algunas regiones, para media hora) para las lluvias intensas y las ocurridas en 12 , 24 o 48 horas para las lluvias persistentes y, generalmente, extensas. Estos dos criterios son manejados por organismos de Desastres y Meteorológicos de España

En la comunidad autónoma de Cataluña (España), el Servicio de Meteorología de Cataluña considera dos niveles de alerta según el umbral superado. Un aviso será de nivel 1 cuando se prevea superar el primer umbral, y será de nivel 2 cuando se prevea superar el segundo umbral, para el cual se convierte en un aviso de situación meteorológica de alto riesgo. Los umbrales son los siguientes:

Tabla N° 6.2. Umbrales definidos en España

NIVEL 1	NIVEL 2
Intensidad > 20 mm / 30	Intensidad > 40 mm / 30
Acumulada > 100 mm / 24	Acumulada > 200 mm / 24

Tabla N° 6.3. Umbrales propuestos en región del Biobío

NIVEL 1	NIVEL 2
Intensidad > 50 mm / 30	Intensidad > 80 mm / 30
Acumulada > 100 mm / 24	Acumulada > 200 mm / 24

En Centro América y el Caribe los criterios para definir umbrales de lluvia para inundaciones se basan en una combinación del tiempo y de la intensidad de la lluvia, muy similares a los criterios aplicados en España.

Cabe destacar que en la concepción del sistema alerta temprana considera un pronóstico basado en precipitación de al menos **48 horas de anticipación**, debiendo ajustarse posteriormente, en función de los análisis realizados.

El mejor criterio para esto es hacer un “estudio de las tormentas”; pero lamentablemente, la información de este tipo es muy difícil de obtener en los Servicios Meteorológicos de los países. Ante esta situación, los investigadores han propuesto distribuciones de tormentas de tipo hipotético, tales como las definidas por el Servicio de Conservación de Suelos de USA. A falta de un estudio de tormentas, se recomienda utilizar la distribución hipotética tipo II del SCS para obtener lluvias horarias de tipo hipotético.

6.5.2.2 Umbrales de Nivel de Río

Una metodología para obtener umbrales de nivel es utilizar lo indicado por la Universidad de Florencia, Italia, basado en los siguientes conceptos:

- El análisis hidráulico es bueno si el objetivo es la determinación del “caudal máximo que puede transitar en una determinada sección”. Este caudal es útil cuando se instala un sistema de alerta temprana ante inundaciones, ya que ofrece la facilidad de determinar un valor para una señal de alerta. Se le puede llamar entonces “Caudal Crítico”.
- El umbral hidrométrico crítico (ylim), es el nivel del río con el cual se observan daños para la población; valor que representa la cota máxima de la borda en la sección de interés o la altura máxima del cauce del río a sección llena.
- El umbral hidrométrico de alerta (hlim) se ubica generalmente a una cota inferior con respecto al umbral crítico por razones lógicas de precaución.

- Para tramos con desbordes, se puede tomar el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que alcanza la altura máxima de la borda disminuida en un metro.
- Para el caso de tramos sin desborde, se considera el umbral de alerta en correspondencia con el caudal que ocupa completamente la sección o cauce analizado.
- Se define entonces un “Umbral de Alerta”, basado en el análisis hidráulico de los cauces. Se sugiere el uso de modelos hidráulicos como IBER, HEC RAS, ARCHYDRO para el análisis de los tramos.

Luego, para usar este método se requiere tener conocimiento de modelación hidráulica y de las tareas de campo para definir los tramos topográficos del canal del río y las secciones transversales de análisis. Como ejemplo, se presentan los umbrales definidos por DGA en algunos lugares de la cuenca:

Río Biobío en Rucalhue

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m ³ /s	2750	4400	5500
Nivel en m	4.97	6.41	7.21

Río Biobío en Coihue

	Alerta azul	Alerta amarilla	Alerta Roja
Caudal en m ³ /s	4000	6400	8000
Nivel en m	5.65	7.32	8.18

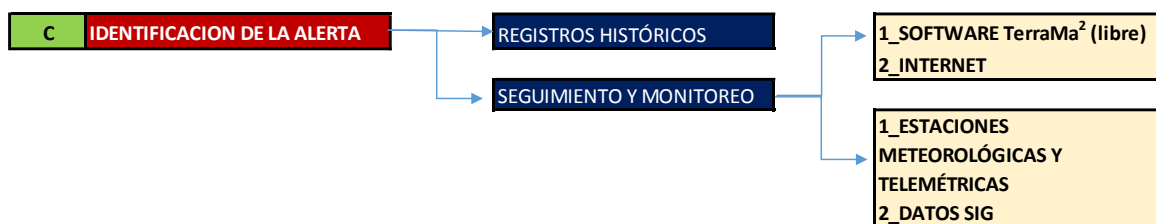
6.6 IDENTIFICACION DE LA ALERTA (C)

6.6.1 Identificación

En la tercera etapa se requiere identificar la alerta, a partir de información histórica o en línea, de modo que se levanten las alarmas cuando se sobrepasen los umbrales definidos en el capítulo anterior (B).

La definición de una Tabla de umbrales permite hacer una clasificación de los avisos o alertas que deben trasladarse a las comunidades vulnerables a inundaciones. Las tablas comúnmente parten de un valor de umbral mínimo a un valor extremo superior, llamado umbral de crecida, que es indicador de una probable inundación.

Figura N° 6.25. Diagrama Identificación de Alerta (C)



Fuente: Elaboración Propia

Posterior a ello, se debe realizar un seguimiento y monitoreo, la cual es una actividad crítica para el SAT. En algunos países de Sudamérica como Brasil, México y Perú se utiliza el software Terra Ma2, creado el año 2012 en Brasil de forma abierta en idioma español, con el cual se puede monitorear en tiempo real cualquier suceso a partir de las informaciones disponibles en internet. Se pueden utilizar los datos provenientes de satélites y radares meteorológicos o de modelos de previsiones numéricas, además de datos de puntos fijos como plataformas de colecta de datos (PCD), sondas, boyas, estaciones e instrumentos geotécnicos.

Para la definición de los avisos o alertas, se hace uso del método de semáforo. La clasificación verde se vincula con toma de acciones en tareas de monitoreo de la cuenca. La clasificación amarilla, se relaciona con la posibilidad de ocurrencia de una inundación; y la clasificación roja se vincula con una la inminencia de que ocurra una inundación que afecte la comunidad o comunidades de la cuenca del SAT. A continuación, se presentan las alertas propuestas para el Biobío.

Tabla N° 6.4. Propuestas de Alerta para Umbrales de río Biobío

Tipo de Alerta	Condición de Alerta	Acción
Aviso	Lluvia acumulada de 50 mm en 7 horas	Dar aviso a los observadores para que le den seguimiento al comportamiento de la lluvia
Alerta	Lluvia acumulada mayor de 50 mm y menor de 90 mm en 7 horas	Dar alerta a los encargados para implementar acciones previas a una inundación
Alarma	Lluvia acumulada de 90 mm en 7 horas	Dar alarmas a las comunidades aguas abajo para activar planes de emergencia

Tabla N° 6.5. Propuestas de Clasificación de la Alerta, río Biobío

Nivel de río (m)	Clasificación de la alerta
1,5	Verde
2,5	Amarilla
2,5 o más	Roja

6.6.2 Criterios para el manejo de los Avisos y Alertas

- **Escenario 0:** verde, se traslada el aviso a los voluntarios de la cuenca, para que activen el procedimiento de lectura de datos de manera más frecuente; o den seguimiento a la toma de datos, para su traslado a la Oficina de Emergencia y el Analista evalúa si el nivel del aviso o alerta debe subir o bajar; es decir el verde puede pasar a una condición de amarillo, etc.
- **Escenario 1** amarillo, la alerta se traslada regularmente a los encargados voluntarios del SAT de la cuenca, que generalmente están organizados como la ONEMI. Los voluntarios entonces pueden activar o implementar acciones previas a una inundación.
- **Escenario 2** rojo, se considera como alarma, donde los voluntarios de la ONEMI activan los planes de emergencia. Aquí se ponen a accionar los planes de respuesta y el trabajo de todas las comisiones presentes en las comunidades.

6.7 COMUNICACIÓN DE LA ALERTA (D)

Una comunicación efectiva permitirá una respuesta ante la emergencia de forma inmediata y efectiva. La comunicación recomendada es a través de celular, internet o radio, se pueden utilizar los tres medios de comunicación, sin embargo hay zonas o localidades donde el único medio de comunicación es la radio.

Figura N° 6.26. Diagrama Comunicación de la Alerta



Fuente: Elaboración Propia

El director del SAT debe velar que la comunicación de la alerta sea de forma adecuada, para ello debe tomar las acciones siguientes cuando corresponda:

- **Intensificar la vigilancia** de la presa en caso de acontecimiento extraordinario.
- **Disponer la ejecución de las medidas** técnicas o de explotación necesarias para la disminución del riesgo.
- **Mantener permanentemente informados a los organismos públicos** implicados en la gestión de la emergencia.
- **Dar la alarma, en caso de peligro inminente** de inundación, mediante comunicación a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia

En Biobío existen muchos lugares vulnerables a inundaciones y en los cuales la comunicación es escasa, tanto los mecanismos de comunicación como los flujos de esta comunicación entre organismos e instituciones es deficiente.

El Plan propuesto de comunicaciones se presenta a continuación:

Tabla N° 6.6. Propuesta de Comunicación de la Alertas en Biobío

Situación	Intensificar Vigilancia	Disponer Ejecución de Medidas	Mantener Informados a los organismos públicos	Dar alarma en caso de peligro inminente y dar aviso a la población
Normal	-	-	-	-
Escenario 0	✓	-	-	-
Escenario 1	✓	✓	ONEMI Y MOP	Informar a Empresas con Presas Aguas Abajo
Escenario 2	✓	✓	ONEMI Y MOP	Informar a Empresas con Presas Aguas Abajo y Población Afectada en 30 min

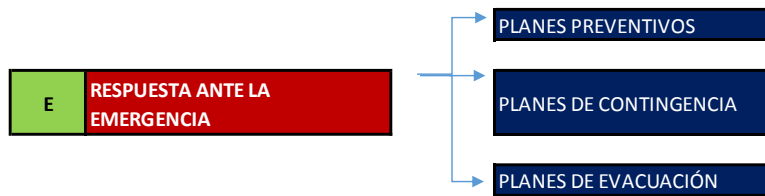
Para lograr una buena comunicación es necesario:

- Disponer de un equipo humano con la calificación técnica suficiente para ser capaz de realizar y supervisar todas las actuaciones necesarias para controlar la emergencia.
- Disponer de los elementos materiales necesarios para realizar las actividades que requieran las anteriores actuaciones.
- Disponer de un sistema de comunicaciones rápido y seguro para avisar y tener al corriente de la situación a todos los organismos implicados.
- Disponer de sistemas de señalización acústica u otros sistemas alternativos para avisar a la población existente en la zona inundable en un intervalo no superior a treinta minutos.

6.8 PLANES DE EMERGENCIA (E)

Los planes de emergencia son un conjunto de actividades relacionadas con la gestión del riesgo (Planes Preventivos, Contingencia y Evacuación). La respuesta a una alerta de desastres naturales debe ser inmediata, integral y demostrar líneas claras de mando.

Figura N° 6.27. Diagrama Respuesta ante la Emergencia



Fuente: Elaboración Propia

En la región del Biobío se carece de una oportuna y eficaz respuesta ante las emergencias. A más de 10 años de ocurrida la crecida del río Biobío en 2006, aún las comunas de las riberas, la intendencia regional, la DGA y la empresa privada (ENEL), trabajan para lograr un plan de prevención. A continuación, se presentan los planes señalados en cada situación.

Tabla N° 6.7. Propuesta de Comunicación y Planes de Emergencia en Biobío

Situación	Intensificar Vigilancia	Disponer Ejecución de Medidas	Mantener Informados a los organismos públicos	Dar alarma en caso de peligro inminente y dar aviso a la población	Planes
Normal	-	-	-	-	Existe Vigilancia y Monitoreo
Escenario 0	✓	-	-	-	Planes Preventivos
Escenario 1	✓	✓	ONEMI Y MOP	Informar a Empresas con Presas Aguas Abajo	Planes de Contingencia:
Escenario 2	✓	✓	ONEMI Y MOP	Informar a Empresas con Presas Aguas Abajo y Población Afectada en 30 min	Planes de Evacuación

En los siguientes capítulos se detallara cada plan.

6.8.1 Planes Preventivos o Preemergencia

La Preemergencia se activa desde el momento en que el SAT recibe un aviso meteorológico con riesgo de precipitaciones intensas. Por tanto, desde el momento en que se produce la recepción del aviso meteorológico, si bien no se activa formalmente el Plan sí que se activa la cadena de transmisiones de la alerta a los diversos organismos y servicios implicados.

Coyunturalmente y a criterio de la Dirección del SAT, en la fase Preventiva la Alerta podrá ser transmitida a la población a través del Gabinete de Información. La alerta derivada será transmitida vía correo electrónico, remitiendo SMS y/o vía fax desde la ONEMI, complementándose con alerta telefónica a los responsables de los Grupos de Acción y responsables de Prensa. Estos deberán permanecer localizables mientras permanezca la situación de riesgo y tener conocimiento de la evolución de la misma.

La fase preventiva se estructura en dos situaciones que obedecen a la evolución habitual en la gestión y control de la situación: alerta derivada de aviso meteorológico y seguimiento pluviométrico y estado de presas.

6.8.1.1 ALERTA DERIVADA DE AVISO METEOROLÓGICO

La alerta se realizará cuando la Dirección Meteorológica de Chile, emita un boletín de Aviso de Fenómenos Meteorológicos Adversos, sobre la posibilidad de que se superen los umbrales establecidos en la etapa de Pronósticos.

6.8.1.2 SEGUIMIENTO PLUVIOMÉTRICO

Consiste en el seguimiento, cuantitativo y/o cualitativo, de las precipitaciones y niveles de caudal en cauces (umbrales). Tiene por objeto confirmar o no la previsión de lluvias, su localización geográfica y su evolución, para prever las cuencas que pueden resultar afectadas.

Esta fase puede ser activada independientemente de que se haya realizado o no la alerta derivada de aviso meteorológico, en caso de que se produzcan lluvias intensas sin aviso previo.

Para el seguimiento se utilizará la red de pluviómetros DGA y la supervisión directa por parte del SAT.

6.8.1.3 SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE PRESAS

También se establece la fase preventiva desde el momento en que cualquiera de las presas integradas en la cuenca, declare el escenario de preemergencia, por el cual, dadas las condiciones existentes y previsiones de evolución en la misma, el plan de emergencia de la presa aconseja una intensificación de su vigilancia sin ser necesaria ninguna especial intervención.

En función de la evolución de la situación, se producirá la vuelta a la normalidad o bien, por una evolución desfavorable, se pasará a la situación de Plan de Contingencia.

6.8.2 Planes de Contingencia

Esta fase se inicia cuando, del análisis de los parámetros meteorológicos e hidrológicos, se concluya que la inundación es inminente o cuando ésta ya haya comenzado (umbrales). Estas circunstancias requieren la activación formal del Plan Especial ante Inundaciones del SAT, correspondiendo la coordinación y dirección de situaciones de emergencia.

A través del Director del SAT se canalizarán las comunicaciones con la ONEMI, y se coordinarán las actuaciones de los medios locales, así como la recepción de los medios y recursos solicitados.

La ONEMI seguirá las actuaciones concretas previstas en el Plan de Contingencia elaborado por el SAT encaminadas a la protección de personas y bienes, como:

- SAT comunicará a empresas si se requiere realizar desembalses extraordinarios
- SAT monitoreará en línea control hidrometeorológico y de presas.
- Seguimiento de la Alerta y predicción meteorológicas.
- Intervención con sus propios medios (grupos de acción) en las zonas de emergencia.
- Movilizaciones solicitadas desde los municipios afectados.
- Adopción de medidas de protección e información a la población.
- Medidas reparadoras en servicios públicos esenciales.

6.8.3 Planes de Evacuación

Situación en la que se han producido inundaciones que superan la capacidad de atención de los medios y recursos locales o, aún sin producirse esta última circunstancia, los datos pluviométricos e hidrológicos y las predicciones meteorológicas permiten prever una extensión o agravamiento según lo analizado en la etapa de Pronóstico (umbrales de lluvia o niveles).

Requiere una activación completa del Plan ante Inundaciones y Evacuación utilizando medios propios, o asignados por otras administraciones municipales o la ONEMI. Así mismo, quedarían integrados en el Plan de Evacuación los planes inferiores: locales y de presas; y si la situación se agrava, la constitución del ejército de Chile. La calificación y dirección de la situación corresponde al Director del SAT.

6.9 MANTENIMIENTO DE LA OPERATIVIDAD

Una vez implantado el Plan y a lo largo de su Vigencia, el Director del SAT procederá al mantenimiento de su eficacia recogiendo las acciones dirigidas a la plena operatividad de los procedimientos de actuación así como a su actualización y a una adecuación a modificaciones futuras.

El conjunto de acciones que supone el mantenimiento del Plan Especial se acometerán coordinadas en un programa de mantenimiento que será elaborado por el SAT y posteriormente aprobado por la ONEMI.

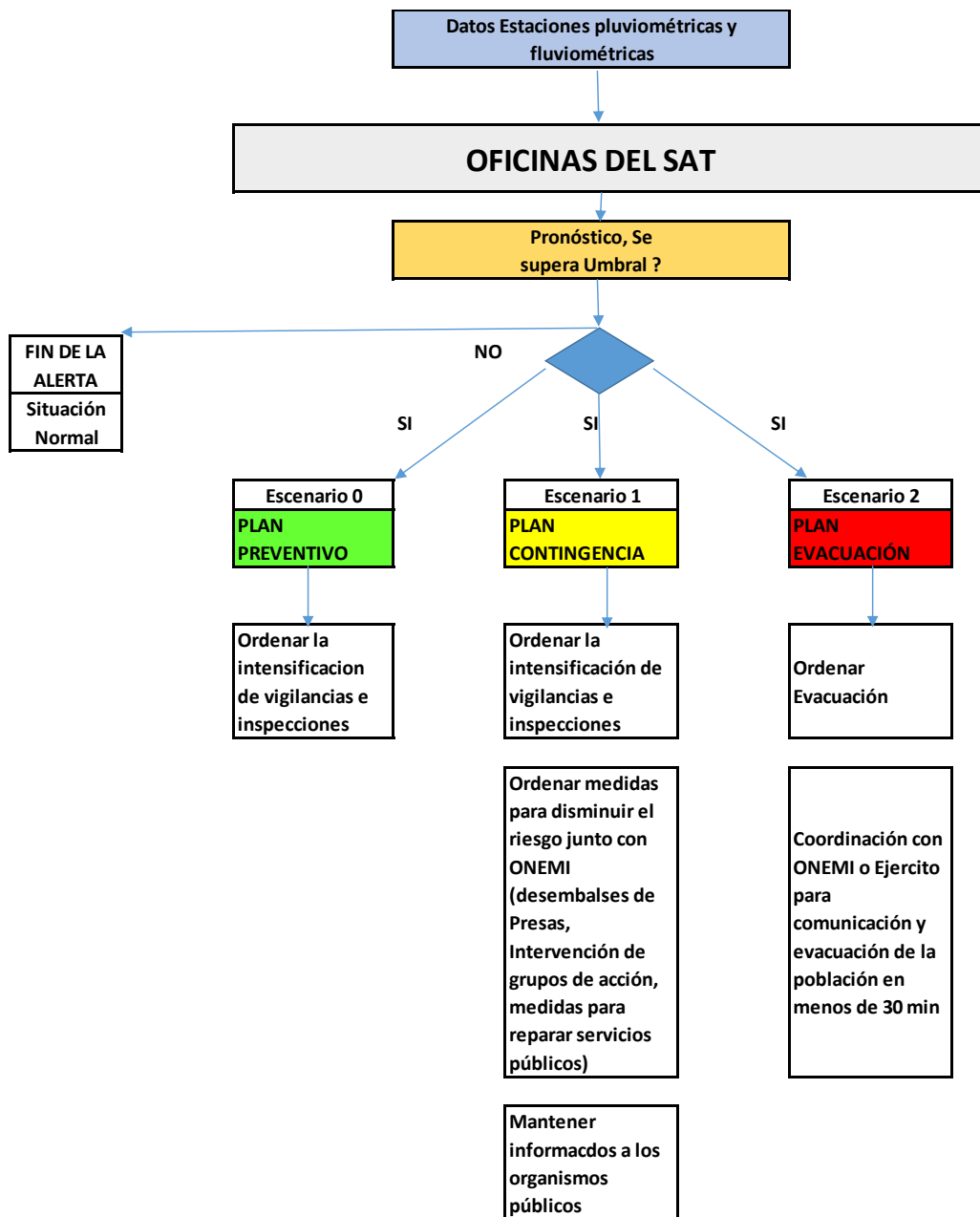
Tabla N° 6.8. Propuesta de Mantenimiento SAT Biobío

PERIODICIDAD	MANTENIMIENTO DE LA OPERATIVIDAD
A los tres meses	Planificación anual de las actividades que deben desarrollarse: dotación de infraestructuras, divulgación, simulacros, actualización y revisión periódica del mismo
Después de cada intervención	Reunión con los Grupos de Acción intervinientes, al objeto de coordinar posibles acciones conjuntas y de revisar procedimientos y protocolos de actuación
Después de cada episodio de lluvias	Elaborará informes sobre los sucesos que posteriormente revisará y actualizará a fin de comprobar las posibles mejoras al mismo
Anual	Comprobación de la operatividad
Bianual	Se revisará el directorio de urgencia, el catálogo de medios y recursos y en general todo el Plan Extraordinario Director del Plan
Extraordinario	Mantenimiento ante cualquier alteración que afecte al Plan, modificaciones de normativas o en la organización, de nuevos conocimientos y experiencias adquiridas en el tratamiento del riesgo de inundaciones

6.10 FLUJOGRAMA DE ACCIONES

A continuación, se presenta una flujograma propuesto de las acciones y planes detallados anteriormente.

Figura N° 6.28. Diagrama de flujo Propuesto para SAT Biobío



7 CARACTERIZACIÓN BANK FULL

En este capítulo se presenta la caracterización del caudal de plena ocupación de la sección para zonas con amenaza de inundación, cabe destacar que dadas las limitaciones de la topografía utilizada el análisis se pudo realizar en 3 zonas donde el cauce del río estaba definido de manera clara, estas zonas son Río Biobío en desembocadura (zona de Concepción - San Pedro de la Paz), río Biobío en Hualqui y Río Laja en San Rosendo.

7.1 METODOLOGÍA

Para lograr la caracterización del caudal de plena ocupación se utilizó topografía extraída de los modelos de elevación digital SRTM con celdas de 30 m, esto supuso una gran limitación dado lo grueso de la grilla haciendo que en zonas donde existen cauces angostos, cobertura vegetal abundante o singularidades topográficas no se podían obtener perfiles bien definidos de los cauces con los que se obtenían resultados con muchos errores y que finalmente no se consideraron válidos. Cabe decir que los resultados obtenidos son una aproximación gruesa del caudal de plena ocupación de los cauces que debe ser afinada con topografía y datos de terreno precisos en las etapas posteriores del estudio.

El software utilizado fue HEC-RAS donde se utilizó el módulo 1 D, el que además de los perfiles transversales del río obtenidos de la topografía necesita la determinación del coeficiente de rugosidad n de Manning y la definición de las condiciones de borde para el cálculo del eje hidráulico.

Mediante una búsqueda iterativa se fue buscando el caudal que llenara la sección completamente.

7.1.1 Determinación del coeficiente de rugosidad

En el cálculo del eje hidráulico en un tramo de río, se utiliza la ecuación de Manning para determinar la pérdida de carga friccional entre tramos consecutivos. Esta ecuación utiliza el coeficiente empírico de rugosidad “ n ” (Coeficiente de rugosidad de Manning), valor que engloba las asperezas propias de las paredes y el fondo, las pérdidas ocasionadas por las irregularidades propias de la sección (depósitos, socavaciones, vegetación, etc.) y los cambios entre las secciones del río. Para su determinación se utilizaron las siguientes fuentes:

Reconociendo varios factores primarios que afectan el coeficiente de rugosidad, Cowan (1956) desarrolló un procedimiento para estimar el valor de n , el cual se puede calcular por:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m_5$$

Donde:

n_0 : valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en materiales naturales

n_1 : valor agregado a n_0 para corregir el efecto de irregularidades de superficie

n_2 : valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del cauce

n_3 : valor que toma en cuenta las obstrucciones

n_4 : valor que toma en cuenta la vegetación y las condiciones de flujo

m_5 : factor de corrección para los meandros

Para calcular el coeficiente de rugosidad base “ n_0 ” Meyer-Peter y Müller propone usar, para mezclas de materiales de fondo con una significativa proporción de tamaños granulométricos, la siguiente fórmula:

$$n_0 = 0,038 \cdot d_{90}^{1/6}$$

Por su parte, Subramanya (1982) propuso la ecuación de Strickler como:

$$n_0 = 0,047 \cdot d_{50}^{1/6}$$

Tabla N° 7.1 Coeficiente de rugosidad de Manning base n_0

Zona	Meyer-Peter & Müller	Subramanya	Valor adoptado
Cauce de Río	0,023	0,023	0,023

Fuente: Elaboración Propia

Para la zona central del cauce se consideraron los siguientes valores:

Tabla N° 7.2 Rugosidad en zona central del cauce

Parámetro	Cauce de Río	
Grado de irregularidad (n_1)	Baja	0,005
Efecto obstrucciones (n_3)	Menor	0,010
Vegetación (n_4)	Baja	0,010
Cantidad de meandros (m_5)	Menor	1,0
Coeficiente de rugosidad (n)	0,048	

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de Hualqui los meandros son mayores por lo que se adoptó un $n = 0.05$

7.1.2 Determinación de las condiciones de borde

En las zonas de estudiadas los ríos presentan una baja pendiente del orden de 0,002 m/m por lo que se supuso un régimen subcrítico con escurrimiento normal con la pendiente antes mencionada.

Adicionalmente se verificó la posible influencia de las mareas en la zona de la desembocadura del río Biobío, la cual no ejercía control sobre el flujo del río en crecidas, en estudios de mareas máximas e información del SHOA, se obtiene un nivel del agua máximo en pleamar para el puerto de Coronel igual a 0,99 msnm. Los efectos del viento, oleaje y de la presión atmosférica, según Soberón (2015) suman 1,02 m por lo que se obtiene una altura máxima de marea igual a 2,01 msnm, esto quiere decir que la marea no ejerce ningún tipo de control hidráulico en el río cuando éste presenta un nivel de energía superior a los 2,01 msnm, este nivel está muy por debajo del nivel de energía para el caso estudiado que era de alrededor de 12 msnm.

7.2 RESULTADOS

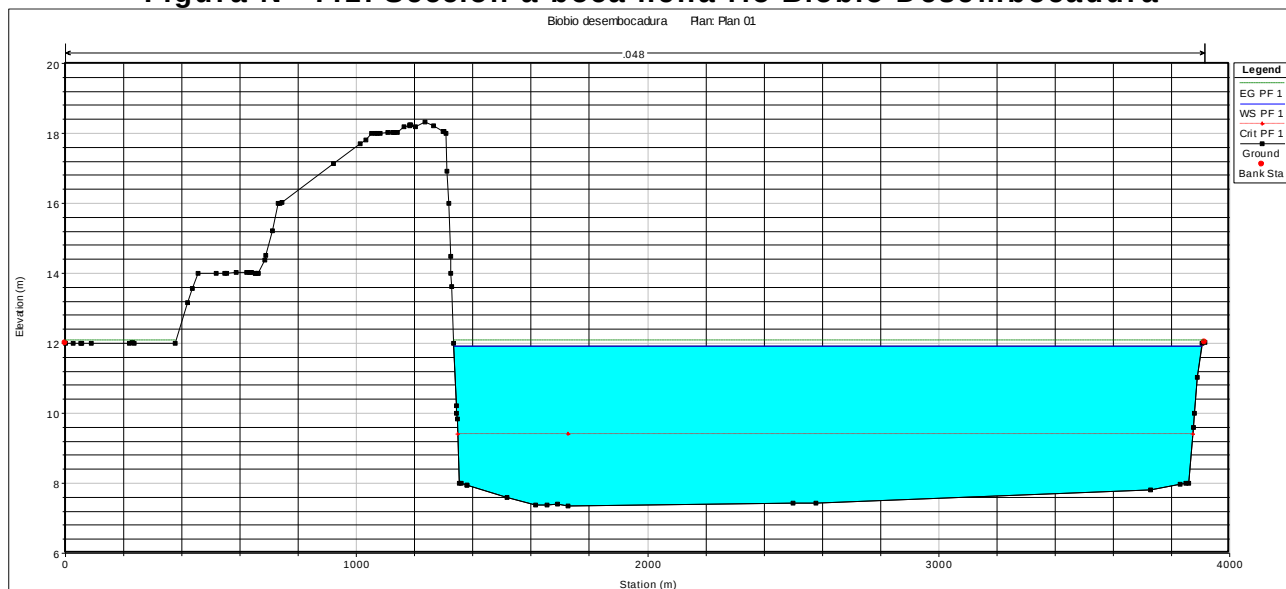
Los resultados obtenidos con la metodología expuesta son los siguientes.

Tabla N° 7.3 Caudal a boca llena determinado mediante HEC RAS.

Zona	Caudal Full Bank (m ³ /s)
Biobío Desembocadura	18000 – 20000
Biobío en Hualqui	16000
Laja en San Rosendo	5000

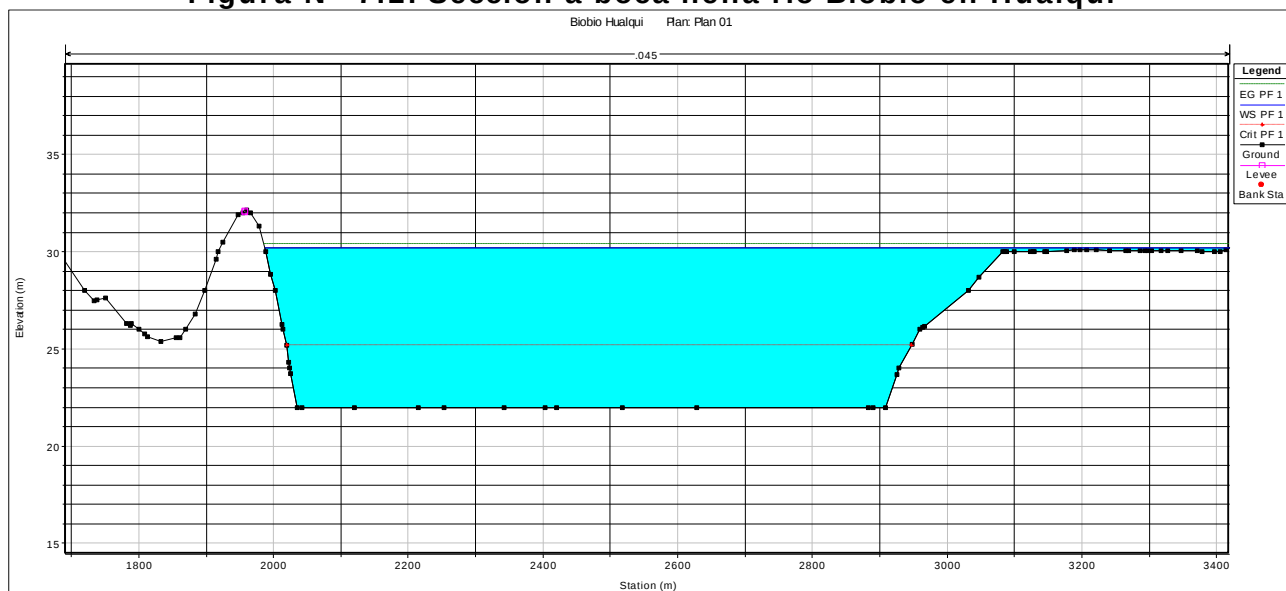
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.1. Sección a boca llena río Biobío Desembocadura



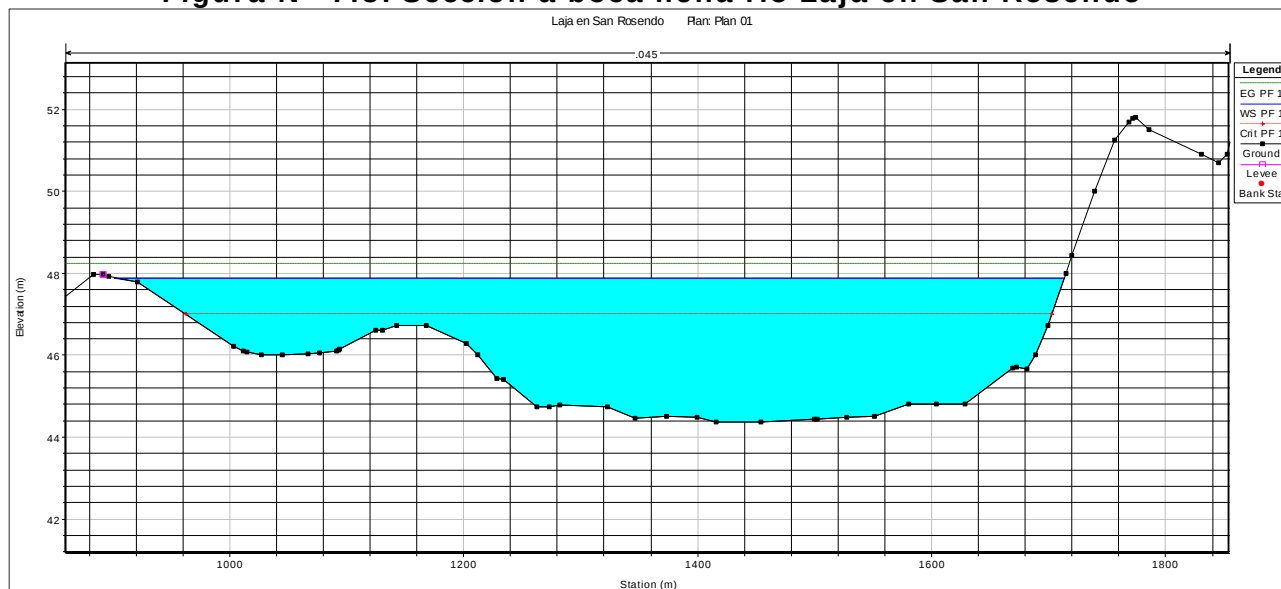
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.2. Sección a boca llena río Biobío en Hualqui



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.3. Sección a boca llena río Laja en San Rosendo



Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que si bien los caudales obtenidos son similares a las crecidas registradas el año 2006 como la topografía no refleja las singularidades del terreno para caudales menores en los que si ocurren eventos de inundaciones estas no se reflejan en el modelo elaborado.

Lo que sí se puede destacar, es que dados los periodos de retorno calculados por diversos estudios para las crecidas del 2006 y que son inferiores a 100 años, casi la totalidad de la expansión de los poblados ribereños ocupan zonas de inundación de los ríos lo que denota una mala planificación y un riesgo cada vez mayor.

Para lograr caracterizar la crecida a boca llena del resto de los puntos de interés en los cuales no se tiene topografía que defina el cauce estudiado de manera aceptable, se consideraron secciones y pendientes tipo, medidas en Google Earth y DEM disponibles, y se calcularon las capacidades máximas de las secciones. En algunos casos considerando escurrimiento normal y en otros donde existieran antecedentes de puntos de control (puentes) se consideró crisis en dichos puntos. Las secciones consideradas son las siguientes.

Tabla N° 7.4 Secciones método de altura normal o crisis

Zona	Sección T (H/V)	Ancho (m)	Ancho puente (m)
Río Biobío en Santa Bárbara	Trapezial T 1/1	300	-
Río Biobío en Negrete	Trapezial T 1/1	600	-
Río Bureo en Mulchén	Rectangular	70	50
Río Mulchén en Mulchén	Rectangular	-	20 – 25
Río Biobío en Nacimiento	Trapezial T 25/1	200	
Estero Quilque en Los Ángeles	Rectangular		6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 7.5 Caudal a boca llena método de altura normal o crisis

Zona	Control	h sección (m)	Caudal Full Bank (m ³ /s)
Río Biobío en Santa Bárbara	h normal	4,5	6000
Río Biobío en Negrete	h normal	3	8200
Río Bureo en Mulchén	h normal, crisis	3	650 - 800
Río Mulchén en Mulchén	Crisis	3	330 - 400
Río Biobío en Nacimiento	h normal	6,5	8500
Estero Quilque en Los Ángeles	Crisis	3	100

Fuente: Elaboración Propia

Los cálculos presentados en las tablas anteriores fueron calculados mediante el software Hcanales, a continuación, se presentan las imágenes de las características de flujo de los puntos estudiados.

Figura N° 7.4. Sección a boca llena río Biobío en Santa Bárbara, altura normal



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.5. Sección a boca llena río Biobío en Negrete, altura normal



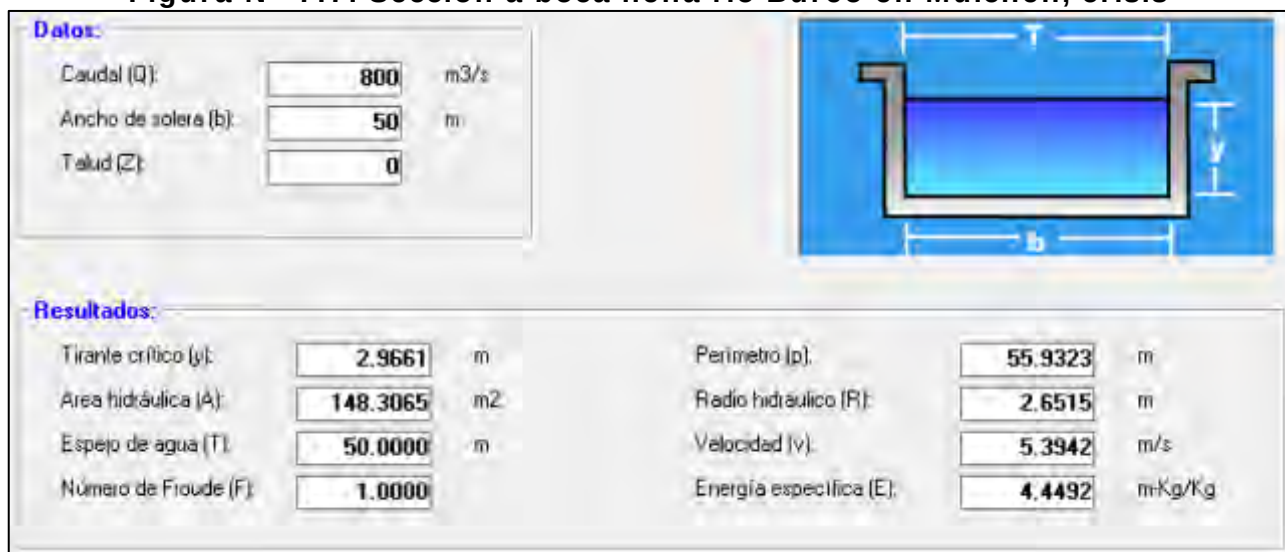
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.6. Sección a boca llena río Bureo en Mulchén, altura normal



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.7. Sección a boca llena río Bureo en Mulchén, crisis



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.8. Sección a boca llena río Mulchén en Mulchén, crisis



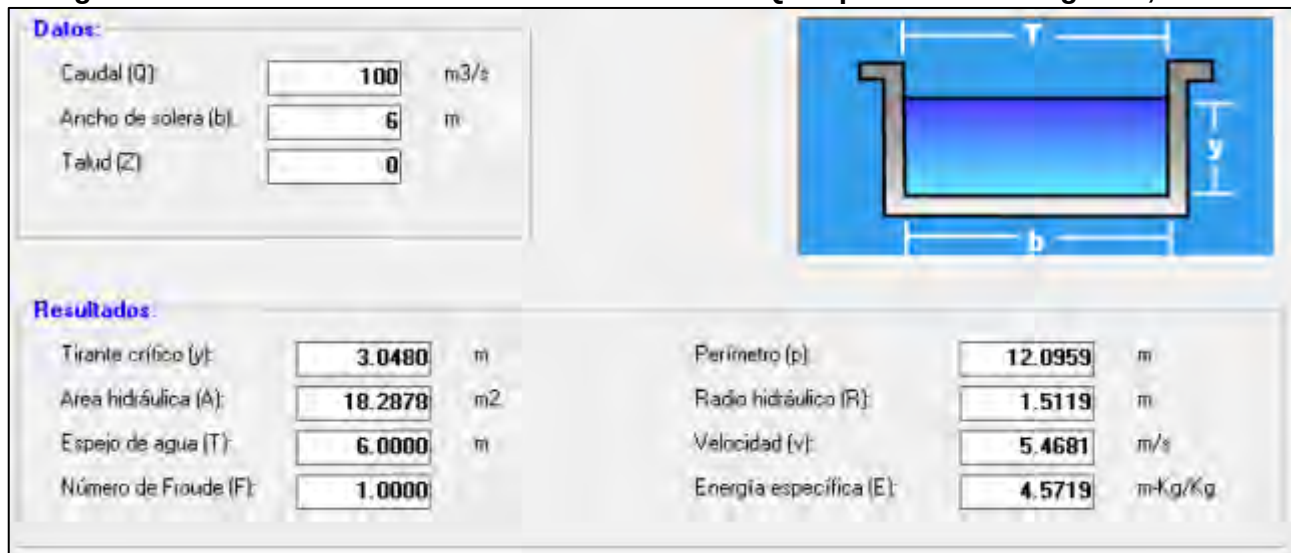
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.9. Sección a boca llena río Biobío en Nacimiento, altura normal



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7.10. Sección a boca llena estero Quilque en Los Angeles, crisis

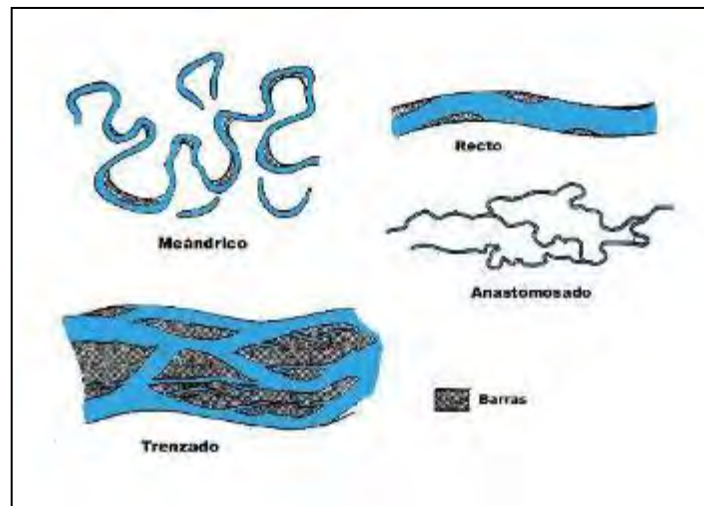


Fuente: Elaboración Propia

8 CARACTERIZACIÓN DE BARRAS LATERALES Y VERTICALES

Las barras en el río Biobío están principalmente presentes en la parte baja del río, en esta zona el río corresponde a un río del tipo trenzado (Braided) el cual escurre por varios brazos cuando está en régimen normal los que se van uniendo a medida que aumenta el caudal.

Figura N° 8.1. Tipos de ríos



Fuente: Elaboración Propia

Las barras laterales que son las depositaciones de material en los costados del cauce están fuertemente modificadas por las defensas fluviales presentes en todos los poblados.

Las barras longitudinales y verticales formadas por depositaciones de material fluvial en el lecho del río han tendido a formar islas de mayor tamaño en los últimos años debido a la ausencia de crecidas de gran magnitud desde el año 2006, durante las crecidas y debido a la ocupación total del cauce este tipo de formaciones sufren grandes cambios debido a la socavación de los lechos y al arrastre de sedimentos, estas depositaciones han sido intervenidas por la extracción de áridos presentes en la zona especialmente la zona del río cercana a Los Ángeles.

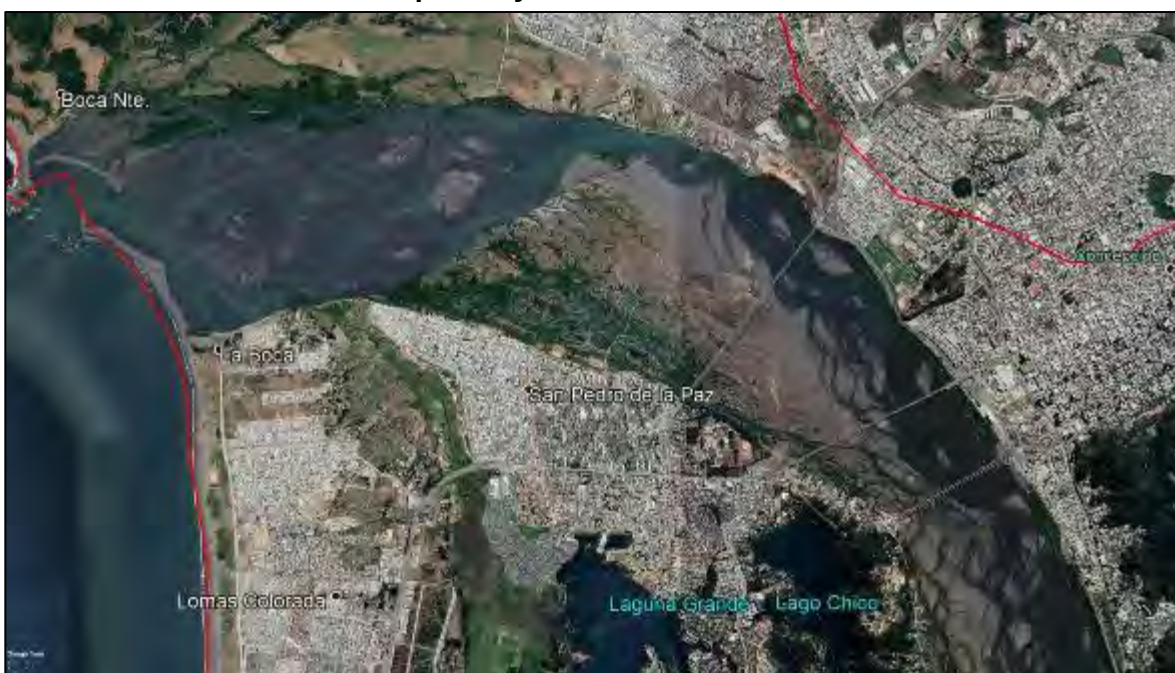
Figura N° 8.2. Barras en el lecho del río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

Principalmente están formadas por material fino proveniente del arrastre del río y de la intrusión marina este material corresponde a arena y gravas de diverso tamaño caracterizadas en la sección 7 de este informe donde se analizan los sedimentos en el río. A continuación, se presentan fotos satelitales y descripciones del fenómeno a lo largo de la parte baja del río.

Figura N° 8.3. Barras presentes en el lecho del río, sector desembocadura, Concepción y San Pedro de la Paz.



Fuente: Google Earth

En la figura se puede apreciar claramente por el color más oscuro de las barras, que estas corresponden a fenómenos de intrusión marina, además se aprecia que hacia la ribera de San Pedro de la Paz éstas están desarrollando vegetación, lo que indica que no han sido modificadas por un largo periodo, el fenómeno de la vegetación podría indicar que se podrían estar formando islas más permanentes.

Figura N° 8.4. Barras presentes en el lecho del río, sector Chiguayante y Hualqui.



Fuente: Google Earth

En la figura, se aprecian grandes barras laterales formadas por sedimentos fluviales con un color más claro, aunque continúan de un color oscuro ya gran parte de estos sedimentos provienen del arrastre del río Laja, la formación de estas barras se ve fuertemente influenciada por los meandros presentes en esta zona del río, en este sector no se aprecia vegetación en las barras por lo que indicaría que esta zona estaría más afectada por los fenómenos de arrastre y socavación propios de un río, cabe destacar que esta zona es una de las más afectadas por las crecidas del río incluso para caudales con bajo periodo de retorno lo que indicaría que en esta zona el río tiene plena ocupación del cauce durante crecidas.

Figura N° 8.5. Barras presentes en el lecho del río, sector Laja y San Rosendo.



