DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén

Decreto Exento N°257/2022

CAPITULO 2 /ANEXO 2.5

Caracterización Hidrológica

2026

CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 1

2 OBJETIVOS 4

2.1 OBJETIVO GENERAL 4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4

3 METODOLOGÍA 4

4 HIDROLOGÍA 5

4.1 ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN 6
4.2 DIAGNÓSTICO Y RELLENO DE SERIES DE TIEMPO 10
4.3 HIDROCLIMA HISTÓRICO 13
4.4 EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS 17

5 HIDROGRAFÍA 20

5.1 ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN 20
5.2 ANÁLISIS DEL RELIEVE Y TIPO DE SUELO 20
5.3 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS 23
5.4 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CAUCES Y CUERPOS DE AGUA 26

6 PROYECCIONES CLIMÁTICAS 31

6.1 PROYECCIONES DE TEMPERATURA 32
6.2 PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN 33

7 ÁREA DE INFLUENCIA 34

8 BIBLIOGRAFÍA 36

9 APÉNDICES 37

APÉNDICE 1 – HIDROLOGÍA 37
APÉNDICE 2 - SIG 37

TABLAS

Tabla 4-1: Catastro de estaciones meteorológicas DGA cercanas al área del proyecto. En rojo se destacan las estaciones utilizadas para caracterizar la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S. 6
Tabla 4-2: Catastro de estaciones fluviométricas DGA cercanas al área del proyecto. En rojo se destacan las estaciones utilizadas para caracterizar la hidrología de la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S. 7
Tabla 4-3: Catastro de estaciones meteorológicas con registros de temperaturas cercanas al área del proyecto. En rojo se destaca la estación utilizada para caracterizar la climatología de la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S. 7
Tabla 4-4: Información general de las cuencas asociadas a las estaciones fluviométricas utilizadas 8
Tabla 4-5: Precipitaciones máximas en 24 horas en función del período de retorno para la estación Coelemu. 18
Tabla 4-6: Coeficiente de duración asociados a la estación Concepción. 19
Tabla 5-1: Cuencas, subcuencas y subsubcuencas identificadas en el área del Proyecto. 24
Tabla 5-2: Información geomorfológica básica de las cuencas identificadas. 25

FIGURAS

Figura 1-1: Ubicación del proyecto Delicias – Coiquén. 2
Figura 1-2: Detalle del proyecto Las Delicias - Coiquén. (a) Trazado general del proyecto y obras. (b) S/E Las Delicias y Líneas de Transmisión de 220 y 66 kV. (c) S/E Coiquén y Línea de Transmisión de 66 kV. 3
Figura 4-1: Estaciones pluviométricas y cuencas con control fluviométrico en las cercanías del Proyecto. Se destaca la estación pluviométrica San Agustín de Puñual y las estaciones fluviométricas del río Cauquenes en El Arrayan y el río Lonquén en El Trahuaco cuyos registros son analizados. 8
Figura 4-2: Estaciones meteorológicas con información de temperaturas cercanas al Proyecto. 9
Figura 4-3: Temperatura media diaria medida (azul) y rellenada (rojo y verde) para la estación Chillán (DMC). 10
Figura 4-4: Temperatura máxima diaria medida (azul) y rellenada (rojo) en la estación Chillán (DMC). 11
Figura 4-5: Temperatura mínima diaria medida (azul) y rellenada (rojo) en la estación Chillán (DMC). 11
Figura 4-6: Precipitación acumulada diaria en la estación San Agustín de Puñual (DGA). 12
Figura 4-7: Precipitación acumulada diaria y máximos anuales en la estación Coelemu (DGA). 12
Figura 4-8: Caudal medio diario Río Cauquenes en el Arrayán. 13
Figura 4-9: Caudal medio diario Río Lonquén en Trehuaco. 13
Figura 4-10: Variación estacional de precipitación (San Agustín de Puñual) y temperatura (Chillán) calculada a partir de la serie temporal comprendida entre 1993 y 2019. 14
Figura 4-11: Caudales medio mensual Río Cauquenes en el Arrayan. Período 1986 – 2016. 15
Figura 4-12: Caudal medio mensual Río Lonquén en Trehuaco. Período 1986-2020. 15