Fuente: Google Earth

En la figura anterior se aprecia la junta con el río Laja, que aporta sedimentos de un color más oscuro, provenientes de la actividad del volcán Antuco, Hacia aguas debajo de la junta de los ríos se aprecia una gran cantidad de barras, laterales y verticales producto de los meandros del río, hacia aguas abajo en las depositaciones de color más claro se ve la presencia de vegetación, lo que podría indicar que en esta zona las barras están en proceso de formación de islas en el lecho del río.

Figura N° 8.6. Barras presentes en el lecho del río, sector Nacimiento.



Fuente: Google Earth

En la figura 8.6, no se aprecian islas y barras con formación de vegetación esta fenómeno explica la reducción de la capacidad del río y los altos niveles que presenta en crecidas lo que produce el peraltamiento del río Vergara en la zona de la confluencia lo que se traduce en los desbordes e inundaciones que provoca este cauce en la localidad.

Figura N° 8.7. Barras presentes en el lecho del río, sector Negrete.



Fuente: Google Earth

En la figura 8.7, se aprecia un río trenzado con la formación de islas y barras laterales con fuerte presencia de vegetación, se puede apreciar en la ribera norte

del río la presencia de faenas de extracción de áridos y en la ribera sur, en la zona de Negrete, defensas fluviales, todo este tipo de actividades y obras modifican la capacidad del río y pueden producir problemas de socavación en otros puntos del cauce producto de la disminución de la sección de escurrimiento.

Figura N° 8.8. Barras presentes en el lecho del río, sector Santa Bárbara y Quilaco.



Fuente: Google Earth

En la figura 8.8, se aprecian nuevamente barras con presencia de vegetación en esta zona se ven barras laterales barras laterales cuya formación es propiciada por los meandros del río, la presencia de vegetación en las barras indica que estas tienen una ata más extensa lo que se traduce en una disminución de la sección del río y una mayor probabilidad de ocurrencia de desbordes de este en la zona. En las zonas pobladas del sector se aprecian dos grandes barras que han sido utilizadas para desarrollar actividades humanas las que presumiblemente se ven afectadas en crecidas donde el río tiende a ocupar todo su cauce.

Hacia aguas arriba de estas localidades comienza lo que se conoce como la parte alta del río, en esta comienza a haber una mayor pendiente, por lo que los fenómenos de depositación son menores o inexistentes, además aquí comienza la zona más intervenida del río con 3 embalses que cambian el régimen de escurrimiento en este.



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

**RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO**

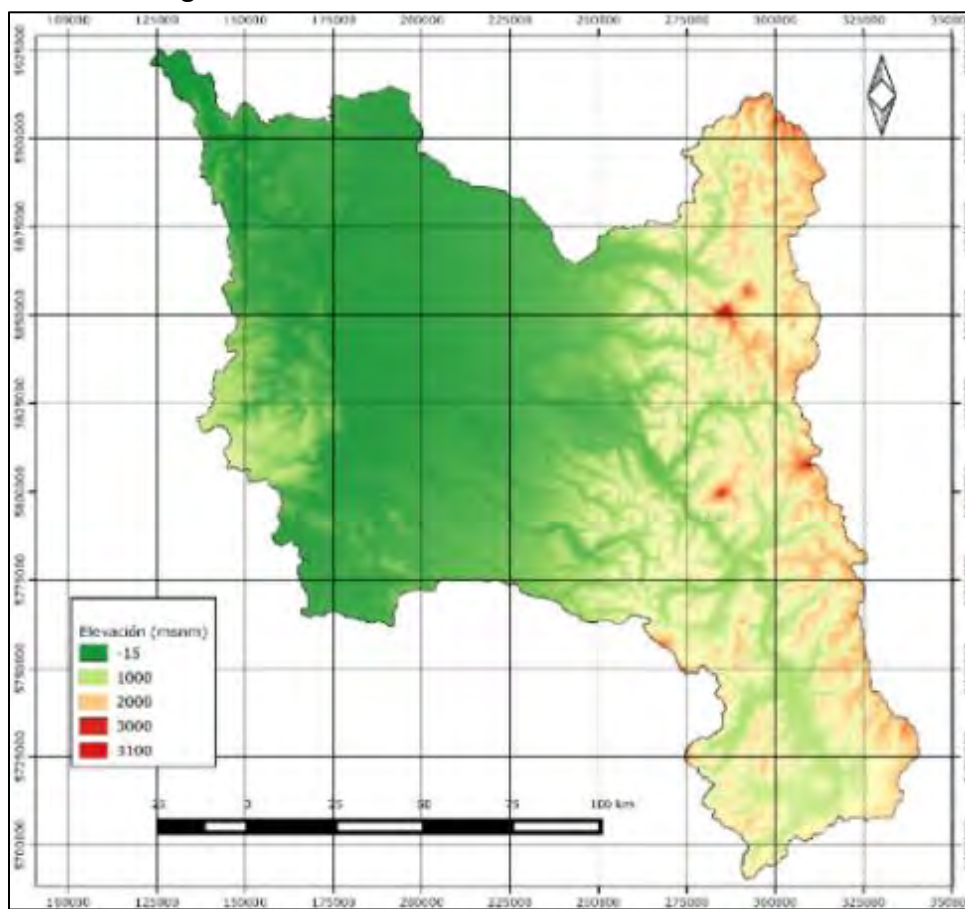
Como se mencionó anteriormente, en la sección 7 de este informe se analizan los sedimentos en el río para distintas localidades, ahí se puede ver la composición de los sedimentos que forman las barras presentes en cada punto analizado.

9 ANALISIS DE MODELOS DE ELEVACION Y PERCEPCION REMOTA

Los modelos de elevación digitales (DEM's por sus siglas en inglés) utilizados corresponden al levantamiento satelital SRTM el cual fue una misión topográfica de la NASA la que como resultado obtuvo un DEM mundial con una grilla de 30 metros, y el DEM ASTER la cual fue una misión topográfica satelital mediante fotogrametría, también tiene una grilla de 30 metros y está disponible a nivel mundial. Existen otros modelos disponibles, algunos con resoluciones más altas, pero a la fecha y dada su fácil obtención y manipulación y además que son gratuitos y con el mismo nivel de detalle para todas las zonas de cobertura estos dos modelos de elevación digital son los más difundidos y utilizados.

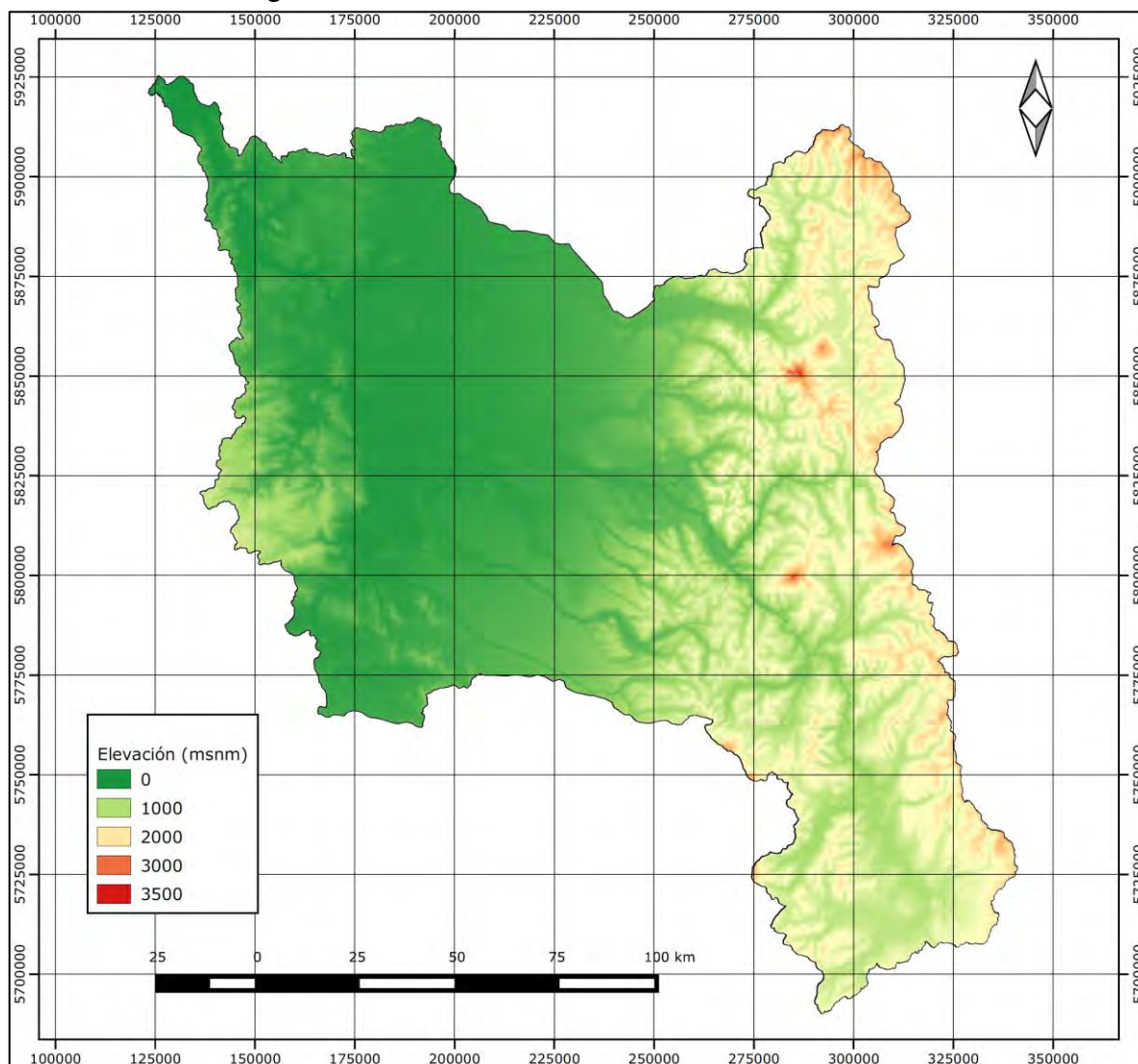
Todos los procesos realizados a los DEM's se hicieron con el software libre QGIS a continuación se presenta una imagen de los DEM's de la cuenca analizados.

Figura N° 9.1. DEM cuenca río Biobío SRTM



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 9.2. DEM cuenca río Biobío ASTER



Fuente: Elaboración Propia

Aparentemente ambos DEM's son similares, pero se optó por utilizar el DEM SRTM por los siguientes motivos:

- La misión ASTER tuvo una falla durante su desarrollo lo que se tradujo en el “bando” de los datos crudos, que tuvieron que ser corregidos en el post proceso introduciendo una fuente de error adicional. Esto se puede ver en algunas zonas de la topografía donde se ven rayas que cruzan el DEM de manera oblicua.
- En distintos trabajos a nivel mundial se ha verificado que consistentemente cuando se comparan mediciones de terreno los datos

del SRTM presentan un menos error cuadrático medio y menos BIAS que los datos del ASTER.

- Según muchos estudios los productos ASTER no cumplen con las especificaciones mínimas descritas en sus catálogos de especificaciones, mientras que los productos de SRTM las cumplen y las exceden.
- En estudios llevados a cabo cuando SRTM tenía productos con una grilla de 90 m para todo el mundo, se obtenían resultados similares a los obtenidos con productos ASTER, con menos variación estándar

A continuación, se presentan resultados de un estudio llevado a cabo en Chile, en la región de la Araucanía donde se hizo la comparación entre los dos modelos de elevación en estos se ve claramente que SRTM presenta menos errores y sesgo y una mayor correlación.

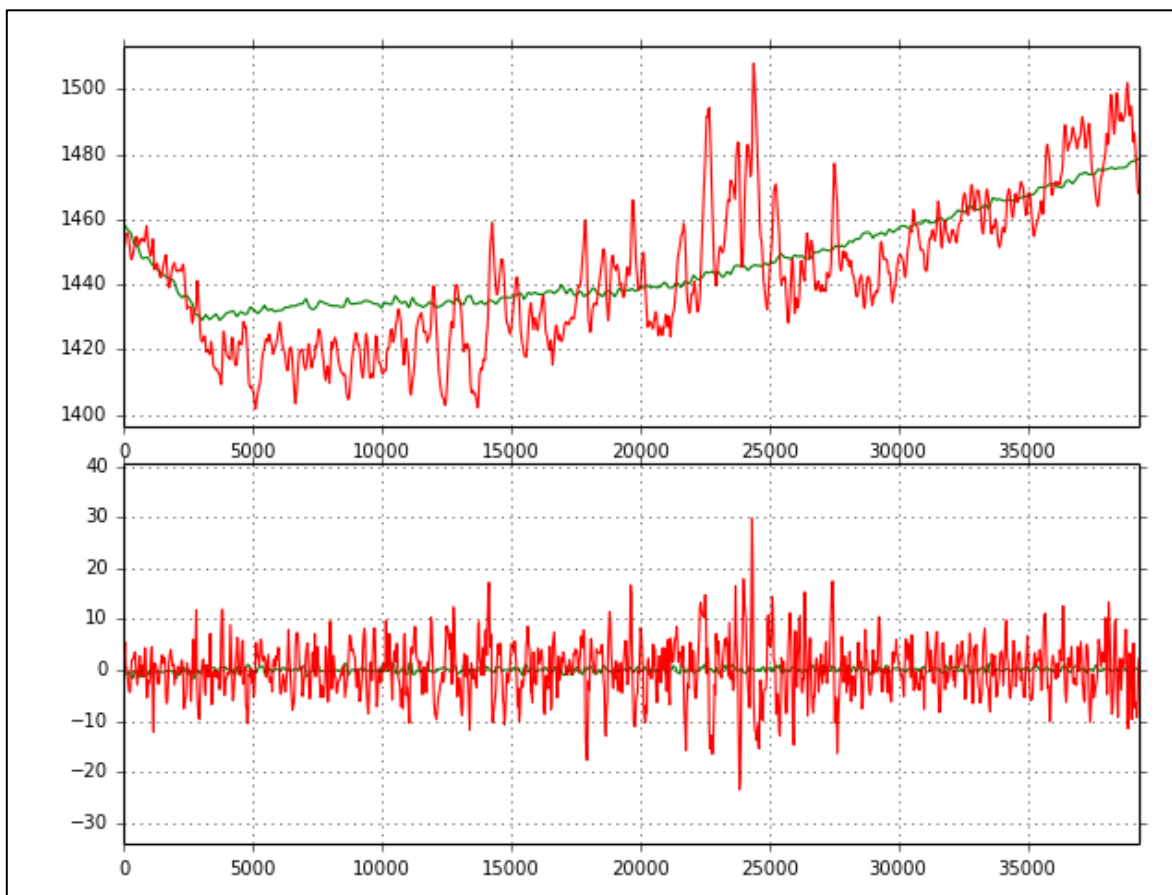
Figura N° 9.3. Resultados comparación SRTM y ASTER

PLATAFORMA SATELITAL	SRTM				ASTER			
Zonas de muestreo / Indicador	RMSE	BIAS	MAE	R ²	RMSE	BIAS	MAE	R ²
Total área de estudio	10,93	-1,7	8,2	0,998	15,92	-7,6	10,86	0,996
Zonas boscosas en cordón montañoso	14,8	-2,8	12,8	0,997	20,1	-13,8	15,8	0,996
Zonas boscosas en llanura	3,2	1,2	3	0,151	4,3	2,6	2,9	0,179
Zonas de pradera en cordón montañoso	12,3	-7,2	9,9	0,998	19,8	-13,9	14,7	0,997
Zonas de pradera en llanura	5,2	3,4	3,6	0,989	7,3	0,8	5	0,592

Fuente: Elaboración Propia

En la figura siguiente se muestran los resultados de otro estudio donde se ve la variabilidad de los datos de cada modelo, en rojo ASTER y en verde SRTM.

Figura N° 9.4. Resultados comparación SRTM y ASTER

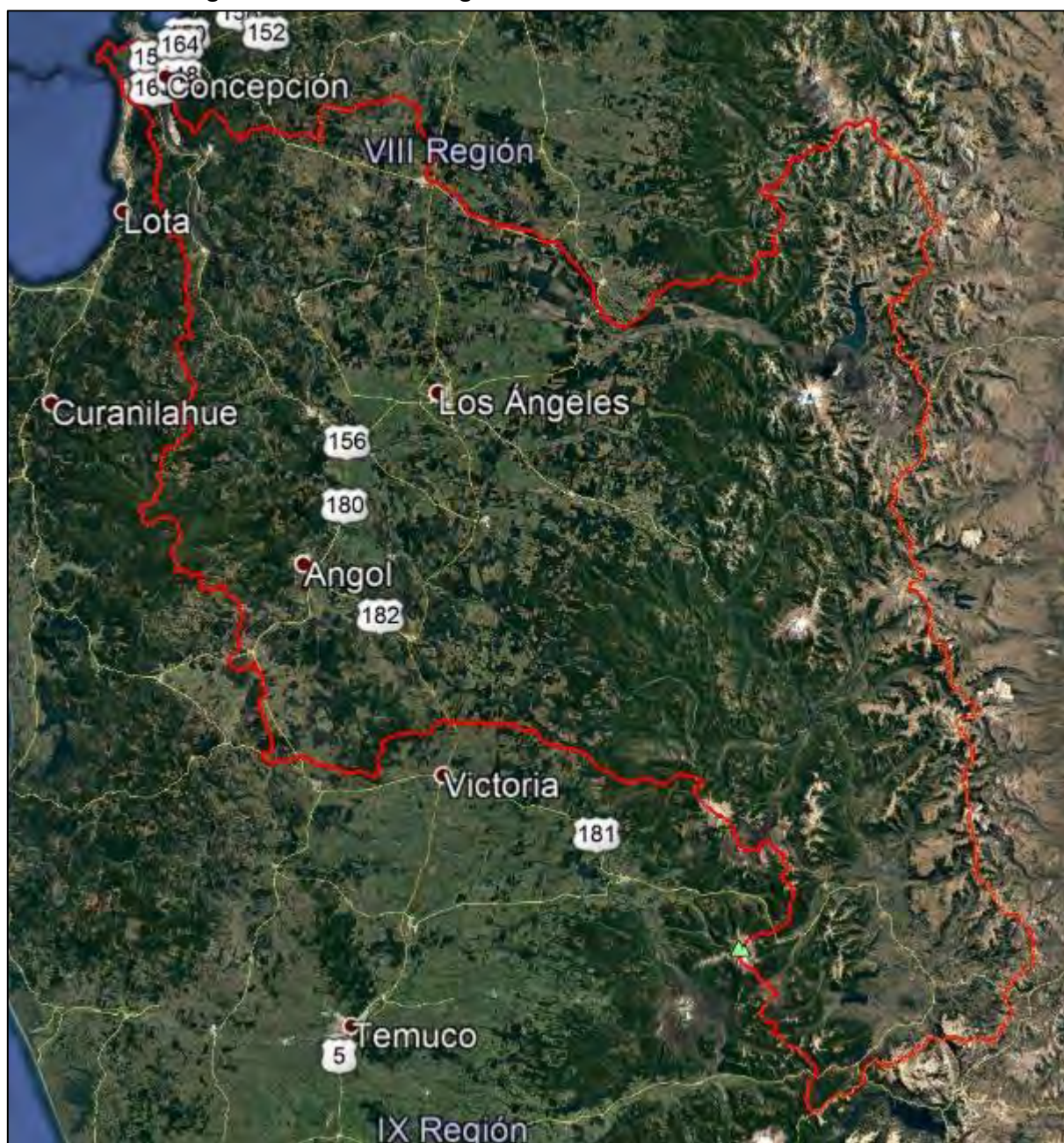


Fuente: Elaboración Propia

Por estas razones y dada la ya limitada topografía y datos se decidió utilizar el DEM SRTM en este estudio.

Adicionalmente se utilizaron imágenes satelitales de la cuenca que permiten ver la cobertura o las formaciones presentes en la cuenca.

Figura N° 9.5. Imagen satelital cuenca río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

10 INTERPRETACION DE MODELOS DE ELEVACION Y PENDIENTE

De los modelos de elevación y pendiente se pueden extraer datos de la macro morfología de la cuenca. Los análisis se obtuvieron del estudio Hidrogeológico de la cuenca del Biobío realizado por Aquaterra el año 2012.

La cuenca del Biobío cuenta con cinco unidades morfológicas mayores que de oeste a este son las siguientes:

1. Planicies litorales.
2. Llanos Fluviales.
3. Cordillera de la Costa.
4. Depresión Central.
5. La Montaña (o Precordillera).
6. Cordillera Andina.

También existe una unidad morfológica menor que se incluye en las anteriores, denominada Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional.

Las planicies litorales, se distribuyen en forma discontinua de norte a sur, con una altura variable entre 10 a 50 m.s.n.m. Las de mayor desarrollo están en el sector meridional, en la costa de la ciudad de Concepción y en las localidades de San Pedro y Escudrón.

Los Llanos de sedimentación fluvial y/o aluvional se distribuyen aledaños al curso distal del río Bío-Bío, cercano a su desembocadura y corresponde a llanos de sedimentación fluvial de arenas negras provenientes de la actividad del volcán Antuco, que se depositan finalmente en las playas al norte del río por deriva litoral. Mientras que al sur de la desembocadura del río Bío-Bío las arenas son blancas por la alteración del intrusivo granítico de la costa.

La Cordillera de la Costa corresponde a la Cordillera de Nahuelbuta, que constituye una unidad morfológica importante, con alturas que sobrepasan los 1.000 ms.n.m. Al oeste de la misma y en el sector nor-occidental del área, se encuentra un resto de la planicie costera de Arauco-Lebu. La vertiente oriental de la cordillera es abrupta y se encuentra bordeada por los ríos Vergara y Bío-Bío, este último la atraviesa en el sector Nacimiento-Santa Juana. Esta cordillera se caracteriza por un lomaje moderado que deja una expedita comunicación entre la depresión central y la costa.

Por su parte la Depresión Intermedia corresponde a una “planicie fuertemente ondulada, con un relieve local que sobrepasa los 200m” (Fuenzalida, 1965). Hacia el sur del río Bío-Bío, ésta se estrecha paulatinamente con relieves y lomajes menores, hasta quedar en contacto con la Cordillera de Nahuelbuta por el oeste. Se encuentra intensamente regada por los cursos fluviales de la región. En esta sección de la cuenca se presentan depósitos fluvio-glacio-volcánicos arrastrados desde la Cordillera de Los Andes. Causados por fenómenos de

transporte de las aguas o por aluviones; por efecto de avance y retroceso de glaciares o bien por la actividad volcánica de la zona. Estos materiales (bloques, rodados, arenas, limos y arcillas) se distribuyen en la cuenca en forma de cono.

El empalme entre la Cordillera de Los Andes y los Valles Longitudinales se estructura a través de la llamada "La Montaña" o Precordillera, cuya altura fluctúa entre los 300 y 850m s.n.m. Esta unidad tiene origen sedimentario y forma una acumulación caótica de materiales glaciales, volcánicos y fluviales dispuestos al pie de la cordillera. Se caracteriza por laderas abruptas, ríos encajonados, materiales arcillosos y otros muy permeables como rodados. Es un complejo sistema de conos superpuestos, siendo los más antiguos de origen glaciovolcánico, luego fluviovolcánico y las más recientes corresponde a hidrocineritas (cenizas volcánicas transportadas por el agua). Estos depósitos están marcados por bruscos procesos de acumulación y erosión desde la cordillera Andina.

La Cordillera Andina está representada en la zona de estudio por sus contrafuertes más occidentales, que constituyen un relieve abrupto de difícil acceso. Sus alturas promedio fluctúan entre los 1.700 y 1.800m s.n.m. Se encuentra disectada por numerosos cursos menores y por grandes ríos (Bío- Bío, Duqueco, Laja y Cholguán), que la cruzan y constituyen grandes valles. En el sector cordillerano de la cuenca aparecen cadenas transversales y otras en forma de bisel o forma de arco montañoso. También se reconoce una hoya lacustre en las nacientes del río Bío-Bío (lago Gualletue). Una segunda característica es la ocupación de sus altos valles por recubrimiento glaciovolcánico.

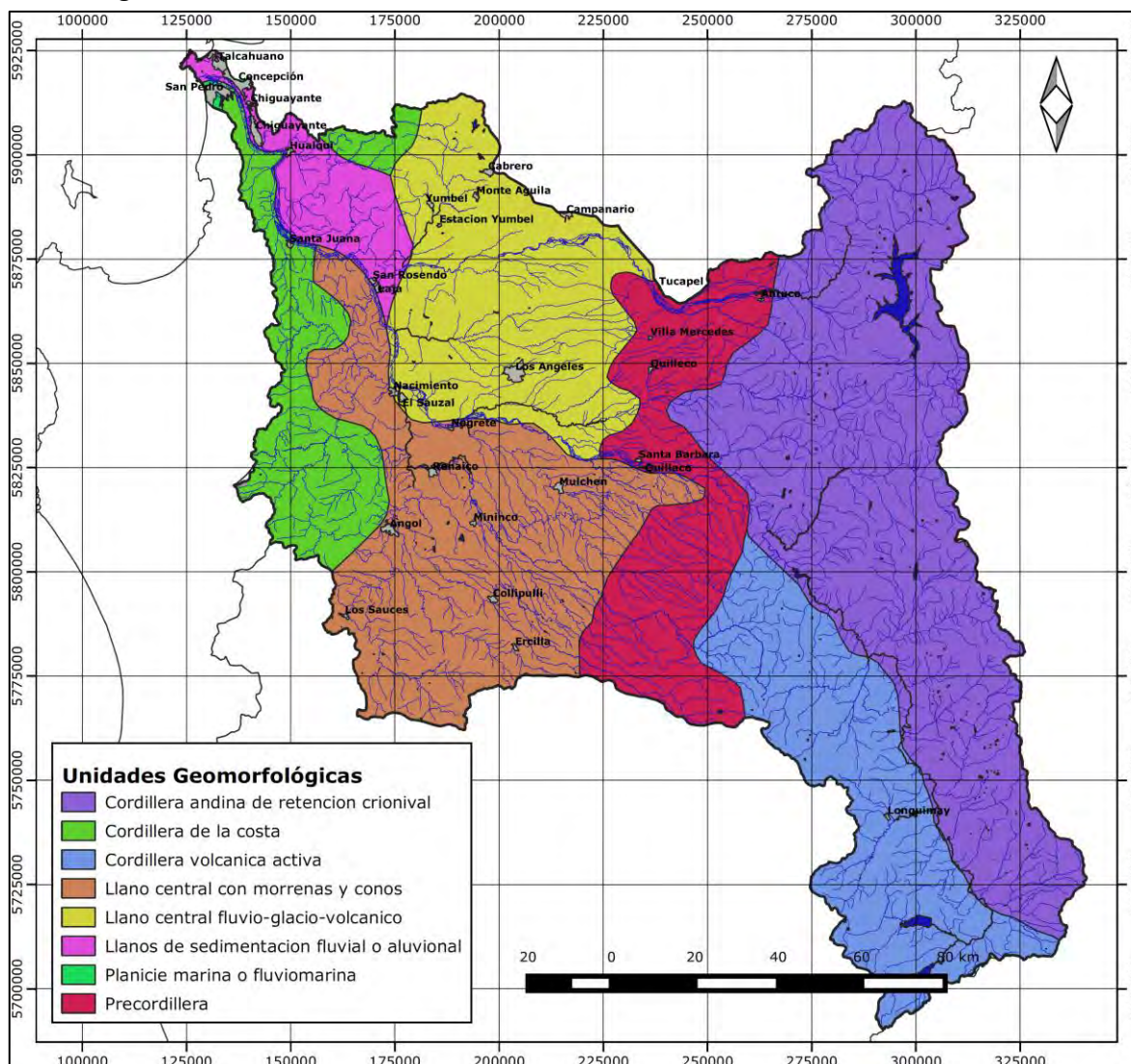
En la Cordillera Principal se ubican numerosos volcanes activos, que de sur a norte se denominan Lonquimay, Tolguaca, Callaqui y Antuco. Además existe un volcán inactivo, el Sierra Nevada. Sus alturas máximas varían entre 1.800 a 3.100m s.n.m. Se presenta además, desde las nacientes del río Bío-Bío, el valle que forma este río, de extensión norte-sur (50 Km. aprox.), limitada aproximadamente entre el río Rahue por el norte y el cerro Bateamahuida por el sur.

En la unidad Cordillera Andina se advierte la presencia de glaciares que cubren una reducida superficie y que se asocian a las cumbres de los estrato-volcanes (Llaima, Sierra Nevada y Lonquimay). Se observan además, numerosas lagunas, de diversos tamaños y formas, embalsadas en depresiones por depósitos morrénicos, emplazadas en circos glaciares o debido al tectonismo de la zona. La más importante dentro de la cuenca del río Bío-Bío corresponde a la Laguna de la Laja con un área de 128 km².

Esta descripción concuerda con el macrorelieve de todo el centro de Chile, en el cual se ven bien marcadas y definidas la zona litoral, la cordillera de la costa, la depresión intermedia y la cordillera de los Andes.

A continuación, se presenta un mapa con las unidades geomorfológicas presentes en la cuenca.

Figura N° 10.1. Unidades morfoestructurales cuenca río Biobío

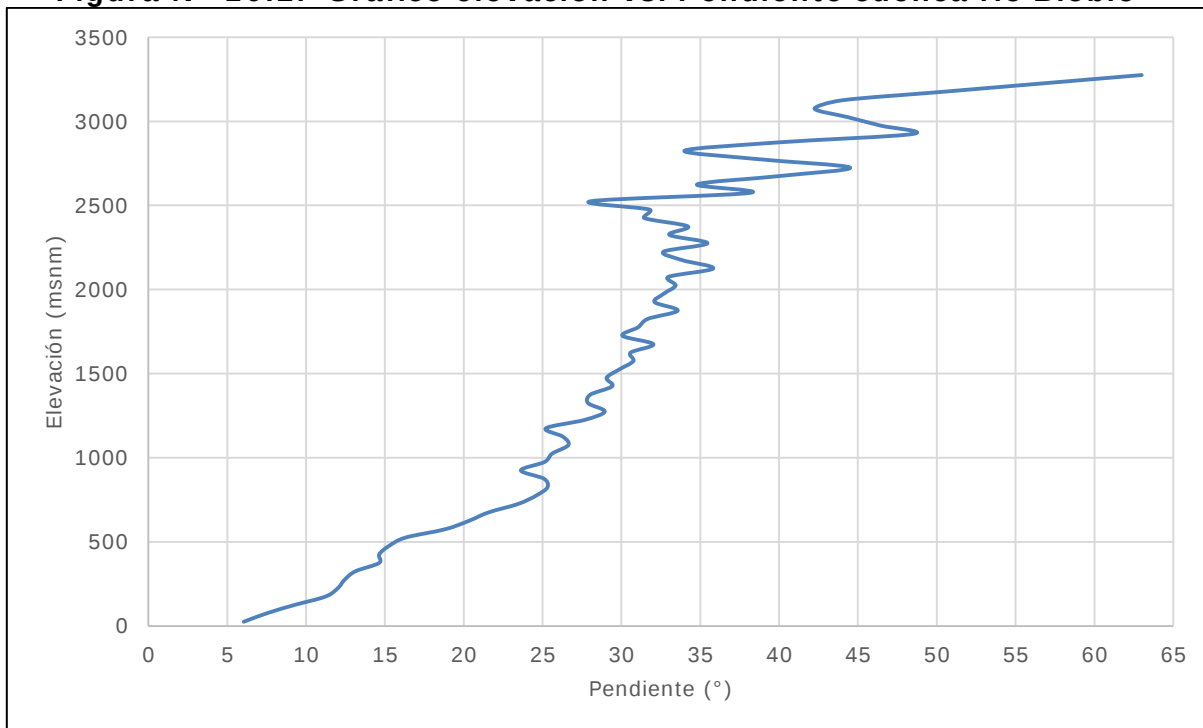


Fuente: Elaboración Propia.

En el capítulo 9 se presenta un análisis de la elevación y la pendiente de la cuenca para detectar la posibilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. Esto se puede extrapolar al análisis del río el cual se ubica en la banda altitudinal comprendida entre los 0 y los 1000 msnm, cuyo cauce tiene una pendiente alta en su desarrollo en las unidades morfológicas de la cordillera de los Andes, presentando una baja pendiente en el resto de las unidades morfológicas presentes en la cuenca.

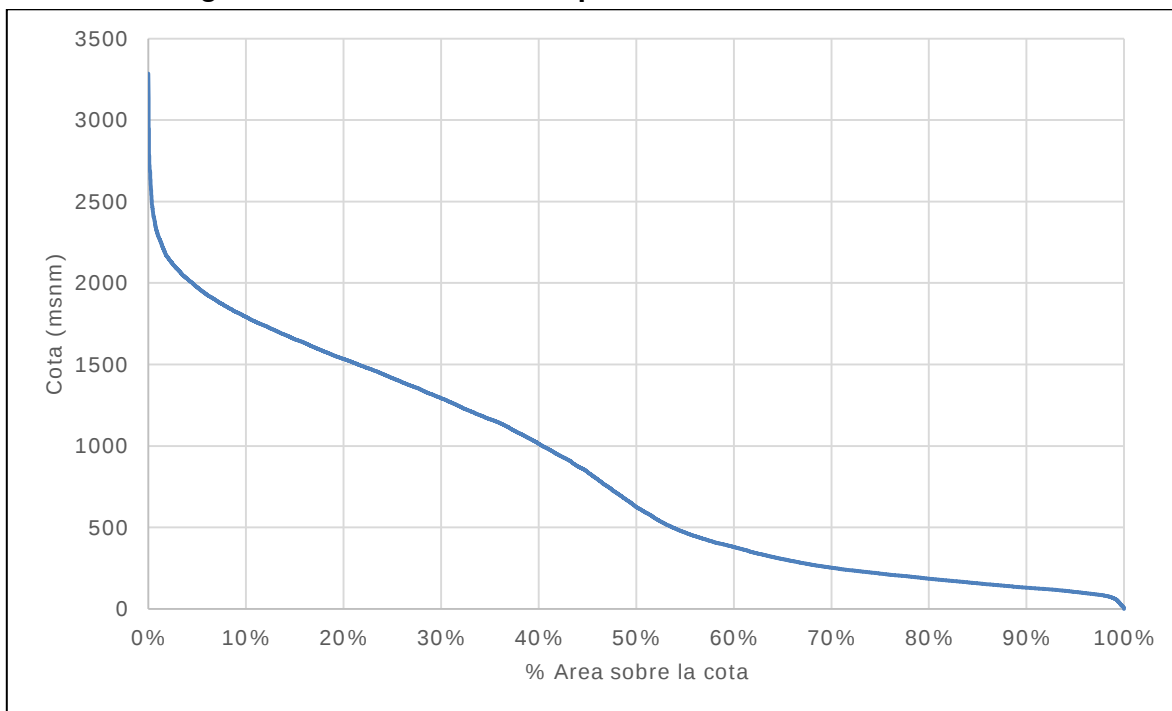
A continuación se presentan los resultados del análisis de elevación y pendiente de la cuenca, se identificaron las localidades susceptibles de verse afectadas las que se presentan en las figuras y la tabla a continuación.

Figura N° 10.2. Grafico elevación vs. Pendiente cuenca río Biobío



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 10.3. Curva hipsométrica cuenca río Biobío



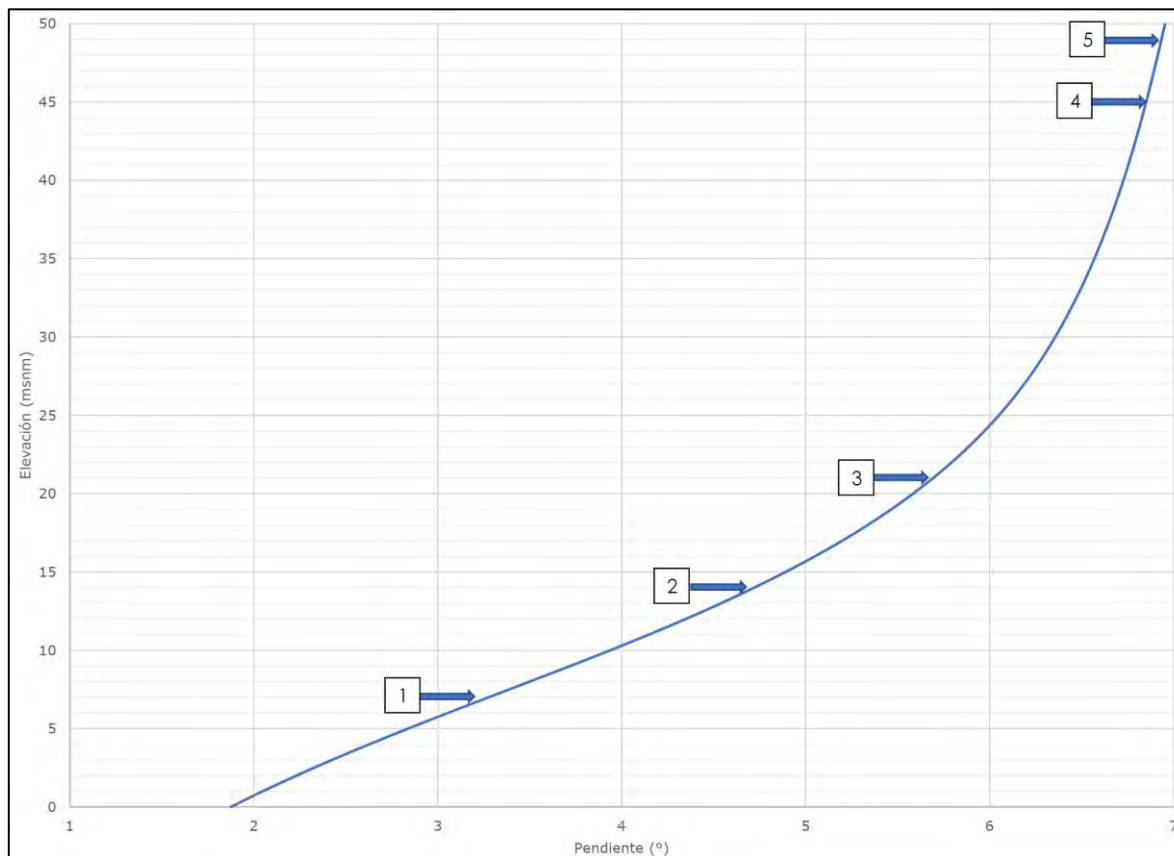
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 10.1 Cota y áreas de drenaje en localidades susceptibles de inundación

Id	Localidad	Cuenca	Área Cuenca (km ²)	Cota (msnm)	Área sobre la cota (km ²)	% Área Cuenca	% Área Cuenca Biobío
1	Concepción - San Pedro de la Paz	Biobío	24186	7	24115	99.7%	99.7%
2	Chiguayante	Biobío	24186	14	24036	99.4%	99.4%
3	Hualqui - Coronel	Biobío	24186	21	23860	98.7%	98.7%
4	Laja - San Rosendo	Laja	4600	45	4596	99.9%	19.0%
5	Nacimiento	Vergara	4377	49	4377	100.0%	18.1%
6	Negrete	Biobío	24186	75	10895	45.0%	45.0%
7	Mulchén	Bureo	1422	132	981	69.0%	4.1%
8	Quilaco - Santa Bárbara	Biobío	24186	225	7593	31.4%	31.4%
9	Los Angeles	Quilque	102	140	24	23.5%	0.1%

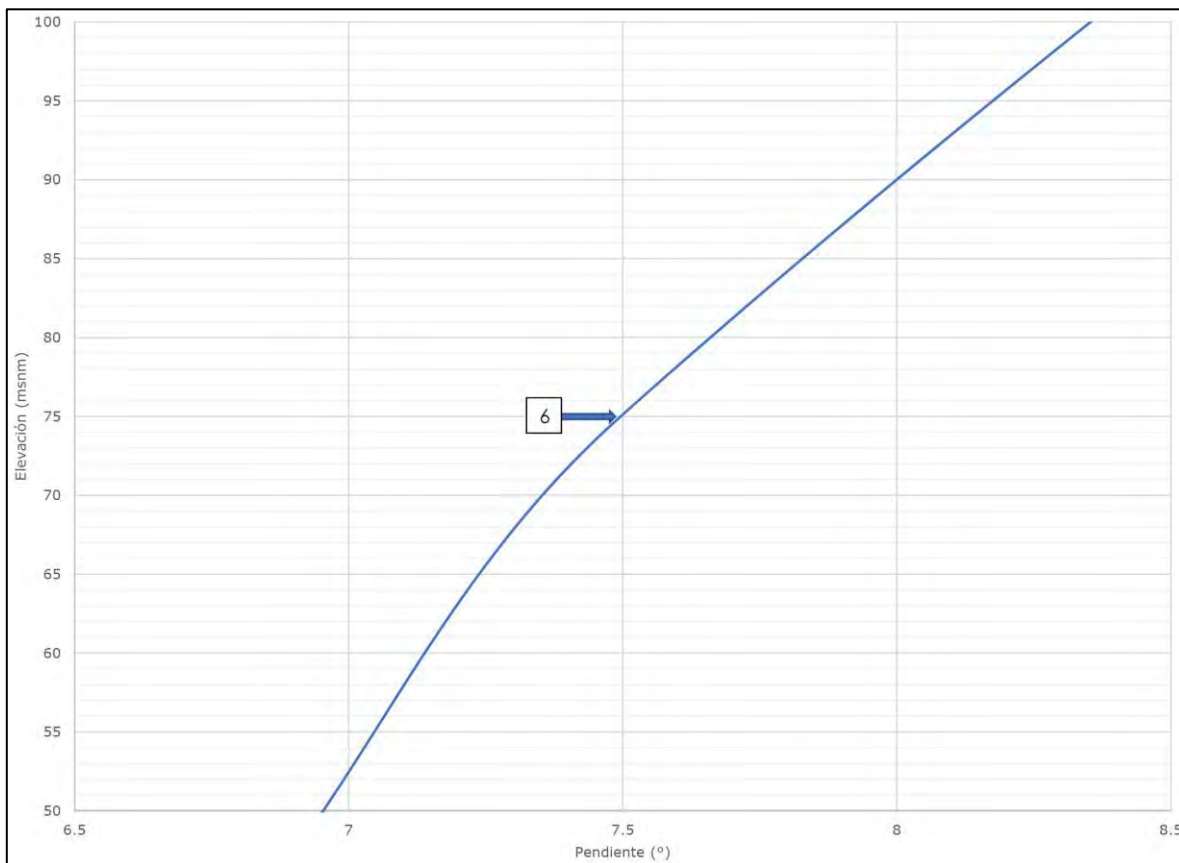
En las figuras a continuación se ubican con mayor detalle en el gráfico de elevación pendiente las distintas localidades presentadas en la tabla 10.1.

Figura N° 10.4. Grafico elevación vs. pendiente cotas 0 a 50



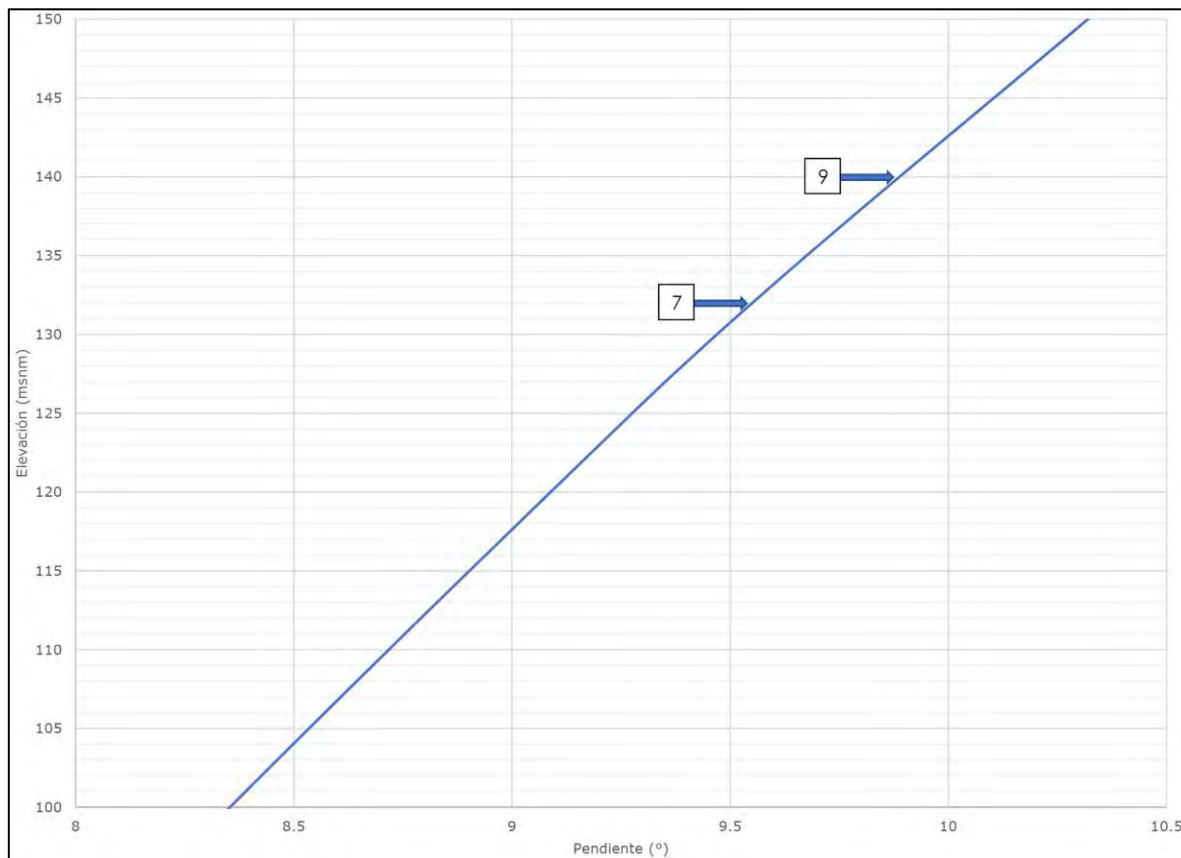
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 10.5. Gráfico elevación vs. pendiente cotas 50 a 100



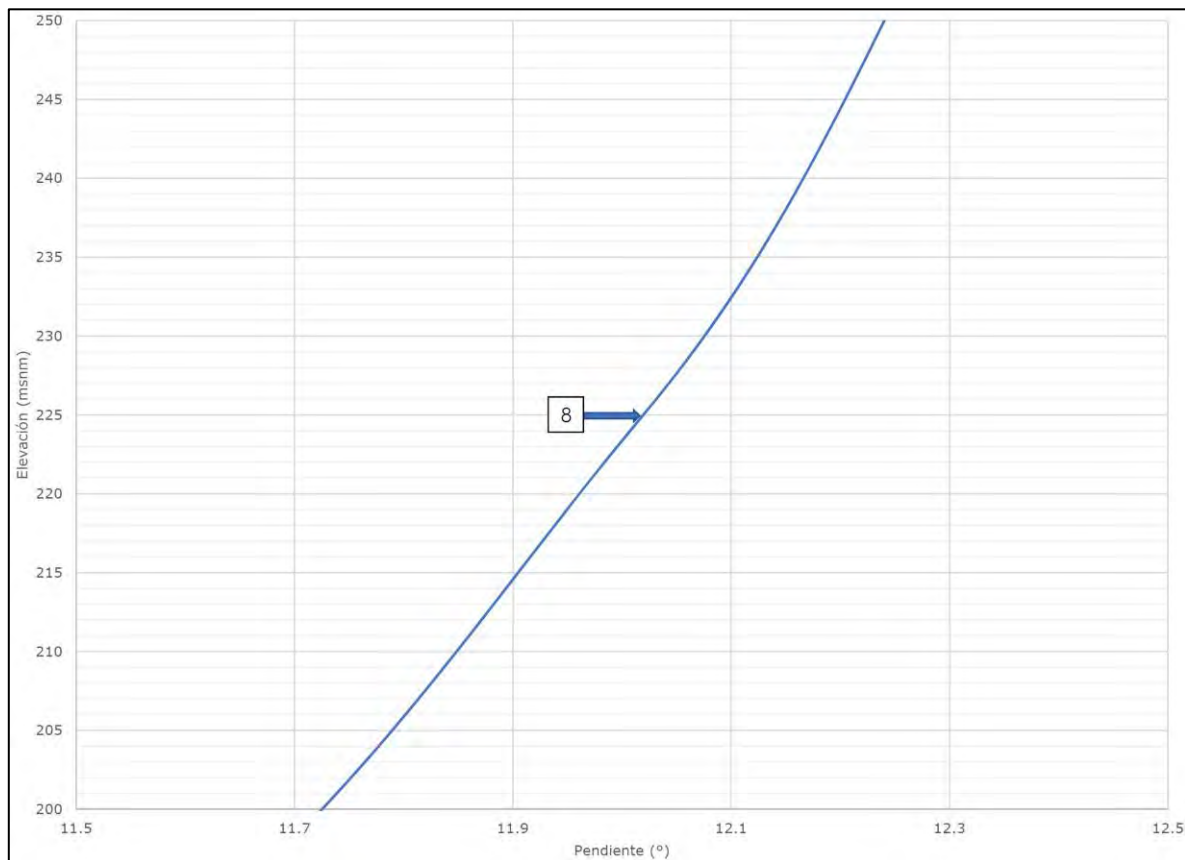
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 10.6. Gráfico elevación vs. pendiente cotas 100 a 150



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 10.7. Gráfico elevación vs. pendiente cotas 200 a 250



Fuente: Elaboración Propia

11 PERFILES ESQUEMATICOS CON AMBIENTES FLUVIALES REPRESENTATIVOS

El río Biobío y sus afluentes recorren las distintas unidades morfoestructurales de la cuenca dependiendo de la zona en que se encuentren ubicados los poblados con problemas de inundación producto de las crecidas de los ríos se ve una distinta composición del ambiente fluvial.

En la parte baja de la cuenca del río Biobío, que corresponde a las zonas de Concepción, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, donde se producen las principales inundaciones durante eventos de crecidas.

En estos, se puede apreciar que el río posee una terraza inferior formada de material fino, principalmente arena, luego una terraza superior también formada por material fino, la que presenta formaciones de paleocanales o paleocauces, en estas terrazas, que corresponden a zonas de inundación, se ha desarrollado el crecimiento de los poblados que ahora están en riesgo por las crecidas del río. La presencia de paleocanales indica que el río o algunos de sus brazos fluían por sectores que ahora están fuertemente poblados, lo que explica que estas zonas se vean tan afectadas durante eventos extremos.

En el caso de Chiguayante, poblado que está emplazado en la terraza superior entre el río y el cordón granítico de la cordillera de la Costa. En el resto de las figuras 11.2 a 11.10 se puede apreciar que las localidades afectadas se ubican en terrazas o zonas compuestas por sedimentos fluviales las que durante crecidas son afectadas ya que corresponden a planicies de inundación de los ríos.

En el caso de Nacimiento y Laja se ven afectadas por la influencia del escurrimiento en el río Biobío en los cauces afluentes lo que peralta el flujo en éstos y genera los desbordes hacia las zonas de los poblados afectados. Un caso similar se da en Mulchén que se ve afectada por el peraltamiento de los dos cauces que la rodean, los ríos Bureo y Mulchén.

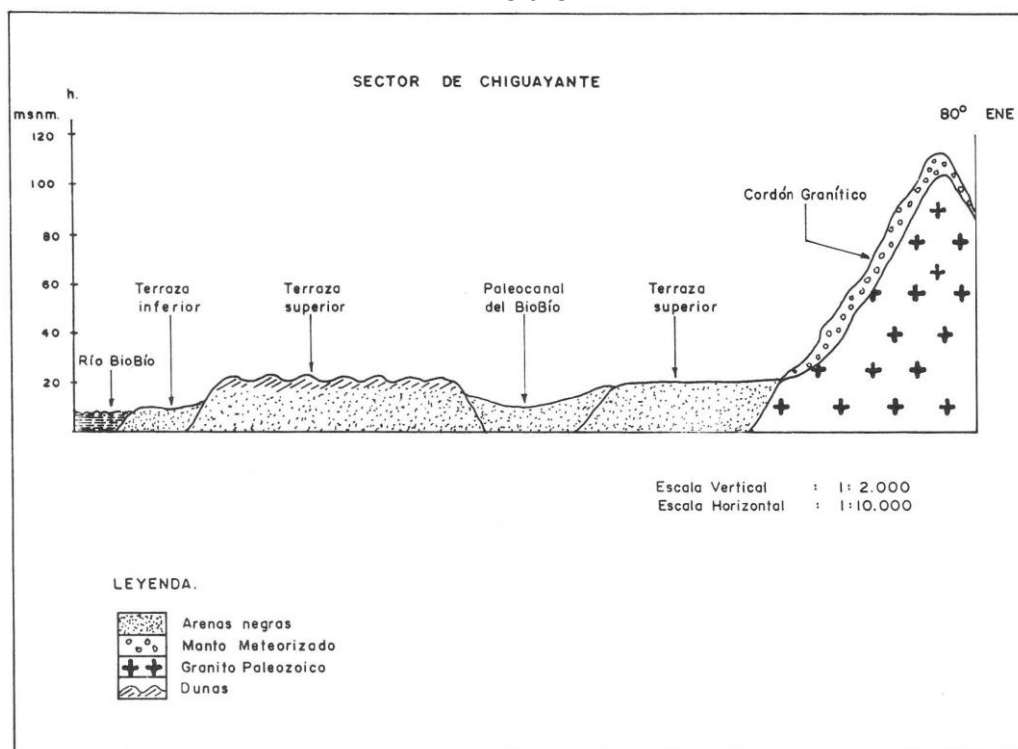
En el caso de Los Ángeles se debe a la gran intervención urbana de sus cauces con obras que no tienen la capacidad necesaria para evacuar las crecidas y que provocan desbordes especialmente del estero Quilque, esto se aprecia en la figura donde se ve claramente que la ciudad esta rodeada por dos esteros y es cruzada por el estero Quilque.

Negrete y Santa Bárbara están ubicados en zonas de depósitos fluviales en zonas bajas que ante un evento de crecidas son ocupados por el río. En la zona de Negrete el río se encuentra intervenido por faenas de extracción de áridos y distintas obras de defensa fluvial que afectan el escurrimiento del río en crecidas. Santa Bárbara y Quilaco se encuentran en una zona del río muy encajonada por

lo que dada su ubicación son susceptibles de ser afectadas ante las crecidas del río Biobío.

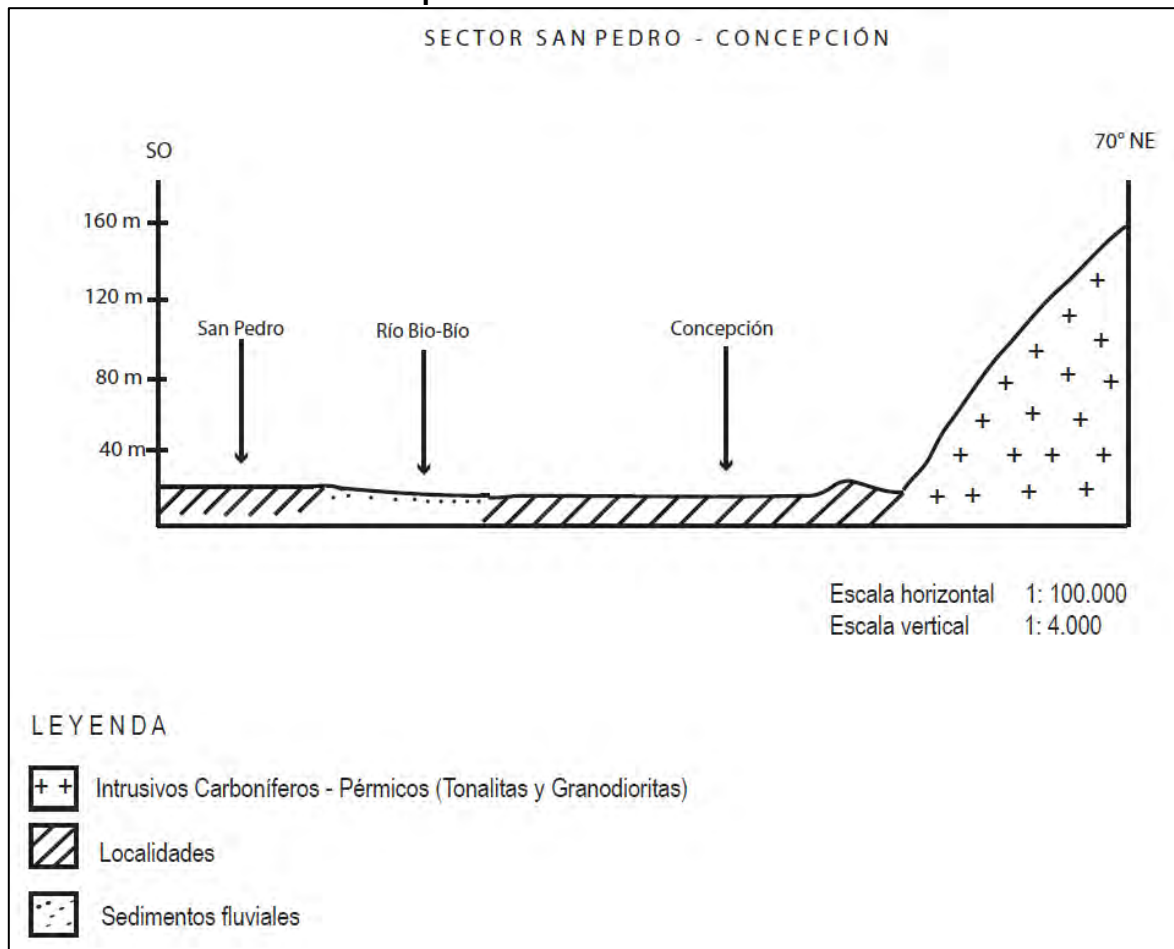
A continuación, en las figuras 11.2 a 11.10 se presentan los perfiles esquemáticos elaborados para cada una de las localidades de interés de este estudio.

Figura N° 11.1. Perfil esquemático ambientes fluvial zona baja cuenca Biobío



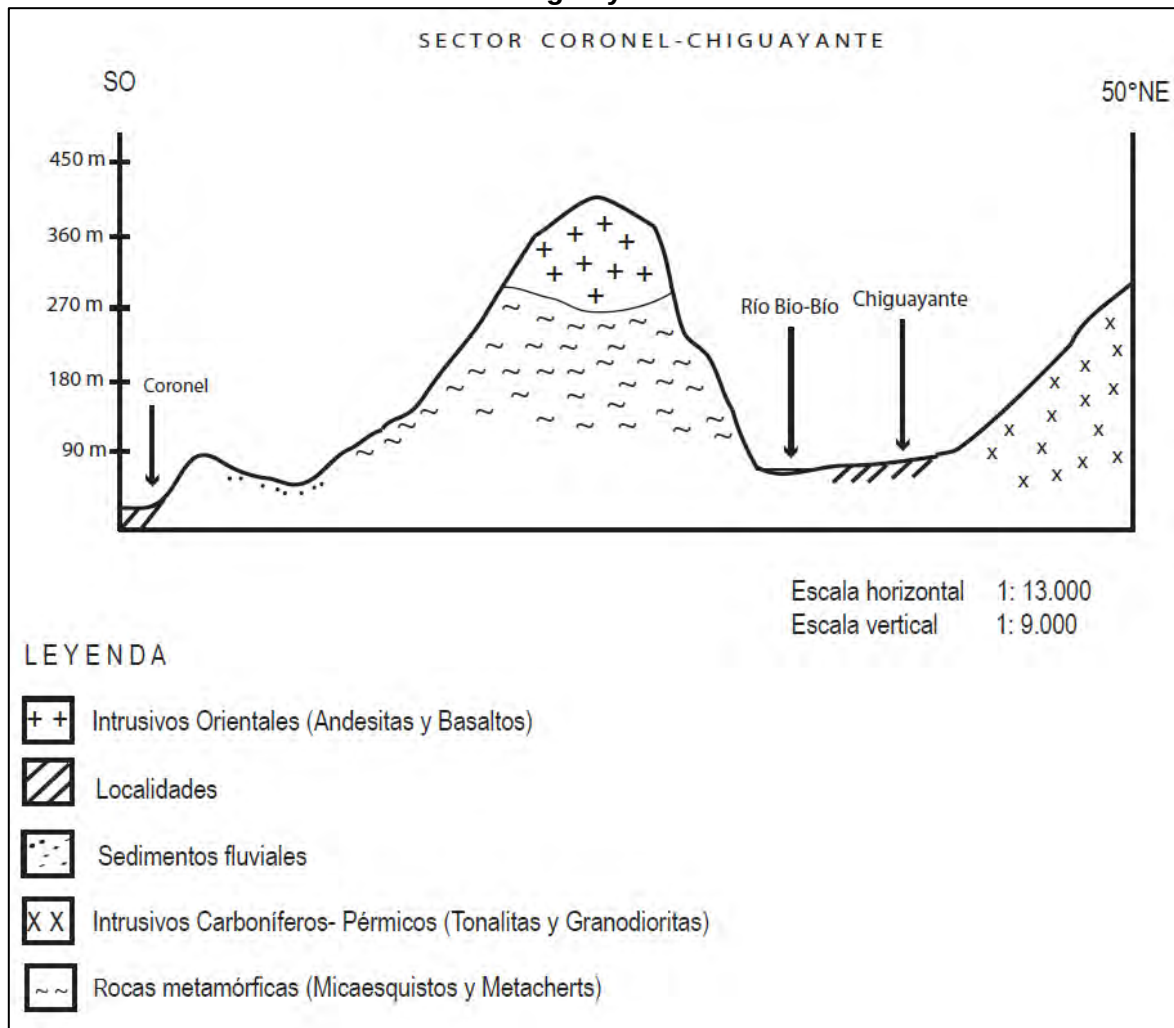
Fuente: Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área – Universidad de Chile

Figura N° 11.2. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Concepción - San Pedro de la Paz



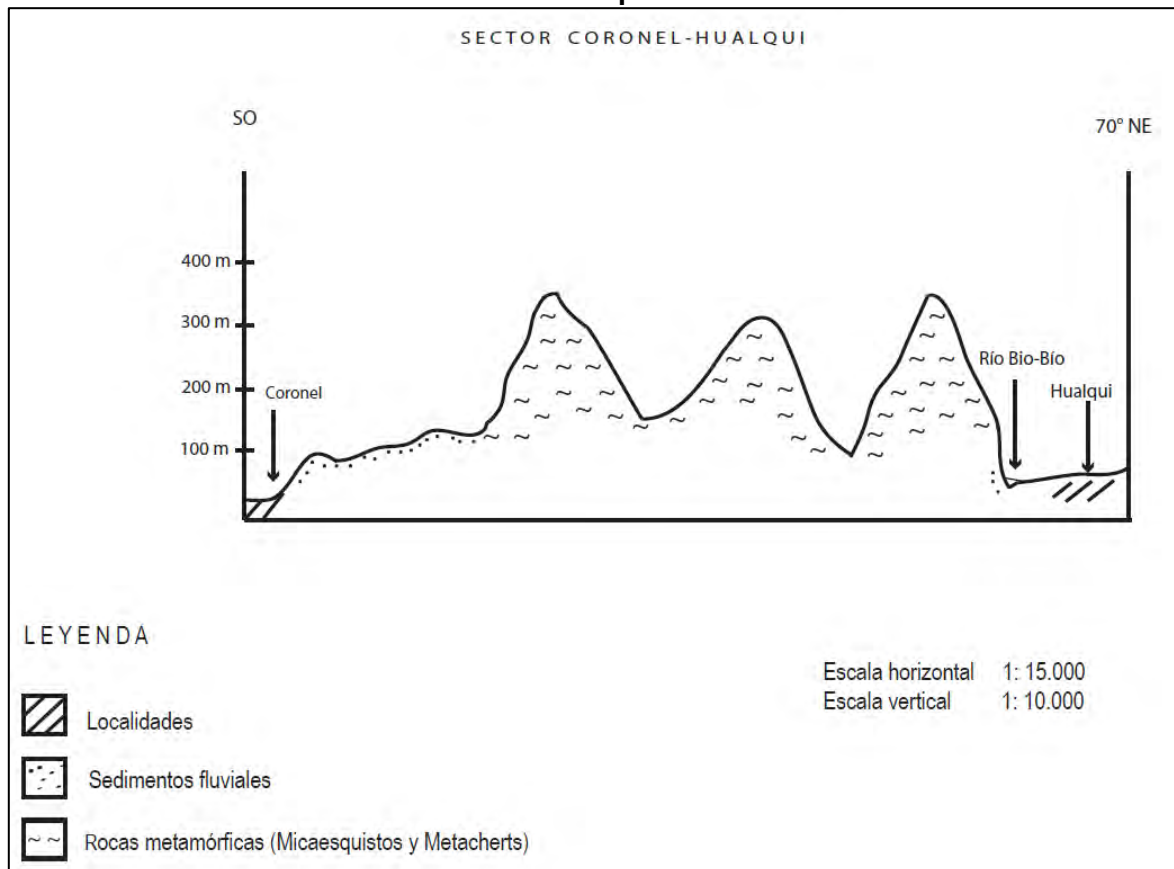
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.3. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Coronel - Chiguayante



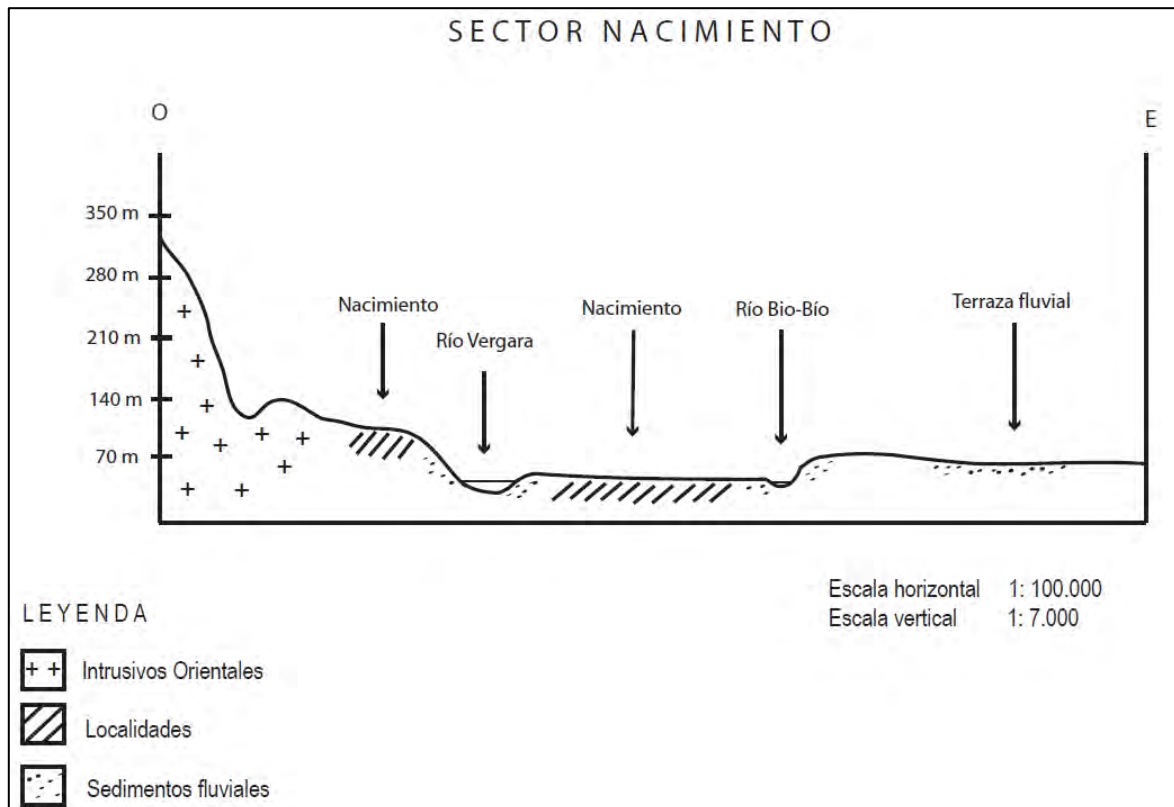
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.4. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Coronel - Hualqui



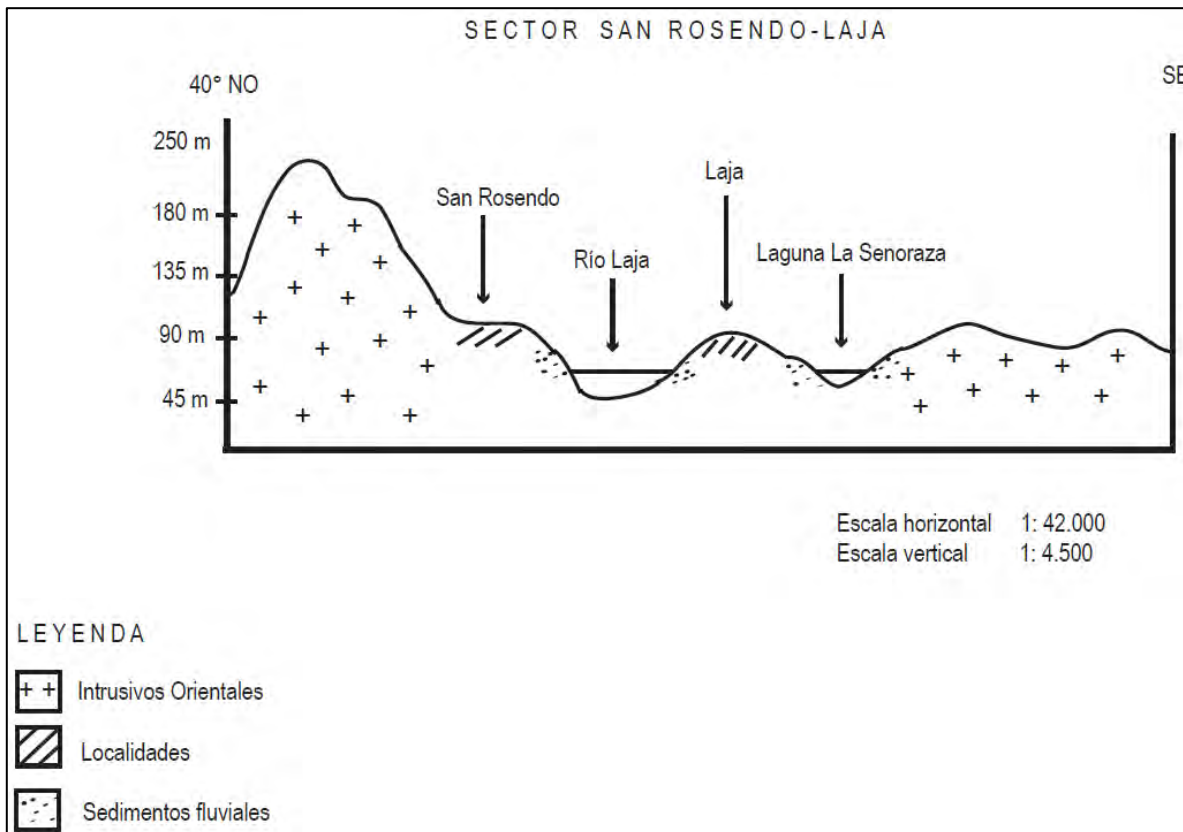
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 11.5. Perfil esquemático ambientes fluvial sector
Nacimiento**



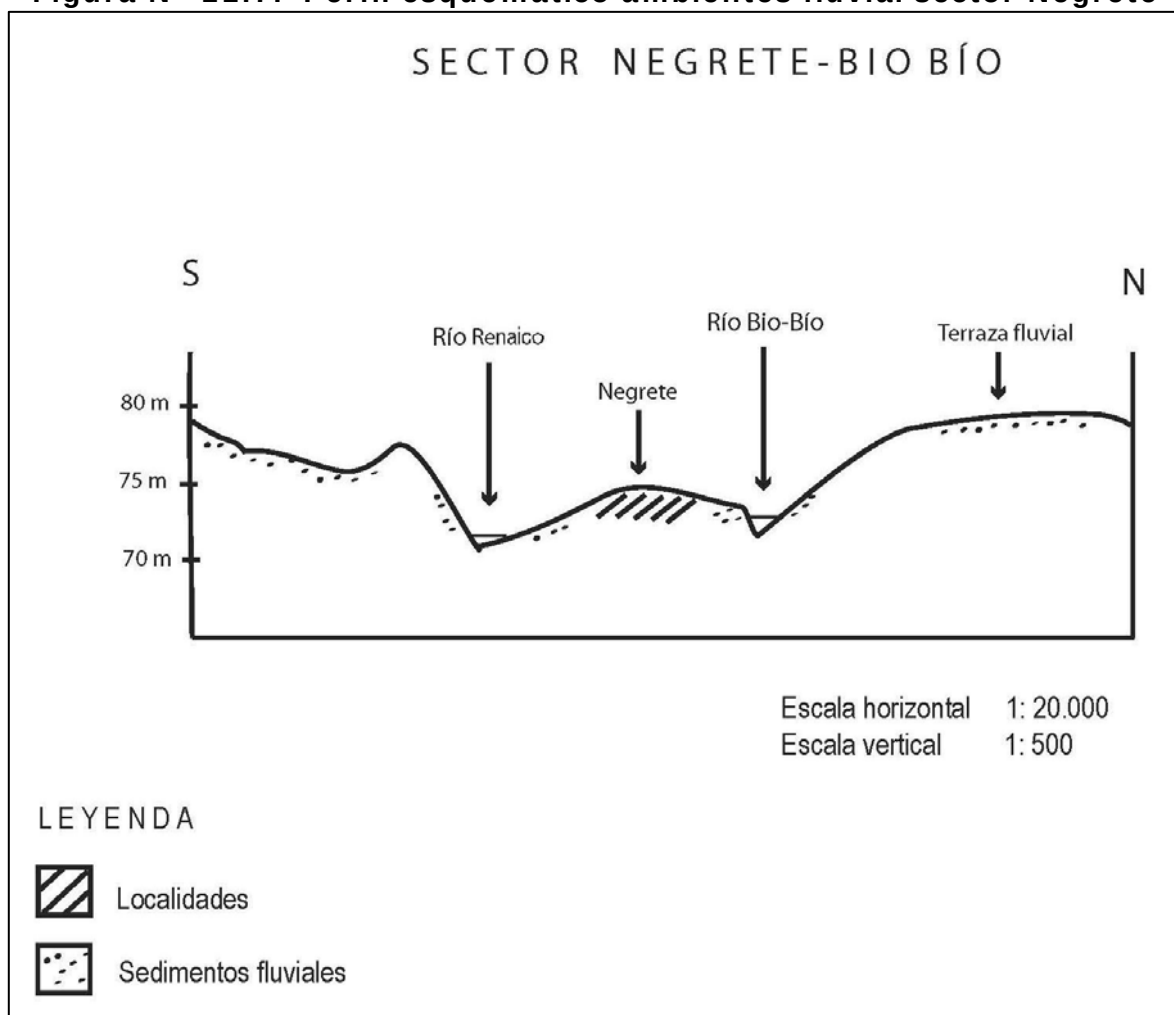
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.6. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Laja – San Rosendo



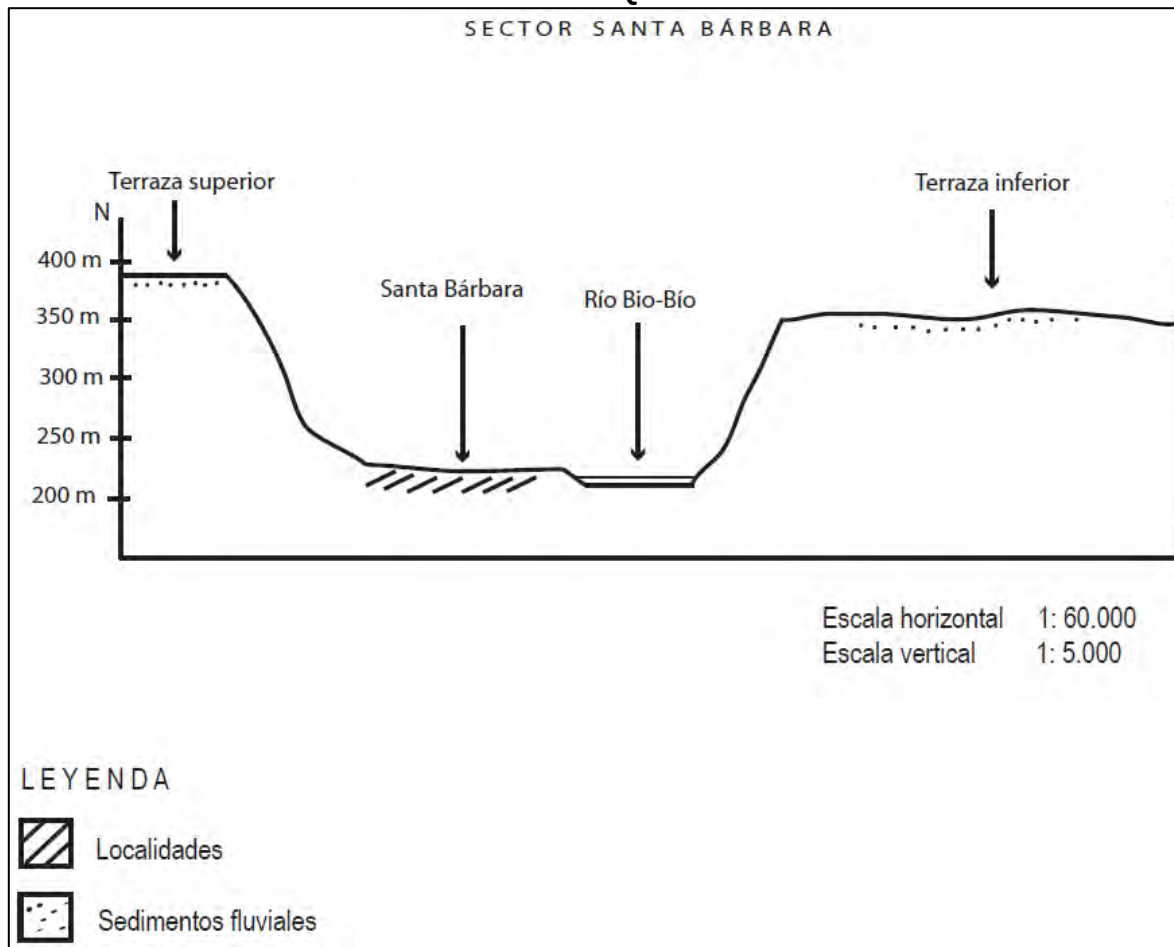
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.7. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Negrete



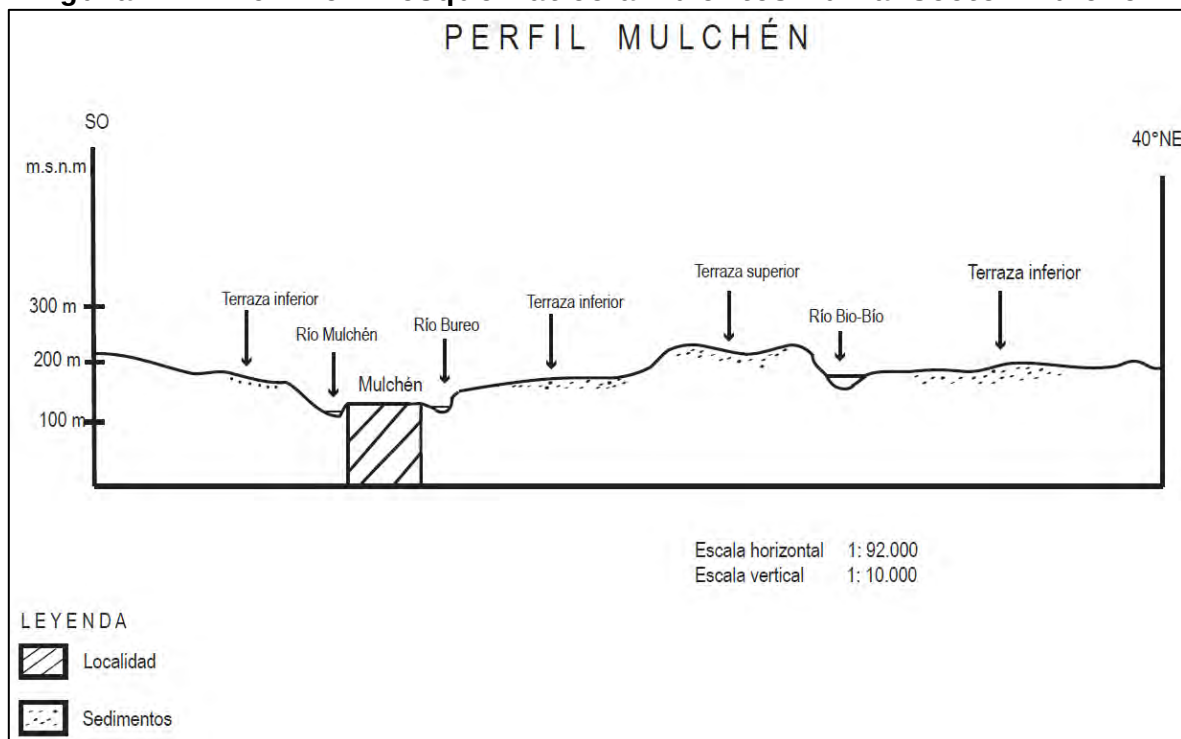
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.8. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Santa Bárbara - Quilaco



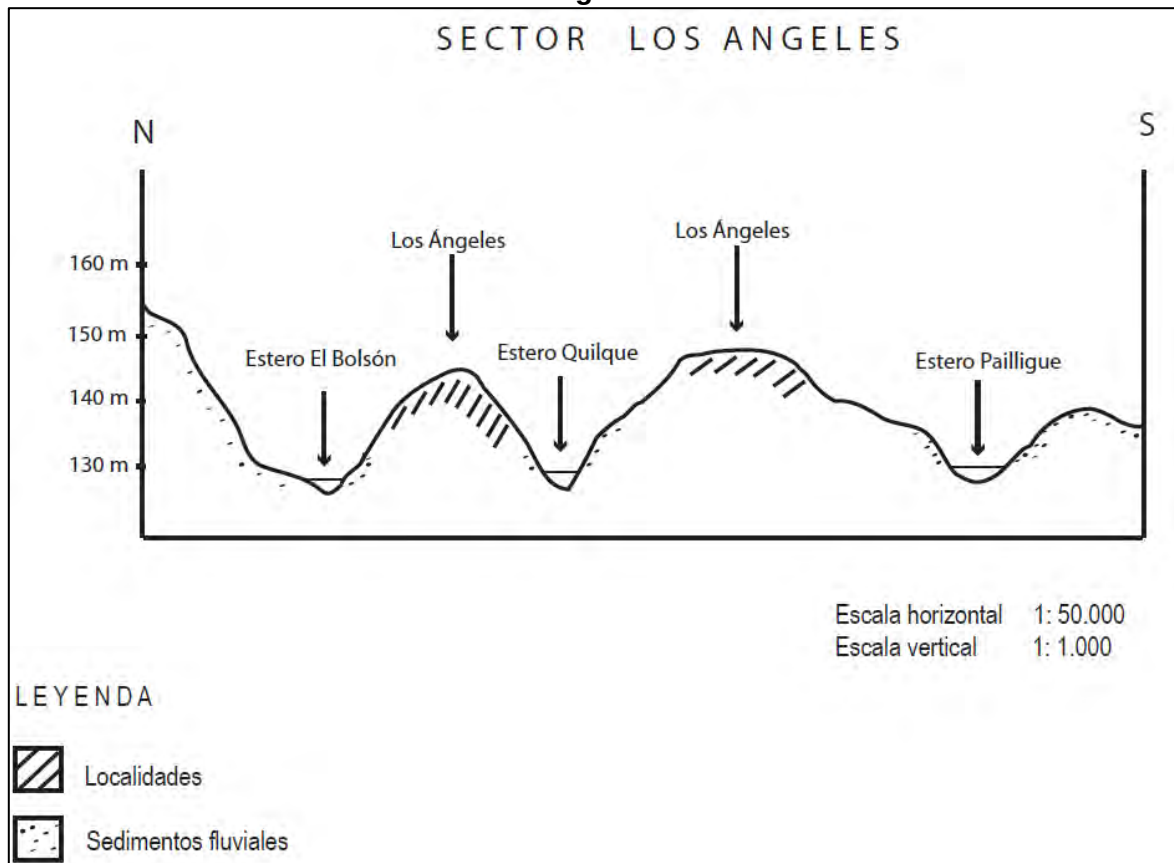
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.9. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Mulchén



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 11.10. Perfil esquemático ambientes fluvial sector Los Angeles



Fuente: Elaboración Propia

12 CARACTERIZACIÓN DE SEDIMENTOS

12.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se refiere a la caracterización de sedimento. Para ello se realizaron trabajos de campo y posterior ensayo de muestras en laboratorio, para la caracterización de materiales en diferentes zonas de la ribera del río Biobío, dentro de su zona de inundación, dentro del marco del proyecto de Sistema de Alerta Temprana de Crecidas de dicho río.

Figura N° 12.1. Localización del área de proyecto (recuadro naranja), Google Earth



Fuente: Elaboración Propia

El objetivo del capítulo es definir y caracterizar la granulometría de los materiales de quince áreas de ribera a lo largo del río Biobío, para la obtención de datos a utilizar en el modelo del Sistema de Alerta Temprana de Crecidas. Para ello se ha procedido del siguiente modo:

- a) Recopilación de información bibliográfica

- b) Propuesta de zonas de investigación en gabinete
- c) Reconocimiento en terreno de las zonas propuestas, modificación en su caso
- d) Realización de 15 calicatas de hasta 1,00 m, siempre que fuera posible
- e) Muestreo y ensayos en laboratorio (Granulometría, límites, clasificación)
- f) Obtención de diámetros efectivos de cada muestra
- g) Análisis de los resultados obtenidos y redacción de informe

Debido a las distancias entre calicatas, y al alcance de excavación necesario en las mismas, se escogió realizarlas de forma manual.

12.2 RECONOCIMIENTO EN TERRENO

Las diferentes zonas de estudio corresponden a áreas cercanas a las siguientes poblaciones:

Tabla N° 12.1 Coordenadas UTM de las calicatas, zonas 18 H y 19 H, WGS 84.

Calicata	Zona	Huso	Coord. X (m)	Coord. Y (m)
C-1	Hualpén	18 H	669216	5924838
C-2	San Pedro de la Paz	18 H	670808	5921458
C-3	Concepción	18 H	673638	5919903
C-4	Chiguayante	18 H	676594	5907793
C-5	Hualqui	18 H	682473	5904410
C-6	Coronel	18 H	678868	5891216
C-7	Santa Juana	18 H	683509	5883900
C-8	Nacimiento	18 H	706929	5848166
C-9	Negrete	18 H	717739	5837759
C-10	Laja	18 H	702107	5872632
C-11	Purén - Los Ángeles	18 H	740161	5835036
C-12	Mulchén	18 H	749113	5827775
C-13	Santa Bárbara	18 H	763805	5826429
C-14	Quilaco	19 H	235591	5825930
C-15	Alto Biobío	19 H	265534	5805324

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.2. Ubicación de Calicatas



Fuente: Elaboración Propia

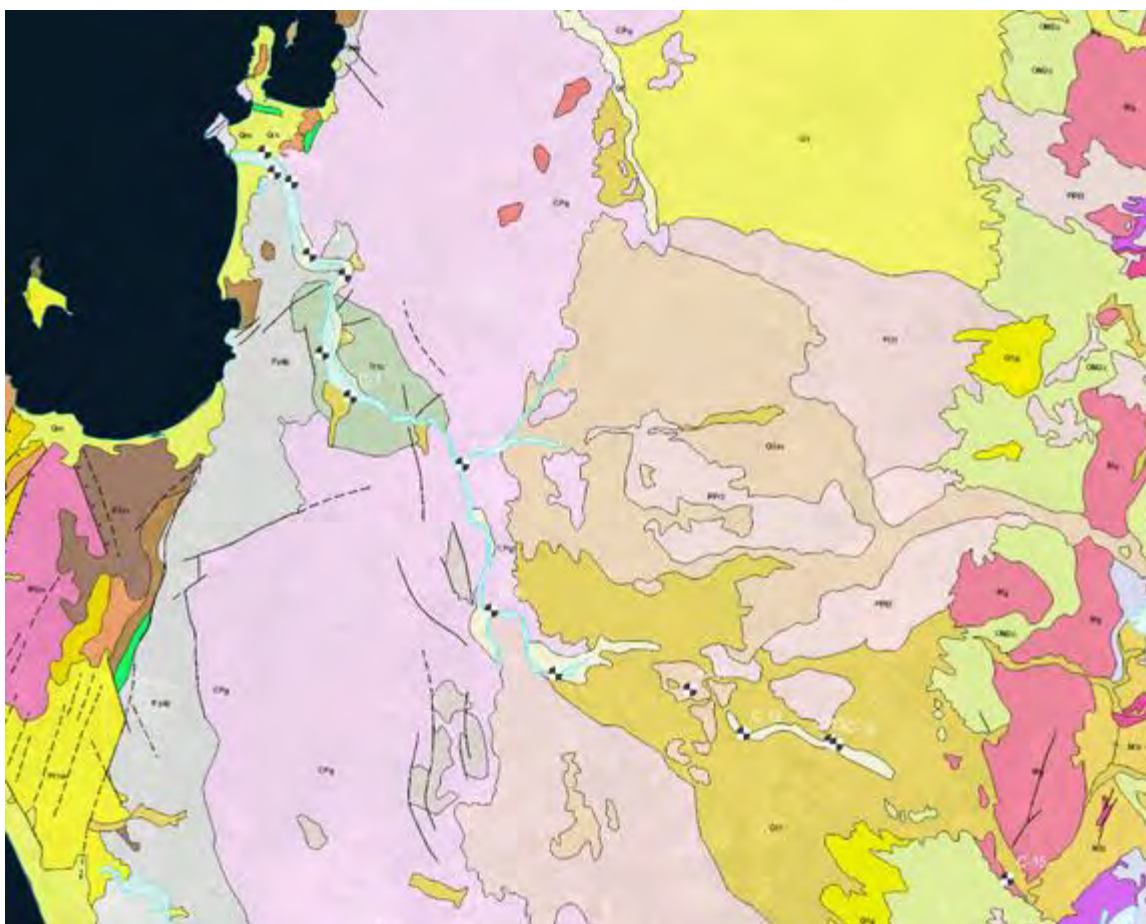
Para la elección de los lugares adecuados para la realización de excavaciones, se tuvieron en cuenta las siguientes premisas:

- a) Facilidad de acceso
- b) Lugar público
- c) En la zona inundable de la ribera del río
- d) Material de la zona representativo (evitar rellenos antrópicos y bolos métricos)

12.3 MARCO GEOLÓGICO GENERAL DEL ÁREA

En la siguiente figura pueden observarse el emplazamiento de las diferentes áreas de proyecto, sobre la geología regional. Todas las excavaciones se encuentran localmente en material cuaternario.

**Figura N° 12.3. Geología Regional. Mapa Geológico de Chile
1:1.000.000, Sernageomin**



Fuente: SERNAGEOMIN

**Figura N° 12.4. Geología Regional. Leyenda Mapa Geológico de Chile
1:1.000.000, Sernageomin**

Material	Serie	Sistema	Materiales	Calicatas
Qf	Pleistoceno-Holoceno	Cuaternario	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación	4, 5, 7, 9, 12, 13, 14
Qm	Pleistoceno-Holoceno	Cuaternario	Depósitos litorales: arenas y gravas de playas actuales	1
Pl3t	Pleistoceno	Cuaternario	Depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso	8
OM3b	Oligoceno-Mioceno	Paleógeno-Neógeno	Secuencias y centros volcánicos básicos: lavas, brechas y rocas piroclásticas	11
Tr1c	Triásico superior	Triásico	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres, en parte transicionales: conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas	6
Cpg		Carbonífero-Pérmico	Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita	3, 10
Pz4b		Silúrico-Carbonífero	Pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismo de bajo gradiente P/T (Serie Oriental) del Carbonífero temprano	2

Fuente: SERNAGEOMIN y Elaboración Propia

12.4 CALICATAS

Se han ejecutado, durante la campaña de investigación (entre el 11 y el 14 de marzo), un total de quince calicatas. Su realización fue mediante técnicas manuales, intentando alcanzar en todos los casos un metro de profundidad.

Se recogieron muestras en saco en todos los casos, según el plan de muestreo, sirviendo para la caracterización de los materiales.

Figura N° 12.5. Realización de calicata manual



Fuente: Elaboración Propia

El objetivo en cuanto a alcance de excavación era de un metro. Este objetivo no se ha podido cumplir en algunas calicatas debido a la presencia de agua (calicatas 2, 7 y 10), derrumbamientos constantes del material por estar muy suelto (calicata 5), o la presencia de bolos de decimétricos a métricos que impedían el avance, y que hubieran requerido de perforaciones muy amplias para tratar de profundizar (calicatas de 11 a 15). En cualquier caso, se observó en los alrededores de estas calicatas la continuidad de los materiales (presencia continua de bolos y grava), aseverando la representatividad de las muestras recogidas.

La siguiente tabla muestra un resumen de las principales características de las calicatas realizadas.

Tabla N° 12.2 Características generales de las Calicatas

Calicata	Zona	Profundidad Alcanzada (m)	Material atravesado	Presencia de Agua	Presencia de bolos
C-1	Hualpén	1,05	Arena	-	-
C-2	San Pedro de la Paz	0,70	Arena	Si	-
C-3	Concepción	1,00	Arena	-	-
C-4	Chiguayante	1,00	Arena	-	-
C-5	Hualqui	0,90	Arena	-	-
C-6	Coronel	1,00	Limo y arena	-	-
C-7	Santa Juana	0,40	Arena	Si	-
C-8	Nacimiento	1,00	Arena	-	-
C-9	Negrete	1,00	Limo y arena	Si	-
C-10	Laja	0,60	Arena	Si	-
C-11	Purén - Los Ángeles	0,60	Arena y grava	-	Si
C-12	Mulchén	0,65	Arena y grava	-	Si
C-13	Santa Bárbara	0,45	Arena y grava	-	Si
C-14	Quilaco	0,80	Arena y grava	-	Si
C-15	Alto Biobío	0,95	Arena	-	Si

Fuente: Elaboración Propia

Los niveles de agua detectados son a la fecha de exploración, desconociéndose su variación estacional y a través del tiempo.

En las siguientes páginas pueden consultarse los registros de campo con las observaciones realizadas, fotografías y estratigrafía.

12.5 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos de laboratorio se han ejecutado sobre las muestras de suelo, obtenidas en campo mediante la realización de las calicatas. Todos los ensayos se han realizado mediante procedimientos normalizados. A continuación, pueden consultarse las muestras recogidas:

Tabla N° 12.3 Listado de muestras recogidas

Calicata	Zona	Muestra	Cantidad de muestra	Cota de muestra (m)
C-1	Hualpén	M-1	1 Saco	0,90-1,05
C-2	San Pedro de la Paz	M-1	1 Saco	0,60-0,70
C-3	Concepción	M-1	1 Saco	0,80-1,00
C-4	Chiguayante	M-1	1 Saco	0,90-1,00
C-5	Hualqui	M-1	1 Saco	0,50-0,60
C-6	Coronel	M-1	1 Saco	0,80-1,00
C-7	Santa Juana	M-1	1 Saco	0,30-0,40
C-8	Nacimiento	M-1	1 Saco	0,80-1,00
C-9	Negrete	M-1	1 Saco	0,60-0,80
C-10	Laja	M-1	1 Saco	0,30-0,50
C-11	Purén - Los Ángeles	M-1	2 Sacos	0,30-0,50
C-12	Mulchén	M-1	2 Sacos	0,30-0,50
C-13	Santa Bárbara	M-1	2 Sacos	0,10-0,30
C-14	Quilaco	M-1	2 Sacos	0,30-0,50
C-15	Alto Biobío	M-1	1 Saco	0,80-0,95

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente página se muestra una tabla resumen con los resultados de laboratorio obtenidos en las diferentes muestras mencionadas.