Figura 4-13: Temperatura media anual estación Chillán (DMC). 16
Figura 4-14: Precipitación media anual estación San Agustín de Puñual. 16
Figura 4-15: Comparación entre la escorrentía de los ríos analizados y la precipitación a nivel anual en San Agustín de Puñual. 17
Figura 4-16: Análisis de frecuencia precipitaciones máximas en 24 horas y ajuste del modelo GEV. ..18
Figura 4-17: Curvas intensidad-duración-frecuencia asociadas a la estación Coelemu. 19
Figura 5-1: Mapa de elevaciones de la zona costera de la región del Ñuble. 21
Figura 5-2: Mapa de elevaciones de la zona de estudio. Curvas de nivel cada 25 y 50 metros. 22
Figura 5-3: Mapa de cobertura de suelo en la zona de estudio. 23
Figura 5-4: Cuencas administrativas cercanas al proyecto. 24
Figura 5-5: Red hídrica en la vecindad del proyecto confeccionada a partir del DEM ALOS-PALSAR. 25
Figura 5-6: Red hídrica en la vecindad del proyecto confeccionada a partir de las cartas IGM. 26
Figura 5-7: Red hídrica en la vecindad del proyecto obtenida de la base de datos del IDE. 27
Figura 5-8: Imagen satelital del cauce del estero Recreo. 28
Figura 5-9: Cauces identificados en el tramo norte-centro de la línea proyectada. 29
Figura 5-10: Cauces identificados en el tramo central de la línea proyectada. 30
Figura 5-11: Cauces identificados en el tramo centro-sur de la línea proyectada. 31
Figura 6-1: Proyecciones de temperatura media anual (anomalía) en el sector del proyecto según varios GCM en el escenario SSP8.5. Color rojo y azul indican el período futuro e histórico respectivamente 32
Figura 6-2: Proyecciones de precipitación acumulada anual (anomalía porcentual) en la comuna de Quirihue según varios GCM en un escenario SSP8.5. Color rojo y azul indican el período futuro e histórico respectivamente. 33
Figura 7-1: Área de Influencia hidrológica del proyecto Las Delicias - Coiquén. (a) Trazado general del proyecto y obras. (b) S/E Las Delicias y Líneas de Transmisión de 220 y 66 kV. (c) S/E Coiquén y Línea de Transmisión de 66 kV. 35

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea de Transmisión 2x66 kV Las Delicias – Coiquén", en adelante el Proyecto (Figura 1-1) corresponde a una iniciativa de infraestructura de transmisión eléctrica zonal contemplada en el Decreto Exento N°257/2022 del Ministerio de Energía, que aprueba el Plan de Expansión del Sistema de Transmisión correspondiente al año 2021. El objetivo del Proyecto es reforzar la capacidad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico en la zona, mediante la incorporación de nuevas instalaciones de transmisión eléctrica destinadas a mejorar la capacidad, continuidad y confiabilidad del suministro eléctrico.

En términos generales, el Proyecto considera la construcción y operación de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, la Nueva Subestación Coiquén, una nueva Línea de Transmisión aérea 2x66 kV de aproximadamente 9,1 km de longitud y el seccionamiento de una Línea de transmisión existente en 220 kV. El Proyecto se emplaza en la Región de Ñuble, principalmente en la comuna de Quirihue (Figura 1-2) y se somete al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

En el marco del Proyecto, se ha solicitado la elaboración de una caracterización hidrológica acorde al Art. 19 del RSEIA, a los documentos "Criterio de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico" y "Cambio Climático en la Evaluación Ambiental del Recurso hídrico" entre otros documentos observables.

Figura 1-1: Ubicación del proyecto Delicias – Coiquén.