Tabla N° 12.4 Resultados de ensayos realizados en las muestras recogidas

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Granulometría			Límites		Clasificación USCS
			Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL (%)	IP (%)	
C-1	M-1	0,90-1,05	0,00	13,90	86,10	No obtenible	No plástico	ML

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Granulometría			Límites		Clasificación USCS
			Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL (%)	IP (%)	
C-2	M-1	0,60-0,70	3,00	95,00	2,00	No obtenible	No plástico	SW
C-3	M-1	0,80-1,00	0,60	98,70	0,70	No obtenible	No plástico	SP
C-4	M-1	0,90-1,00	6,70	81,00	12,30	No obtenible	No plástico	SM
C-5	M-1	0,50-0,60	0,00	98,40	1,60	No obtenible	No plástico	SP
C-6	M-1	0,80-1,00	0,00	32,70	67,30	No obtenible	No plástico	ML
C-7	M-1	0,30-0,40	1,90	94,90	3,20	No obtenible	No plástico	SW
C-8	M-1	0,80-1,00	0,00	96,90	3,10	No obtenible	No plástico	SW
C-9	M-1	0,60-0,80	1,60	60,50	37,90	No obtenible	No plástico	SM
C-10	M-1	0,30-0,50	59,10	24,40	16,50	No obtenible	No plástico	GP
C-11	M-1	0,30-0,50	55,20	18,00	26,80	No obtenible	No plástico	GP
C-12	M-1	0,30-0,50	57,20	34,80	8,00	No obtenible	No plástico	GP
C-13	M-1	0,10-0,30	46,80	17,30	35,90	No obtenible	No plástico	GP
C-14	M-1	0,30-0,50	47,30	30,00	22,70	No obtenible	No plástico	GP
C-15	M-1	0,80-0,95	0,00	71,90	28,10	No obtenible	No plástico	SM

Fuente: Elaboración Propia

LL: Límite Líquido (%), IP: Índice de plasticidad (%)

12.6 DIÁMETRO EFECTIVO, D_{30} Y D_{60} , Y COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD

Los resultados del tamizado se representan en un gráfico denominado curva granulométrica, con el eje de abscisas logarítmico (que refleja los tamaños de partícula en mm), y el de ordenadas en escala natural (que refleja el porcentaje acumulado de paso).

A partir del análisis de las curvas granulométricas obtenidas, es posible definir diferentes propiedades:

- a) Diámetro efectivo (D₁₀): Tamaño de partícula de suelo o agregado para el cual el 10 por ciento de ese material, en peso, tiene un tamaño menor. También se conoce como tamaño efectivo.
- b) Diámetros D₃₀ y D₆₀: Tamaño de partícula de suelo o agregado para el cual el 30 y el 60 por ciento de ese material, en peso, tiene un tamaño menor, respectivamente.
- c) Coeficiente de Uniformidad (CU): definido originalmente por Terzaghi y Peck, se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo. Se expresa como la relación entre D₆₀ y D₁₀.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 1. Cálculo del Coeficiente de Uniformidad

- d) Coeficiente de Curvatura (CC): Igual a la siguiente ecuación.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Ecuación 2. Cálculo del Coeficiente de Curvatura

Un material bien graduado debe cumplir la condición de que el coeficiente de uniformidad sea mayor que 4 en grava y 6 en arena, y que el coeficiente de curvatura se encuentre entre 1 y 3.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos a partir del análisis de las curvas granulométricas.

Tabla N° 12.5 : Diámetros obtenidos a partir del análisis de las curvas granulométricas

Calicata	Clasificación USCS	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
C-1	ML	-	-	-

C-2	SW	0,33	0,67	1,15
C-3	SP	0,12	0,26	0,69
C-4	SM	-	0,15	0,37
C-5	SP	0,10	0,17	0,35
C-6	ML	-	-	-
C-7	SW	0,30	0,66	1,10
C-8	SW	0,11	0,20	0,53
C-9	SM	-	-	0,18
C-10	GP	0,40	10,00	30,30
C-11	GP	0,70	42,00	60,00
C-12	GP	0,09	0,70	20,05
C-13	GP	0,90	24,00	65,00
C-14	GP	-	1,30	34,40
C-15	SM	-	0,08	0,18

Fuente: Elaboración Propia

*Los valores de CU y CC obtenidos a partir de estos datos varían sensiblemente respecto a los informados por el laboratorio, debido seguramente al empleo de distintos niveles de decimales, por lo que para no generar confusión en los valores, se muestran los empleados por el laboratorio, en el anexo de resultados correspondiente.

12.7 RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados de laboratorio en las muestras obtenidas, las observaciones en terreno, y las fuentes bibliográficas, correlaciones y normativas más extendidas, ha sido posible describir los siguientes atributos:

- a) Granulometría
- b) Límite líquido y plástico
- c) Clasificación de los materiales
- d) Diámetro efectivo D10 y D30 y D60
- e) Coeficiente de Uniformidad (CU)

En la tabla resumen a continuación es posible consultar los valores finales de las diferentes propiedades mencionadas, obtenidos para cada muestra.

Los trabajos de terreno, consistentes 15 calicatas manuales, fueron llevados a cabo entre los días 11 y 14 de marzo de 2019.

Tabla N° 12.6 : Resumen de resultados obtenidos

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Granulometría			Límites		Clasificación USCS	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
			Grav a (%)	Aren a (%)	Fino s (%)	LL (%)	IP (%)				
C-1	M-1	0,90-1,05	0,00	13,90	86,10	No obtenible	No plástico	ML	-	-	-
C-2	M-1	0,60-0,70	3,00	95,00	2,00	No obtenible	No plástico	SW	0,33	0,67	1,15
C-3	M-1	0,80-1,00	0,60	98,70	0,70	No obtenible	No plástico	SP	0,12	0,26	0,69
C-4	M-1	0,90-1,00	6,70	81,00	12,30	No obtenible	No plástico	SM	-	0,15	0,37
C-5	M-1	0,50-0,60	0,00	98,40	1,60	No obtenible	No plástico	SP	0,10	0,17	0,35
C-6	M-1	0,80-1,00	0,00	32,70	67,30	No obtenible	No plástico	ML	-	-	-
C-7	M-1	0,30-0,40	1,90	94,90	3,20	No obtenible	No plástico	SW	0,30	0,66	1,10
C-8	M-1	0,80-1,00	0,00	96,90	3,10	No obtenible	No plástico	SW	0,11	0,20	0,53
C-9	M-1	0,60-0,80	1,60	60,50	37,90	No obtenible	No plástico	SM	-	-	0,18
C-10	M-1	0,30-0,50	59,10	24,40	16,50	No obtenible	No plástico	GP	0,40	10,00	30,30
C-11	M-1	0,30-0,50	55,20	18,00	26,80	No obtenible	No plástico	GP	0,70	42,00	60,00
C-12	M-1	0,30-0,50	57,20	34,80	8,00	No obtenible	No plástico	GP	0,09	0,70	20,05

Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Granulometría			Límites		Clasificación USCS	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
			Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL (%)	IP (%)				
C-13	M-1	0,10-0,30	46,80	17,30	35,90	No obtenible	No plástico	GP	0,90	24,00	65,00
C-14	M-1	0,30-0,50	47,30	30,00	22,70	No obtenible	No plástico	GP	-	1,30	34,40
C-15	M-1	0,80-0,95	0,00	71,90	28,10	No obtenible	No plástico	SM	-	0,08	0,18

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente en Anexo 7, se entregan las curvas granulométricas respectivas a cada punto.

Figura N° 12.6. Zona C-1



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.7. Zona C-2



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.8. Zona C-3



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.9. Zona C-4



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.10. Zona C-5



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.11. Zona C-6



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.12. Zona C-7



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.13. Zona C-8



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.14. Zona C-9



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.15. Zona C-10



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.16. Zona C-11



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.17. Zona C-12



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.18. Zona C-13



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.19. Zona C-14



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 12.20. Zona C-15

Fuente: Elaboración Propia

12.8 ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS RESULTADOS

En atención a material constitutivo del cauce del río, se puede señalar que este presenta dos sectores claramente diferenciados en relación a las granulometrías obtenidas (Tabla 7.4), el primero, comprendido entre las localidades de Hualpén y Nacimiento/Negrete, donde el cauce presenta en su mayoría, material del tipo arena y combinaciones a partir de esta. Aquí la presencia de materia arenoso supera en la mayoría de la calicatas realizadas el 80%, incluso en algunas de estas obteniendo una alta cantidad de material fino (caso calicata C-1 y C-6). Estos resultados son esperables a partir de la acción de acarreo del cauce del material, lo cual, genera procesos de desgaste y chancado de material producto de la acción del río.

El segundo sector identificado, corresponde a la zona alta del cauce, entre las localidades Nacimiento/Negrete y Alto Biobío, donde el material del cauce adopta una granulometría formada en su mayoría por material más grueso (gravas) y menores porcentajes de material del tipo arena, en relación a la zona baja. Cabe destacar, que los materiales finos adoptan porcentajes significativos dentro de la granulometría del cauce, debido a la acción de depositación de cenizas de los volcanes ubicados en la zona alta del río.



En relación a la clasificación de los materiales encontrados en el cauce, todos clasifican como no plásticos, lo cual, descarta la presencia de arcillas o limos arcillosos en abundancia.

Respecto al tamaño de los materiales (Tabla 7.5), los diámetros característicos obtenidos establecen que en la zona baja los materiales presentan diámetros característicos inferiores a un 1,0 mm, lo que se condice con la presencia de arenas y material fino descrito previamente. En la zona alta, se produce un contraste, toda vez que los materiales adoptan diámetros mayores llegando incluso a los 65 mm en algunos sectores (Santa Bárbara).

Finalmente, se puede señalar que los sedimentos del cauce en el río Biobío, en base a las prospecciones realizadas por este consultor y lo observado en terreno, se pueden agrupar en dos sectores, zona baja (Calicatas C-1 a C-8/C-9) y zona alta (Calicatas C-8/C-9 a C-15), el primero, está compuesto en su mayoría principalmente por arenas con escasa presencia de finos, con escaso material grueso y sin presencia de arcillas con plasticidad, el segundo sector, se compone de materiales más graduados, con presencia principal de gravas y arenas, además de una importante presencia de finos, debido a la acción de depositación de cenizas no plásticas de origen volcánico. Sin perjuicio de lo señalado, esta descripción se complementa con los resultados del análisis de columnas estratigráficas del río Biobío desarrollado en el siguiente acápite.

13 PRESENTACION COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

13.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo, tiene por finalidad entregar una descripción de las columnas estratigráficas de la zona de estudio, las cuales, corresponden a una estimación de las potencialidades de los suelos y sus respectivas composiciones, en función de la profundidad. Los resultados de éste análisis, se han elaborado a partir de los antecedentes bibliográficos disponibles tanto en servicios públicos, universidades, centros de investigación entre otros.

Para un mejor entendimiento, el capítulo se presenta éste con la siguiente estructura:

- Antecedentes Consultados
- Caracterización Geológica General del Cauce
- Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río Biobío
- Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río Laja
- Análisis Crítico y Comentarios

13.2 DESARROLLO

13.2.1 Antecedentes

Para el análisis y redacción del siguiente capítulo, se utilizaron antecedentes indicados en bibliografía de este estudio.

13.2.2 Caracterización Geológica General del Cauce

Según Peña (1995) et al., el río Biobío representa la principal cuenca hidrográfica de la región del mismo nombre. Su importancia como agente morfogenético queda de manifiesto en la variedad de paisajes que el río ha formado. Sobre algunos de ellos se ejerce una fuerte presión de uso, en especial en su curso inferior, donde se emplaza la gran urbe de Concepción. Este tramo del río ha adquirido gran importancia en los últimos años, en especial en su ribera norte, donde se planifica un crecimiento sostenido con demanda de suelos para infraestructura de todo tipo (MINVU – VIII Región).

Morfológicamente, en el área destaca el relieve cordillerano y el generado por el Biobío. La cordillera de la Costa, compuesta por rocas graníticas y metamórficas, se encuentra fuertemente erosionada y con una fuerte presión de uso para la actividad forestal.

Las terrazas del Biobío, por su parte, son sometidas en el presente a una fuerte demanda de uso por la carencia de espacios en la comuna de Concepción. Morfogenéticamente, el clima juega un rol muy importante. El contraste entre el

verano seco, con fuerte insolación subtropical y el invierno caracterizado por lluvias recias y persistentes, estimulan los procesos de erosión en manto, zanjas y cárcavas (Endlicher, 1985). En efecto, en el área se reconoce el dominio mediterráneo, distinguiéndose en él la existencia de la influencia oceánica a través del valle del Biobío (Devynck, 1970; Romero, 1985).

El clima es templado cálido con una estación húmeda de 7 a 8 meses de duración y una corta estación seca en verano. Según los registros de la estación meteorológica Bellavista, de la Universidad de Concepción, las temperaturas del área presentan una media de 15,5° C. El mes más frío es julio, con una media de 9,1° C y el mes más cálido es enero, con 18° C. En cuanto a intensidad y precipitación acumulada, éstas tienen una media anual de 1.222,1 mm y registran valores máximos absolutos en 24 horas de 148,9 mm (25 de noviembre de 1986).

13.2.3 Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río BioBío.

13.2.3.1 Valle del Alto Biobío

Esta área se ubica en la alta cordillera andina a la latitud de Lonquimay, región de la Araucanía y comprende la zona a lo largo del valle del alto río Biobío, entre la localidad de Troyo por el norte y Liucura por el sur (Figura 8-2). La zona de estudio, se ubica geológicamente en el margen occidental de la Cuenca de Neuquén (Triásico superior-Terciario inferior) caracterizada por sedimentos y volcanitas marinas del Jurásico (Formación Nacientes del Biobío). Sobreyacen al basamento jurásico, rocas del Oligoceno-Mioceno (formaciones Cura-Mallín, Trapa-Trapa y Mitrauquén), depositadas en una cuenca extensional, la cual habría sido invertida durante el Mioceno Inferior, previo a la depositación de la unidad volcánica Plio-Pleistocénica.

La zona de estudio representa un segmento transicional entre los Andes Centrales (33 a 38°Sur) y los Andes Patagónicos (38° a 47°Sur), con un dominio al norte, caracterizado por una cordillera de gran desarrollo, y un dominio al sur, donde destacan el aumento de las precipitaciones, el desarrollo de topografía más baja y una mayor influencia de la erosión glacial. En este mismo sentido se ha documentado para la Cordillera Principal (Neógeno-Reciente) un marcado gradiente en las tasas de exhumación a partir de los 39°Sur, con mayores valores al sur de esa latitud. Destaca como rasgo estructural mayor la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO), representada por un conjunto de lineamientos rectos de dirección nor-noreste/sur-suroeste. Mientras al sur de los 38°Sur (zona de transferencia Callaqui-Copahue-Mandolegüe), se ha documentado un régimen transpresivo dextral para la ZFLO, al norte de esta latitud se ha reportado deformación transtensional-extensional (Pleistoceno-Holoceno) a lo largo de la Zona de falla del Lago Laja.

Otro rasgo estructural relevante lo constituye el Valle del Río Lonquimay, el cual es interpretado como una depresión controlada por fallas transtensivas destrales, las cuales controlarían la morfología del valle. Transversal al Valle del Río Lonquimay se dispone el Valle del Río Biobío, de dirección nor-noroeste/sur-sureste, el cual es interpretado como una fault bend relacionado al movimiento de rumbo siniestral a lo largo Falla Biobío-Aluminé (FBA) (Figura 8-2).

Se reconocen depósitos fluviales cuaternarios, los cuales constituyen diferentes niveles de terrazas, de extensión variable, algunos metros a decenas de metros, observables en el sector de Lolén (Figura 13-2) y hacia el norte a lo largo del Valle del Río Biobío, en las cercanías de la localidad de Troyo (Figura 13-1). Alcanzan alturas variables que van desde los 5 a 50 metros sobre el cauce actual del Río Biobío. En el sector de Lolén y en las cercanías de Troyo fue posible observar que estos depósitos se encuentran afectados por fallas del tipo normal, con separaciones verticales que varían entre 10 a 70 cm. Las mediciones realizadas en terreno arrojaron direcciones preferenciales para estas estructuras de 30° a 50° NorOeste, 48° a 68° SurOeste, 5° a 28° NorEste y 58° a 70° NorOeste en el sector de Lolén, al sur del área de estudio (Figura 13-2), mientras que en el sector norte, en las cercanías de Troyo fueron de N40° a 80° NorOeste y 70° a 80° NorEste.

Figura N° 13.1. Ubicación Sector Troyo – Río Biobío

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 13.2. Mapa Geológico Simplificado Valle Alto Biobío. 1: Depósitos fluviales cuaternarios, 2: Secuencias volcánicas Pleistoceno-Holoceno, 3: Fm. Cura-Mallín, Miembro Guapitrío, 4: Fm. Cura-Mallín, Miembro Río Pedregoso, 5: Fm. Nacientes del Biobío, Miembro Icalma, 6: Fm. Nacientes del Biobío, Miembro Lolén-Pacunto, 7: Grupo Plutónico Galletu.

Fuente: XII Congreso Geológico Chileno

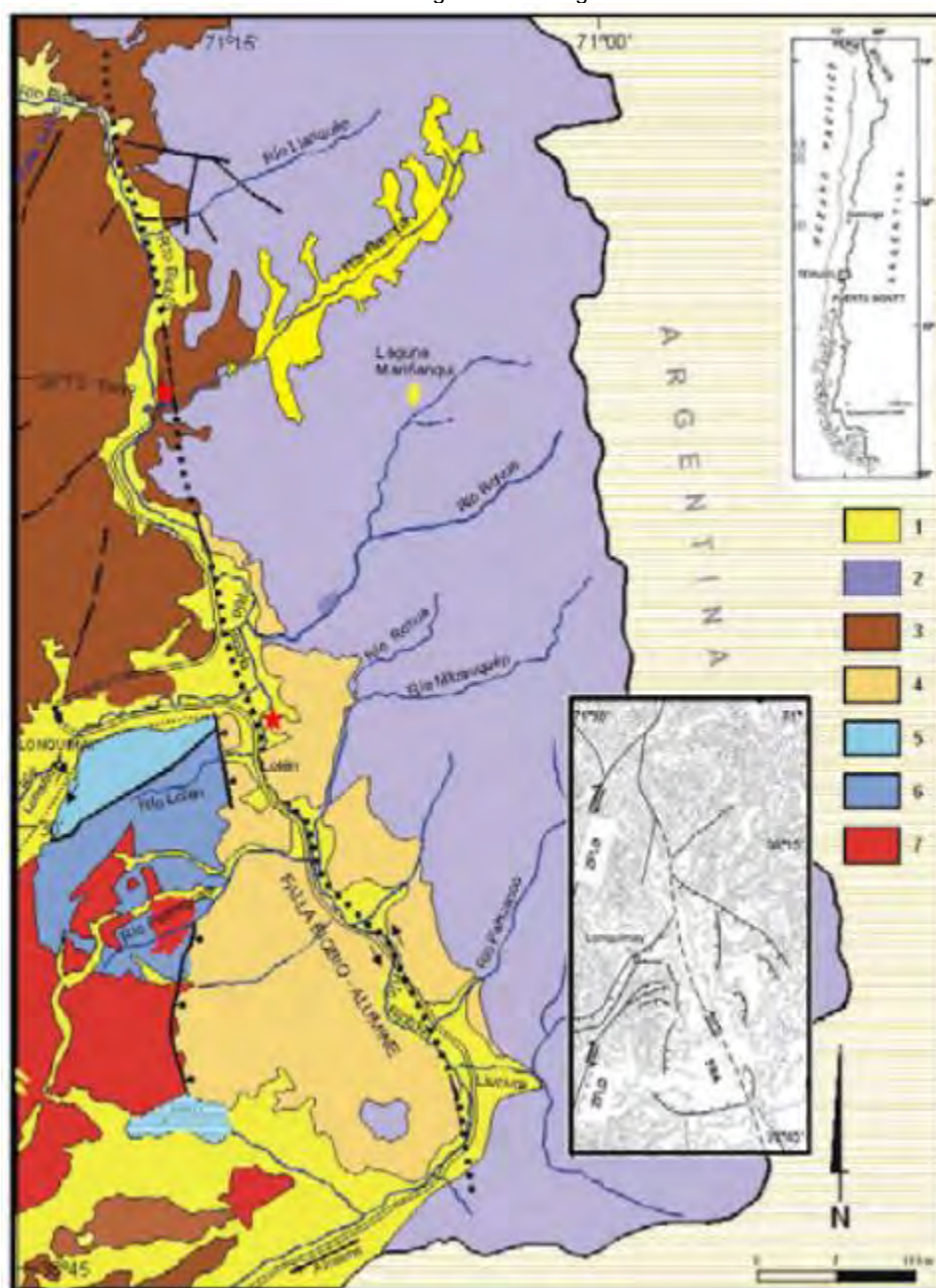
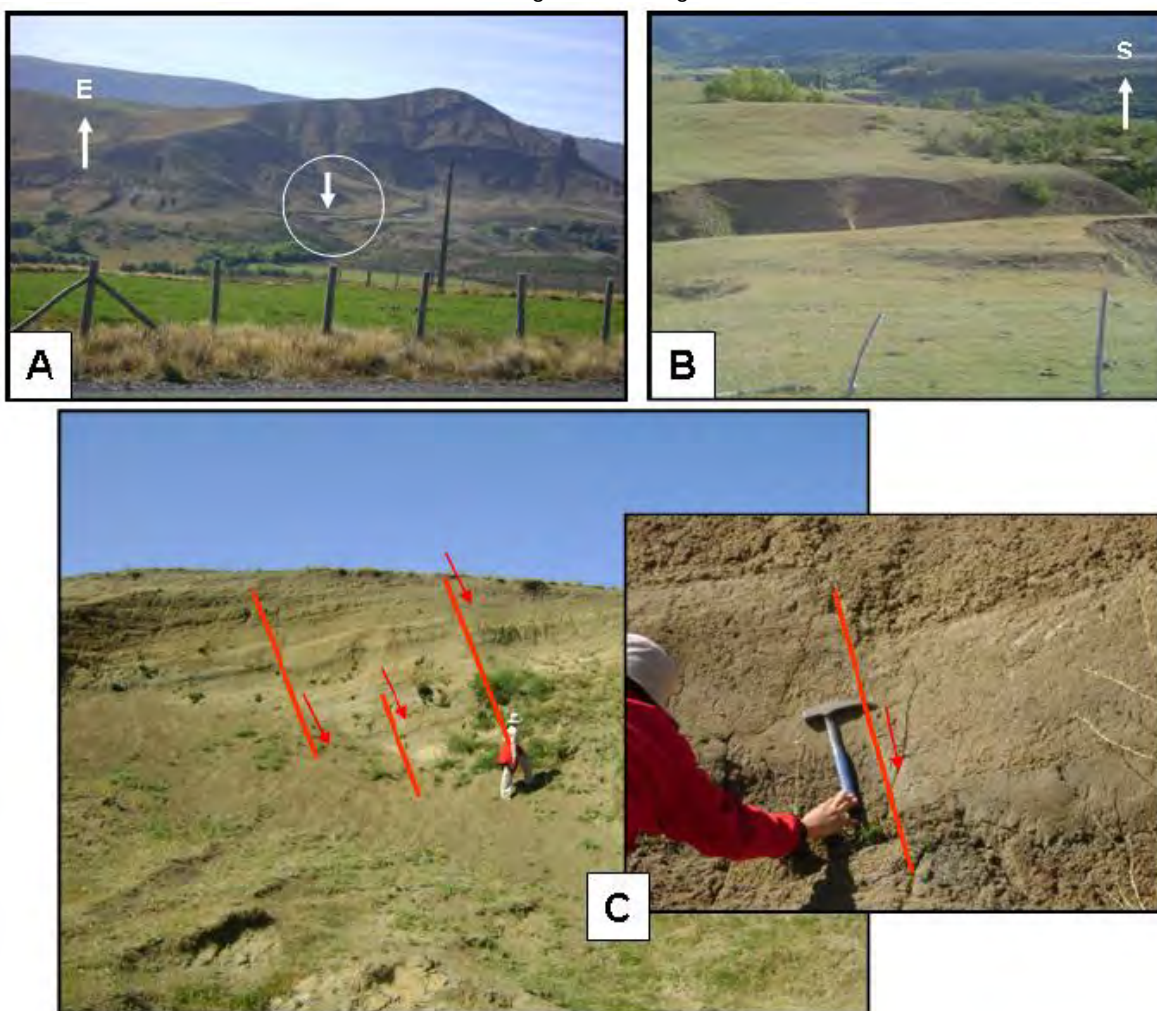


Figura N° 13.3. Fallas Normales Sector Lolén. A: vista el este indicando punto de observación, B: vista al sur, desarrollo de terrazas del río Biobío, ladera oriental, C: detalle de fallas con separación vertical normal.

Fuente: XII Congreso Geológico Chileno



13.2.3.2 Valle del Bajo Biobío

El estudio “Análisis Secuencial de Facies en el Triásico del Biobío” desarrollado en el marco del IX Congreso de Geología del año 2000, trabajo con información de dos perfiles estratigráficos desarrollados en las localidades de Estero Hueco ubicado a 5 kilómetros al oriente del pueblo de Talcamávida, y en la localidad de Tanahuillín ubicado a 15 kilómetros del pueblo de Santa Juana, indican:

Sedimentología Perfil Estero Hueco:

Asociación de facies H1: río trenzado arenoso – gravoso fino. Se presenta como una secuencia de 11 m de potencia constituida por litarenitas finas y muy finas en estratos de 30 a 40 cm de potencia, lutitas negras con laminación en estratos muy delgados y conglomerados matriz soportados con clastos finos inmersos en litarenitas finas, con potencia de 40 cm.

Asociación de facies H2: río trenzado arenoso. Se encuentra 17 m de arcosas, litarenitas feldespáticas y subarcosas finas a muy finas, bien estratificadas en estratos de 30 a 35 cm de potencia. Estratificación cruzada planar y es común estructuras de carga. Hay numerosas intercalaciones de lutitas negras en estratos de 10 a 15 cm. Subordinados se encuentran conglomerados matriz soportado con clastos muy finos en arcosas y litarenitas feldespáticas y capas milimétricas de carbón. En este perfil, es necesario destacar secciones importantes interpretadas como canales activos con depósitos de fondo y barras, así como planicies de inundación con sedimentos muy finos arenosos y muy poco limosos. Además, es notable la ausencia de estructuras sedimentarias internas y fósiles.

Figura N° 13.4. Sección Estratigráfica Estero Hueco

Fuente: XII Congreso Geológico Chileno

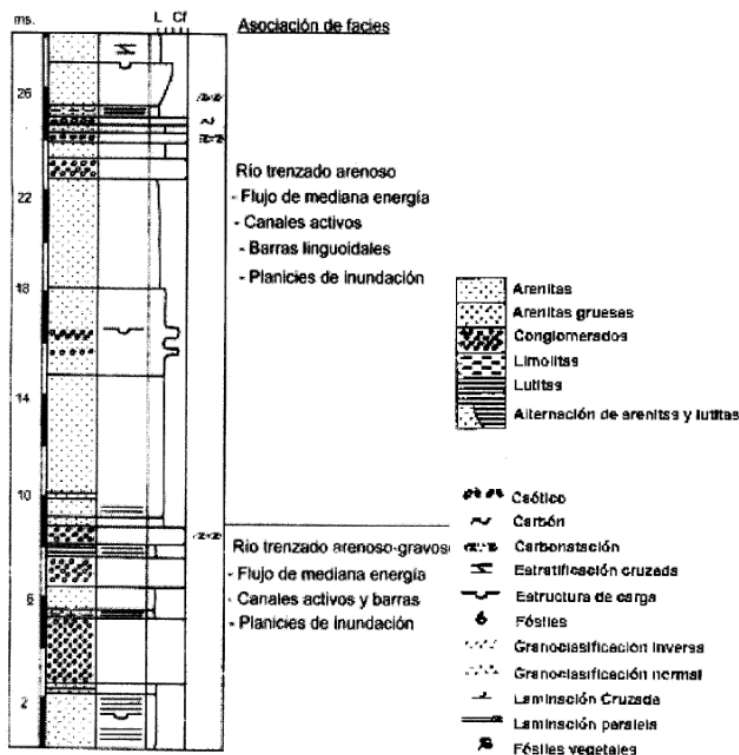


Figura N° 13.5. Ubicación Estero Huevo

Fuente: Elaboración Propia



Sedimentología Perfil Tanahuillin

Una secuencia estudiada de 205 m de potencia en la que se identifican cuatro asociaciones de facies:

Asociación de facies T1: río trenzado arenoso. Constituido por arcosas muy finas y litarenitas de grano medio con laminación planar. Litarenitas muy finas fosilíferas (fauna y flora) y lutitas grises fosilíferas.

Asociación de facies T2: río meandrinoso. Compuesta fundamentalmente por lutitas negras y grises, carbonosas y fosilíferas, con estratificación cruzada de pequeña escala planar y en surco. Además, arcosas medias con laminación planar paralela, laminación cruzada planar y estructuras de carga.

Asociación de facies T3: río trenzado gravoso. Constituido por litoconglomerados medios y gruesos polimícticos formando bolsones, litarenitas feldespáticas medias en estratos irregulares en potencia entre los conglomerados y también formando parte de su matriz en un 20% aproximadamente.

Asociación de facies T4: río trenzado arenoso-gravoso. Arcosas medias con laminación planar paralela, arcosas gruesas con laminación cruzada planar, litoconglomerados polimícticos gruesos y lutitas negras fosilíferas.

En este perfil es notable la presencia de asociaciones que indican períodos de baja energía, río meandroso con llanuras de inundación y pantanos. Así mismo la presencia conglomerados gruesos a muy gruesos que indican, en general, alta energía y flujos de detritos esporádicos generados por descarga súbita, en los intervalos correspondientes.

Figura N° 13.6. Sección Estratigráfica Tanahuillin

Fuente: XII Congreso Geológico Chileno

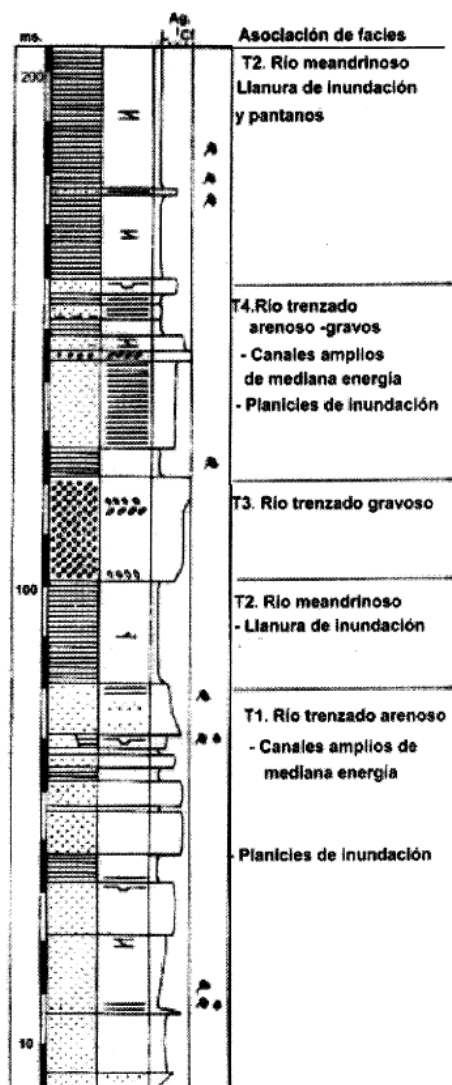


Figura N° 13.7. Ubicación Estero Tanahuillin

Fuente: Elaboración Propia



Según el estudio “Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área”, la zona geomorfológicamente está conformada por laderas que generan el valle del Biobío, que fueron labradas con el material granítico y metamórfico de Edad Paleozoica de la Cordillera de la Costa, sobre la cual se distingue la morfología de cordones. En el caso de los cordones metamórficos, éstos sólo se presentan al este del sector que abarca Manquimávida y La Leonera (Chiguayante) y no superan los 230 m.s.n.m. Tienen una orientación de Norte a Sur, y dan origen a cuencas de recepción que drenan hacia el Este y Oeste del cordón principal. Sus pendientes son regulares y oscilan entre 10 y 20°. Presenta fuerte alterabilidad y procesos de erosión en manto y deslizamientos de material, en mayor medida que los cordones graníticos. En la actualidad, su uso es eminentemente forestal.

Los cordones graníticos, por su parte, están constituidos por granito, tonalita, diorita y Granodiorita de Edad Paleozoica, material que se encuentra severamente meteorizado. Morfológicamente se presentan sectores fuertemente disectados sobre los granitoides de textura gruesa y morfología de cordones en los afloramientos de textura fina. Estos tienen altitudes que no superan los 350 m y su dirección general es de Este a Oeste. Las laderas son convexas y alcanzan valores extremos de pendiente superiores a 30°, pero en general éstas oscilan entre 15 y 25°. En cuanto a la exposición de éstas, se constató que los procesos de erosión en manto y cárcavas son mayores en sectores que exponen al Norte, mientras que los procesos de derrumbes tienden levemente a ser mayores en laderas que exponen al Sur. En el caso de los derrumbes, se advierten procesos

activos, los que presentan una pendiente de 30°. En el caso de las cárcavas, éstas se presentan con mayor envergadura sobre los 15° y en lugares de escasa o nula vegetación.

Importante en el modelado del área es la red hídrica, su trazado es irregular y sus abundantes cursos estacionales, producto de la lluvia invernal, drenan gran parte del sector cordillerano, destacando el drenaje que da origen a los esteros La Leonera, La Araucana y Hualqui.

En cuanto a su empleo, el área tiene en la actualidad un uso preferentemente forestal. Sin embargo, es de importancia la actividad realizada en la Cantera de Lonco, donde la superficie removida alcanza a 225.000 m².

Terrazas del río Biobío

Dos son los niveles de terrazas que tiene el río Biobío, los que han sido contruidos por sedimentos transportados desde el sector andino y que se diferencian por sus características sedimentológicas, su extensión y su altitud. La terraza superior se encuentra en contacto con las laderas graníticas y metamórficas, alcanza su mayor desarrollo en los sectores de Hualqui y Chiguayante y tiene una altitud promedio de 24 m.s.n.m. Está conformada por sedimentos de arenas negras finas a gruesas, con escaso índice de desgaste y de mala selección granulométrica.

Morfológicamente presenta sectores de bastante planitud y otros modelados en dunas. Estas se observan con mayor envergadura en el sector de Chiguayante, lugar donde han sido fuertemente antropizadas, y al Norte y Este del centro de Hualqui, donde se encuentran estabilizadas por la importante cobertura vegetal que presentan (más de 70%).

En el origen de esta terraza, fue posible advertir en terreno tres fases. En el estrato inferior se aprecia una fase eólica antigua que ya presenta procesos de oxidación; sobre ésta, una fase lacustre con una potencia medida a 1 km al Este de Hualqui de 2.5 m, y finalmente, el estrato superficial está compuesto de arenas negras finas y de buena selección granulométrica y sobre la cual existen dunas de gran desarrollo.

Figura N° 13.8. La fotografía corresponde a la terraza superior del río Biobío (Sector de Hualqui y Chiguayante), la cual está modelada en dunas. Se aprecian las distintas fases que ha tenido. En la parte inferior se encuentran arenas negras de origen eólico, las cuales ya presentan oxidación. Sobre ellas, el depósito de arenas de origen lacustre que alcanza, según la medición realizada en terreno a 2,5 m. En la parte superior. Las arenas recientes de origen eólico que conforman las dunas.

Fuente: Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área

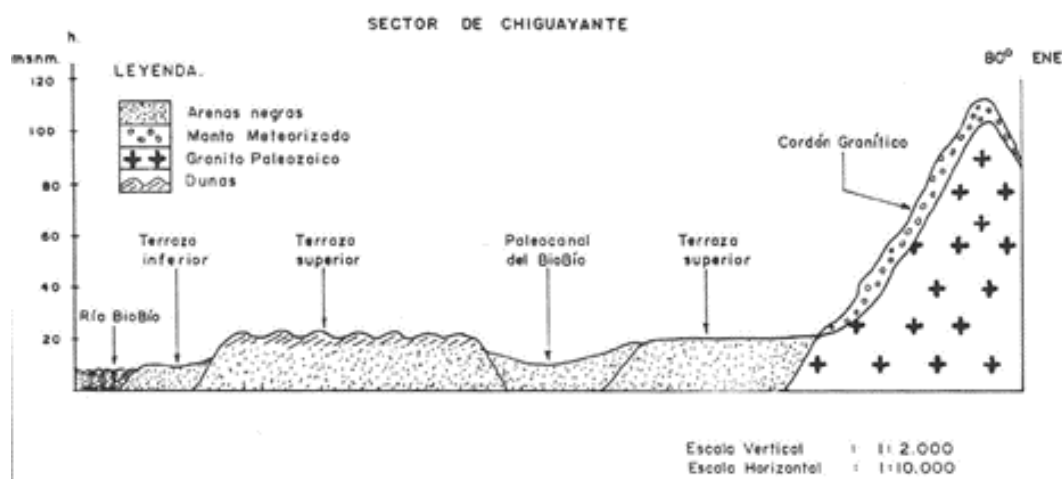


La altitud de la terraza no sobrepasa los 35 m.s.n.m y las pendientes son menores a 3°, salvo donde se presentan dunas. En esta unidad morfológica es posible advertir, en Chiguayante, un extenso paleocanal del río Biobío (3,4 km de largo) orientado de SurEste a NorOeste, el cual la disecta, dejando al NorEste la terraza plana y al SurOeste la terraza modelada en dunas, que alcanza en el

sector de mayor desarrollo, 7 km de ancho. Sin embargo, al SurEste del paleocanal y donde éste recién se origina, las dunas se encuentran en contacto directo con las laderas, situación que ha provocado la obturación de los drenajes locales y la formación de áreas anegadizas estacional y permanentemente al pie de las laderas. Por otro lado, es importante indicar que la terraza superior se encuentra adosada al granito, en el sector que une La Leonera con la estación de Ferrocarriles de Hualqui, la que es interrumpida por los derrumbes del material granítico, originando un fuerte escarpe que la separa de la inferior, el cual supera los 25°. Además, en el sector de San Francisco (Hualqui) fue posible advertir que los depósitos de arenas negras que corresponden a esta unidad morfológica han sido cubiertos por la gran potencia de los coluvios graníticos. En el presente, la terraza superior se encuentra altamente urbanizada. Al observar las fotografías aéreas del año 1960 y compararlas con las del año 1990, es evidente el acelerado proceso de ocupación de este espacio. El caso más claro es el de Chiguayante, donde en 1960 el poblamiento abarcaba menos de un 20% del área y, en la actualidad, se encuentra ocupada en un 80 a 90%.

Figura N° 13.9. Perfil topográfico del sector de Chiguayante

Fuente: Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área



Igual situación ocurre en los sectores de Lonco, Pedro de Valdivia Alto y Villuco, donde incluso la presión por espacio habitacional ha ocupado sectores de los cordones graníticos. Distinta es la situación de la comuna de Hualqui, donde aún es posible observar el uso agrícola y ganadero de las tierras. En el caso de la terraza inferior del río Biobío, ésta tiene un escaso desarrollo; su mayor envergadura la alcanza en Hualqui, donde el río Biobío cambia drásticamente su curso, de una orientación SurOeste-NorEste gira a SurEste-NorOeste y de ahí a Este-Oeste en un largo que no supera los 2 km, adaptándose así a la estructura del relieve. Está compuesta de arenas negras, pero presenta además abundante



material de limo, el que probablemente se origine por las crecidas actuales y subactuales de la cordillera de la Costa y del piedemonte de Malleco. Tiene una altitud que oscila entre los 5 y 10 m a lo largo de su desarrollo de Norte a Sur, inscribiéndose en 5 a 10 m en la terraza superior. Posee pendientes inferiores a 2° , y morfológicamente se presenta plana y sólo con pequeñas dunas paralelas orientadas de SurOeste a NorEste en el sector de Hualqui, formas que denotan la acción predominante del viento del SurOeste. Su uso, esencialmente agrícola, se ha ido transformando a habitacional en los sectores de la comuna de Hualqui y en el sector de La Leonera, donde se han desarrollado planes residenciales de vivienda básica. En otros casos se ha rellenado el área, un ejemplo de ello constituye el emplazamiento de la planta de abastecimiento de agua potable La Mochita. Finalmente, cabe señalar que estudios anteriores (Morales, 1986; Aros y Vargas, 1985), revelan la existencia de numerosos procesos de inundación en esta unidad morfológica, producto de grandes crecidas del río Biobío, situación que está limitando fuertemente su uso.

Los valles y llanuras locales

Los principales valles y llanuras locales son los originados por el Estero La Leonera, La Araucana y Hualqui. Su trazado se inicia en la Cordillera de la Costa y está fuertemente determinado por las obturaciones provocadas por las arenas negras, desarrollando terrazas y llanuras que se inscriben en las terrazas del Biobío. Las extensas llanuras aluviales de La Leonera y Hualqui están compuestas de limo y arcilla, además de arenas cuarcíferas. Alcanzan gran dimensión y están delimitadas por el relieve cordillerano y los campos de dunas. Esta situación, junto con su composición sedimentológica y su escasa pendiente (menor a 3°) origina que sea un área impermeable y estacionalmente anegadiza. El uso de esta área es agroganadero.

Figura N° 13.10. En primer plano se observa el gran desarrollo que alcanza la llanura aluvial en el sector de La Leonera. Sus suelos arcillosos y su escasa pendiente posibilitan que el área sea anegadiza estacionalmente. En segundo plano, los cordones graníticos, los cuales, en este sector, se encuentran estabilitizados por la vegetación y con una fuerte presión de uso de la actividad forestal.

Fuente: Evolución reciente del Lecho del río Biobío, en el tramo Hualqui-Desembocadura –
Universidad del Biobío



Fuente: Elaboración Propia

Los esteros La Araucana y Hualqui conforman, además, pequeñas terrazas que se inundan estacionalmente. El Hualqui, por su parte, se inscribe en la terraza superior del Biobío alcanzando, de acuerdo a las mediciones de terreno, una marca de crecida de 6 m.

Los aluviones

Este proceso se observa con gran magnitud en las cercanías de Hualqui, donde el río Biobío ha conformado importantes bancos aluviales producto de las crecidas episódicas. Por otro lado, se manifiestan aluviones de poco desarrollo a los pies de las laderas de la Cordillera de la Costa, producto del transporte de material por los cursos intermitentes de agua.

13.2.3.3 Caracterización Hidrogeológica Cuenca del Río Biobío

Con la finalidad de dar robustez a los antecedentes estratigráficos presentados, se complementa la información entregada, con algunos antecedentes hidrogeológicos de la cuenca del río Biobío.

El Estudio Hidrogeológico de la Cuenca del Biobío desarrollado por la DGA, identificó varias unidades acuíferas, donde además de antecedentes permeabilidad, entregó algunos antecedentes de potencia de rellenos y descripciones estratigráficas la cuales se detallan:

A. Perfil Hidrogeológico A-A

Este perfil es el más extenso que se ha elaborado en el informe de la DGA, alcanzando una longitud de aproximadamente 120 km y una orientación NorOeste-SurEste. En su extremo Norte se alcanza a detectar, en los sondeos 67 y 68 (ND-0802-3945), ya sea en superficie o en forma muy somera rocas intrusivas paleozoicas que corresponden al acuífugo o basamento impermeable.

Desde aproximadamente el sondeo 58 (ND-0802-3869) se reconoce en superficie la unidad de alta importancia hidrogeológica que en este sector está referida a una variedad de depósitos de diferente génesis, no obstante, tienen un comportamiento hidrogeológico semejante. Esta unidad está conformada por un alternancia de arenas gruesas, medias grava, ripio y con niveles de mayor contenido de arcilla (no superior al 20%) y ocasionalmente se describen fragmentos de roca denominados “tosca” que corresponderían a fragmentos de roca volcánica de tamaño bloque.

Desde el sondeo 58 al 252 (NR-0802-483), esta unidad está conformada principalmente por depósitos de avalancha volcánica, asociados a colapso parcial de edificios volcánicos. Hacia el sur estos depósitos consisten en depósitos fluvioaluviales, los cuales están conformados casi en su totalidad por alternancia de arenas medias, fina y escasos finos. Finalmente en el sector sur del perfil, esta unidad se encuentra asociada a sedimentos morrénicos y glacio-lacustres de la Fm. La Montaña, los cuales presentan una composición relativamente uniforme, y bancos lenticulares de arcillas y arenas finas, todos ellos con poca compactación y sin cementación.

Bajo la unidad de alta importancia hidrogeológica se reconoce a lo largo de casi todo el perfil la presencia de una nivel arcilloso-limoso, que en algunos sectores presentaría alta plasticidad, el cual se ha asignado a la unidad hidrogeológica de media a baja importancia hidrogeológica. Aunque la mayoría de los sondeos sólo alcanza los primeros metros de esta unidad, el sondeo 121 (ND-0802-795) ha permitido establecer que esta unidad llega a tener, en algunos niveles, un contenido de finos de tipo arcilla-limo de hasta 95 %.

B. Perfil Hidrogeológico B-B

Este perfil tiene una orientación general NorOeste-SurEste y tiene una longitud de aproximadamente 70 Km.

A lo largo de todo el perfil se reconoce la unidad hidrogeológica de alta importancia conformada por arenas gruesas, arenas medias y finas con proporciones variables de gravilla y grava. Esta unidad está expuesta en superficie casi en toda su extensión, salvo, en la zona sur del mismo, en la cual se encuentra cubierta por sedimentos morrénicos y glacio-lacustres, que originan morfologías de lomajes de mayor elevación topográfica.

En el sector del pozo 69 (ND-0802-395) se identificó en la base del sondaje un aumento del contenido de arcilla, sobre un nivel calificado como conglomerado con materia orgánica, que presumiblemente se asocia a un nivel de baja energía de sedimentación, posiblemente de origen lagunar, que contenía abundante vegetación. Este nivel se presentaría de manera ininterrumpida entre este punto y el sondaje 60 (ND-0802-3905).

C. Perfil Hidrogeológico C-C

Este perfil se extiende por aproximadamente 50 km y tiene una orientación NorteSur. Desde el río Huaqui al Renaico se exhibe en superficie la unidad de alta importancia hidrogeológica, que se origina por la depositación asociada a los principales cauces actuales. En el sector sur de este perfil se reconoce en superficie la unidad conformada por depósitos glacio-lacustres que poseen altos contenidos de finos (unidad de media a baja importancia hidrogeológica), la cual, hacia el norte del perfil, subyace a la unidad del alta importancia hidrogeológica.

En el sector del sondaje 199 (ND-0901-2300) se reconoció la roca impermeable, que de acuerdo a su disposición podría corresponder a Lavas de Hulehueico. Sin embargo, esta roca no se reconoce en el pozo 234 (ND-0901-2752) de mayor profundidad y distante aproximadamente 2500 m, por lo cual este nivel de roca podría corresponder tanto al basamento rocoso como a un fragmento de dimensiones indeterminadas, que no presentaría continuidad en profundidad. Con los antecedentes disponibles no es posible dilucidar esta situación. En la base del sondaje 28 (ND-0802-3346), se reconoció una unidad compuesta por arena y gravilla, que se calificó como una unidad de alta importancia hidrogeológica.

D. Perfil Hidrogeológico D-D

Este perfil se ubica en el sector costero de la VIII Región y se extiende por aproximadamente 30 Km. entre las localidades de Hualpén y Coronel, caracterizado por la gran actividad industrial, conocido comúnmente con Escuadrón.

En superficie se reconoce a lo largo de todo el perfil depósitos conformados por arenas medias, arenas fina, gravas que se han asociado a la unidad de alta importancia hidrogeológica y que geomorfológicamente conforman en parte la terraza marina. Subyaciendo a esta unidad y a profundidades entre 20 y 90 m se reconoció el basamento impermeable, que en este sector consiste pizarras, filitas y metareniscas (acuicludo de nula importancia hidrogeológica).

En el sector Norte del perfil entre las unidades antes descritas se reconoció un nivel sedimentario de material fino que se ha asociado a una unidad de media a baja importancia hidrogeológica.

E. Perfil Hidrogeológico E-E

Este perfil tiene una longitud de aproximadamente 45 Km. y una orientación principal SurOeste-NorEste. La escala de trabajo utilizada permite obtener una descripción de mayor detalle de la configuración en sub-superficie de las unidades hidrogeológicas reconocidas en la zona de estudio.

En el extremo SurOeste se determinó que a nivel regional el pozo 187 (ND-0901-2086) se emplaza en una unidad geológica que corresponde a sedimentos glacio-lacustres, conformados principalmente por arcillolitas, arenas y conglomerado, calificados como unidad de media baja importancia hidrogeológica. Sin embargo, localmente se emplaza en depósitos fluviales-aluviales asociados al cauce del río Huequén, los cuales consisten en arenas y gravas y por lo tanto se han definido como de alta importancia hidrogeológica. Esta última unidad se extiende en profundidad hacia el N, reconociéndose entre 20 y 40 m bajo la superficie del terreno.

La mayor parte de la superficie que cubre este perfil se encuentra conformada por una unidad de media a baja importancia hidrogeológica conformada por sedimentos de origen glacio-lacustre, mientras que bajo las arenas y gravas se reconoció otra unidad de semejante características hidrogeológicas, que consiste en un potente estrato de arcillas de alta plasticidad, la cual podría tener un origen lagunar, ya que en algunos pozos se detectó presencia de materia orgánica.

Finalmente los sondeos 44 (ND-0802-3595) y 199 (ND-0901-2300) detectaron roca a los 20 m y 70 m, respectivamente que, en el evento de tener extensión regional constituiría el basamento rocoso o acuicludo de nula importancia hidrogeológica. Considerando la morfología de la superficie del terreno se presume una profundización de esta unidad hacia el NorOeste, en la dirección principal de la red de drenaje.

F. Perfil Hidrogeológico F-F

Este perfil tiene una dirección casi Norte-Sur y se extiende por aproximadamente 60 Km. En el sector Norte y central del mismo es posible reconocer en superficie



depósitos de arenas medias, finas y ocasionalmente gravas y bolones, que conforman un extenso abanico aluvial originado por depositación entorno a los cauces que se ubican entre los ríos Laja y Bío Bío. Estos depósitos se asimilan a la unidad de alta importancia hidrogeológica.

En el sector sur del perfil, en cambio, priman en superficie depósitos con alto contenido de finos como limos y arcillas, que tienen un origen glacio-lacustre, y se asocian a la unidad de media a baja importancia hidrogeológica. En los sondeos 87 (ND-0802-420) y 77 (ND-0802-4005) la existencia de esta unidad queda evidenciada además por la surgencia que se indicó en estos dos sondeos.

Cabe señalar que la información estratigráfica de los pozos 258 y 259 (expedientes VPC-0802-5 y VPC-0802-6, respectivamente) no se utilizó en la elaboración de los perfiles por cuanto resultó ser poco precisa o inconsistente con la de los pozos adyacentes.

En este sector, la unidad antes descrita sobreyace a sedimentos conformados por arenas, las cuales se asocian a la unidad de alta importancia hidrogeológica.

Finalmente se puede indicar que ninguno de los sondeos analizados alcanzó al basamento rocoso impermeable, no obstante en los sondeos 103 (ND-0802-571) y 125 (ND-0802-807) se reconoció un nivel rocoso, aproximadamente entre los 14 y 16 m de profundidad, que por ser una condición muy local no se dibujó en el perfil.



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

**Figura N° 13.11. Ubicación de Perfiles Hidrogeológico
SE PRESENTA EN FORMATO AMPLIADO**

Fuente: DGA

13.2.4 Unidades Geomorfológicas y Estratigráficas Río Laja

A continuación, se presentan las unidades geomorfológicas identificadas en el río Laja, las cuales han sido inferidas a partir de los antecedentes recopilados por este consultor.

El artículo de la Revista Geológica de Chile presentado en diciembre de 1998, titulado “Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja”, indica que en este sector del río, se ha determinado como una serie de unidades geológicas de relleno cuaternarias que controlan sus principales características geomorfológicas. Estas unidades corresponden, esencialmente, a depósitos volcanoclásticos, tanto consolidados como no consolidados, gran parte de los cuales (exceptuando las estructuras volcánicas) conforman un gran abanico desde el tramo superior del valle hasta bien al oeste dentro de la Depresión Central. La mayoría de estos materiales están asociados a una intensa actividad volcánica pleistocena y se interdigitan hacia el oriente con bancos de lavas, ignimbritas escoriáceas y depósitos laháricos ligados a los diferentes centros de emisión.

Entre las grandes unidades geológico-geomorfológicas del valle superior del río Laja se distinguen: rocas volcánicas pleistocenas de los Estratos de la Cordillera Lagunillas, del Cerro Pan de Azúcar y del Complejo Volcánico Sierra Velluda; el cono poligénico de Quilleco; el volcán Antuco y el depósito de avalancha volcánica de este último. Estas cuatro unidades configuran los rasgos morfológicos mayores del área, y se disponen en discordancia sobre un relieve abrupto y un valle Laja primigenio, labrado por glaciaciones y erosión fluvial, tanto en rocas estratificadas terciarias (formaciones Cura-Mallín y Trapa-Trapa) como en rocas graníticas terciarias (Niemeyer y Muñoz, 1983).

También, se reconocen otras unidades de relleno menores, conformadas por materiales detríticos y volcanoclásticos no consolidados, que revelan la ocurrencia de otros importantes procesos volcánicos y fluviales postglaciales, ligados a la evolución prehistórica del volcán Antuco, el cual se edificó en las nacientes del valle del río Laja.

Las unidades cuaternarias reconocidas han sido definidas considerando su posición crono-estratigráfica relativa, los constituyentes, la geomorfología y los eventos o procesos dinámicos con los cuales están genéticamente asociados. Las descripciones de las diversas unidades, tanto de las cuatro grandes unidades como de las unidades de relleno menores, se realizan en un orden crono-estratigráfico decreciente.

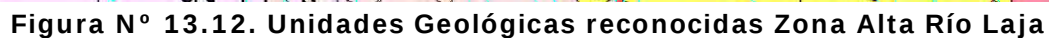


GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

Las rocas volcánicas pleistocenas más antiguas se disponen estratificadas con inclinaciones primarias de hasta 15° y se observan en las cumbres inmediatamente al norte y sur de los flancos respectivos del valle del río Laja. Estas rocas corresponden a secuencias de lavas, brechas volcánicas, conglomerados e ignimbritas, principalmente de composición basáltica a andesítica, muy desgastadas por la acción erosiva de las glaciaciones pleistocenas.



Principales Unidades: Q3av:Cuaternario; OM2c:Oligoceno-Mioceno; PPI3:Plioceno-Pleistoceno; Mg:Mioceno; CPg:Carbonífero-Pérmico; Q1:Pleistoceno-Holoceno; PI3t:Pleistoceno
Fuente: Mapa Geológico de Chile – SERNAGEOMIN

Los estratos de la Cordillera Lagunillas y del cerro Pan de Azúcar se interpretan como secuencias de lava e ignimbritas escoriáceas, que engranan hacia el occidente con materiales volcanoclásticos que representan las típicas facies mixtas medias y distales de deposición continental de un arco volcánico. Esta interpretación es avalada por dos sondajes efectuados por la Empresa Eléctrica Colbún-Machicura S.A., en el sector de Esperanza (flanco sur del valle del río Laja), los cuales revelan la existencia en profundidad, de horizontes de lavas alternando con niveles de sedimentos de mediana a baja consolidación. Estas facies mixtas medias y distales se exponen, claramente, en el denominado Cono Poligénico de Quilleco, que forma un gran abanico dentro de la Depresión Central y que se describe más adelante.

Figura N° 13.13. Ubicación de Sondajes - Cono Poligénico de Quilleco - Zona Alta Río Laja

Fuente: Elaboración Propia



En relación a la zona del Cono poligénico de Quilleco (QPcq1, QPcq2), este fue definido por Varela y Moreno (1982) y corresponde a un extenso abanico que se extiende hacia el oeste dentro de la Depresión Central, el cual está formado por materiales que representan las facies mixtas volcanoclásticas y sedimentarias de engrane con las secuencias de rocas volcánicas pleistocenas descritas anteriormente. Está integrado por dos unidades: una inferior eminentemente volcanoclástica (QPcq1) y una superior constituida por depósitos fluviales e intercalaciones volcanoclásticas distales (QPcq2).

La unidad inferior (QPcq1) corresponde a un conjunto de ignimbritas escoriáceas, con intercalaciones de tobas, brechas y conglomerados

consolidados (probablemente facies laháricas distases) que, localmente, muestran inclinaciones primarias de hasta 12°.

Esta sucesión de niveles volcanoclásticos consolidados que afloran en el sector central y occidental del área alta del río Laja incluye el extenso depósito ignimbrítico denominado en la literatura 'lahar' (MacPhail, 1966) o 'banco del Laja' (Brüggen, 1914), el cual ha sido objeto de numerosos estudios y descripciones desde mediados del siglo pasado. En el presente informe, al 'lahar' o 'banco del Laja', propiamente tal, se le identifica como una de las ignimbritas escoriáceas consolidada mayores de la unidad inferior, o secuencia basal del Cono de Quilleco, que alcanzó y se extendió hasta la Depresión Central.

En la localidad de Mirrihue, por ejemplo, hay cuatro 'bancos del Laja', que corresponden a flujos piroclásticos escoriáceos consolidados alternados con conglomerados volcánicos de origen lahárico, oleadas de piroclastos y gravas de bolones intercalados. De forma similar, Brüggen (1914) describió a la capa 'banco del Laja', como una secuencia compuesta de cuatro horizontes conglomerados volcánicos que alcanza un espesor de más de 40 m en una localidad bastante más al sur del área estudiada (150 km al suroeste), y que no dudó en identificarla con el banco del Laja que aflora en este lugar.

Por otra parte, el afloramiento de Mirrihue es muy similar a la secuencia basal del cerro La Meseta, ubicado al oeste de la confluencia de los ríos Rucúe y Laja, formada por una serie de estratos eminentemente volcanoclásticos, constituidos por ignimbritas y brechas conglomerádicas laháricas.

En La Meseta, la secuencia volcanoclástica aumenta notablemente de espesor. La base, en su conjunto, forma una terraza inclinada de abrasión. Bajo ella, afloran depósitos glacialacustres y, en consecuencia el primer flujo volcanoclástico se depositó sobre estos sedimentos. En este lugar también ocurren varios bancos, algunos de los cuales se podrían correlacionar con la ignimbrita del Salto del Laja en la Depresión Central.

Hacia el este de La Meseta y al suroeste de Mirrihue, en el cerro Llanqui se observa un afloramiento de 100 m de espesor, donde aparece la secuencia volcanoclástica basal (Opcq1) engranando con un mayor número de facies fluviales (ambiente deposicional más lateral), las cuales aumentan su predominancia hacia arriba. En la base y con 20 m expuestos, aparece la típica secuencia consolidada del 'banco del Laja', formada esencialmente por material piroclástico (clastos subredondeados a angulosos en una matriz de ceniza gris). Este sector está formado por gravas gruesas de bolones fluviales con un espesor de 25 m, intercalados con niveles que poseen una matriz piroclástica que, incluso, contiene pómez. Hacia arriba continúa un horizonte delgado de ceniza ocre de entre 1 a 0,5 m, sobre el cual se desarrolla una secuencia netamente volcanoclástica de 30 m de espesor, que comprende niveles tobáceos bastante

competentes de color blanquecino. Hay gravas fluviales intercaladas dentro de esta masa tobácea volcanoclástica. En la parte superior, afloran depósitos elásticos estratificados de 25 m de espesor, a manera de un sombrero de gravas de bolones fluviales. Estos últimos niveles corresponden a la unidad o secuencia superior del Cono de Quilleco (QPcq2).

Cabe señalar que la parte superior de estos depósitos cuaternarios aparece comúnmente representada por los denominados 'rodados multicolores' (Hauser, 1986), que corresponden a depósitos elásticos alterados por intemperización química. La mayor expresión de los rodados multicolores, en consecuencia, ocurre sobre el Cono de Quilleco, particularmente en la superficie de la unidad superior, aunque también se han originado sobredeslizamientos o en cualquier material clástico relativamente antiguo. La superficie del Cono de Quilleco está cubierta por un manto de depósitos de flujos piroclásticos postglaciales descompuestos, que alcanzan hasta 5 m de espesor, particularmente hacia el este, los cuales se analizan más adelante (Qdp).

Unidades Geológico – Geomorfológicas de Relleno del Tramo Superior del Valle del Río Laja

Terrazas poligénicas de Altos de Antuco (Qtaa):

Corresponden a depósitos polimícticos de gravas y gravas arenosas, gruesas fluviales con intercalaciones de arenas moderadamente consolidadas. Contienen, también, niveles con materiales volcanoclásticos, tipo lahar. Estos depósitos son anteriores a los depósitos de la avalancha volcánica Antuco y configuran el nivel de terrazas más antiguo del valle del Laja, a un espesor de 80 m sobre el lecho del cauce actual. Se reconocen, preferentemente, adosados a los flancos de los cerros del borde sur del valle. Su mejor desarrollo se conserva en la localidad de Altos de Antuco, La Esperanza y La Fortuna, en la salida del río Rucúe al valle del Laja. En Altos de Antuco, estas gravas fluviales tienen un espesor mínimo de 50 m y están depositadas sobre rocas del miembro Río Queuco de la Formación Cura-Mallín (Niemeyer y Muñoz, 1983). En general, se trata de gravas de bolones, gravas gruesas arenosas e intercalaciones de arenas, moderadamente consolidadas, con bastante limolita y de color amarillento. En el flanco izquierdo del valle del río Rucúe, en su salida al valle del Laja y a orillas de la ruta Q-45, están las mismas gravas gruesas fluviales, con intercalaciones de arenas moderadamente consolidadas, con un espesor mínimo de 20 m. En este lugar, se observan clastos auto-soportados, pobremente seleccionados, principalmente de origen volcánico y algunos de intrusivos. En ellos, es común reconocer horizontes con estratificación cruzada, canales y clastos imbricados. Encima de las terrazas poligénicas de Altos de Antuco se reconocen, además de los depósitos de la avalancha volcánica de Antuco, los depósitos de arenas basálticas y gravas finas compactas de color gris oscuro, pertenecientes a las Arenas Negras de Trupán-Laja. Estos niveles de terrazas antiguas, también,



GOBIERNO DE CHILE

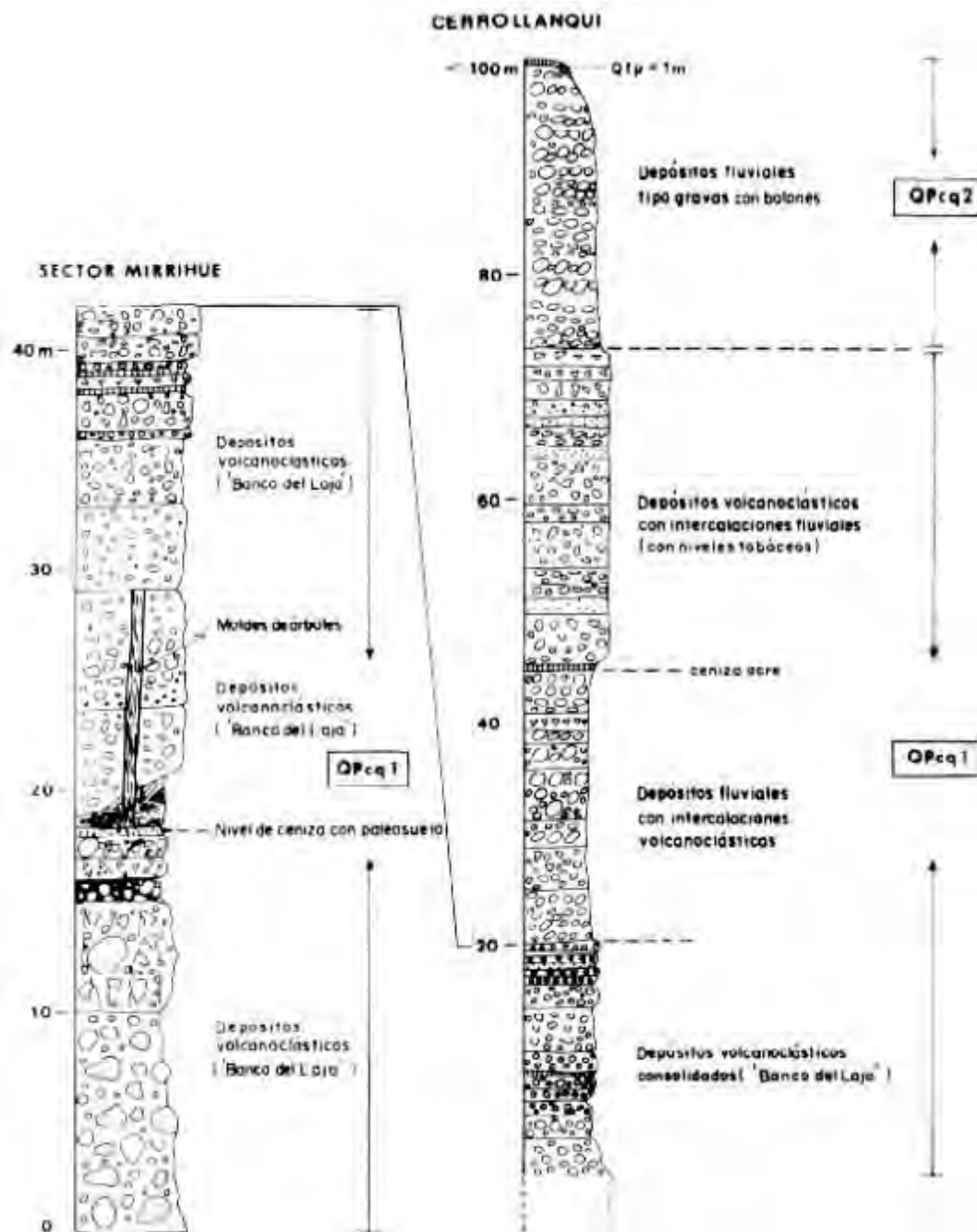
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

están representadas en el valle del río Rucúe, en donde alcanzan 60 m sobre el cauce actual. Al igual que en el valle del Laja, corresponden a depósitos de gravas y gravas arenosas y, excepcionalmente, arena, limo y/o arcilla. Los bolones fluviales, corresponden, principalmente, a rocas volcánicas y, en menor proporción, a rocas graníticas.

Figura N° 13.14. Columnas estratigráficas comparadas de la Unidad del Cono Poligénico de Quilleco (QPc1; QPc2).

Fuente: Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja



Los depósitos de Arenas Negras de Trupán-Laja (Qantl): En el tramo superior del valle del río Laja destaca un notable horizonte de arenas basálticas y gravas muy finas angulosas, moderadamente consolidadas, de color gris oscuro, intercaladas con niveles de gravas aluvionales, que alcanzan hasta 40 m de espesor, cuyo techo está cubierto hasta por tres horizontes de flujos piroclásticos descompuestos. Estos depósitos son primarios y han sido denominados, en el área estudiada, Arenas Negras de Trupán-Laja. Anteriormente, Brüggén (1914) las denominó 'las arenas oscuras del valle del Laja' y las atribuyó al volcán Antuco. En el llano, la actividad eólica las habría retransportado formando extensos campos de dunas. En Trupán, camino al cementerio, la oleada del Laja remontó la pequeña cuenca del río homónimo. Aquí el horizonte de arenas y gravas muy finas angulosas alcanza una potencia del orden de los 6 m. Comprende tres niveles arenosos de 1 a 1,5 m de espesor cada uno, separados por dos depósitos de cenizas finas ocreas de menos de 0,5 m cada uno. Las gravas arenosas contienen líticos angulosos imbricados de 2 a 30 mm de diámetro (aunque ocasionalmente se observaron bloques aislados e imbricados de hasta 30 cm de diámetro de rocas volcánicas modernas y líticos accidentales descompuestos), con una típica estructura ondeada y de estratificación entrecruzada, en una matriz de arenas gruesas, angulosas, compuestas por fragmentos de plagioclasa, olivino, piroxeno y vidrio escoriáceo basáltico. En el sector de Mirrihue, adosada a un pequeño afloramiento de roca fundamental y a secuencia inferior del cono poligénico de Quilleco) (QPcq1), está expuesta una terraza (cola 520 m) formada por las gravas finas arenosas grises de más de 2,5 m de espesor. Sus características son idénticas a las del sector de Trupán, por lo cual corresponden a la misma unidad (Qantl). Sobre este horizonte, se ha desarrollado un suelo residual cubierto por depósitos de flujos de detritos recientes del valle del Laja (Qfd), descritos más adelante. En Las Mercedes, a orillas del camino antiguo, aflora un nivel aterrazado con las gravas arenosas angulosas grises, con dos intercalaciones delgadas de cenizas ocreas (<20 cm). La alternancia es similar a la observada en la sección del horizonte expuesto en Mirrihue y Trupán, por lo cual son correlacionables. Dentro de este horizonte se encontró un bloque de 1,5 m de diámetro, lo que demuestra la gran energía de transporte de este material. Este depósito, también, tiene encima un suelo residual de 20 a 30 cm de espesor. En el camino a Peralillo, el depósito de oleada piroclástica formado por arenas y gravas finas angulosas alcanza la mayor potencia observada en el área, la cual sería del orden de 40 m de espesor. Está formado por sucesivos pulsos difíciles de individualizar, cada uno de los cuales varía desde 10 cm hasta 2,0 m de espesor y son notables las estructuras onduladas y de laminación regímenes deposicionales varían, transicionalmente, de laminar a turbulento. Se pueden observar paleocanales de erosión simultáneos con la deposición, donde se encajan los flujos uno sobre el otro. Tienen diferente granulometría desde arenas hasta gravas con clastos angulosos

y subredondeados de hasta 10 cm de diámetro. Los niveles de arenas con estructuras entrecruzadas, con fuerte laminación, mala selección del material (incluyendo clastos angulosos) y acuñamientos, revelan un proceso turbulento de transporte. Es posible reconocer pulsos de gravas angulosas con abundante matriz arenosa y otros típicamente hiperconcentrados. En efecto, algunos niveles de hasta 2,0 m de espesor, tienen gradación inversa en la base (0,5 m), una zona más gruesa hacia arriba con una mayor concentración de clastos, aunque soportados en una matriz rica en clastos angulosos imbricados (0,5 m) y un horizonte con gradación normal en la parte superior (1,0 m), lo cual asemeja un depósito de flujo de detritos laminar tipo lahar. Los diversos pulsos están separados por niveles muy delgados limo-arcillosos subhorizontales a inclinados, los cuales representan lapsos de deposición y cuya inclinación revela una alta energía de transporte. En cuanto a la composición, se trata de material volcánico tipo arena basáltica (con fragmentos de plagioclasa, olivino, piroxeno y vidrio escoriáceo basáltico), aunque se reconocen fragmentos de pómez de hasta 2 cm de diámetro (cuya concentración alcanza hasta un 5% del depósito en algunos niveles) y, ocasionalmente, clastos de granitoides. El depósito tiene en superficie, un suelo residual de 50 cm de espesor.

A. Depósitos de flujos piroclásticos (Qfp):

Bajo esta denominación se han agrupado los materiales de origen piroclástico, que cubren prácticamente toda el área alta del río Laja, con un espesor que aumenta hacia el este y en los sectores más deprimidos y que tiene un máximo observado de hasta 5 m. Se identificaron, a lo menos, tres depósitos de flujos piroclásticos cuyo espesor individual no supera los 2 m, localmente separados por depósitos de corrientes de barro o coluvios. Se trata de materiales volcanoclásticos formados por abundante ceniza (<90%), con fragmentos juveniles escoriáceos y pumíceos (<10%), además de líticos variados, volcánicos y accidentales (<10%), de hasta 5 cm de diámetro. Los depósitos son homogéneos, sin ordenamiento interno, lo cual revela un régimen de transporte de tipo flujo laminar, tipo flujo piroclástico. La intemperización química los ha descompuesto a suelos residuales arcillosos, de color pardo, conocidos en el sur de Chile con el nombre mapuche de 'trumao'. Su origen está asociado a la actividad volcánica del volcán Antuco 2, que se edificó en el interior de la caldera que se formó cuando culminó la evolución del volcán Antuco 1.

B. Terrazas poligénicas bajas de Antuco (Qtba):

Corresponden a depósitos aterrizados de gravas, gravas arenosas y arenas con rosarios de bolones fluviales, con intercalaciones de materiales aparentemente volcanoclásticos (tipo lahar), sobre los cuales se asienta el pueblo de Antuco. Estas terrazas poligénicas se encuentran encajadas en el valle actual, adosadas a los flancos de los cerros, y evidencian los cambios cismáticos recientes en el nivel base del río Laja. A lo largo de la vertiente sur del valle se distinguen, al

menos, dos niveles disectados por el curso del río. En su parte basal están compuestas de gravas finas, medias a muy gruesas, clasto a matriz-soportadas de líticos volcánicos y, en menor proporción, de rocas graníticas, generalmente mal seleccionadas. Limos y/o arcillas están presentes en muy poca cantidad, lo que señala, en general, la predominancia de un sistema fluvial con un alto régimen de flujo. También como testigos de este régimen está la presencia de numerosas estructuras de canales rellenos ('scour and fill'), que caracterizan la parte basal de estas terrazas. Encima de estas terrazas aparecen, localmente, horizontes lenticulares, arealmente pequeños, de arenas epiclásticas negras, iguales o similares a las que se reconocen en los depósitos de las Arenas Negras de Trupán-Laja (arenas del Laja), en espesores variables, pero delgados. No se trataría de depósitos primarios, sino de depósitos de las arenas de Trupán-Laja retrabajadas por procesos fluviales más recientes. Igualmente, se reconocen en la parte superior de estas terrazas, depósitos delgados y bastantes extendidos de flujos de detritos, que en este estudio han sido diferenciados como los 'depósitos de flujos de detritos del valle del Laja' (Qfd), que son posteriores a las Arenas Negras de Trupán-Laja (Qantl).

Depósitos de flujos de detritos del valle del Laja (Qfd):

En el valle del Laja se identificaron tres depósitos de gravas arenosas finas a gruesas, de muy mala selección, que rellenan el piso del valle como también recubren, localmente, algunas terrazas laterales más altas, inclusive las terrazas de las Arenas Negras de Trupán-Laja. Estas características revelan que se trata de depósitos de flujos de detritos con una alta energía de transporte. Según descripciones anteriores de otros autores, corresponderían a deposiciones clasificadas como 'aluvionales', y se trataría de varios episodios sucesivos. Cerca del cementerio de Trupán, y sobre las Arenas Negras de Trupán-Laja, se observó un depósito caótico, de más de 1 m de espesor, de arena, gravas medias y bolones, el cual correspondería a un primer flujo de detritos. Se trataría, en este caso, de uno de los mayores depósitos de flujos de detritos recientes del Laja, puesto que tuvo la capacidad de remontar hasta 30 m sobre el piso actual del valle. En el sector de Mirrihue, encima de las Arenas Negras de Trupán-Laja, se reconoce una sección de depósitos clásticos caóticos que son atribuidos a estos depósitos de flujos de detritos del valle del Laja.

Figura N° 13.15. Columna de la cantera de Mirrihue. Depósitos de flujos de detritos del valle del río Laja sobre una terraza de las arenas Negras de Trupán-Laja. 'Aluvión 1': grava de mala selección, clastos angulosos de hasta 5 cm en matriz de arena gruesa basáltica; ocasionalmente, bloque de 1,5 m de diámetro. 'Aluvión 2': depósito grueso de grandes bloques de matriz gruesa, angulosa polimíctica, rica en líticos (10 % de roca fundamental) y con diversidad de material volcánico (90 %).

Fuente: Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja

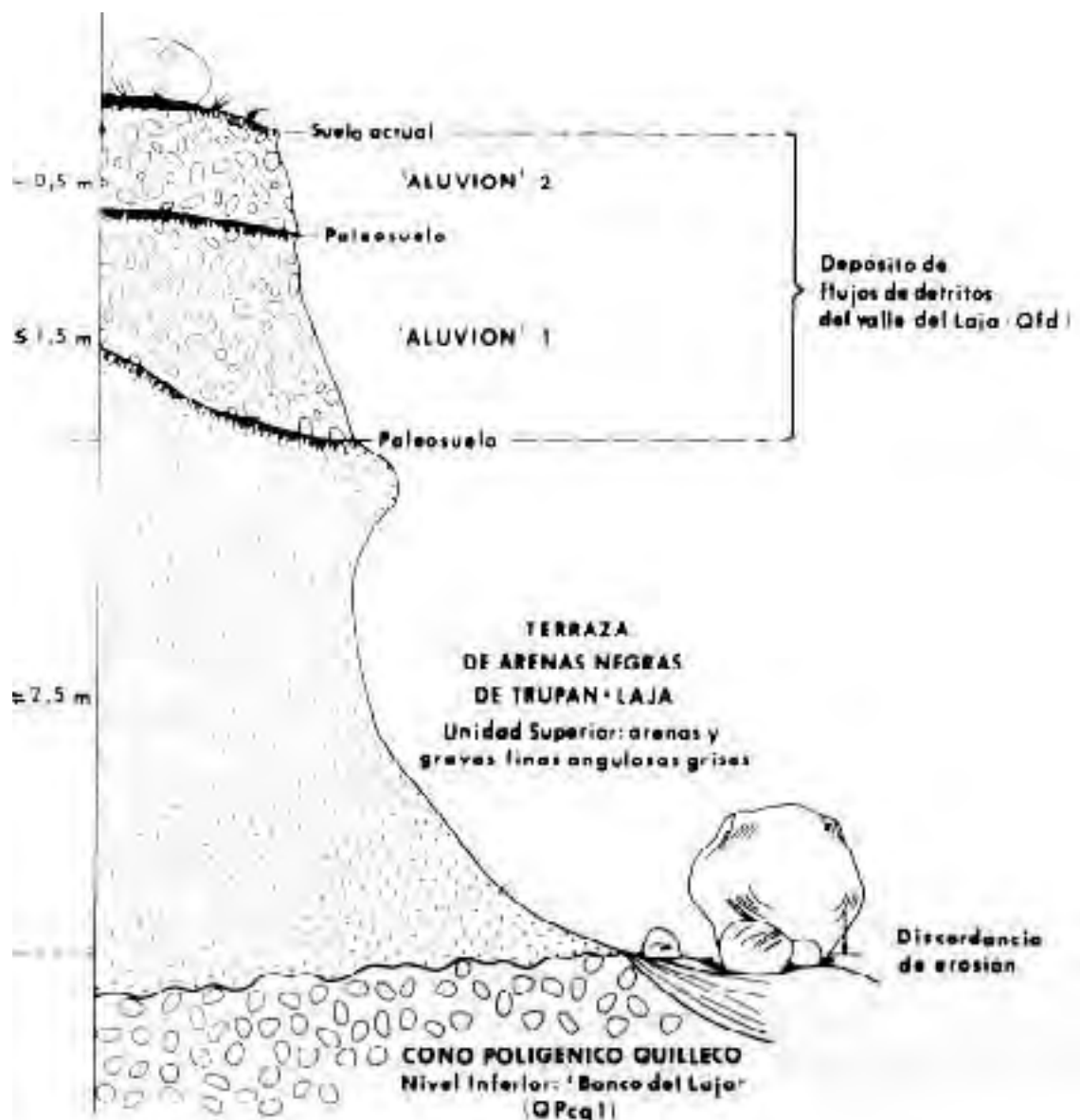


Figura N° 13.16. Columna en cantera a 3 km al este de Villa Las Mercedes: 'Aluvión 1'; pulso a- horizonte bastante caótico, gris oscuro, con gradación inversa tipo lahar: matriz arenosa con clastos angulosos y redondeados, líticos tableados e imbricados; clastos de hasta 70 cm; pulso b- horizonte con clastos redondeados y angulosos de hasta 60 cm de diámetro; matriz bastante oxidada; polimíctico, pero con predominio de material volcánico, cierta imbricación. 'Aluvión 2'; pulso a- grava arenosa con clastos menores de hasta 30 cm de diámetro; matriz-soportada, homogéneo, sin imbricación ni ordenamiento de los clastos, bastante material redondeado; pulso b- depósito caótico; color gris amarillento por oxidación. Clastos redondeados, polimícticos e imbricados. 'Aluvión 3'; grava gris oscura; imbricación desordenada en la parte media del horizonte, con mucha arena y mala selección, arena fina hacia el techo.

Fuente: Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja

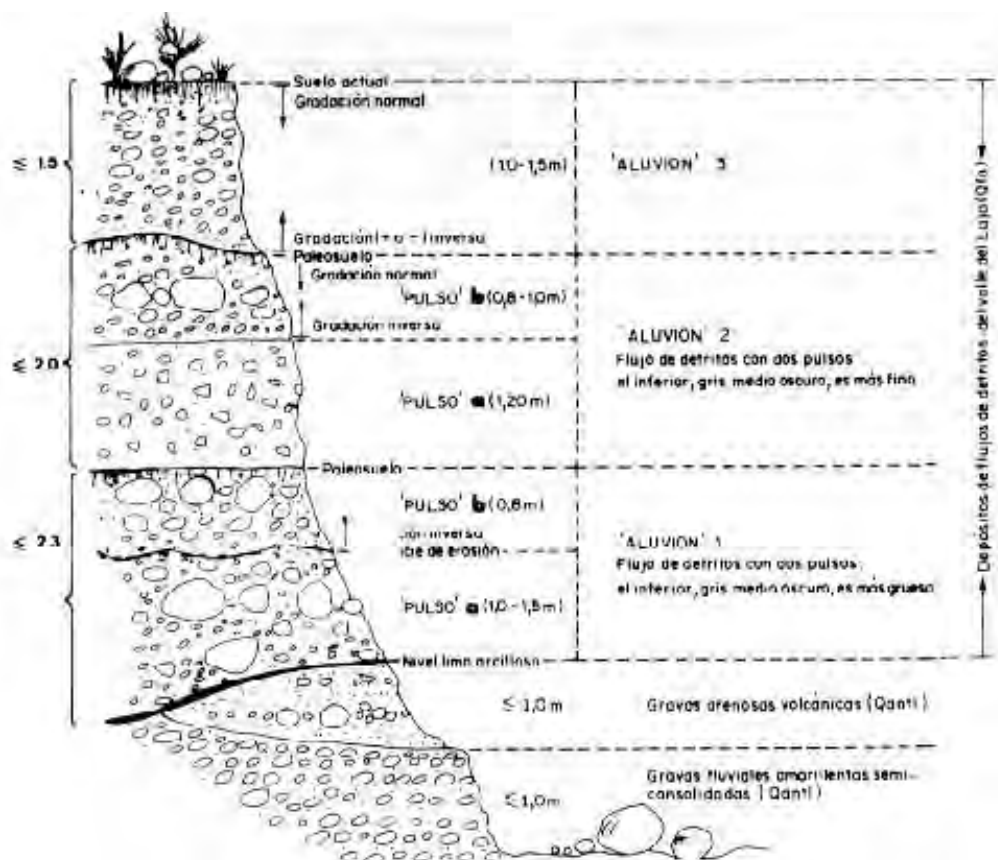


Figura N° 13.17. Ubicación Zona de Cantera Villa Las Mercedes

Fuente: Elaboración Propia



En su descenso por el valle del Laja estos flujos removieron, también, parte del material de la avalancha volcánica de Antuco y a los depósitos primarios de las Arenas Negras de Trupán-Laja, acarreando grandes volúmenes de este material volcánico hacia la Depresión Central.

Los Depósitos de Remoción en Masa (Qrm):

La mayoría de los derrumbes o remociones en masa observados en el área son muy recientes y ocurren en unidades de baja o sin consolidación. En el caso de las caídas de bloques, desde farallones constituidos por rocas de la Formación Cura-Mallín, los depósitos son arealmente pequeños, formados casi enteramente por bloques de diferentes tamaños originados por desintegración de las estructuras del bloque caído. Sólo al norte del pueblo Polcura, se reconoce un deslizamiento importante, relativamente más antiguo, que está constituido por rocas más blandas y deleznales de la Formación Cura-Mallín, totalmente perturbadas, formando lomajes suaves. Este deslizamiento alcanza hasta las terrazas fluviales más recientes y se extiende por encima de los depósitos de flujos de detritos del valle del Laja. Sus depósitos cubren una superficie de alrededor de 15 km²; tienen un espesor mínimo de 10 m y están constituidos por un material, predominantemente, de grano fino, con cantidades variables de fragmentos, principalmente volcánicos, del tamaño gravas y bloques. En la parte alta del depósito, sin embargo, son abundantes los bloques de andesitas basálticas, de 1 a 3 m³ de volumen, provenientes de los estratos pleistocenos

asignados al centro emisor Cordillera Lagunillas, que se extienden por encima de los estratos del Miembro Río Queuco en este sector.

Figura N° 13.18. Perfiles esquemáticos transversales al valle del río Laja, representativos de tres sectores, que muestran la relación temporal, espacial y morfológica de las principales unidades de depósitos cuaternarios en el tramo superior del valle del río Laja.

Fuente: Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja

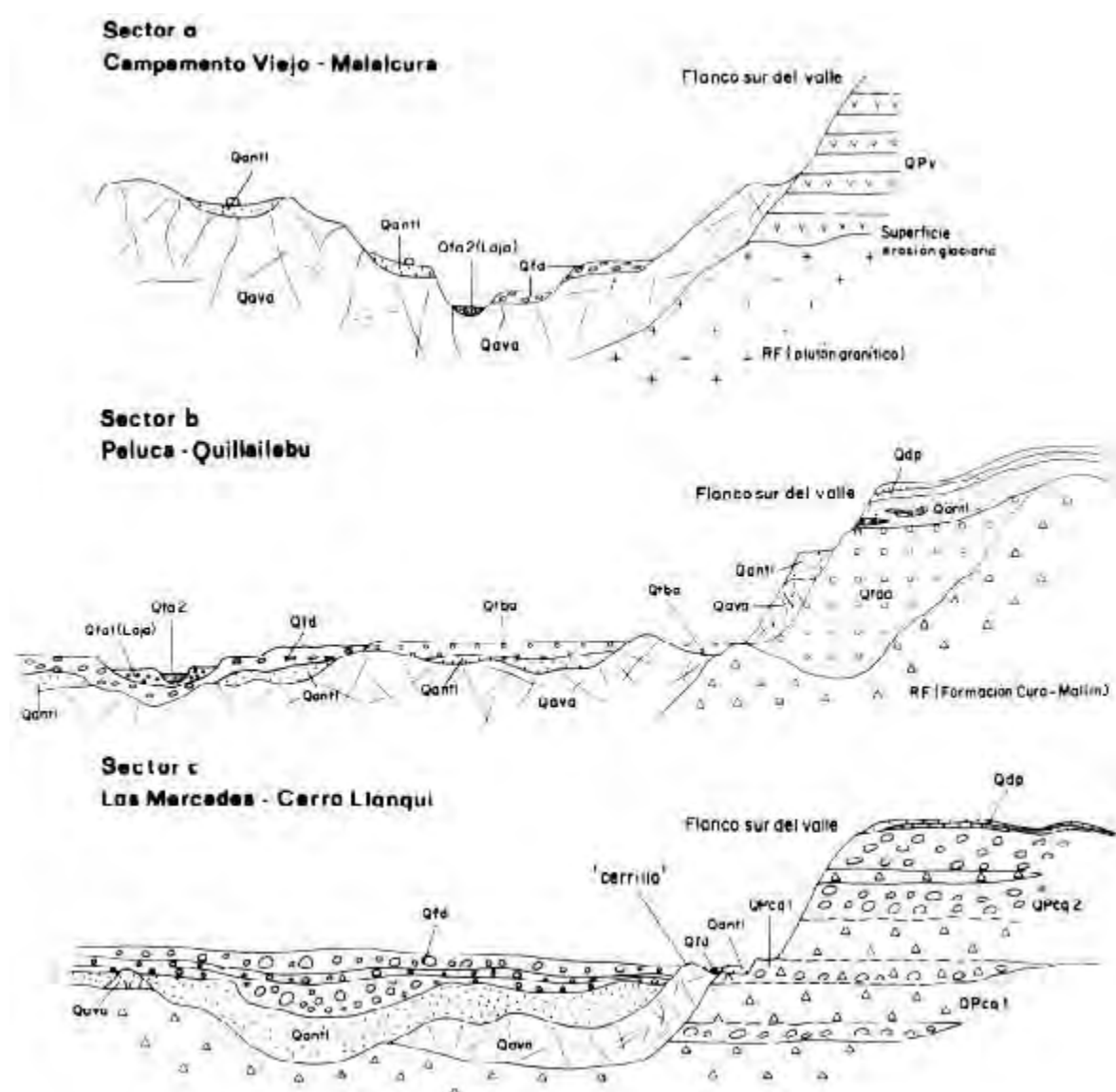


Figura N° 13.19. Ubicación Río Queuco – Cordillera Lagunillas

Fuente: Elaboración Propia



13.3 ANÁLISIS CRÍTICO Y COMENTARIOS

Con la finalidad de cerrar metodológicamente los antecedentes presentados, y establecer las principales conclusiones relativas a la composición de las columnas estratigráficas del río Biobío, se incorpora el presente capítulo de análisis crítico y conclusiones, lo anterior, busca en base a la información presentada en conjunto con los trabajos de prospecciones realizados, presentar una adecuada caracterización de la estratigrafía del río.

13.3.1 Zona Alta del Río Biobío

En la zona alta del río Biobío, sobre el embalse Ralco, se identifican diferentes niveles de terrazas, de extensión variable, formadas de material cuaternario (bolones, gravas y arenas), con espesores que van desde los 5 a 50 metros sobre el cauce actual del Río Biobío.

Figura N° 13.20. Zona Alta Río Biobío

Fuente: DGA

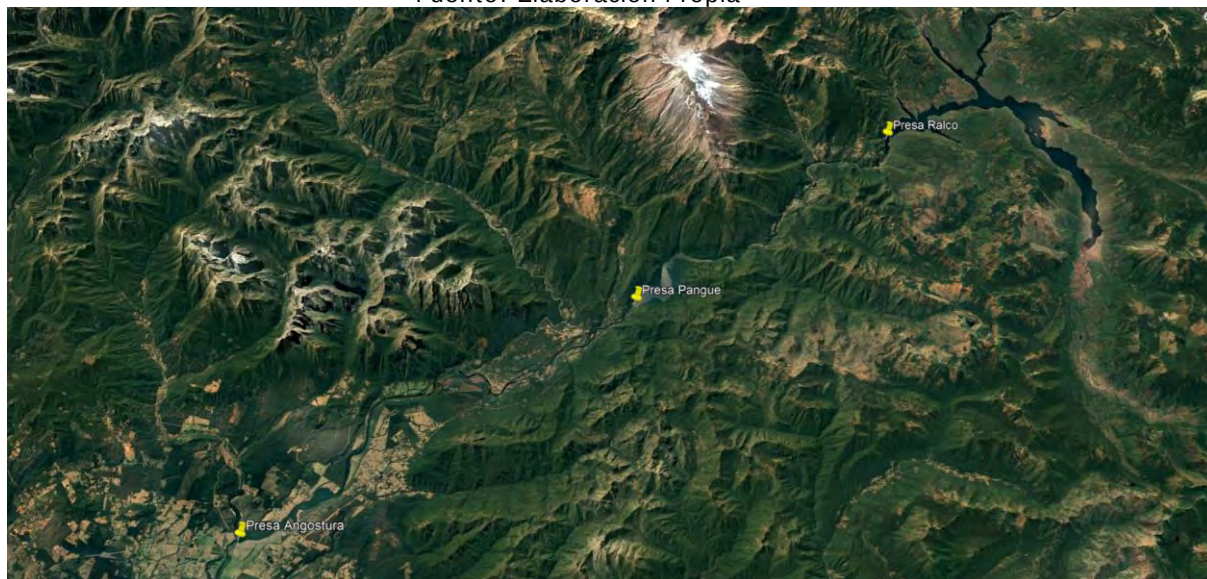


Cabe señalar, que debido a la presencia de los embalses Ralco, Pangue y Angostura, se produce una zona de poco interés para la investigación de las estratigrafías del río, principalmente, por las zonas de inundación de dichos embalses, que imposibilitan investigaciones sobre este tema en el área.

Además, en el marco del presente estudio de SAT, estas zonas no constituyen interés. Cabe señalar, que esta zona no alcanzó a ser caracterizada por el Estudio Hidrogeológico del Río Biobío de la DGA.

Figura N° 13.21. Embalses Zona Alta Río Biobío

Fuente: Elaboración Propia

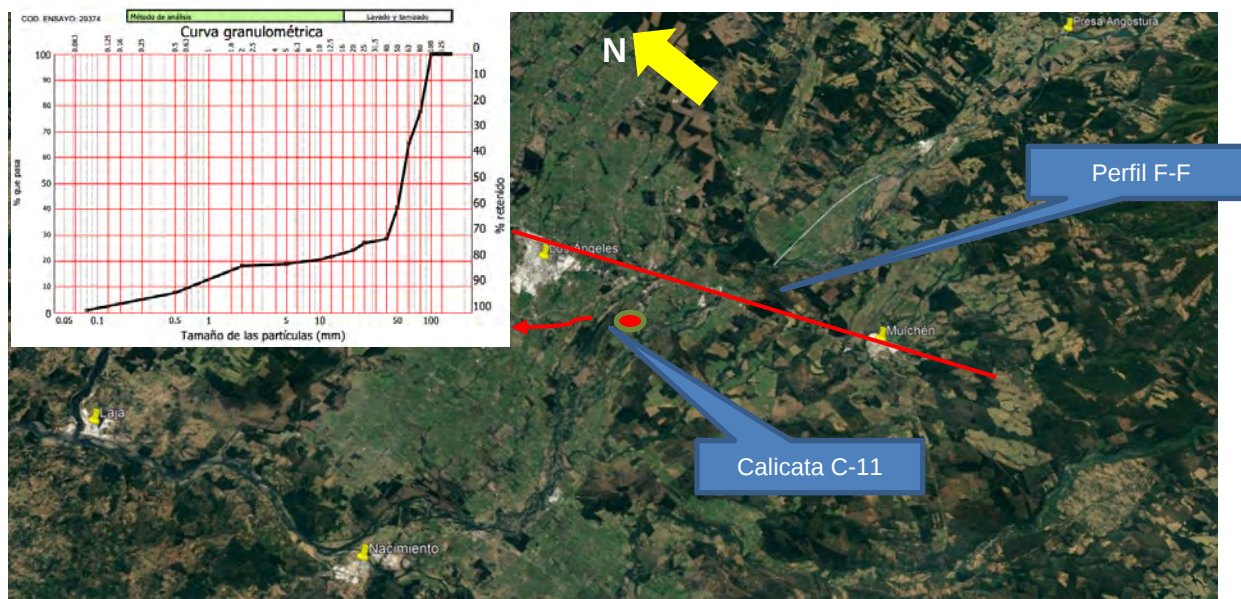


13.3.2 Zona Intermedia del Río Biobío

Aguas abajo de la zona de embalses, hasta la localidad de Mulchén, el río sigue presentando material de origen cuaternario; según lo extraído de los antecedentes presentados en el Perfil F-F del estudio hidrogeológico desarrollado por la DGA, en el sector centro sur de dicho perfil, primando en superficie depósitos con alto contenido de finos, que tienen un posible origen glacio-lacustre, además de presencia de arenas medias, finas y ocasionalmente gravas y bolones. Estos antecedentes, son consistentes con los resultados de la calicata C-11 realizada en el presente estudio, ubicada cercana a la zona descrita en el perfil. Las potencias de estos estratos se estiman en decenas de metros.