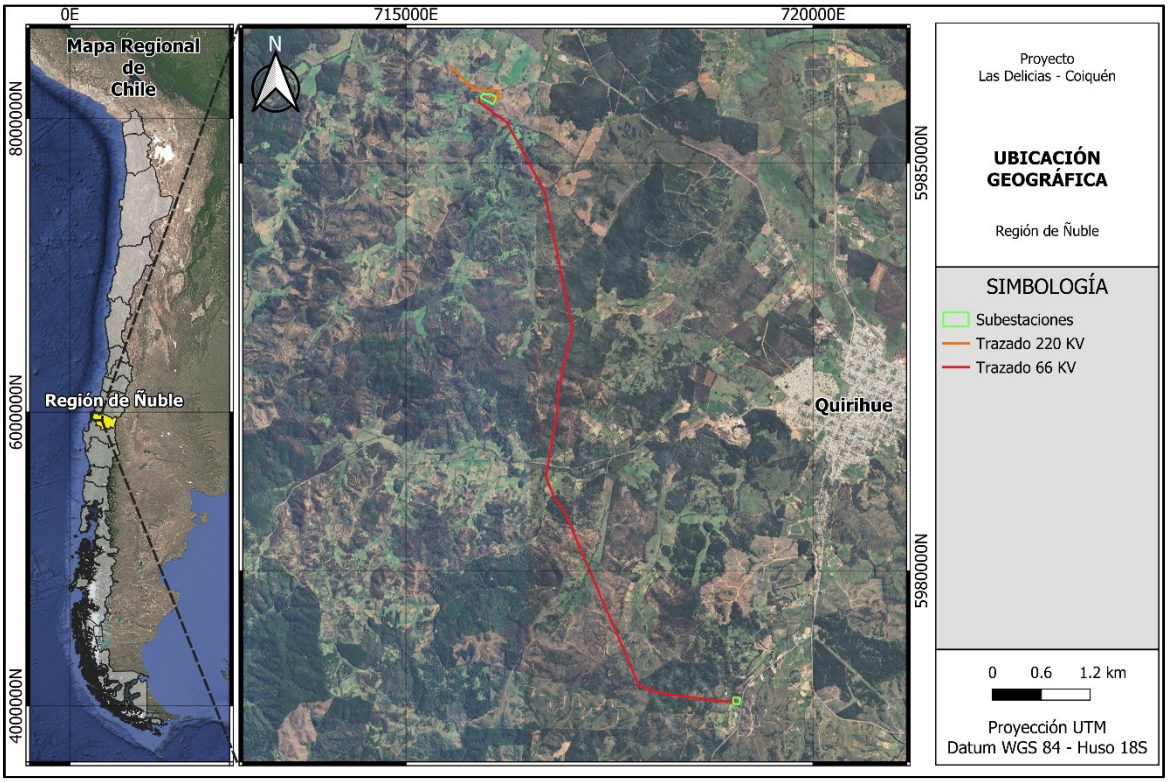
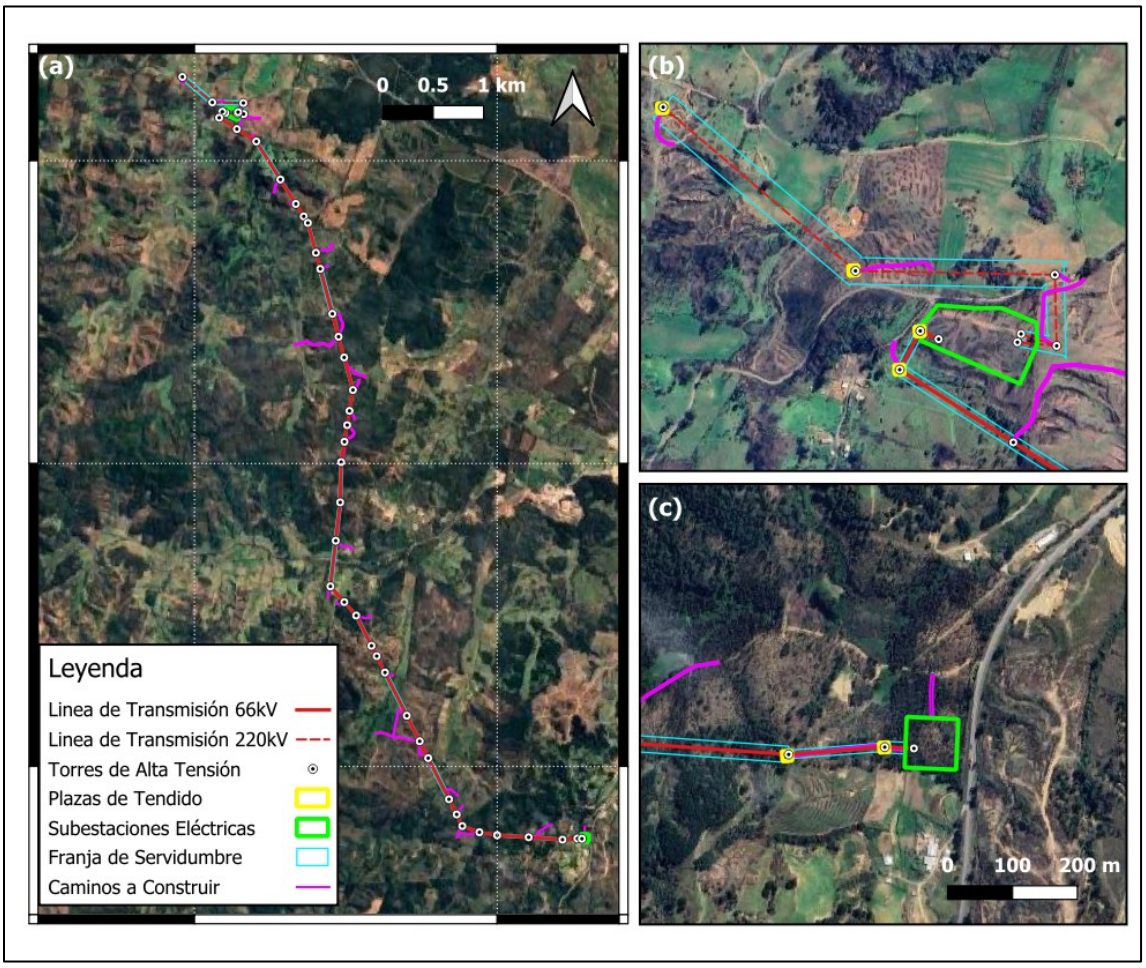