Figura N° 13.22. Estratigrafía Zona Intermedia Río Biobío – Sector Calicata C-11

Fuente: Elaboración Propia

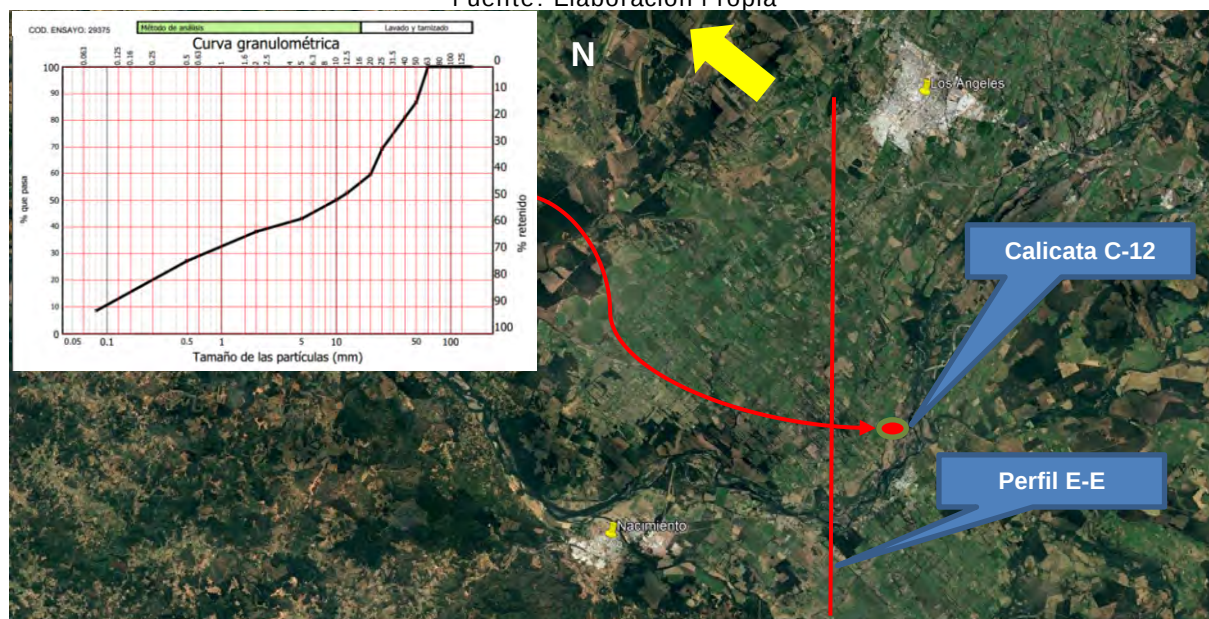


Al sur de la ciudad de los Ángeles y según el Perfil A-A del estudio hidrogeológico, el río Biobío está conformado por un alternancia de arenas gruesas, grava, ripio y mayor contenido de material fino (no superior al 20%) y ocasionalmente se describen fragmentos de roca denominados “tosca” que corresponderían a fragmentos de roca volcánica de tamaño bloque. Estos sectores, se estima presentarían espesores de más de 40 metros.

Finalmente, y según lo registrado en el Perfil E-E del estudio hidrogeológico, el río presenta una estratigrafía formada por sedimentos glacio-lacustres, conformados principalmente por arcillolitas, arenas y conglomerado, reconociéndose entre 20 y 40 m bajo la superficie del terreno. Esta caracterización, es consistente con los resultados de la calicata C-9 ubicada en el cauce en la localidad de Negrete.

Figura N° 13.23. Estratigrafía Zona Intermedia Río Biobío – Sector Calicata C-12

Fuente: Elaboración Propia

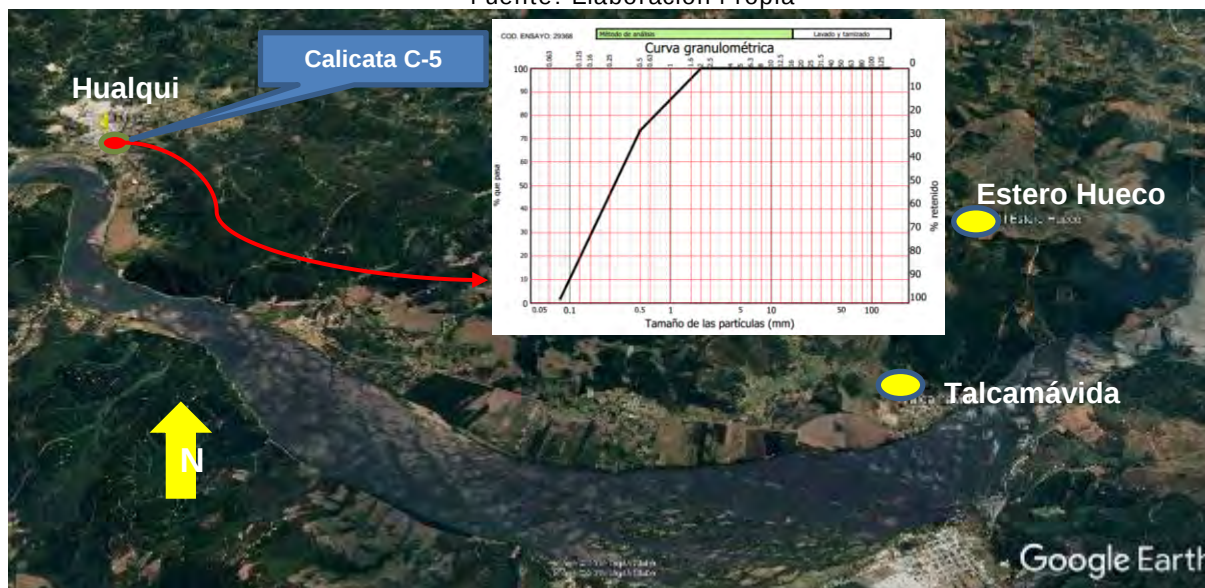


13.3.3 Zona Baja del Río Biobío

Destaca en esta zona del río, los dos perfiles desarrollados en las cercanías de Talcamávida (Estero Hueco) y Santa Juana (Localidad de Tanahuillin). En el caso del estero Hueco, se identificaron materiales arenosos y gravosos finos, con un espesor cercano a los 30 m y con presencia importante de finos, lo cual se condice con los suelos encontrados en los primeros horizontes de las exploraciones de esta zona en la campaña de prospecciones (Calicatas C-5 y C-6).

Figura N° 13.24. Estratigrafía Zona Baja Río Biobío – Sector Calicata C-5

Fuente: Elaboración Propia



Para los materiales encontrados en la zona del río cercana a Santa Juana, se estima que existe una potencia de a lo menos 205 m, constituida de materiales arenosos y alta presencia de finos, pero sin presentar plasticidad. Cabe señalar, que esta zona no alcanzó a ser caracterizada por el Estudio Hidrogeológico del Río Biobío de la DGA ni se ejecutaron calicatas de reconocimiento.

Los sectores de Hualqui y Chiguayante, están conformados por sedimentos de arenas negras finas a gruesas, con escaso índice de desgaste y de mala selección granulométrica. Los resultados del Perfil D-D del estudio hidrogeológico cercanos a este, indican que el perfil estaría conformado por arenas medias y finas, además de gravas, subyaciendo a esta unidad y a una profundidades entre 20 y 90 m se reconoció el basamento rocoso. Estos resultados también se condicen con los resultados de las calicatas realizadas, que indican una alta presencia de arenas finas.

Figura N° 13.25. Estratigrafía Zona Baja Río Biobío – Sector Calicata C-1

Fuente: Elaboración Propia

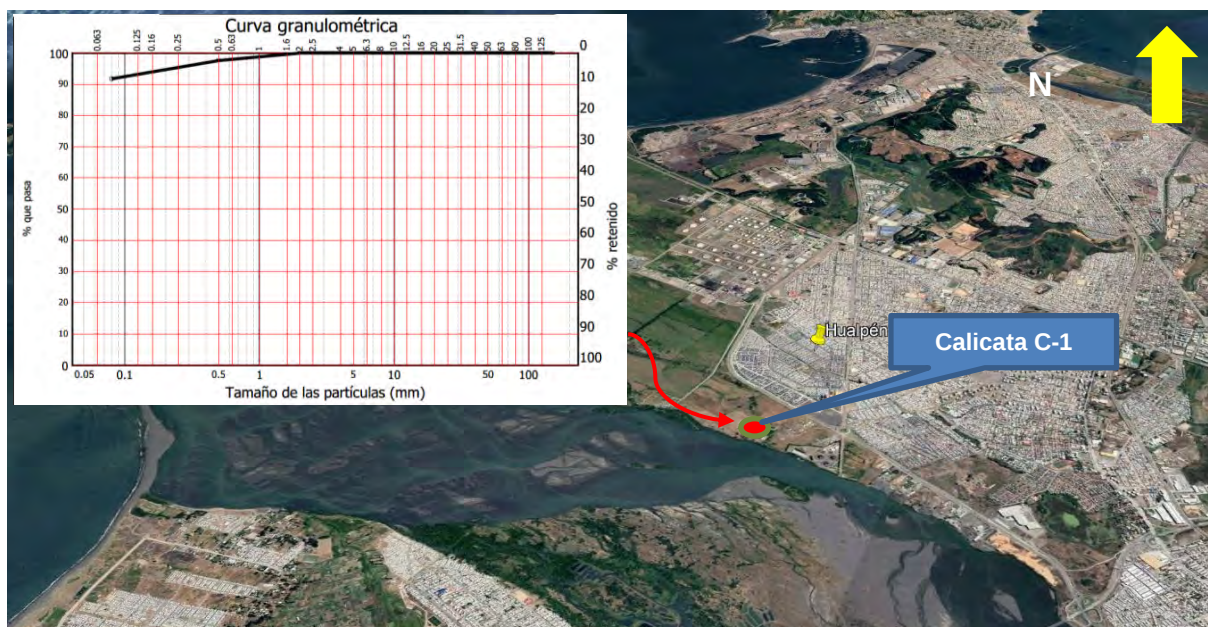
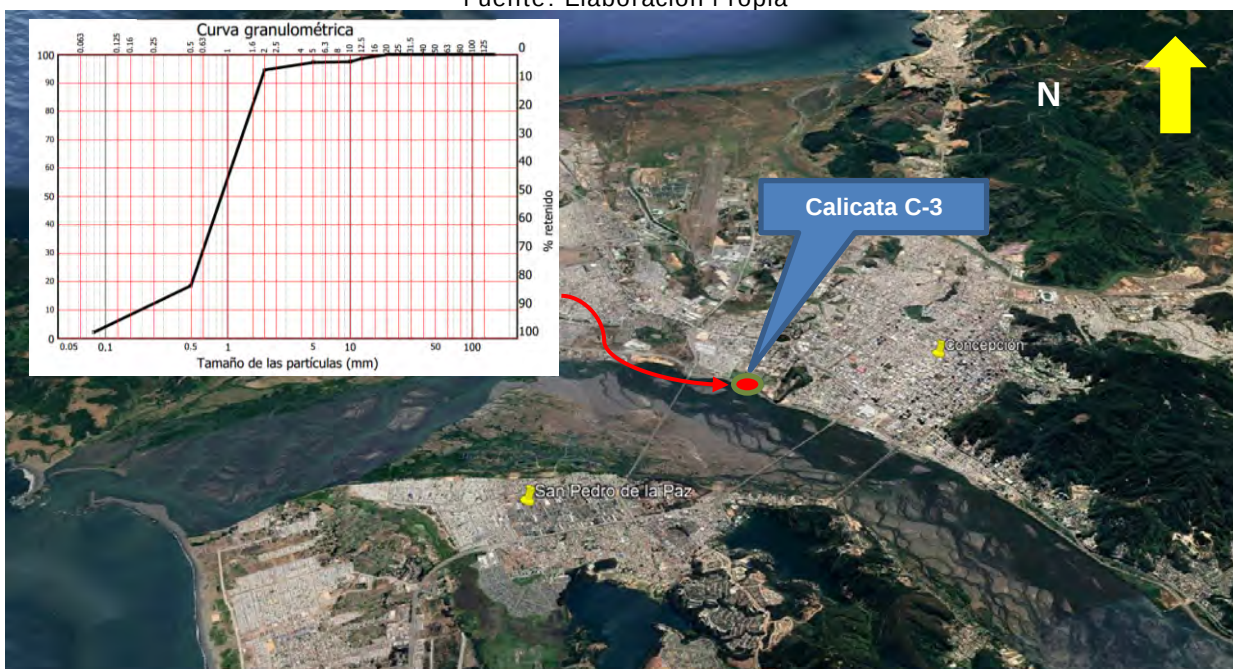


Figura N° 13.26. Estratigrafía Zona Baja Río Biobío – Sector Calicata C-3

Fuente: Elaboración Propia

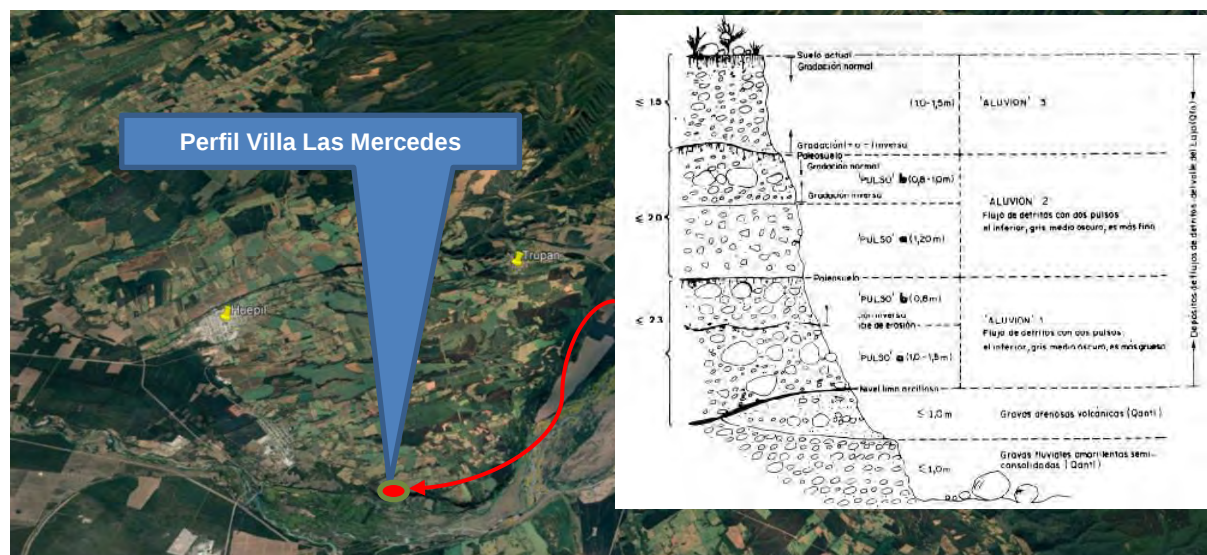


13.3.4 Zona Alta e Intermedia del Río Laja

Al suroeste de Mirrihue, en el cerro Llanqui se observan estratigrafías formadas por gravas gruesas de bolones fluviales con un espesor de 25 m, intercalados con niveles que poseen una matriz piroclástica que, incluso, contiene pómez de más de 100 m de espesor. Cabe señalar, que esta zona no alcanzó a ser caracterizada por el Estudio Hidrogeológico del Río Biobío de la DGA ni se ejecutaron calicatas de reconocimiento.

Cercano al sector de Trupán, el río presenta un destacado horizonte de arenas basálticas y gravas muy finas angulosas, moderadamente consolidadas, de color gris oscuro, intercaladas con niveles de gravas aluvionales, que alcanzan hasta 40 m de espesor, cuyo techo está cubierto hasta por tres horizontes de flujos piroclásticos descompuestos (material fino).

Fuente: Elaboración Propia



13.3.5 Resumen de Resultados

A continuación, se presenta un resumen con los principales resultados de las estratigrafías descritas en los acápite anteriores:

Tabla N° 13.1 : Resumen de resultados obtenidos

Fuente: Elaboración Propia

Sector	Descripción Estratigráfica General
Río Biobío Zona Alta	Terrazas, de extensión variable, formadas de material cuaternario (bolones, gravas y arenas). Espesores de 5 a 50 m.
Río Biobío Zona Intermedia	Material de origen cuaternario, con alto contenido de finos, que tienen un posible origen glacio-lacustre, además de presencia de arenas medias, finas y ocasionalmente gravas y bolones. Espesores de 20 a 40 m.
Río Biobío Zona Baja	Materiales arenosos y gravosos finos, con un espesor cercano a los 30 m en zonas como Talcamávida y Tanahuillin. En los sectores de desembocadura, los materiales están conformados por sedimentos de arenas negras finas a gruesas, con espesores que pueden llegar a más de 100 metros.
Río Laja Zona Alta e Intermedia	Suelos formados por estratigrafía en base a lahares antiguos (material fino) y gravas de bolones intercalados que alcanzan un espesor de más de 40 m.

14 IDENTIFICACION DE PALEOCAUCES

14.1 INTRODUCCIÓN

La identificación y mapeo de estructuras de paleocauces o cauces antiguos, es el resultados de dos actividades de suma relevancia, la primera guarda relación con actividades de campo a través de campañas de visitas a terreno de equipos de geólogos, y la segunda, tiene relación con prospecciones ya sea a través de calicatas o sondajes de terrazas ribereñas o sectores aledaños a cauces existentes, con la finalidad de identificar materiales que puedan corresponder a materiales cuaternarios o de remoción en masa, que pudieran explicar la presencia de cauces antiguos.

El presente capítulo, tiene por finalidad analizar la existencia de formaciones de paleo-cauces o paleo-canales, en el río Biobío, a través de la consulta de bibliografía especializada.

14.2 REFERENCIAS Y ANTECEDENTES CONSULTADOS

Para el desarrollo del presente acápite, se tomaron las referencias indicadas al final de este informe (Bibliografía).

Junto con esto, se analizaron cartas de SERNAGEOMIN y se revisó en gabinete imágenes satelitales, con la finalidad de aproximar la existencia de posibles formaciones.

14.3 DESARROLLO

Tras revisar y analizar las referencias indicadas, se puede señalar que la totalidad de los estudios e investigaciones realizadas, identifican estructuras de paleo-cauces en la zona baja del río Biobío, en efecto, el estudio “Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior, limitaciones y potencialidades del área”, identifica una estructura de esta categoría cercana a la ciudad de Chiguayante, la cual ha sido reconocida y mapeada.

Este paleocauce se encuentra inmediatamente bajo la actual ciudad, y está confinado por dos terrazas fluviales de materiales arenosos gravosos con alta presencia de material fino no plástico.

Figura N° 14.1. Perfil topográfico del sector de Chiguayante

Fuente: Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área



Figura N° 14.2. Vista Satelital ciudad de Chiguayante

Fuente: Elaboración Propia



Ahora bien, el estudio “Ciudad y Riesgos Naturales” de la Universidad de Concepción, señala que entre las penínsulas de Tumbes y Hualpén, se emplaza la fosa tectónica de Concepción-Talcahuano, al interior de la cual, se modela la llanura fluvial y deltaica del río Biobío, durante el periodo Holoceno, el río difluyó este delta, modelando paleocanales orientados hacia las bahías de San Vicente, Concepción y hacia el río Andalién, formando pequeños sistemas lacustres como la Laguna Las Tres Pascualas, Lo Galindo y Lo Mendez. En la actualidad, los humedales y palocauces son afectados por la presencia de inundaciones y anegamientos (Mardones, 2002). Estos

antecedentes, son confirmados por los datos cronológicos de Martínez, 1968 y Thiele et al 1998, EULA,

Figura N° 14.3. Sistemas lacustres formados por Paleocauces

Fuente: Elaboración Propia



Complementado lo señalado, el estudio “Estudio de Riesgos de Sismos y Maremoto para Comunas Costeras de la región del Biobío”, también identifica estructuras de paleocauces en la zona cerca a la desembocadura del río Biobío, las cuales se han formado por la activa formación de paleocanales marinos antepuestos y paralelos a la costa, lo que ha permitido la formación de una llanura fluvial y fluviomarina, que se ha ido relleno de sedimentos, formando deltas que han dado paso a la formación de paleolechos del Biobío que han drenado hacia las bahías de Concepción y San Vicente.

En forma complementaria a lo expuesto, se han analizado diversas imágenes satelitales de la cuenca del río Biobío, no siendo posible identificar a priori, estructuras que pudieran corresponder a paleocauces, ya que al momento de analizar la geología regional del área y las formaciones de materiales cuaternarios presentes, sólo se pueden inferir formaciones de posibles cauces antiguos efímeros, no pudiendo concluir sobre estos.

Figura N° 14.4. Posible traza de cauce antiguo, sector de Santa Bárbara y Mulchén – Dada la poca información disponible, no es posible determinar si se trata de un paleocauce o bien un cauce antiguo efímero.

Fuente: Elaboración Propia



Finalmente, el estudio “Origen y evolución geológica de los humedales de la llanura costera de Concepción-Talcahuano”, ratifica que la formación de llanuras prodeltaica está asociada a la acción de paleocauces en la zona cercana a la bahía de Concepción.

14.4 CONCLUSIONES

De los antecedentes consultados, los análisis realizados y lo expuesto en el presente acápite, se puede concluir y comentar los siguientes aspectos:

- La formación de paleocauces en el río Biobío, tuvo su última data reconocida en el periodo Holoceno Superior.
- Los sistemas de paleocauces en el río Biobío, al combinarse con la acción de paleolechos marinos, y la depositación de sedimentos a través del tiempo, dio paso a la formación de los deltas en los cuales se fundaron y asentaron las principales ciudades de la zona baja de este cauce.
- La totalidad de los paleocauces identificados y analizados, se encuentran en la zona baja y de desembocadura del río Biobío. No identificándose a través de la bibliografía consultada otros en la zona intermedia o alta del río.

15 DETECCIÓN DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y LAHARES

15.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Para la detección de procesos de remoción en masa se utilizó el DEM de la cuenca con el cual se determinaron las pendientes del terreno y se aplicaron dos metodologías, método de análisis de la pendiente del suelo y el método del talud infinito, para determinar las zonas donde es factible la ocurrencia de procesos de remoción en masa.

15.1.1 Método del análisis de la pendiente del Suelo

Según la ONEMI en cualquier talud con una pendiente superior a los 10° existe un riesgo de que ocurran fenómenos de remoción en masa el que como es lógico va aumentando con el aumento de la pendiente según la siguiente clasificación.

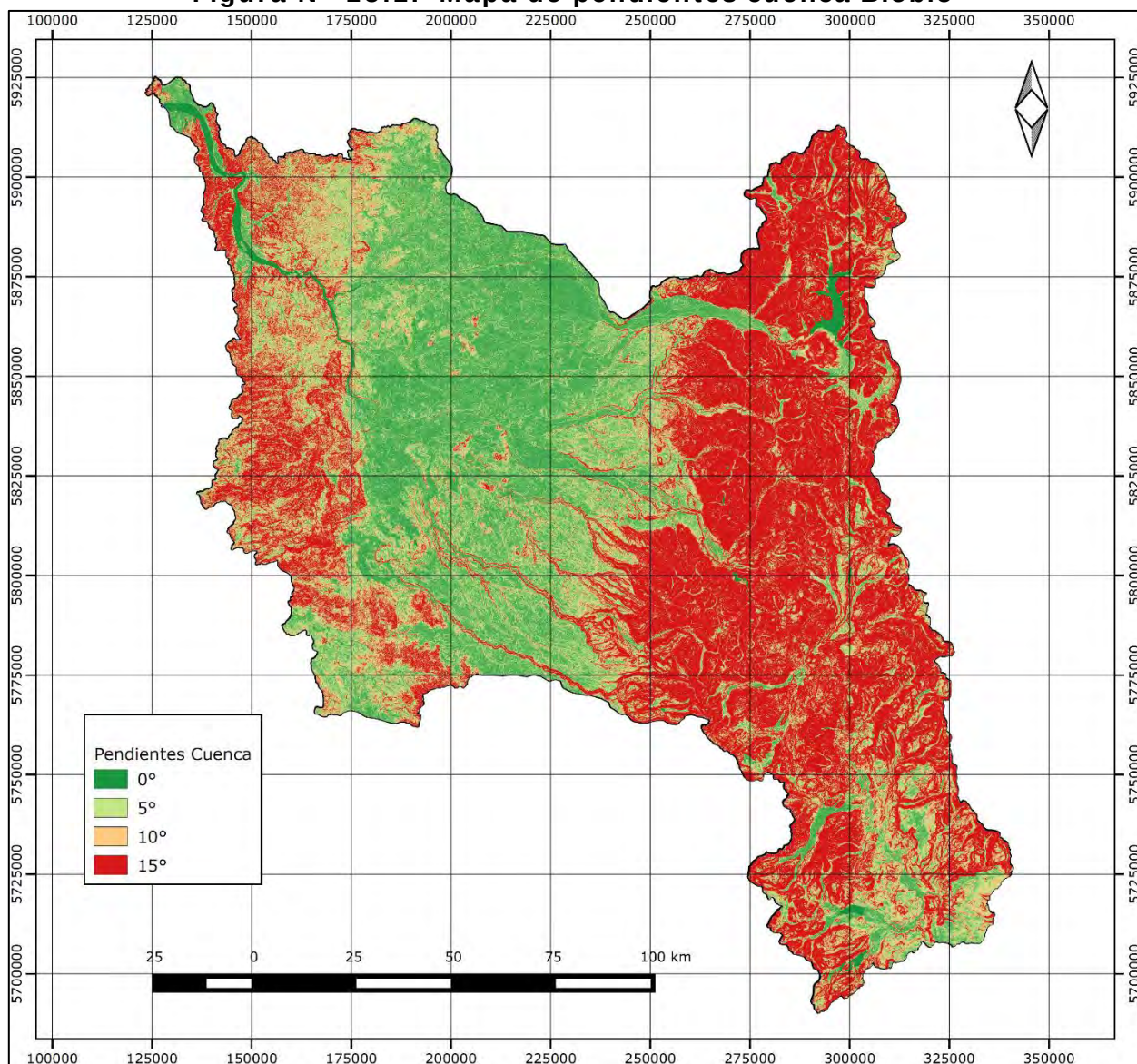
Tabla N° 15.1 Clases de estabilidad de suelos (ONEMI)

Pendiente	Nivel de riesgo
$0^\circ - 10^\circ$	Bajo
$10^\circ - 15^\circ$	Moderado
$> 15^\circ$	Alto

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presenta un mapa de pendientes con su clasificación del riesgo de ocurrencia de procesos de remoción en masa.

Figura N° 15.1. Mapa de pendientes cuenca Biobío



Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que gran parte de la cuenca tanto en la cordillera de la Costa como en la cordillera Andina y la precordillera tienen un gran potencial de desarrollar procesos de remoción en masa. Estos resultados deben ser considerados con cuidado, ya que no consideran la cobertura ni el tipo de suelo además de ser obtenidos con un DEM de baja resolución para estos fines, pero entrega una primera aproximación al problema.

15.1.2 Método del talud infinito

Con el mapa de pendientes y consideraciones como el tipo de suelo y el nivel freático se puede obtener un mapa de riesgo al deslizamiento mucho más preciso aun considerado el bajo detalle de la información utilizada. A continuación, se presenta el mapa con el análisis del factor de seguridad al deslizamiento en el cual se consideró el método del talud infinito y un suelo completamente saturado.

El factor de seguridad para talud infinito utiliza la siguiente relación.

$$F.S. = \frac{c + [(\gamma_b - \gamma_w)D + \gamma_w z(r)] \cos^2 \theta \tan \phi}{D \gamma_b \sin \theta \cos \theta}$$

Donde c : cohesión del suelo [kg/m^2].

ϕ : Ángulo de fricción interno.

θ : Ángulo de inclinación del talud.

γ_b : El peso del suelo húmedo [t/m^3].

γ_w : El peso específico del agua [t/m^3].

D : El espesor de la capa del suelo [m].

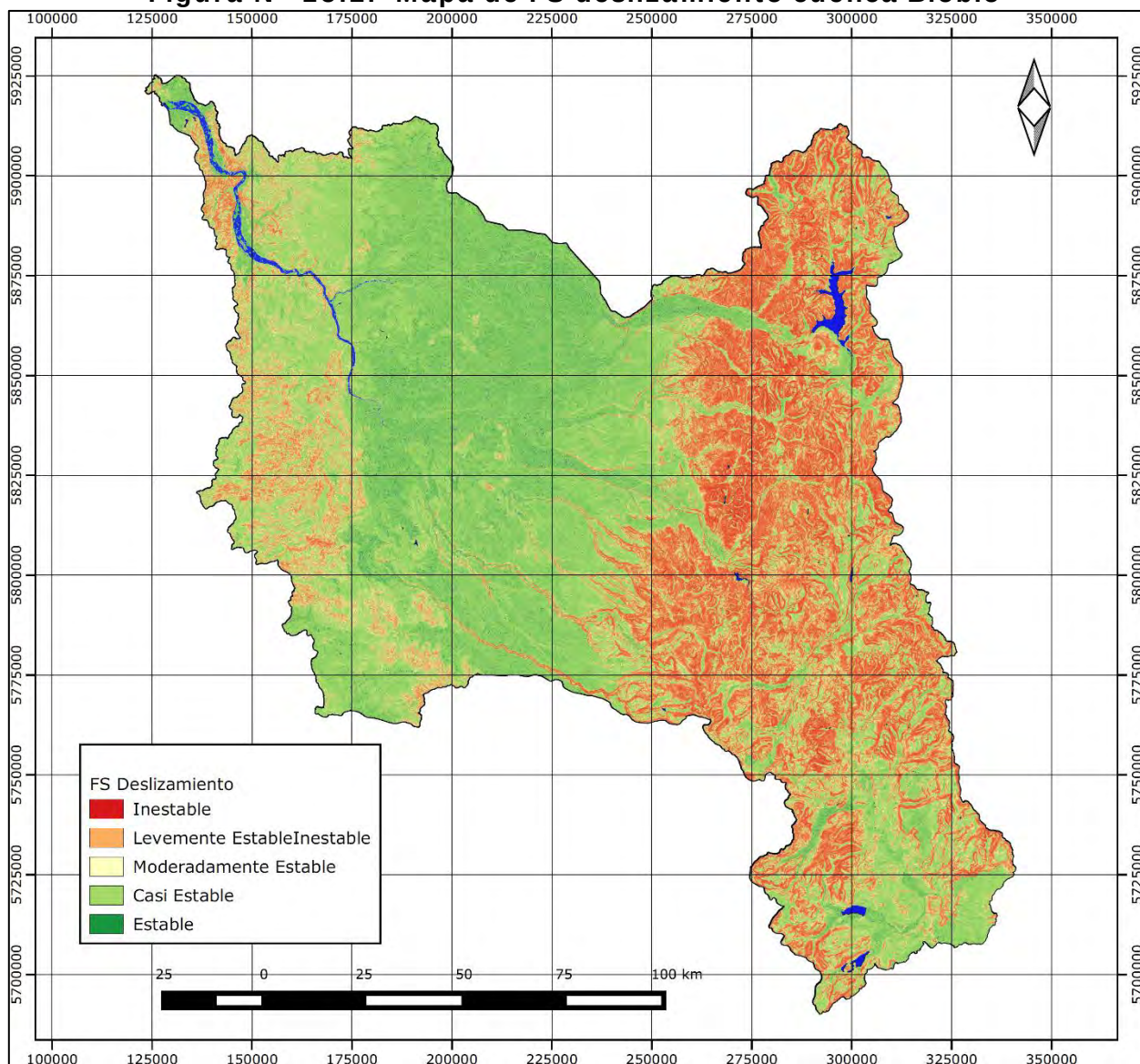
$z(r)$: La profundidad entre la superficie del suelo y el nivel freático del agua.

Con esta relación se definen los distintos niveles de seguridad al deslizamiento según la siguiente tabla.

Tabla N° 15.2 Clases de estabilidad de suelos (Kayastha, 2006)

Factor de seguridad	Estabilidad del talud	Observaciones
$FS > 1,5$	Estable	Sólo los principales factores perturbadores llevan a la inestabilidad
$1,25 < FS < 1,5$	Moderadamente estable	Perturbaciones de moderada intensidad provocan inestabilidad
$1 < FS < 1,25$	Casi estable	Perturbaciones menores provocan inestabilidad
$FS < 1$	Inestable	Se requieren factores estabilizadores

Figura N° 15.2. Mapa de FS deslizamiento cuenca Biobío



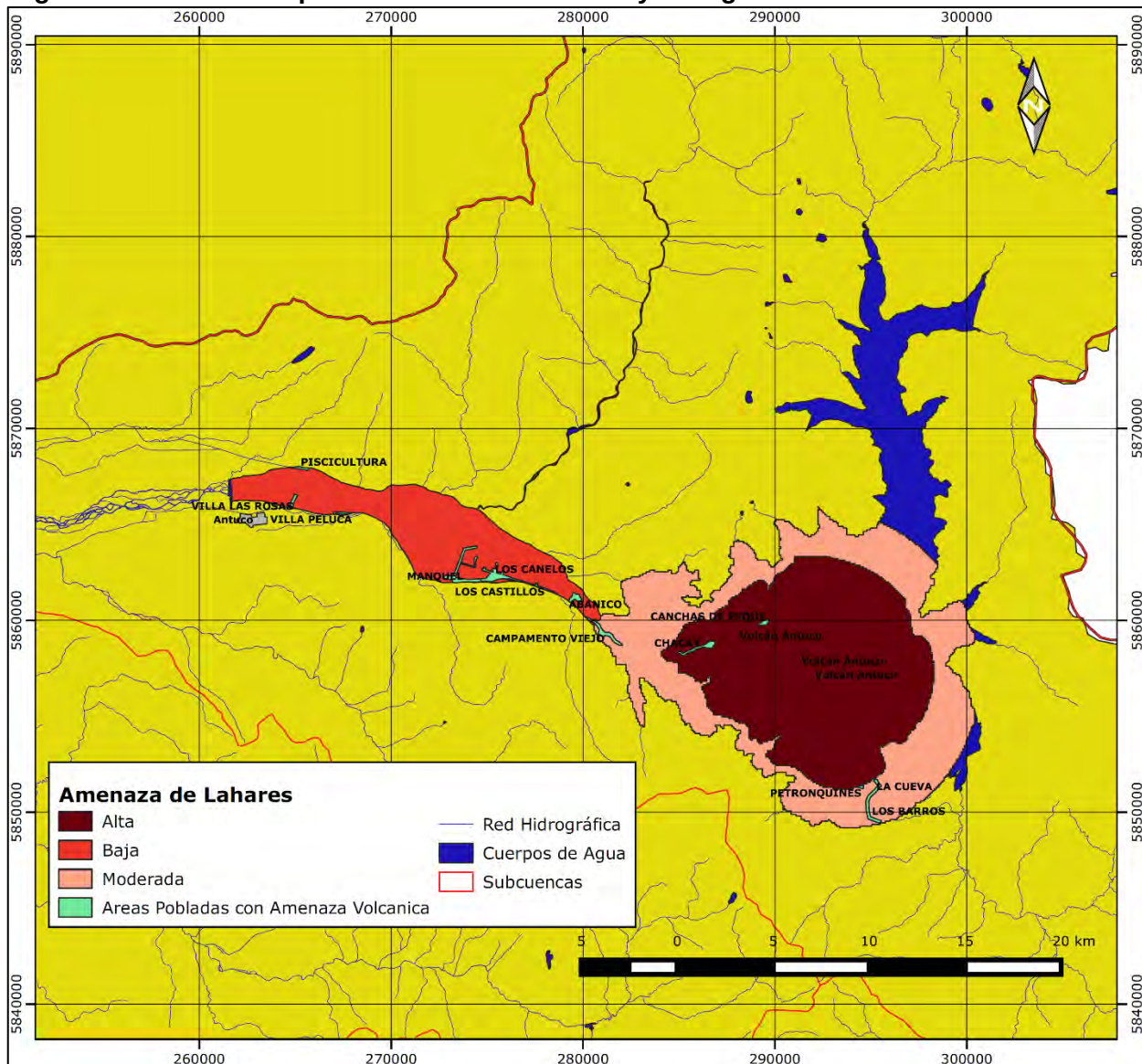
Fuente: Elaboración Propia

15.2 AMENAZA VOLCANICA, LAHARES

Se obtuvo del repositorio de la ONEMI los mapas con las amenazas volcánicas de Chile y especialmente en este caso aquellos que tienen riesgo de producir lahares que afecten zonas pobladas son tres, los volcanes Antuco, Callaqui y Copahue.

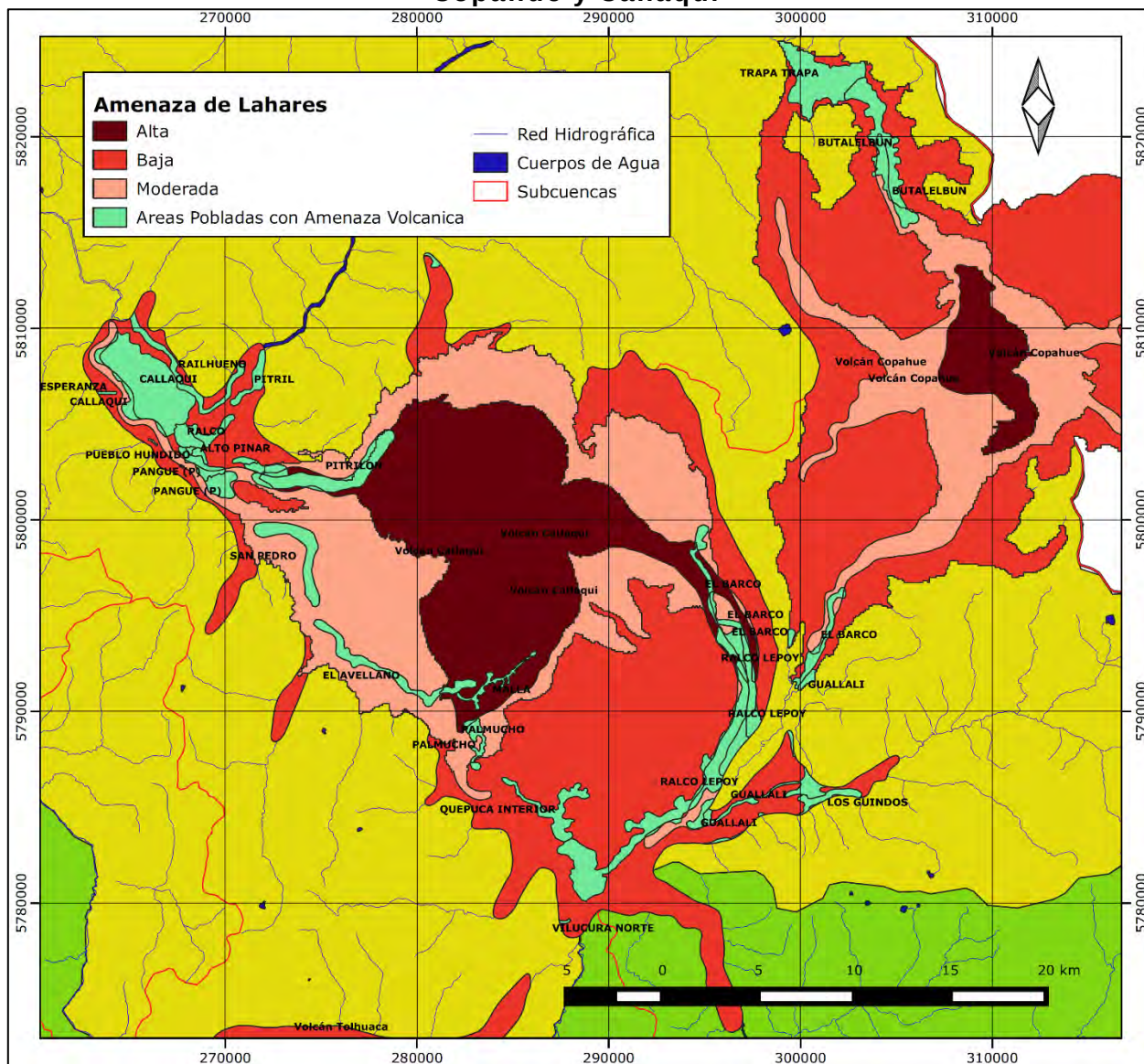
A continuación, se presenta un mapa que muestra la amenaza volcánica asociada a cada volcán y una tabla con las localidades, el volcán que amenaza la localidad, la peligrosidad de la amenaza y el área amenazada.

Figura N° 15.3. Mapa amenaza volcánica y riesgo de lahares volcán Antuco



Fuente: Elaboración Propia

Copahue y Callaqui



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15.3 Zonas con riesgo de amenaza volcánica y lahares

Localidad	Zona Poblada	Volcán	Peligrosidad	Area Amenazada (km ²)
Placilla Norte	Piscicultura	Antuco	Baja	0.09
Los Barros	Los Barros	Antuco	Moderada	0.39
Petronquines	Petronquines	Antuco	Alta	0
Los Barros	Los Barros	Antuco	Baja	0.39
Villa Las Rosas	Villa Las Rosas	Antuco	Baja	0.12
Villa Peluca	Villa Peluca	Antuco	Baja	0.08
Chacay	Chacay	Antuco	Alta	0.31
Canchas De Esqui	Canchas De Esqui	Antuco	Alta	0.1
Chacay	Chacay	Antuco	Baja	0.31
Petronquines	Petronquines	Antuco	Moderada	0.03
La Cueva	La Cueva	Antuco	Moderada	0.04
Los Canelos	Los Castillos	Antuco	Baja	0.19
Abanico	Abanico	Antuco	Baja	0.2
Los Canelos	Manquel	Antuco	Baja	0.71
Los Canelos	Los Canelos	Antuco	Baja	0.58
Canchas De Esqui	Canchas De Esqui	Antuco	Moderada	0.1
Campamento Viejo	Campamento Viejo	Antuco	Baja	0.39
Campamento Viejo	Campamento Viejo	Antuco	Moderada	0.34
Pangue (P)	Pangue (P)	Callaqui	Baja	1.36
Pangue (P)	Pangue (P)	Callaqui	Moderada	0.54
Pitril	Pitril	Callaqui	Baja	1.61
Callaqui	Callaqui	Callaqui	Moderada	1.41
Ralco	Fundo San Miguel	Callaqui	Baja	1.11

Localidad	Zona Poblada	Volcán	Peligrosidad	Area Amenazada (km ²)
Railhueno	Railhueno	Callaqui	Baja	2.94
Callaqui	Callaqui	Callaqui	Baja	13.5
El Barco	El Barco	Callaqui	Moderada	3.82
El Barco	El Barco	Callaqui	Baja	4.6
El Avellano	El Avellano	Callaqui	Moderada	3.86
El Avellano	El Avellano	Callaqui	Alta	0.74
El Barco	El Barco	Callaqui	Alta	1.14
Parque El Farellon (P)	Parque El Farellon (P)	Callaqui	Moderada	0.69
Parque El Farellon (P)	Parque El Farellon (P)	Callaqui	Alta	0.3
Parque El Farellon (P)	Parque El Farellon (P)	Callaqui	Baja	0.34
Parque El Farellon (P)	Parque El Farellon (P)	Callaqui	Baja	1.09
San Pedro	San Pedro	Callaqui	Moderada	3.81
Pangue (P)	Pangue (P)	Callaqui	Moderada	1.6
Loncopangue (P)	La Esperanza	Callaqui	Baja	0.15
Porvenir	Cullaqui	Callaqui	Moderada	0.01
Vilucura	Vilucura Norte	Callaqui	Baja	0.08
Porvenir	Porvenir	Callaqui	Baja	0.05
Porvenir	Cullaqui	Callaqui	Baja	0.02
Quepuca Ralco (P)	Palmucho	Callaqui	Moderada	1.17
Quepuca Ralco (P)	Palmucho	Callaqui	Alta	0.14
Guallali	Guallali	Callaqui	Moderada	0.71
Quepuca Ralco (P)	Palmucho	Callaqui	Baja	1.34

Localidad	Zona Poblada	Volcán	Peligrosidad	Area Amenazada (km ²)
Quepuca Ralco (P)	Quepuca Interior	Callaqui	Baja	3.12
Los Guindos	Los Guindos	Callaqui	Baja	1.56
Ralco Lepoy	Ralco Lepoy	Callaqui	Alta	0.95
Malla	Malla	Callaqui	Baja	1.15
Ralco Lepoy	Ralco Lepoy	Callaqui	Baja	15.9
Ralco Lepoy	Ralco Lepoy	Callaqui	Moderada	6.1
Guallali	Guallali	Callaqui	Baja	3.41
Malla	Malla	Callaqui	Alta	1.15
Pitrilon	Pitrilon	Callaqui	Moderada	6
Pitrilon	Pitrilon	Callaqui	Alta	4.96
Ralco	Ralco	Callaqui	Baja	1.24
Ralco	Pueblo Hundido	Callaqui	Baja	0.11
Ralco	Alto Pinar	Callaqui	Baja	0.32
Butalelbun	Butalelbun	Copahue	Moderada	2.2
Trapa Trapa	Trapa Trapa	Copahue	Baja	8.25
Butalelbun	Butalelbun	Copahue	Baja	7.35
El Barco	El Barco	Copahue	Moderada	0.98
El Barco	El Barco	Copahue	Baja	2.36
Guallali	Guallali	Copahue	Baja	0.42

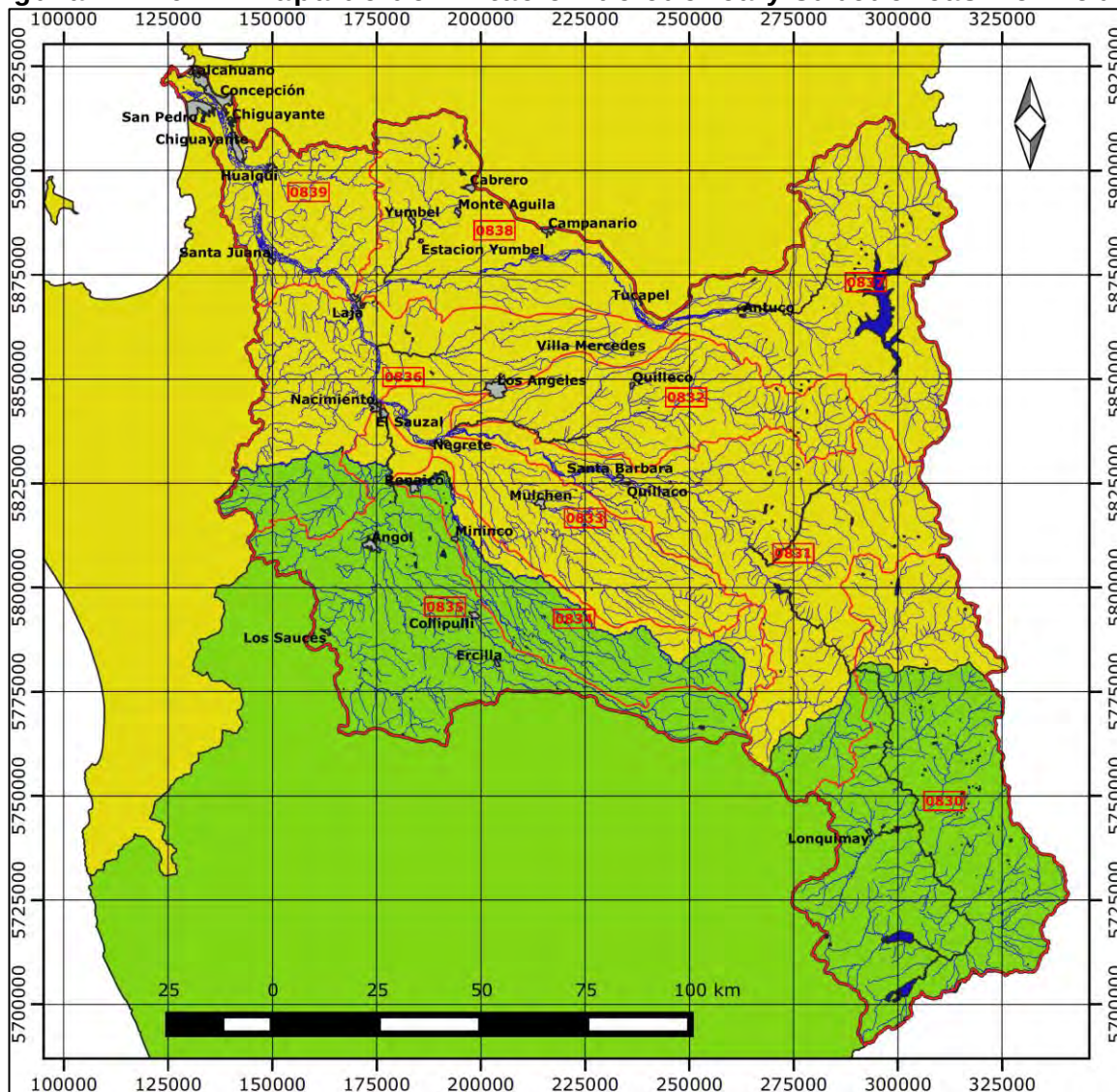
Fuente: Elaboración Propia

16 DELIMITACIÓN DE CUENCAS Y PATRÓN DE DRENAJE

16.1 DELIMITACIÓN DE CUENCAS

Para definir la delimitación de las cuencas se hizo una verificación de los datos que posee la DGA encontrándose diferencias mínimas, por lo que se decidió utilizar la delimitación de cuencas de la DGA que se presenta a continuación.

Figura N° 16.1. Mapa de delimitación de cuenca y subcuencas río Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 16.1 Subcuencas río Biobío

CODIGO	NOMBRE	AREA KM ²
0839	Rio Bio-Bio Bajo	1365.65
0838	Laja Bajo	1918.05
0837	Rio Laja Alto (hasta bajo junta Rio Rucue)	2749.87
0836	Rio Bio-Bio entre Rio Vergara y Rio Laja	2661.98
0832	Rio Duqueco	1710.87
0833	Rio Bio-Bio entre Rio Duqueco y Rio Vergara	1679.58
0835	Ríos Malleco y Vergara	2836
0831	Rio Bio-Bio entre Rio Ranquil y Rio Duqueco	3625.41
0834	Rio Renaico	1507.88

Fuente: Elaboración Propia

16.2 PATRON DE DRENAJE

El patrón de drenaje del río Biobío es el que se conoce como de tipo estructural controlado, ya que el flujo a través de la cuenca lo controlan las estructuras que componen la cuenca además de existir un control topográfico, esto se ve claramente en los cambios de sección de escurrimiento, cambios de dirección bruscos en algunos sectores, meandros que no siguen patrones de periodicidad. Todo lo anterior se aprecia en las figura 16.1 y 16.2.

Lo mencionado anteriormente puede ser producido por fallas litológicas, plegamientos, vegetación etc presentes en la cuenca y que finalmente definen el patrón de drenaje de un río.

Para analizar el patrón de drenaje en las subcuencas del río Biobío se utilizó el DEM y se calcularon las líneas de flujo de manera de ver como se comportaba el escurrimiento del río y que patrones seguía con una imagen más limpia.

En la figura 16.2 se presenta una imagen satelital de la cuenca con la red de drenaje calculada.

Figura N° 16.2. Red de drenaje cuenca río Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

Su patrón está compuesto por redes de drenaje subdendritico en la parte alta de la cuenca donde se tienen tributarios mayores bien definidos al cual llegan afluentes más pequeños, mientras que en la parte intermedia se aprecian ciertos rasgos de drenaje sub – paralelo. Estos tipos de drenaje suelen estar asociados a ríos con un

fuerte control estructural o topográfico y en ambas se aprecia que un tributario mayor recibe las aguas de los cauces menores. Esto se puede ver en las figuras 16.3 y 16.4.

Figura N° 16.3. Patrón de drenaje sub dendrítico

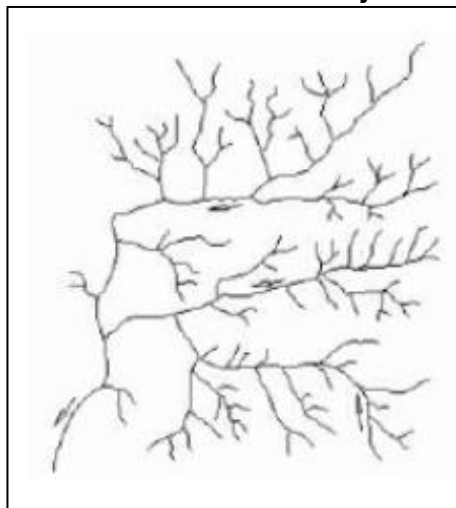
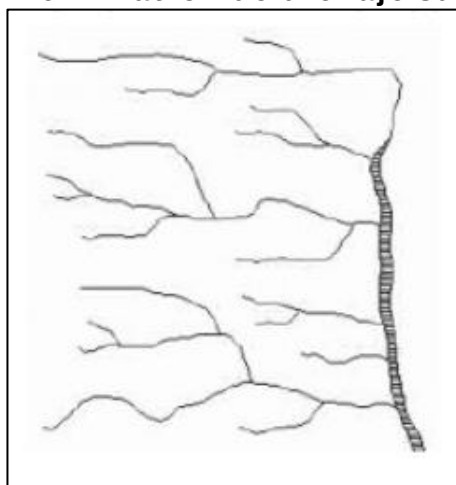


Figura N° 16.4. Patrón de drenaje sub paralelo



Fuente: Elaboración Propia

17 CATASTRO ZONAS DE INUNDACIÓN

17.1 VISITAS DE TERRENO (MARZO y ABRIL 2019)

En este capítulo se presenta las visitas a terrenos realizadas por personal de la empresa a las localidades ribereñas del Bio Bio, que se vieron afectadas por la crecida del año 2006, la cual corresponde a la última gran crecida del Bio Bio de la cual se cuenta con registro.

Durante las visitas se tomó contacto con los encargados de emergencia para conocer y validar la información de la cual se tenía registro de estudios anteriores, además se recorrió la zona que fue afectada durante la inundación y se tomó contacto con algunos vecinos del sector afectado para validar las áreas que fueron inundadas.

A continuación, se presentan las 14 localidades que fueron visitadas entre marzo y mayo de 2019, describiendo cada una de las visitas realizadas.

17.1.1 LOCALIDAD: Los Ángeles

17.1.1.1 Descripción reunión

Se llevó a cabo reunión entre la consultora, el Jefe Zonal de la DGA, Sr. Rafael Pérez, y el Encargado de Emergencias de la comuna de Los Ángeles, Sr. Felipe Vergara, en dependencias municipales de calle Caupolicán 275 a las 10.00 h del jueves 14 de marzo de 2019. El Sr. Vergara validó como zonas de inundación los sectores de La Suerte, La Isla y Mesamávida, en que recomendó como posible ubicación de monolitos limnimétricos las riberas de los ríos Biobío para los primeros dos sectores y Duqueco, para el tercero.

De esta forma y en conjunto, se seleccionaron algunas ubicaciones de monolitos en función de los sectores de interés mencionados con anterioridad.

17.1.1.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 69 m.s.n.m. para el Sector La Suerte, 88 m.s.n.m. para el Sector Mesamávida y 136 m.s.n.m. para el Sector La Isla (Duqueco). Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Claudio Paredes, habitante del predio agrícola en que

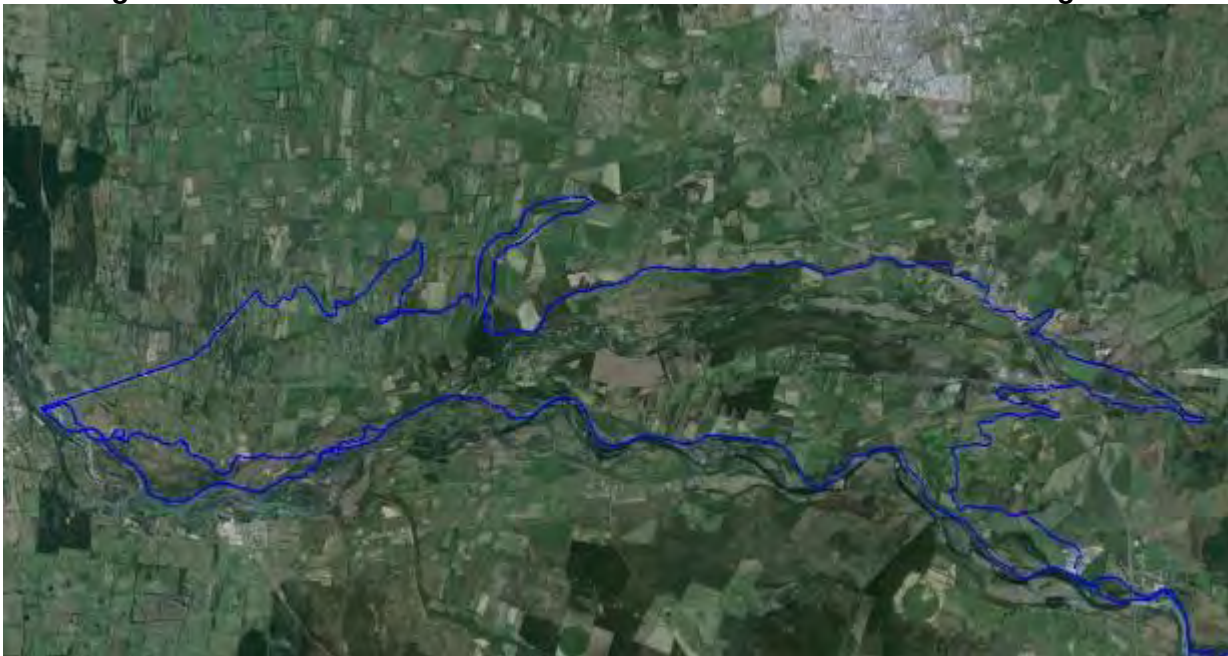
se emplaza el limnómetro existente mostrado en la figura N° 17.1., así como la zona afectada visible en la figura N° 17.2.

Figura N° 17.1 Limnómetro existente en comuna de Los Ángeles.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.2. Área de inundación total comuna de Los Ángeles.

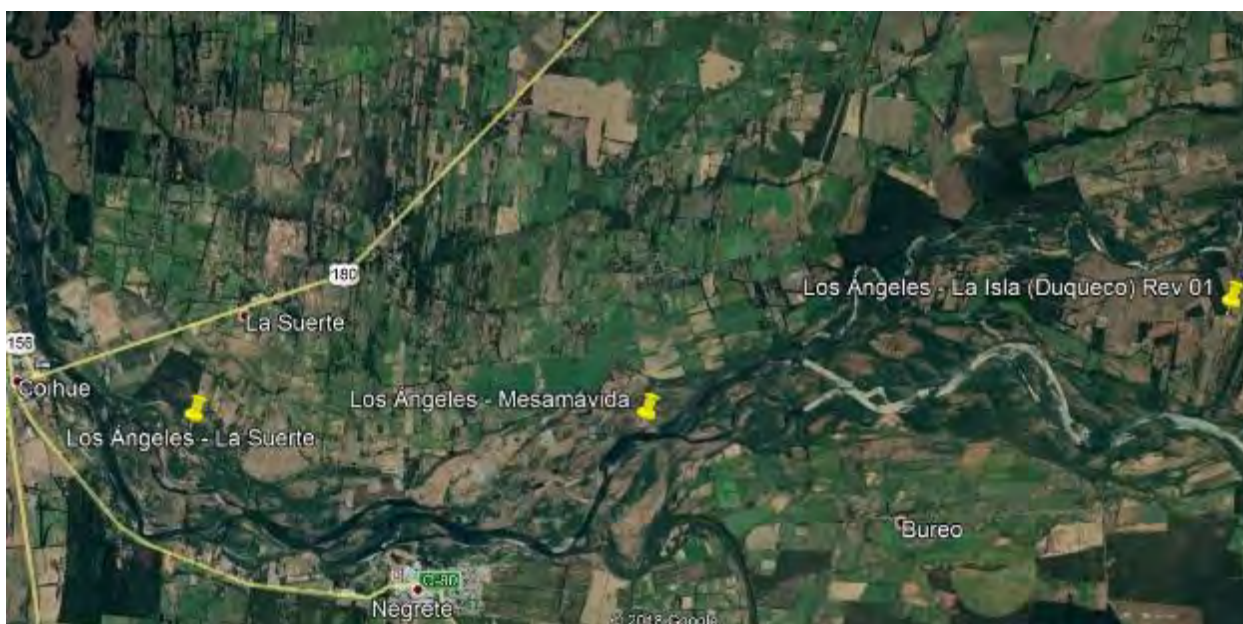


Fuente: Elaboración Propia

17.1.1.3 Propuesta monolito

De lo observado en terreno y en conformidad a lo revisado con el Encargado de Emergencias de la Municipalidad de Los Ángeles, más aquellos antecedentes derivados de la reunión con DGA de fecha 25 de abril de 2019, sumado a visitas posteriores a terreno los días 10 y 14 de mayo de 2019 junto al funcionario municipal citado y personal de la DGA, se propone ubicar 3 monolitos: 1 en el Sector La Suerte, 1 en Sector Mesamávida (distinto al propuesto con fecha 14 de marzo de 2019) y 1 en el Sector La Isla (Duqueco), este último validado por el Encargado de Emergencias, Sr. Felipe Vergara, con fecha 17-06-19.

Figura N° 17.2. Lugares propuestos para instalación del monolitos



limnimétricos.

Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

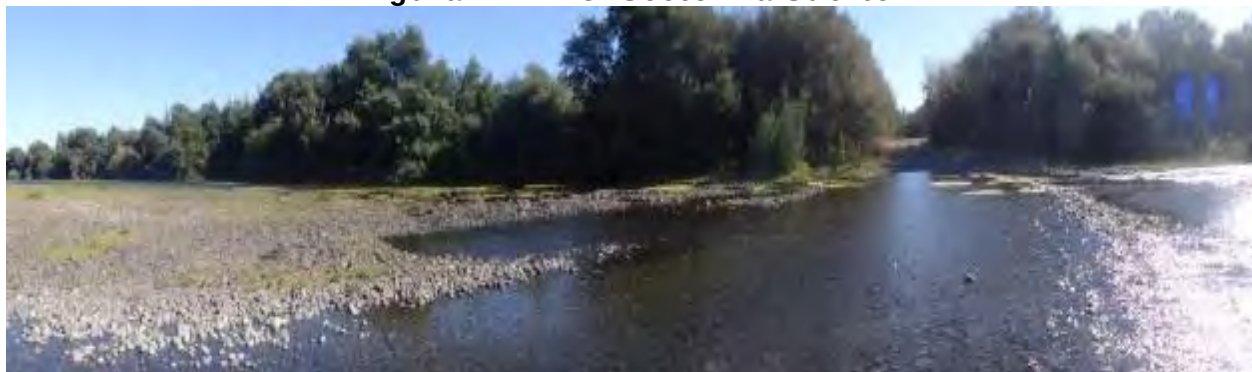
Monolito	Norte	Este
La Suerte	5839465	714833
Mesamávida	5839321	721001
La Isla (Duqueco)	5839438	728864

Datum: WGS 84 H18

Nota: Se corrige ubicación de La Isla dado que el dueño no da autorización de construcción N 5840634 y E 729036

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.3. Sector La Suerte.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.4. Sector La Suerte; punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 17.5. Sector Mesamávida; punto de instalación de monolito
limnimétrico (interior Lote B1).**



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.6. Sector La Isla; punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que el perfil de elevación que entrega el software Google Earth no es representativo del lugar de instalación de limnímetros, por lo que no se considera la imagen del mismo.

17.1.2 LOCALIDAD: Negrete

17.1.2.1 Descripción reunión

El día previsto para la visita a terreno, lunes 18 de marzo de 2019, no fue posible para el Encargado de Emergencias reunirse con la consultora en la localidad, por lo cual se procedió a hacer la visita de forma independiente, haciendo consultas a los vecinos de los sectores afectados por la inundación de julio de 2006 de tal modo de validar los puntos hasta los cuales se registró este evento.

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad es el mostrado, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen en el ítem 12.1.2.2.

17.1.2.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 83 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Patricio Lobos, habitante de la comuna.

Figura N° 17.7. Área de inundación Negrete.



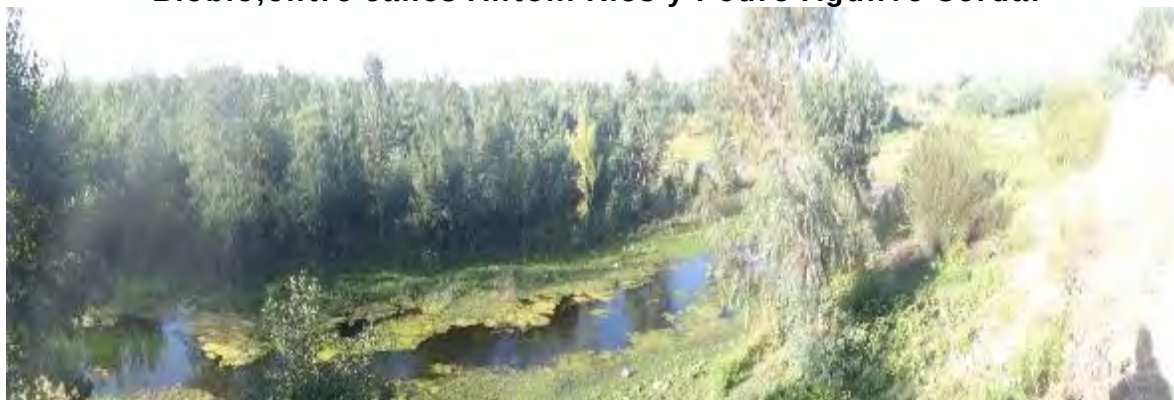
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.8. Sector Canal Biobío Negrete, en las cercanías de calles Pedro Montt con Alberto Möller.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.9. Área de inundación; sector ribera izquierda Río Biobío, entre calles Antoni Ríos y Pedro Aguirre Cerda.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.10. Área de inundación límite; entre calles Emilio Serrano y 21 de Mayo.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.2.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno, y en visita en conjunto con el Encargado de Emergencias (S), Sr. Axel Contreras Yáñez y personal de la DGA el día 14 de mayo de 2019, se optó por el punto indicado en las siguientes figuras para el emplazamiento del monolito, debido a que esta zona es de fácil acceso, ofrece una buena visibilidad y cuenta con la aprobación del municipio representado por el encargado mencionado.

Figura N° 17.11. Lugar propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Norte	Este
5837605	718607

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.12. Punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.13. Perfil elevación ubicación de monolito linminmétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.3 LOCALIDAD: Mulchén

17.1.3.1 Descripción Reunión

El día previsto para la visita a terreno, lunes 18 de marzo de 2019, no fue posible para nuestra consultora reunirse con el Encargado de Emergencias de la comuna, por lo cual se procedió a hacer el recorrido de forma independiente, haciendo consultas a los vecinos de los sectores afectados por la inundación de julio de 2006, de tal modo de validar los puntos hasta los cuales se registró este evento.

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad es el mostrado en la figura siguiente, por efecto de las crecidas de los ríos Mulchén y Bureo.

17.1.3.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado "Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío".

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 136 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Marcelo Zúñiga, Ingeniero Civil y profesional de la Asociación de Canalistas Canal Biobío Sur.

Figura N° 17.14. Área de inundación Mulchén.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.15. Área de inundación límite; entre las calles Manera y Soto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.16. Área de inundación; Puente acceso Este Mulchén.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.3.3 Propuesta monolito

De lo revisado en terreno y en conformidad a la información entregada por el profesional de la Asociación de Canalistas Canal Biobío Sur, más la aportada por DGA en reunión de fecha 25 de abril de 2019, y lo anterior complementado en visita conjunta a terreno con el Encargado de Emergencias de la comuna Sr. Claudio Cid Bascur y personal de la DGA el día 14 de mayo de 2019, se propone emplazar 2 monolitos: 1 en Sector +a en ribera derecha del Río Mulchén (foto 9) y 1 en Sector Liceo Nuevo Mundo en ribera izquierda del Río Bureo (foto 10). Las zonas mencionadas son de fácil acceso y ofrecen una buena visibilidad. Se descarta el Puente Granaderos en función de la reunión en terreno mencionada.

**Figura N° 17.17. Lugares propuestos para la instalación del monolito
limnimétrico.**



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Monolito	Norte	Este
Mulchén 1 (Villa La Granja)	5820198	743452
Mulchén 2 (Liceo N. Mundo)	5822739	743299

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.18. Sector Villa la Granja; punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.19. Sector liceo Nuevo Mundo; punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.20. Perfil elevación monolito limnimétrico sector Villa La Granja.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.21. Perfil elevación monolito limnimétrico sector Liceo Nuevo Mundo.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.4 LOCALIDAD: Santa Bárbara

17.1.4.1 Descripción reunión

Se llevó a cabo reunión entre la consultora y el Encargado de Emergencias de la comuna de Santa Bárbara, Sr. Dagoberto Ibacache, en dependencias municipales de calle Las Heras 142 a las 12.30 h del jueves 14 de marzo de 2019.

El Sr. Ibacache validó como zonas de inundación del evento del año 2006 los sectores mostrados en la figura siguiente, que corresponde a los desbordes del Río Biobío y del canal Quilaco, ubicado al norte de la comuna. Mencionó además los sectores de Las Ñipas – El Parrón, en donde se registró un corte de la ruta de acceso a la comuna el año 2006, Los Boldos, Los Mayos y Los Junquillos, todos sectores rurales pertenecientes a la comuna. Posteriormente se realizó la visita a los lugares de la zona urbana mostrada en la figura.

17.1.4.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 232 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Dagoberto Ibacache, Encargado Municipal de Emergencias.

Figura N° 17.22. Zona de inundación, comuna de Santa Bárbara.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.23. Río Biobío desde Santa Barbara.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.24. Area de inundación; Parque Costanera.

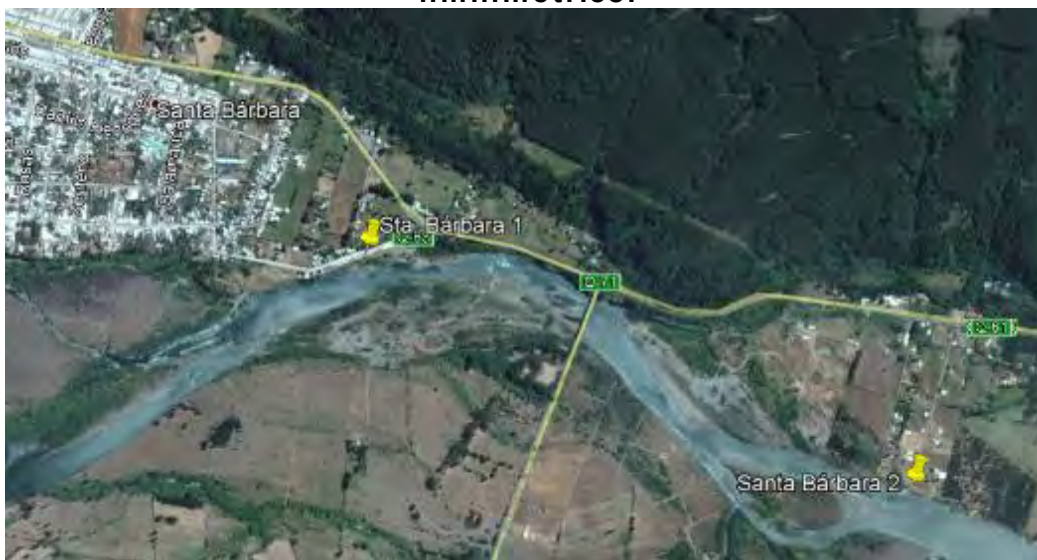


Fuente: Elaboración Propia

17.1.4.3 Propuesta monolito

Luego de visitar los sectores mencionados, y por sugerencia del Encargado de Emergencias, se optó por elegir el sector del Parque Costanera para la instalación del monolito limnimétrico, dado que el otro punto que indicó el funcionario, el puente que conecta a Santa Bárbara con la comuna de Quilaco, es de difícil acceso y visión para la lectura, al constituir una de las cepas del puente el lugar sugerido.

Figura N° 17.25. Lugares propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Monolito	Norte	Este
Sector Parque Costanera	5826461	763817
Sector Valle del Agua	5825687	236473

Datum: WGS 84 H18-H19

Figura N° 17.26. Sector Parque Costanera, lugar de emplazamiento para el monolito limnimétrico.



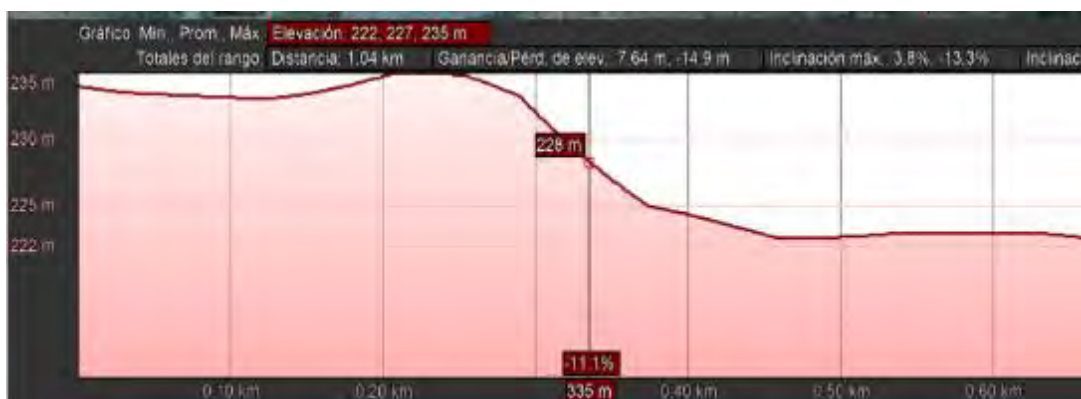
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.27. Sector Valle del Agua, lugar de emplazamiento para el monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.28. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector Parque Costanera.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.29. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector Valle del Agua.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.5 LOCALIDAD: Quilaco

17.1.5.1 Descripción reunión

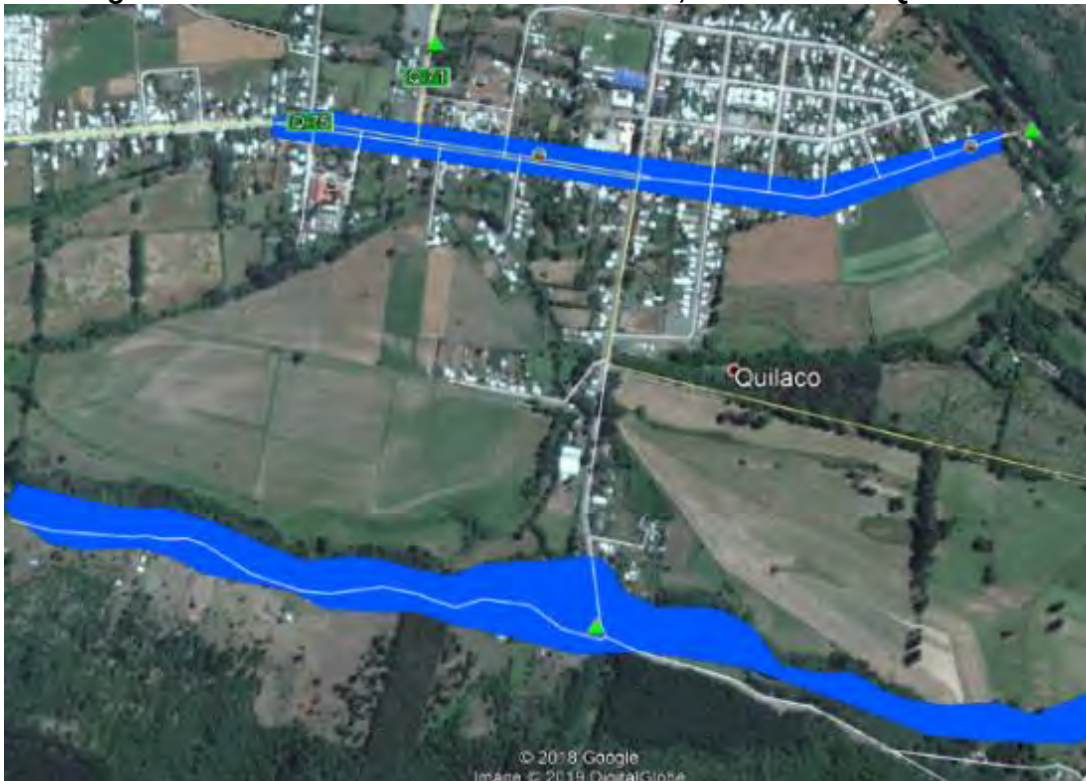
El día de la visita a terreno, lunes 18 de marzo de 2019, el Encargado de Emergencias de la comuna, Sr. Sergio Martínez, se encontraba de vacaciones, por lo que se realizó el recorrido de la localidad de forma independiente. En entrevistas a diversos vecinos, se validó como zonas de inundación del evento histórico del año 2006 los sectores mostrados en la figura siguiente, que corresponde al desborde del Río Biobío, por un lado, y del canal Biobío Sur, por el otro.

17.1.5.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 237 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Luis Canales, habitante de la localidad.

Figura N° 17.30. Area de inundación, comuna de Quilaco.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.31. Area de inundación; zona poblada al extremo oriental en Av. Arturo Prat.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.32. Area de inundación, Sector Canal Biobío Sur.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.5.3 Propuesta monolito

De lo revisado en terreno y en conformidad a la información entregada por los habitantes de la localidad, más los antecedentes derivados de la reunión con DGA de fecha 25 de abril de 2019 y de la visita a terreno con el Encargado de Emergencias de la comuna Sr. Sergio Martínez junto a personal de la DGA el día 15 de mayo de 2019, se propone ubicar 1 monolito en el Recinto Municipal Puente a Puente, a un costado de la Ruta Acceso a Quilaco, por dentro del cerco de delimitación (fotos 5 y 6). La conveniencia del punto propuesto es su fácil acceso y su buena visibilidad para el personal municipal, de quien provino la proposición de emplazamiento.

Figura N° 17.33. Lugar propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Norte	Este
5825759	764364

Datum: WGS 84 H18

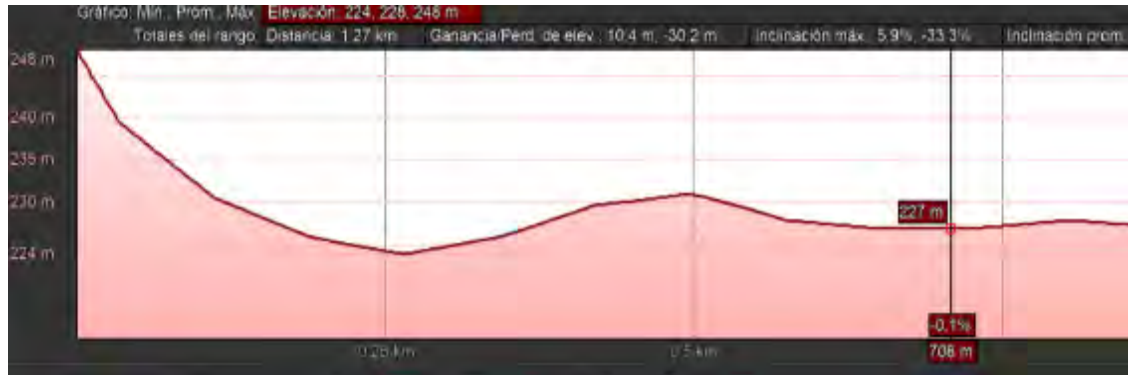
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.34. Reciento Municipal Puente a Puente (flecha), lugar de emplazamiento para el monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.35. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.6 LOCALIDAD: Chiguayante

17.1.6.1 Descripción reunión

El día 07 de marzo de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Chiguayante, Sr. Sixto Bustamante quien nos recibió en sus oficinas ubicadas en Orozimbo Barbosa #104 a las 8:30 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría. Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2016, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, confirmándose como zona de inundación, todos los sectores ribereños aledaños al #198 de Las Violetas, Monseñor Emilio Rojas E. a la altura del #362 de la Calle A, así como también el sector de Leonera, específicamente a la altura del #3876 de la Avenida 21 de octubre.

De la misma forma el lunes 8 de abril de 2019, se realizó una breve reunión en la Dirección General de Aguas con el fin coordinar el itinerario de visitas a realizar. En este caso, se visitó en conjunto con los Sres. Víctor Romero (profesional DGA), Ricardo Osorio (profesional TYP SA S.A.), Juan Jure (asesoría TYP SA), entre otros, la ubicación propuesta para la construcción del monolito, con el fin de validar y aportar nuevas referencias de la ubicación por parte de la DGA.

Figura N° 17.36. Visita sector aprobado para la construcción del monolito.



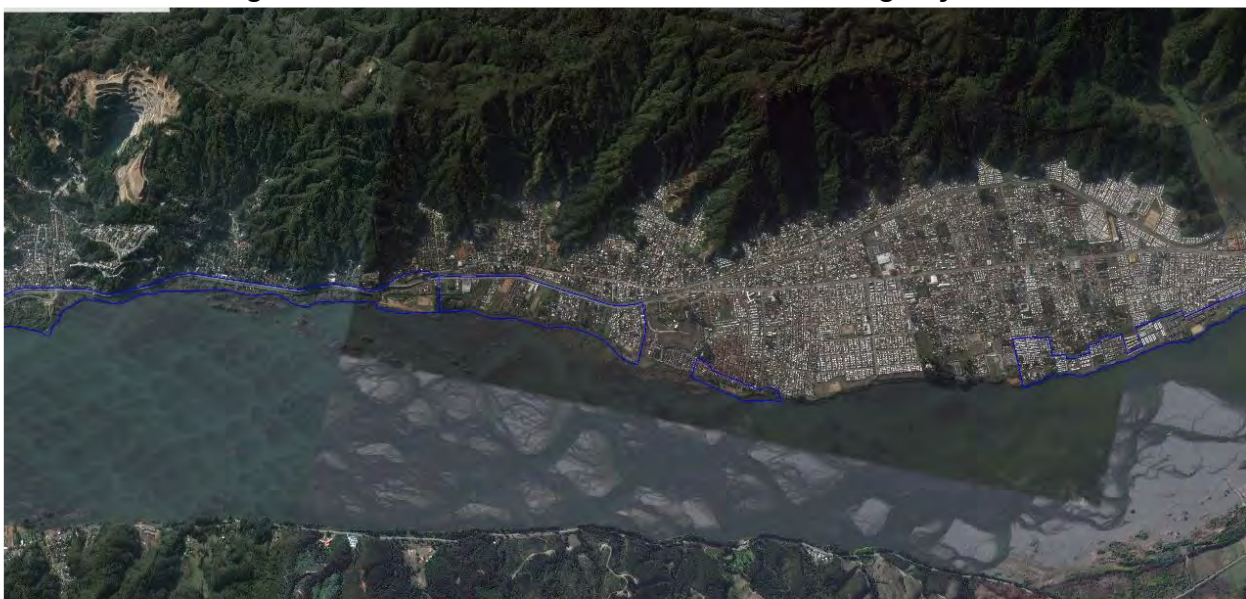
Fuente: Elaboración Propia

17.1.6.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 19 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Cristian Mora Cabrera, habitante de la localidad.

Figura N° 17.37. Área de inundación Chiguayante.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.38. Avenida Las Violetas a la altura del #198.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.39. Límite actual del parque con el borde riverero.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.40. Avenida 21 de octubre colindante con departamentos sociales.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.6.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Chiguayante, personal de la DGA y de TYPESA, se propone ubicar los monolitos en el borde ribereño del Biobío por el acceso de calle Las Violetas a la altura del #198, esto debido a que esta zona se encuentra dentro de la zona de inundación y ofrece una buena accesibilidad y visibilidad, tal como se observa en las siguientes figuras:

Figura N° 17.41. Lugar propuesto para la instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Norte	Este
5914366	675057

Datum: WGS 84 H18

Figura N° 17.42. Punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.43. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.7 LOCALIDAD: Coronel

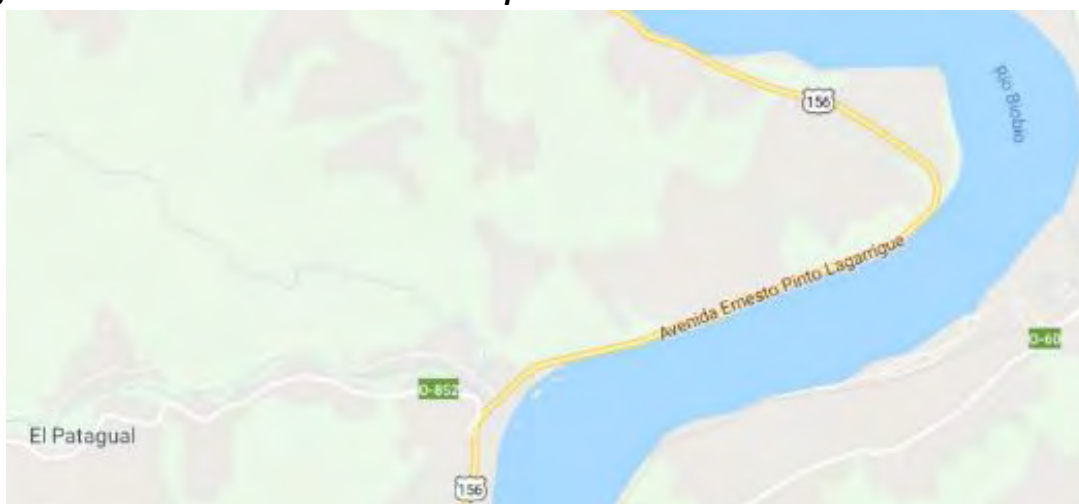
17.1.7.1 Descripción reunión

El día 13 de marzo de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Coronel, Sr. Patricio Perales, quien nos recibió en su oficina ubicada en Sotomayor #285 a las 9:30 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría.

Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2016, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, considerando como principales sectores Patagual y Mitrinhue con aproximadamente 2500 habitantes.

El primero, Patagual, a pesar de concentrar su población a una altura por sobre los 40 metros sobre el nivel del mar, es frecuente que se vea afectada durante periodos de invierno, pero no necesariamente por las crecidas del río Bio Bío, son los cortes de ruta por derrumbes, socavones, caída de árboles y desbordes de esteros menores los que generan problemas al sector. Aun así, la situación del año 2006 donde el río en varios puntos llegó muy cerca de la ruta e incluso la cruzó, dejando a la población aislada durante ese evento, pero el gran problema viene como consecuencia a esto debido a que se impide el desagüe de los esteros interiores, principalmente los esteros Pilco y Patagual.

Figura N° 17.44. Sector ribereño perteneciente a la Comuna de Coronel.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.7.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 25 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Patricio Perales Cifuentes, encargado de emergencias .

Figura N° 17.45. Área de inundación; 1. Sector de Patagual – 2. Sector Mitrinhue – 3. Sector Manzano I.



Fuente: Elaboración Propia

Conforme a lo revisado, el encargado de emergencias indicó zonas de inundación, entre las cuales se encontraban el sector Patagual, población que se concentra a una altura por sobre los 40 metros sobre el nivel del mar, pero que es frecuentemente afectada durante periodos de invierno por cortes de ruta debido a derrumbes, socavones, caída de árboles y desbordes de esteros menores del sector. A pesar de esto, en la crecida del año 2006 el río Biobío llegó en varios puntos muy cerca de la ruta de la madera e incluso la cruzó, dejando a la población aislada durante ese evento, pero el gran problema viene como consecuencia a esto debido a que se impide el desagüe de los esteros interiores, principalmente los esteros Pilco y Patagual.

También se encuentra el sector de Mitrinhue y el Manzano, sectores que recibieron directamente el impacto de este río que recuperó sus antiguas terrazas de inundación y aprovechando los bajos sectores de vega que anualmente se inundan, sobrepasó la ruta de la madera dejando a toda la población aislada. El área afectada alcanzó aproximadamente los 5,1 km².

Figura N° 17.46. Área de inundación; sector El Manzano, Coronel



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.47. Área de inundación; sector ribereño Río Biobío, Coronel



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.48. Área de inundación; sector Manzano contiguo a Ruta de la Madera



Fuente: Elaboración Propia

17.1.7.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Coronel, personal de la DGA y de TYPESA, se propone ubicar los monolitos en el borde ribereño del Biobio por el acceso de calle Benavides, esto debido a que esta zona se encuentra aproximadamente a 4 cuabras de la municipalidad, está dentro de la zona de inundación y ofrece una buena accesibilidad y visibilidad, tal como se observa en las figuras a continuación:

**Figura N° 17.49. Lugar propuesto para la instalación de monolito
limnimétrico.**



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Norte	Este
5907207	674682

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.50. Punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.51. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.8 LOCALIDAD: Hualqui

17.1.8.1 Descripción reunión

El día 07 de marzo de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Hualqui, Sr. Pablo Valenzuela quien nos recibió en sus oficinas ubicadas en Freire #351 a las 10:00 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría. Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2016, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, confirmándose como zona de inundación, el sector cercano a la

estación de trenes Hualqui ubicado en la Avenida Patricio Lynch #154 y sector en la ruta O-60, cercano a la estación Quilacoya

De la misma forma el lunes 8 de abril de 2019, se realizó una breve reunión en la Dirección General de Aguas con el fin coordinar el itinerario de visitas a realizar. En este caso, se visitó en conjunto con los Sres. Víctor Romero (profesional DGA), Ricardo Osorio (profesional TYP SA S.A.), Juan Jure (Asesoría TYP SA), entre otros, con el fin de validar y aportar nuevas referencias de la ubicación de construcción del monolito por parte de la DGA.

Figura N° 17.52. Visita sector aprobado para la construcción del monolito.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.8.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 39 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Patricio Perales Cifuentes, encargado de emergencias.

Figura N° 17.53. Área de inundación Hualqui.

Fuente: Elaboración Propia

Conforme a lo revisado, el encargado de emergencias indicó como zonas de inundación la Avenida Patricio Lynch #154 que se encuentra perpendicular a la Avenida 8 Oriente y que fue fuertemente afectada por desborde del río Bio- Bio y desborde del Estero Hualqui, llegando el agua y sedimentos incluso a las líneas férreas según la entrevista realizada a personas emplazadas en el lugar. Cabe destacar que a pocos pasos se encuentra un puente sobre el Estero Hualqui que fue construido posterior al evento histórico ocurrido en julio del 2010. Este puente se encuentra paralelo a un puente ferroviario, lugar que es referente para encontrar la ubicación de una estación fluviométrica existente.

De igual manera, el sector cercano a la estación Quilacoya, ruta O-60, fue fuertemente afectado por desborde del río Bio- Bio y desborde del Estero Coligual, llegando el agua y sedimentos a techumbres de las casas cercanas al estero y de la misma magnitud, pero hasta las líneas férreas a causa del río Bio-Bio según la entrevista realizada a personas emplazadas en el lugar.

Cabe destacar que también se identificaron los años de 1950, 2002 y 2006; como grandes eventos de inundación, pero es una realidad de la comuna que esta afecta todos los años a pequeñas inundaciones por las crecidas del río Biobío.

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.54. Área límite inundación; Av. Patricio Lynch a la altura del #154.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.55. Área de inundación; puentes sobre estero Hualqui.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.56. Área de inundación; estación fluviométrica contigua a puente ferroviario sobre estero Hualqui.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.57. Área límite inundación; viviendas izquierdas afectadas por desborde Estero Coligual.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.58. Área de inundación; puente Ferroviario sobre estero Coligual ruta O-60.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.8.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Hualqui, personal de la DGA y de TYPESA, se propone ubicar los monolitos en el borde ribereño del Biobío por el acceso de calle Benavides, esto debido a que esta zona se encuentra aproximadamente a 4 cuadras de la municipalidad, está dentro de la zona de inundación y ofrece una buena accesibilidad y visibilidad, tal como se la imágenes 1 y 3-5, respectivamente:

Figura N° 17.59. Lugar propuesto para la instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Norte	Este
5905381	683212

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.60. Punto de instalación de monolito limnimétrico (poste eléctrico).



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.61. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.9 LOCALIDAD: Laja

17.1.9.1 Descripción reunión

El día 14 de marzo de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Laja, Sr. René Vidal quien nos recibió en su oficina ubicada en Balmaceda #292 a las 10:00 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría.

Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2006, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, confirmándose sectores como El Puerto, lugar en que se encuentra la ribera del río Bío-Bío y que es habitado por viviendas informales tipo “toma”, lugar que cada vez ha sido más poblado según comenta el Sr. René Vidal.

De igual manera se procede con el sector laguna La Señoraza, lugar crítico por el desborde del estero Curaco debido al aumento de caudal y posterior desborde del río Bío-Bío, Y, por último, el sector del Nuevo Hospital de Laja, específicamente desde Avenida Los Ríos #800 hacia la ribera del río Laja), sector ha sido repoblado posterior al evento histórico ocurrido en julio del 2006. Siguiendo el mismo patrón, el sector aledaño a la Calle El Sauzalito, a un costado de la cancha deportiva y paralela a calle principal Avenida Los Ríos a la altura del #740, cercano a las cepas del Viaducto Laja-San Rosendo.

Figura N° 17.62. Comuna de Laja y Lugares de interés.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.9.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada a la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 60 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. René Vidal, Encargado de Emergencias de la Comuna.

Figura N° 17.63. Área de inundación Laja.



Fuente: Elaboración Propia

Conforme a lo revisado con el encargado de emergencias y la población, se indicó como zonas de inundación, los sectores de la ribera del río Bio Bío comprendidos desde la Estación de Ferrocarriles pasando por la Av. Arturo Prat y Av. Los Lirios hacia el centro de la ciudad, así como también el sector aledaño El Puerto, lugar en que se encuentra la ribera del río Bío-Bío y que es habitado por viviendas informales tipo “toma”, lugar que cada vez ha sido más poblado según comenta el Sr. René Vidal. Además, se considera el sector de la laguna La Señoroza ubicado en el sur del centro poblado de la comuna, pues se desborda por su lado sureste encontrándose en varias ocasiones con los desbordes del río Bio Bío, esto en los años 2006, 1968 y 1991. Cabe destacar que este lugar se encuentra rodeado de viviendas y áreas verdes para recreación, siendo las mismas afectadas debido a que la laguna desemboca en el estero Curaco, afectando a la comunidad en un radio aproximado de 80 metros desde las orillas de la laguna.

También se debe considerar sector el del Nuevo Hospital de Laja, específicamente desde Avenida Los Ríos #800 hacia la ribera del río Laja), sector ha sido repoblado posterior al evento histórico ocurrido en julio del 2006. De la misma forma ocurre con el sector aledaño a la Calle El Sauzalito, a un costado de la cancha deportiva y paralela a calle principal Avenida Los Ríos a la altura del #740, cercano a las cepas del Viaducto Laja-San Rosendo.

Y, por último, el sector Dioquis, ubicado borde de río y en sur de la comuna siempre se desborda teniendo registro de los años 1958, 1961, 1968 y 2006 (lugar sin poblar).

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.64. Área de inundación, alteraciones del cauce natural del Río Biobío sector El Puerto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.65. Área de inundación, desborde Laguna La Señoraza por Estero Curaco.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.66. Área de inundación; camino ribera Laja por Calle El Sausalito.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.67. Área de inundación; afluentes río Laja, calle El Sausalito.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.68. Área de inundación, sector Viaducto Laja-San Rosendo, ribera Laja.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.9.3 Propuesta monolito

De lo revisado en terreno y en conformidad a la información entregada por los habitantes de la localidad, más los antecedentes derivados de la reunión con DGA de fecha 25 de abril de 2019 y de la visita a terreno con el Encargado de Emergencias de la comuna Sr. René Vidal junto a personal de la DGA el día 10 de mayo de 2019, se propone emplazar 1 monolito en el Sector El Puerto y 1 monolito en Sector Cancha Biobío, junto al puente ferroviario que conecta con la Comuna de San Rosendo. La conveniencia de los puntos propuestos es su fácil acceso y su buena visibilidad para el personal municipal, de quien provino la proposición de emplazamiento.

Figura N° 17.69. Lugares propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Monolito	Norte	Este
Laja 1 (Sector El Puerto)	5871182	702423
Laja 2 (Sector Cancha Biobío)	5872617	702076

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.70. Punto de instalación de monolito limnimétrico sector El Puerto.



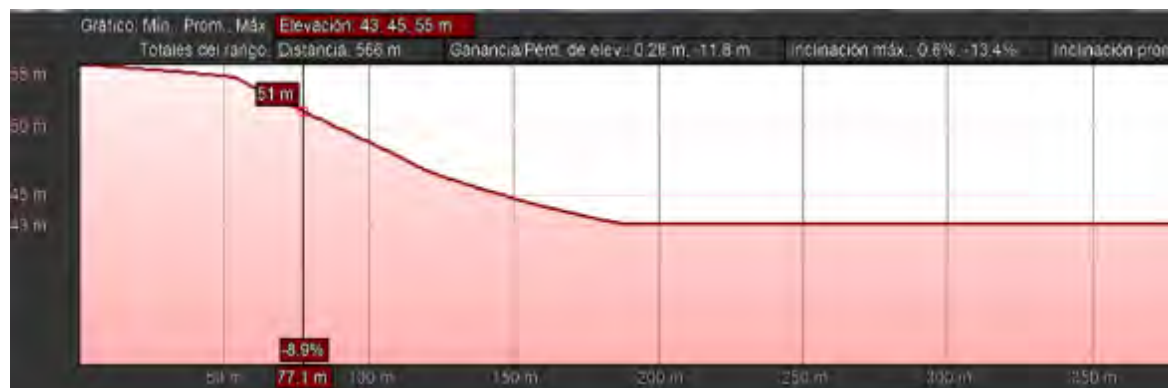
Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.71. Punto de instalación de monolito limnimétrico sector Cancha Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.72. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector El Puerto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.73. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector Cancha Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.10 LOCALIDAD: Nacimiento

17.1.10.1 Descripción reunión

El día 06 de marzo de 2019 se coordinó previamente una cita para acudir a la entrevista con el Sr. Jaime Vidal, sin embargo, al asistir el encargado de emergencias no sé encontraba, pues tuvo que asistir de urgencia a sus obligaciones relativas al cargo, por lo que se entrevistó al equipo administrativo que trabaja con él. De esta forma, se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría, para así revisar posteriormente las zonas que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, obteniendo los sectores como Av. Estación #290, justo perpendicular a la calle Octavio Jara Wolf, intersección de calle Estación y Santos Medel y el sector de la ribera opuesta a los sectores mencionados anteriormente, específicamente en el sector de las calles Lastra y Prieto, sector contiguo a instalaciones de Essbio.

Figura N° 17.74. Panorámica de las dos porciones afectadas en Nacimiento.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.10.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 70 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona a Jaime Vidal Toloza, encargado de emergencia municipal.

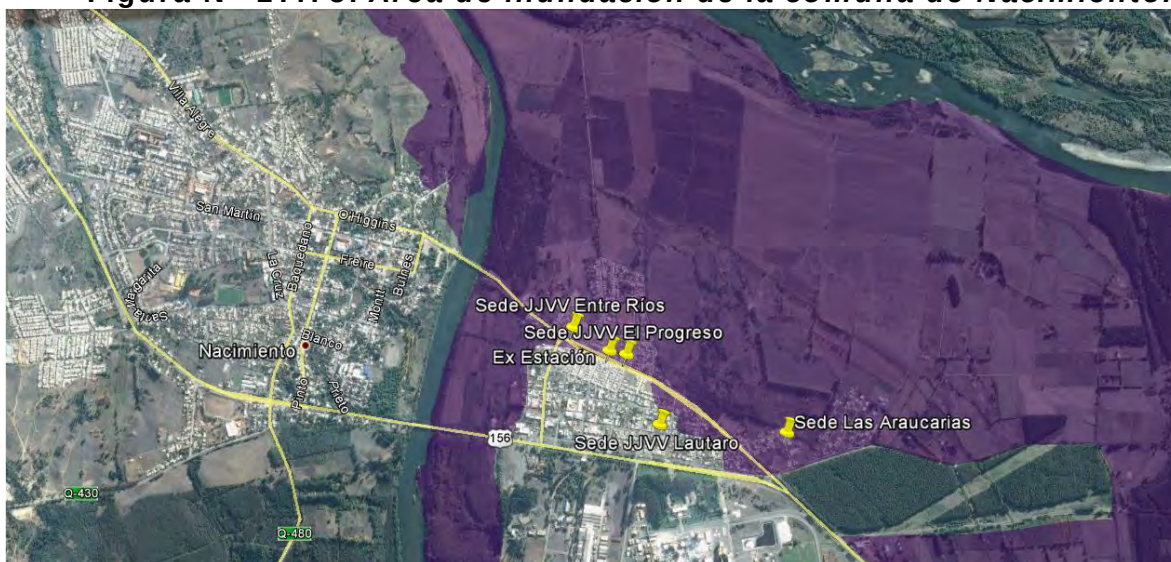
Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el personal administrativo y sumado los relatos de los pobladores, se llegó a la conclusión de que Nacimiento es de las comunas que más se ve afectada, pues su centro urbano se encuentra emplazado en sectores de inundación recurrentes, esto en parte responde a que la trama urbana se encuentra rodeada por los ríos descritos con anterioridad y a la vez dividida por el Río Vergara separando a la comuna en un sector Este, donde está emplazado el casco histórico junto con la mayoría de los servicios, con una menor densidad poblacional, en terrenos de altura e irregulares y el sector Oeste que corresponde a nuevas urbanizaciones, de trama un poco más regular pero que en muchos casos se localizan en sectores inundables, de baja altura o pendiente como pasa con las poblaciones “Entre Ríos” y “El Progreso”.

Cabe mencionar que de manera más específica que hay avenidas que fueron fuertemente afectadas, entre ellas se encuentra Av. Estación a la altura del #290, justo perpendicular a la calle Octavio Jara Wolf. Esta intersección de calles fue uno de los puntos más alejados en el cual el agua y sedimentos, provenientes del Biobío y Vergara afectaron las viviendas del sector.

De igual forma se encuentra la intersección de las calles Estación y Santos Medel, donde viviendas desaparecieron completamente, debido a que recibieron el impacto de agua y sedimentos directamente, pues se ubicaban a espaldas de áreas de cultivos y sumado su ligero material de construcción (algunas de adobe) desencadenó incluso hasta víctimas fatales.

Cómo tercera área de inundación, se tiene la ribera opuesta a los sectores mencionados anteriormente, específicamente en el sector de las calles Lastra y Prieto, sector contiguo a instalaciones de Essbio, pues geográficamente se encuentra bastante expuesta al cauce de los ríos Biobío y Vergara. Cabe destacar, que la población circulante cumplió un rol fundamental en el reconocimiento de las áreas afectadas por los desbordes ocurridos en julio del 2006.

Figura N° 17.75. Área de inundación de la comuna de Nacimiento.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.76. Área de inundación; vista superior Nuevo Puente Vergara y costanera.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.77. Área de inundación; vista superior geografía en intersección calles Lastra y Prieto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.78. Área de inundación; instalaciones Essbio en intersección calles Lastra y Prieto.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.79. Área de inundación, intersección Avenida Estación y Calle Octavio Jara Wolf.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.80. Área de inundación, intersección Avenida Estación y Calle Santos Medel.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.81. Desembocadura del río Vergara en río Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.10.3 Propuesta monolito

De lo revisado en terreno y en conformidad a la información entregada por los habitantes de la localidad, más los antecedentes derivados de la reunión con DGA de fecha 25 de abril de 2019 y de la visita a terreno con el Encargado de Emergencias de la comuna Sr. Jaime Vidal junto a personal de la DGA el día 10 de mayo de 2019, se propone emplazar 1 monolito adosado a la cepa del Puente Nuevo sobre el Río Vergara, en intersección de Avenida Estación y calle Ovalle, en la ribera izquierda del Río Vergara, y 1 monolito en intersección de Avenida Estación y calle San Gregorio. La conveniencia de los puntos propuestos es su fácil acceso y su buena visibilidad para el personal municipal, de quien provino la proposición de emplazamiento.

Figura N° 17.82. Lugares propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Monolito	Norte	Este
Nacimiento 1 (Adosado en Cepa del Puente Nuevo Río Vergara)	5846871	706304
Nacimiento 2 (Av. Estación y San Gregorio)	5846341	707016

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 17.83. Punto de instalación de monolito limnimétrico sector
Puente Nuevo Río Vergara.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 17.84. Punto de instalación de monolito limnimétrico sector
Avenida Estación y San Gregorio.**



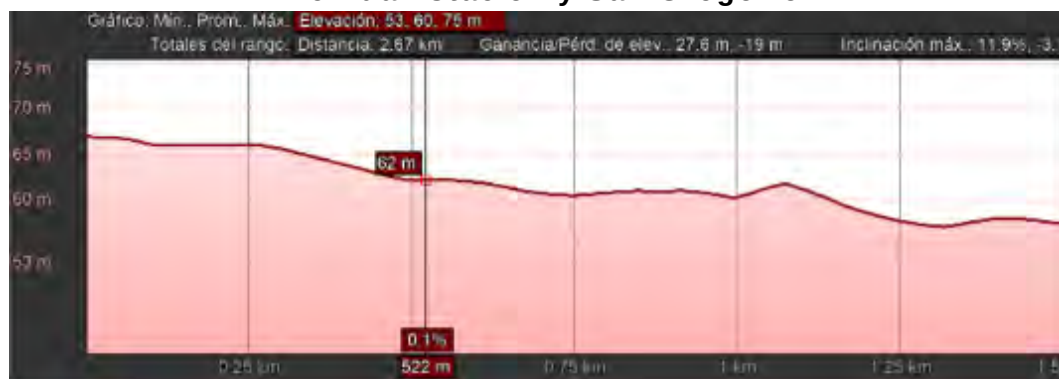
Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 17.85. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector
Puente Nuevo Río Vergara.**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura N° 17.86. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico sector
Avenida Estación y San Gregorio.**



Fuente: Elaboración Propia

17.1.11 LOCALIDAD: Santa Juana

17.1.11.1 Descripción reunión

El día 07 de marzo de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Santa Juana, Sr. Andrés Ortiz quien nos recibió en su oficina ubicada en Yungay #125 a las 8:30 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría. Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2016, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, confirmándose desde Calle Irarrázaval, Calle “Fernández de Córdoba y Arce” y Av. Lautaro hacia la ribera, consiguiendo un desplazamiento de aproximadamente 40 metros en su punto máximo.

De la misma forma el lunes 8 de abril de 2019, se realizó una breve reunión en la Dirección General de Aguas con el fin coordinar el itinerario de visitas a realizar. En este caso, se visitó en conjunto con los Sres. Víctor Romero (profesional DGA), Ricardo Osorio (profesional TYPESA S.A.), entre otros, la ubicación propuesta para la construcción del monolito, con el fin de validar y aportar nuevas referencias de la ubicación por parte de la DGA.

Figura N° 17.87. Visita sector aprobado para la construcción del monolito.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.11.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 42 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Andrés Ortiz Neira, encargado de emergencias.

Conforme a lo revisado, el encargado de emergencias indicó como zonas de inundación, todo el sector comprendido desde las calles “Fernández de Córdova y Arce” y “1 Poniente” hasta la rivera propiamente tal, pues la entrada máxima del agua se dio en dos periodos según los estudios rescatados en los años 1958-59 y 2006, consiguiendo un desplazamiento de aproximadamente 40 metros siguiendo la vía que conecta el río con el pueblo.

Al sureste de la comuna, las inundaciones son generadas por el Estero Huedilhue y sus tributarios el Estero San Juan y Estero Curalí. El principal sector afectado es “Tricauco”, en la entrada norte de Santa Juana y el más poblado que los rodea a una distancia cercana a la comuna. Los otros terrenos corresponden a parcelas particulares y sectores inundables de vegas que potencian la inundación debido a quebradas y canales de riego. Un punto importante ocurre con el ya nombrado “Estero Curalí” que además de rebalsarse e inundar sectores de uso agrícola, durante el evento del año 2006 sobrepasó la Ruta de la Madera en su tramo que une Santa Juana con Nacimiento.

Figura N° 17.88. Área de inundación en zona urbana, en su mayoría terrenos de vega.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.89. Esteros presentes en la Comuna de Santa Juana.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.90. Calle Irarrazabal colindante con acceso instalaciones Essbio



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.91. Área de inundación; rivera Río Biobío contigua Calle Irarrazabal.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.92. Punteras de captación contigua a Calle Irarrazabal.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.11.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Nacimiento, personal de la DGA y de TYP SA, se propone ubicar los monolitos en el borde ribereño del Biobío por el acceso de calle Benavides, esto debido a que esta zona se encuentra aproximadamente a 4 cuadras de la municipalidad, está dentro de la zona de inundación y ofrece una buena accesibilidad y visibilidad, tal como se observa en las imágenes 3- 5, respectivamente:

**Figura N° 17.93. Lugar propuesto para la instalación de monolito
limnimétrico.**



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector:

Norte	Este
5883900	683378

Datum: WGS 84 H18

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.94. Punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.95. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico Santa Juana.



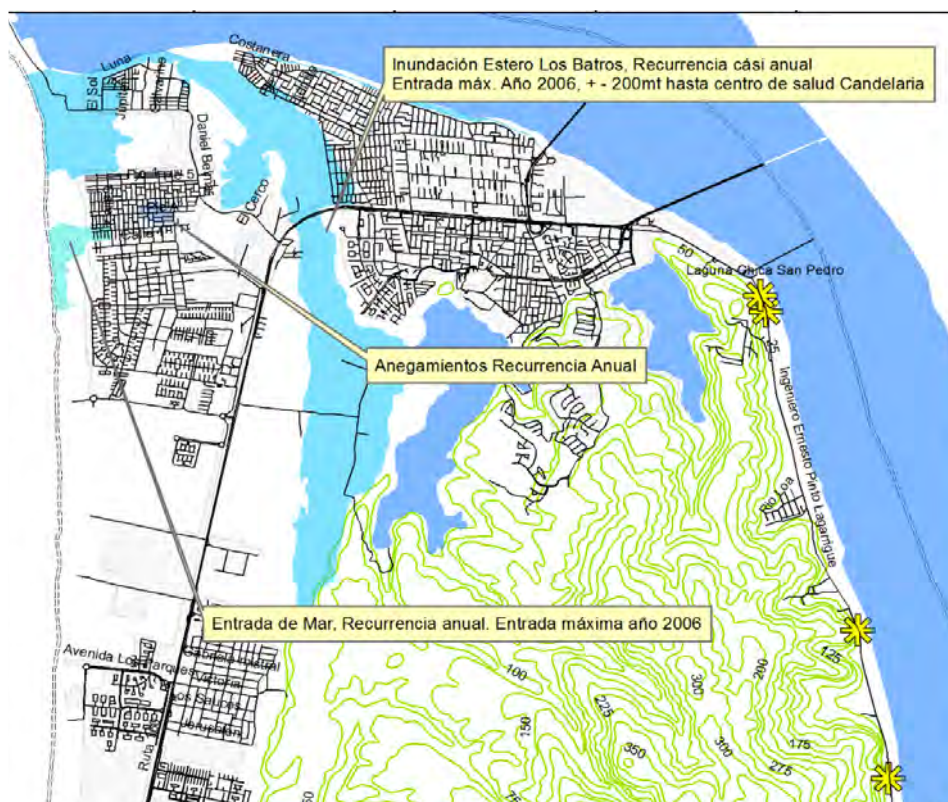
Fuente: Elaboración Propia

17.1.12 LOCALIDAD: San Pedro de la Paz

17.1.12.1 Descripción reunión

El día de la visita el encargado de emergencias de la Municipalidad de San Pedro de la Paz y con el Sr. Eduardo Merino profesional del Depto. de emergencias de la Municipalidad, quienes nos recibieron en sus oficinas ubicadas en Los Canelos esquina Los Cipreses a las 13:00 horas, reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría. Se revisó posteriormente el punto o la zona en la cual se debe ubicar el monolito para el registro de los niveles de inundación del Río Biobío. Conforme a lo revisado, el Encargado de Emergencias indicó como posible zona para ubicar el monolito el sector ubicado en parque a orilla del río Bio Bio en Villa Candelaria. Se nos aclaró que la inundación durante el 2006 se debió a la crecida del Bio Bio y que esto inundó la zona de la Candelaria. También, la municipalidad nos hizo entrega de un estudio contratado por la Municipalidad al Centro Eula, en el cual se abordan y explican los principales riesgos naturales en la comuna de San Pedro de la Paz.

Figura N° 17.96. Mapra de la Comuna de San Pedro de la Paz; Área de inundación recurrentes.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.12.2 Cota de la crecida 2006.

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 7 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Nataniel Guzmán y Sra. Alejandra Poblete.

Figura N° 17.97. Área de inundación; Comuna de San Pedro de la Paz.



Fuente: Elaboración Propia

En la figura se puede ver en morado, el lecho de inundación actual del estero Los Batros determinado por el Plan Regulador Comunal. En color rojo, se puede apreciar la dimensión que tuvo el área afectada durante el evento del año 2006 .

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando, obteniendo georreferencias y fotografías de los sectores de Boca Sur, Michaihue y San Pedro del Valle, sectores que se vieron afectados por la crecida del año 2006.

Figura N° 17.98. Área de inundación, vuelo realizado el día 12 de Julio 2006.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.99. Área de inundación; Sector Estero Los Batros.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.100. Área de inundación; Puente Estero Los Batros.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.101. Área de inundación; sector Candelaria afectado por río Biobío.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.102. Área de inundación; sector colindante al río Biobío afectado por desborde.



Fuente: Elaboración Propia

Cabe destacar que las zonas con peligro de inundación son poco pobladas actualmente y son preferencialmente zonas definidas como humedales o zonas de cultivo temporales. También existen en estas zonas cercanas a la población de Candelaria y que se encuentran en la zona inundada durante el 2006, construcciones de viviendas precarias sin permisos de ningún tipo de construcción las cuales han sido tomadas durante los últimos años según lo informado por los vecinos del sector.

17.1.12.3 Propuesta monolito

Conforme a lo revisado en terreno y en conformidad a lo revisado con el encargado de emergencias de la municipalidad de San Pedro de la Paz, posterior a la reunión, se propone ubicar los monolitos en el borde ribereño del Puente Los Batros, aguas arriba del puente, esto debido a que esta zona se encuentra cerca de una zona de fácil acceso (ciclo vía) y ofrece una buena visibilidad, tal como se observa en las figuras siguientes:

Figura N° 17.103. Lugar propuesto para la instalación de monolito limnimétrico



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación sector sugerido:

Norte	Este
5923125	666605

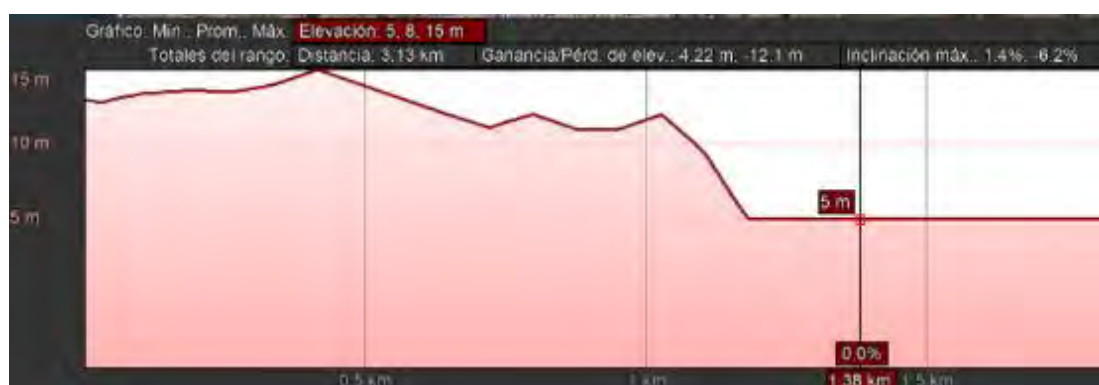
Datum: WGS 84 H18

Figura N° 17.104. Punto de instalación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.105. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico San Pedro de la Paz.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.13 LOCALIDAD: Concepción

17.1.13.1 Descripción reunión

El día de la visita el encargado de emergencias de la Municipalidad de Concepción, Sr. Manuel Macaya, nos atendió en su oficina ubicada en Ejército 1058, alrededor de las 14 hrs. En dicha reunión se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría, para revisar posteriormente el punto o la zona en la cual se debe ubicar el monolito para el registro de los niveles de inundación del Río Biobío.

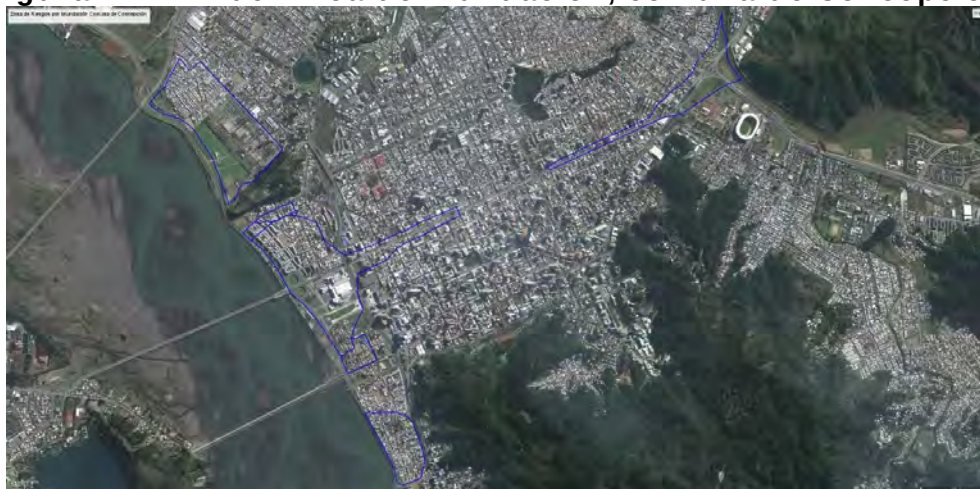
Conforme a lo revisado, el Encargado de Emergencias indicó como posible zona para ubicar el monolito en las cepas o estructura aledaña a las ruinas del Puente Viejo, pues sería una estructura que no sería removida en el futuro y que en el evento del año 2006 había sido un punto estratégico para observar la variación de caudal del río Biobío se inundó aproximadamente un 7% de área urbana del Gran Concepción, cifra no tan crítica en comparación a las comunas, pues la construcción de la costanera mitigó el riesgo de inundación y actuó como barrera de protección para las personas que vivían en cercanos a la ribera.

17.1.13.2 Cota de la crecida 2006

Para definir esta cota se tomó como referencia toda la información recabada en terreno (visitas, entrevistas, documentos, fotografías, entre otros), sumada la información disponible en el proyecto denominado “Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las comunas Ribereñas del Río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío”.

Luego de haber revisado todos estos antecedentes, se logró definir en terreno que la cota de inundación corresponde a 20 m.s.n.m. Cabe destacar que se entrevistó a varios habitantes del sector, sin embargo, para individualización de la persona que aportó la información crecidas de 2006 más relevante se menciona al Sr. Sr. Manuel Macaya, encargado de emergencia de la municipalidad de Concepción.

Figura N° 17.106. Area de inundación, comuna de Concepción.



Fuente: Elaboración Propia

Respecto de lo levantado en terreno, y basado en estudios anteriores, se validó que el área de inundación de la localidad presentado con anterioridad, visitando algunas localidades evidenciadas en las figuras que aparecen a continuación:

Figura N° 17.107. Area de inundación; sector puente chacabuco.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.108. Area de inundación, sector costanera a la altura del Teatro Regional



Fuente: Elaboración Propia

17.1.13.3 Propuesta monolito

De lo revisado en terreno y en conformidad a la información entregada por los habitantes de la localidad, más los antecedentes derivados del Encargado de Emergencias de la comuna Sr. Manuel Macaya, sumado la visita a terreno con el personal de la DGA el día 08 de abril del 2019 se propone ubicar 1 monolito en las ruinas del Puente Viejo, sobre una de las cepas concretamente, como se indica en las figuras a continuación. Cabe destacar que la conveniencia del punto propuesto es su fácil acceso y su buena visibilidad para el personal municipal, de quien provino la proposición de emplazamiento.

Figura N° 17.109. Lugar propuesto para la instalación del monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Norte	Este
5921361	672770

Datum: WGS 84 H18

Figura N° 17.110. Lugar de emplazamiento para el monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.111. Perfil elevación ubicación de monolito limnimétrico.



Fuente: Elaboración Propia

17.1.14 LOCALIDAD: Cabrero

17.1.14.1 Descripción reunión

El día lunes 08 de Julio de 2019 se realizó la visita con el encargado de emergencias de la Municipalidad de Cabrero, Sr. Juan Garrido y con el Administrador Municipal Juan Sanhueza, quienes nos recibieron en su oficina a las 10:30 horas, para realizar una reunión en la cual se explicó el contexto del desarrollo de la presente consultoría. Posteriormente, se revisó los antecedentes de la comuna respecto a la gran crecida del año 2006, con el fin de reconocer los sectores que la municipalidad ha detectado como zonas de riesgo de inundación, confirmándose que durante dicho año la crecida afectó principalmente la zona aledaña al río Laja, sector Batuquito.

Figura N° 17.112. Visita sector aprobado para la construcción del monolito. Sector Batuquito



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.113. Visita sector Batuquito Recinto afectado por inundaciones..



Fuente: Elaboración Propia

17.1.14.2 Propuesta monolito

Debido a que en esta localidad los accesos son solo a través de sitios privados, se gestiona el permiso con privado para poder acceder y ubicar el monolito dentro del recinto.

Coordenadas UTM Ubicación monolito:

Norte	Este
5878596	734343

Datum: WGS 84 H18

Figura N° 17.114 Enrocados construidos en sector Batuquito debido a que puente se socavo en crecida del año 2006.



Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 17.115. Imagen aérea ubicación del Monolito.



Fuente: Elaboración Propia

17.2 DEMARCACIÓN MEDIANTE GPS ZONA APROXIMADA DE INUNDACIÓN

De acuerdo a la información disponible del registro de la última crecida del río Bio Bio del año 2006, catastros-estudios disponibles y las visitas realizadas a terreno se realizaron las siguientes figuras de zonas de inundación demarcadas mediante GPS.

Cabe destacar que esta crecida, utilizando las curvas de duración confeccionadas por este consultor correspondería a un periodo de retorno de aproximadamente $T=100$ años.

18 CONSTRUCCION MONOLITOS

18.1 METODOLOGÍA

Determinado el emplazamiento, se realizará una excavación para confinar una estructura de hormigón del tipo H20 con medidas de 60 cm x 60 cm x 100 cm., la excavación considera compactación en su base y un sobre exceso del encofrado para la instalación de moldajes y fijación de apoyos. En la base de la excavación se construirá una zapata de hormigón para fijar y mantener la posición vertical de la tira de riel de 180 cm de longitud que irá empotrada.

Adicionalmente, para la fijación del riel se utilizarán apoyos de enfierradura pre-armados, pletina de hierro en la base del alma y cruzetas en madera con el propósito de dar una correcta configuración y resistencia.

Realizada esta etapa y previo al vaciado de hormigón en masa, se iniciará el montaje de moldajes previamente armados, incorporando las sujeciones y todos los elementos de apoyo y aditivos necesarios para una correcta instalación y posterior retiro de placas.

Para el relleno, se preparará mezcla según las dosificaciones de resistencia indicadas para el hormigón del tipo H20 y se vibrará cuidadosamente al momento de colocarlo al interior del moldaje. El relleno se dejará fraguar entre 3 a 4 días tapado con poletileno para mantener su humedad, adicionalmente se le incorporará antisol para mantener las condiciones del fraguado.

Al tercer o cuarto día, se retirarán las placas de moldaje y se rellenarán los excesos para confinar monolito.

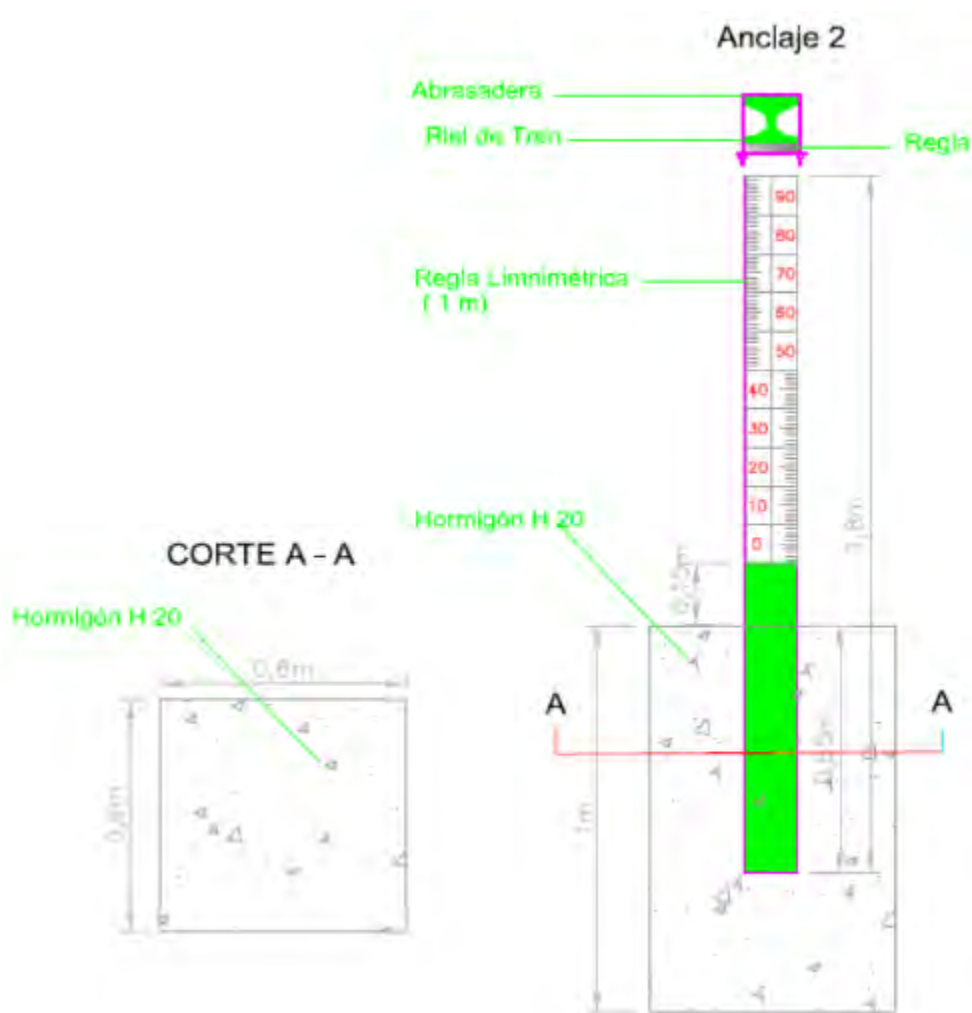
Una vez materializado el monolito y terminado el proceso de construcción de la estructura principal, se utilizará la zapata de la tira del riel para fijar la Regla Limnimétrica de medida igual a 1 metro. La fijación del Limnímetro con el riel se realizará mediante abrazaderas y pernos soldados en su acabado en cada uno de los 3 pares de ojales que cuenta la regleta para evitar vandalismos y la acción de terceros.

Las Reglas Limnimétricas que se fijarán al riel, serán del tipo fierro fundido y de configuración ASTM-A-48, con 1 metro de sección, 120 mm de ancho, 20 mm de espesor con 12 mm bajo relieve, pintado con anticorrosivo y esmalte, divisiones en relieve cada 1 cm, numerado en relieve cada 10 cm. Fondo blanco, numeración azul.

En la parte superior izquierda de cada Regla, se colocará una ficha del mismo material y configuración, con medidas de 100 mm de alto, 80 mm de ancho y 10 mm de

espesor, pintado con anticorrosivo y esmalte, divisiones en relieve cada 1 cm, numerado en relieve cada 10 cm. Fondo blanco, numeración azul. Tanto los rieles como las reglas y fichas de cada monolito contarán con tratamiento anticorrosivo, proceso de pintado y acabado con esmalte.

Figura N° 18.1. Esquema de Monolito Solicitado por DGA



18.2 UBICACIÓN DE MONOLITOS

Para la ubicación en planta de los monolitos y su altimetría en los diversos sectores, se empleará un sistema global de posicionamiento (GPS). El GPS a utilizar es del fabricante Garmin, modelo eTrex 10 con un error de ± 3 m. Para minimizar aún más el margen de error del equipo se hará uso del aumento de la precisión de la ubicación (configurado en el equipo) mediante el promedio de varias muestras en un tiempo determinado. Con ello se obtendrán las Coordenadas X, Y y Z finales de cada monolito.

Tabla N° 18.1 Ubicación de monolitos construidos

N°	Ubicación	Nombre Encargado Municipal	Coordenadas Finales			Descripción
			UTM		Huso	
N	E					
1	San Pedro de la Paz	Jorge Andrés Leon Sánchez	5923130	666593	18	Sector Candelaria. Coord. Determinadas por TYPASA.
2	Concepción	Manuel Macaya	5921377	672809	18	Ruinas Puente Viejo. Coord. determinadas por TYPASA.
3	Chiguayante	Sixto Bustamante	5914340	675066	18	Final calle Las Violetas (cancha basketball). Sector visitado con DGA.
4	Hualqui	Pablo Valenzuela	5905383	683218	18	En poste emplazado en cruce peatonal vía férrea. Coord. determinadas por TYPASA.
5	Coronel	Patricio Perales / Iván Segura	5907207	674683	18	Predio visitado con DGA 2019.04.08. Coord. actualizadas 2019.05.21 (orilla de ruta junto a poste).
6	Santa Juana	Andrés Ortiz Neira	5883891	683389	18	Lugar indicado inicialmente por TYPASA. Coord. actualizadas 2019.04.26.
7	Nacimiento 1	Jaime Vidal Toloza	5846867	706309	18	Puente Nuevo Río Vergara.
8	Nacimiento 2	Jaime Vidal Toloza	5846350	707013	18	Av. Estación esquina calle San Gregorio
9	Laja 1	René Vidal Llanos	5871173	702422	18	Sector El Puerto.
10	Laja 2	René Vidal Llanos	5872610	702075	18	Sector Cancha Biobío, junto a Puente Ferroviario.

N°	Ubicación	Nombre Encargado Municipal	Coordenadas Finales			Descripción
			N	E	Huso	
11	Negrete	Marcelo Merino	5837604	718607	18	Sector bajo al final de calle Pedro Aguirre Cerda.
12	Mulchén 1	Claudio Cid Bascur	5820198	743453	18	Río Mulchén, Sector Villa La Granja, aledaño a multicancha, sobre meseta.
13	Mulchén 2	Claudio Cid Bascur	5822737	743302	18	Río Bureo, Sector Liceo Nuevo Mundo, en prolongación de acera calle Sotomayor.
14	Los Ángeles 2	Felipe Vergara	5839325	720995	18	Sector Islas de Mesamávida, Lote B1.
15	Los Ángeles 1	Felipe Vergara	5839466	714832	18	Sector La Suerte.
16	Los Ángeles 3	Felipe Vergara	5840634	729036	18	Sector La Isla, cerca de Puente Duqueco, a un costado de Ruta Q-550. Coord. Entregadas por Felipe Vergara 17-06-2019.
17	Santa Bárbara 1	Dagoberto Ibacache	5826462	763818	18	Sector Parque Costanera, junto a poste de alumbrado y energía eléctrica N°30475.
18	Santa Bárbara 2	Dagoberto Ibacache	5825690	236474	19	Sector Valle del Agua, al término de camino vecinal de sede comunitaria, junto a letrero de alerta.
19	Quilaco	Sergio Martínez Badilla	5825759	764364	18	Recinto Municipal Puente a Puente, costado de Ruta Acceso a Quilaco, por dentro de cerco de delimitación.
20	Cabrero	Juan Sanhueza	5878600	734342	18	Recinto Privado

Fuente: Elaboración Propia



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

18.3 FICHAS DE MONOLITOS

En Anexo 10 de este informe se presentan las fichas de los monolitos construidos, con descripción y fotografías, ubicados según coordenadas UTM presentadas en Tabla 13.1.

19 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

19.1 RECOPILACION DE ESTUDIOS E INFRAESTRUCTURA

- Existe bastante información de estudios realizados por entidades públicas y privadas, sin embargo, la gran mayoría carece de información integrada de la cuenca. Analizan en forma acotada zonas de riesgo de inundaciones.
- No existen estudios de modelos calibrados para verificar zonas de riesgo, sólo lo registrado por autoridades municipales.
- Por el momento no ha sido posible conseguir información de las empresas privadas como ENEL y COLBUN, respecto de los diseños de sus embalses o sus modelos de rotura de presas, de manera de validar y complementar las áreas a proteger.
- En general, la gran mayoría de la información recopilada de la infraestructura pública se encuentra disponible a través de las diferentes plataformas de cada uno de los servicios, respecto de la información disponible de las centrales hidroeléctricas, esta se encuentra acotada al requerimiento y disponibilidad por parte de cada empresa a facilitar la información.
- La información recopilada corresponde a la infraestructura de mayor envergadura y relevancia para la correcta operación de cada uno de los servicios en la cuenca del Biobío, ya que si bien es cierto, existen otras infraestructuras dentro de la cuenca que puede verse afectada en eventos de crecidas, tales como defensas fluviales, extracciones de áridos, zonas turísticas, etc., estas no son de primera necesidad, ni representan una amenaza a la población ante posibles fallas.

19.2 RECOPILACION DE ANTECEDENTES HIDROLÓGICOS

Una importante conclusión que se obtiene a partir del análisis de los datos, es deficiencia de la calidad de la información hidrometeorológica disponible, por lo que es esencial mejorar red de monitoreo.

Los mejoramientos deben considerar al menos los siguientes puntos:

- Aumentar la resolución, tanto temporal como espacial (distribución) de las estaciones, estas se deben planificar cuidadosamente, en base a criterios técnicos y de ampliación de la red de cobertura, se recomienda instalar estaciones fluviométricas en todos los lugares susceptibles de sufrir desbordes de los ríos o esteros aledaños. Como un punto de partida se debería instalar una estación en la zona cercana a Hualqui que es la localidad más afectada por desbordes del río.
- Minimizar las pérdidas en la recolección de los datos.
- Mejorar la consistencia y disponibilidad de los datos, idealmente estos deberían estar normados y disponibles en tiempo real. Esto se debe considerar para estaciones fluviométricas y meteorológicas.

- Aumentar la disponibilidad de estaciones satelitales o con Data Logger que tomen datos de manera automática.
- Contar con estadísticas en línea de la descarga de los embalses presentes en la cuenca, estos representan puntos de control en el sistema, y si bien según estudios no tienen un gran peso en la descarga del río en la zona de la desembocadura, si cambian la dinámica de los caudales en el río y por ende del rastreo de crecidas.
- El resultado de la red de monitoreo meteorológico propuesto, y validada a través del método de análisis jerárquico AHP, presentaría una buena cobertura espacial de la cuenca suficiente para caracterizar adecuadamente los fenómenos meteorológicos de la cuenca de eventos de crecida y otros.

19.3 METODOLOGIA PARA UN MODELO CONCEPTUAL SAT

- Durante los últimos 20 años se han desarrollado en los países americanos más de 100 SAT, los cuales han aplicado parcialmente los manuales elaborados por el OEA/ DDS y la FICR. Una característica común en la mayoría de estos SAT ha sido la carencia de un análisis hidrológico que permita conocer el comportamiento de la cuenca y la respuesta ante determinados eventos meteorológicos, lo cual permitiría definir y validar los umbrales de alerta y aumentar los tiempos para la respuesta ante una emergencia.
- Actualmente el estado del arte de los sistemas SAT en el país, no integra la información de pronóstico de crecidas que proveen los organismos nacionales de hidrometeorología. En los últimos años se ha venido observando un creciente uso y disponibilidad de sistemas de alta tecnología, como los sistemas de observación atmosférica satelitales, que permiten desarrollar modelos y pronósticos de tiempo y, con ello, dar avisos con mayor tiempo de anticipación. Estos avisos, en una región donde prevalecen tiempos de concentración muy cortos a veces de hasta menos de una hora y en muchos casos de hasta menos de 30 o 15 minutos, los cuales producen frecuentes inundaciones 'repentinas', pueden aumentar el tiempo de preparación, mejorando los tiempos de respuesta.
- La región del Biobío no considera un enfoque de cuencas para la aplicación del SAT del tipo Central, es decir se centra en las poblaciones afectadas antes que el ambiente en conjunto, por lo que, a criterio de este consultor, se debiera implementar un sistema SAT Local.
- En relación a los estudios desarrollados por diferentes organismos, existen tres estudios, que resultan claves para la implementación del SAT Local que se propone, estos son:
 - o Diagnóstico y Análisis de Vulnerabilidad de Localidad Hualqui ante Crecidas del Río Biobío, VIII Región.
 - o Determinación de los Umbrales de Alerta de Caudales, Lluvias y Temperaturas del Sistema de Transmisión de Datos de la DGA.

- o Planificación Estratégica Participativa en Reducción de Riesgos de Desastres en las Comunas Pertencientes a la Comisión de Municipios Ribereños del río Biobío de la Asociación de Municipalidades de la Región del Biobío
- Respecto a los pronósticos, para ríos con geometría simple, el software unidimensional Hec-RAS se presenta como la mejor alternativa de uso debido a la facilidad en la introducción de datos y proporciona resultados confiables en un menor tiempo. Sin embargo, el río Biobío no es el caso, por lo que modelos tipo IBER, ArcHydro y neuronales son la mejor opción para modelaciones de ríos con geometrías de mayor irregularidad, cuando se tiene especial interés en el comportamiento hidráulico del flujo a través de diferentes obras.
- El sistema de comunicación entre los diversos organismos es directa o indirectamente ineficiente.
- Las estaciones meteorológicas o hidrometeorológicas deben ser localizadas en las cabeceras de cuencas. Teniendo en cuenta su accesibilidad y el resguardo de los equipos.
- Se debe disponer de una plataforma que cuente con equipos e instrumentos que permitan o recaben información utilizable para la gestión del riesgo, con el fin de generar vínculos para la obtención de dicha información.
- Respecto al Pronóstico se propone un sistema que funcione de la siguiente manera:
 - a. Primero se debería elaborar un pronóstico de la crecida con al menos 48 hrs de anticipación, de manera de levantar una alerta en el sistema de monitorización el cual pasa a controlar la crecida a nivel horario. El pronóstico de crecida a nivel diario se puede hacer con algún modelo hidrológico (HECRAS o similar). Preferiblemente se debe modelar cada subcuenca por separado y luego agregar los resultados individuales, lo que permite que la red pueda dar la alerta independientemente por cada subcuenca y que los modelos sean más precisos.

Lo anterior debe ser analizado en el futuro, una vez que se determinen y modelen las subcuencas y se obtengan los tiempos de acumulación, ya que ello puede influir en forma importante en mediciones aguas abajo. Esto no es alcance de este estudio.
 - b. Para el monitoreo horario de la crecida, se plantea la utilización de un algoritmo evolutivo, como las redes neuronales, que mediante la utilización de datos en tiempo real vaya entregando pronósticos de caudales con distintos tiempos de anticipación, por ejemplo con $t + 1$, $t + 6$ y $t + 12$, los cuales se van estimando cada hora mientras dura la crecida. Un modelo similar al planteado ya fue realizado en la cuenca

para la predicción de niveles en la desembocadura en tiempo real (González et al).

- Cabe destacar que ambos enfoques, con modelos hidrológicos o algoritmos evolutivos, pueden ser utilizados en ambas fases de alertas. Para tomar una decisión correcta se debe tener en cuenta los siguientes factores:
 - a) Los modelos hidrológicos tienen una alta dependencia con la calidad de los datos que se utilizan y dependen fuertemente de la correcta definición de los parámetros de cada modelo. Esto se traduce en que muchas veces estos modelos no reproducen bien la dinámica de la cuenca a nivel horario, o que en algunos casos cada crecida tiene sus propios parámetros de calibración.
 - b) A diferencia de los modelos hidrológicos, los algoritmos evolutivos no representan la dinámica de la cuenca y solo entregan una respuesta de la cuenca a partir de ciertos parámetros de entrada, debido a esto para obtener buenos resultados se debe tener un amplio registro de crecidas que permita entrenar el algoritmo de manera correcta y que pueda predecir un amplio rango de escenarios. En las condiciones actuales de la red de monitoreo de la DGA, este es un punto que presenta un problema debido a la relativamente pequeña cantidad de estaciones que cuentan con datos horarios y a que la longitud de estos registros es muy corta, mayoritariamente inferior a 10 años.
- A la luz de la mayor simpleza en su implementación y de no requerir un modelo detallado de la cuenca se estima que el enfoque a través de algoritmos evolutivos es una opción más abordable a priori y debe ser estudiada como una posible solución.
- A falta de datos en las zonas de interés se pueden acoplar dos tipos de enfoque de manera de obtener un pronóstico de crecida en un punto controlado y hacer un rastreo de la crecida hacia los puntos de interés del estudio. Este tipo solución acoplada es ampliamente utilizada para pronósticos de crecidas y se puede acoplar con los dos métodos mencionados anteriormente (modelos hidrológicos y algoritmos evolutivos).
- Es recomendable además tratar de integrar el sistema con pronósticos meteorológicos, los que podrían entregar más información y de forma anticipada ante una posible alerta. Estos pronósticos, gracias al equipamiento actual, entregan información con un alto nivel de certeza y permitirían estimar magnitudes y probabilidades de ocurrencia con días de antelación.
- Finalmente se recomienda utilizar, para la elaboración de los umbrales de nivel, los modelos tipo IBER o HecRas de modo de obtener los mapas de inundación y sus alturas asociadas que estén en línea con los modelos de roturas de presas.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
RECOPILACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA CRECIDAS DEL RÍO BIOBÍO

20 BIBLIOGRAFÍA

A continuación se presentan las referencias metodológicas de un SAT:

- ABAD ESCOBAR. Análisis Secuencial de Facies en el Triásico del Biobío – IX Congreso Geológico de Chile, 2000.
- BASSO, M Y CEMBRANO, J. Estudio Geológico-estructural en el Valle del Alto Río Biobío, Lonquimay, Chile; Avances Preliminares, XII Congreso Geológico Chileno, 2009.
- CLAUDIA VIDAL. Ciudad y Riesgos Naturales, Universidad de Concepción, 2006.
- COMISION EUROPEA. Estrategia de la UE en apoyo de la reducción del Riesgo de Catástrofes en los países en desarrollo. Bruselas, Comisión Europea, 2009.
- COLBÚN, Plan de Accion mediante emergencias Central Angostura, 2012.
- DGA. Estudio Hidrogeológico Cuenca Biobío, División de Estudios y Planificación, 2012.
- EIRD (Estrategia Internacional para Reducción de Desastres, SUI). Vivir con el riesgo, Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Suiza, Estrategia Internacional para Reducción de Desastres, 2004.
- EULA. Datos cronológicos Martínez, 1968 y Thiele et al 1998.
- FERNANDO PEÑA CORTES. Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área, EULA, 1995.
- GUHA-SAPIR, D; VOS, F; BELOW, R; PONSERRE, S. Annual Disaster Statistical Review: The Numbers and Trends. CRED (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters). Bruselas, Belgium, Ciaco Imprimerie, Louvain-la-Neuve. 2010-2011.
- HICKS, FE; PEACOCK, T.. Suitability of HEC-RAS for Flood Forecasting. Canadian Water Resources Journal, 2005
- JIMÉNEZ, F. Introducción al manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2012.
- JOSÉ URIBE COLILLANCA. Evolución reciente del Lecho del río Biobío, en el tramo Hualqui-Desembocadura, Universidad del Biobío, 2015.
- LÓPEZ, D. Sistema de alerta temprana por inundaciones experiencia en El Salvador - SNET (en línea). El Salvador, Servicio Nacional de Estudios Territoriales, 2004.
- LEÓN, A. Estimación de riesgos de la cuenca del río Tahuamanu. Perú, WWF (World Wildlife Found), 2008.
- MARÍA MARDONES FLORES. Origen y evolución geológica de los humedales de la llanura costera de Concepción-Talcahuano, EULA, 2010.
- MARÍA MARDONES. Origen y evolución geológica de los humedales de la llanura costera de Concepción-Talcahuano, EULA, 2010
- MARCO ANTONIO FERNÁNDEZ RAMÍREZ. Cambios morfológicos y efectos en las velocidades y alturas del flujo en la parte baja del río Biobío, Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2013

- NEUSSNER, O. 2009. Manual Local Flood Early Warning Systems Experiences from the Philippines. Philippines, GTZ.
- OEA (Organización de los Estados Americanos). Manual para el Diseño, Instalación, Operación y Mantenimiento de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana ante Inundaciones. Nicaragua, 2010.
- PREDES (Centro de Estudios y Prevención de Desastres). Sistema de Alerta Temprana SAT ante inundaciones en la cuenca del río Inambari. Lima, Perú, PREDES (Centro de Estudios y Prevención de Desastres), 2007.
- PENDER, G; NÉELZ, S. Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management. Environmental Hazar, 2007
- PRICE, RK; VOJINOVIC, Z. Urban flood disaster management. Urban Water Journal, 2008.
- PUJOL ET AL. La modelación de Redes Neuronales para la previsión de caudales en cuencas del ámbito Mediterráneo haciendo uso de datos SAIH. Aplicación a cuencas del Jucar y el Segura, 2010.
- THIELE, MORENO, ELGUETA, LAHSEN, REBOLLEDO Y PETIT-BREUILH. Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja, Revista Geológica de Chile, 1995.
- UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, SUI). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra, SUI, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, 2009
- UNIVERSIDAD DEL BIOBÍO. Estudio de Riesgos de Sismos y Maremoto para Comunas Costeras de la región del Biobío, 2010.