Figura 1-2: Detalle del proyecto Las Delicias - Coiquén. (a) Trazado general del proyecto y obras. (b) S/E Las Delicias y Líneas de Transmisión de 220 y 66 kV. (c) S/E Coiquén y Línea de Transmisión de 66 kV.



2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este documento es identificar y realizar una caracterización hidrológica (superficial) del área del proyecto y alrededores, con objeto de establecer una línea base que permita evaluar las posibles alteraciones futuras derivadas de la implementación del proyecto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la variabilidad hidroclimática histórica bajo un contexto particular al área a intervenir.
- Delimitar e identificar cuencas hidrográficas, cuerpos y cursos de agua relevantes para el Proyecto.
- Caracterizar la variabilidad e incertidumbre hidrológica futura bajo proyecciones de Cambio Climático y su relación con la intervención propuesta por el Proyecto.

3 METODOLOGÍA

La caracterización del área de estudio se desarrolla integrando antecedentes provenientes de distintas fuentes de información oficiales, cartográficas y observacionales, seleccionadas de acuerdo con la naturaleza de cada variable analizada. Para la caracterización hidroclimática se utilizan registros instrumentales de precipitación, temperatura y caudal obtenidos desde estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), privilegiando aquellas con mayor cercanía al proyecto, continuidad temporal y representatividad regional. No existen estaciones de monitoreo directamente emplazadas en el área de intervención, de forma que la caracterización se basa en estaciones ubicadas en cuencas o sectores climáticamente análogos, asumiendo que éstas representan adecuadamente el comportamiento de la zona.

La delimitación de cuencas y la identificación preliminar de la red de drenaje se realizaron mediante el Modelo Digital de Elevación ALOS-PALSAR, complementado con la cartografía hidrográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM), la del IDE y la cartografía administrativa del Banco Nacional de Aguas (BNA). La utilización conjunta de estas fuentes permite contrastar diferencias entre representaciones cartográficas y reducir la incertidumbre asociada a la identificación de cauces de pequeña escala. Sin embargo, debe considerarse que producto de la resolución espacial de las fuentes, las diferencias

de criterios entre instituciones y el carácter dinámico de algunos cauces limitan la representación exacta de la red hidrográfica local.

Adicionalmente, la evaluación de las condiciones futuras se desarrolló utilizando las proyecciones climáticas del Atlas de Riesgo Climático (ARClim), considerando un conjunto de modelos climáticos globales bajo un escenario de altas emisiones y contrastando los resultados con las recomendaciones del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Dado que las proyecciones climáticas representan escenarios plausibles y no predicciones determinísticas, los resultados se interpretan en términos de tendencias, rangos de incertidumbre y cambios esperados en las condiciones medias futuras, más que como valores únicos de diseño.

Por último, el documento se estructura en dos componentes complementarias: hidrología e hidrografía**.** La primera corresponde a un análisis de series de tiempo de variables meteorológicas e hidrológicas, incluyendo precipitación, temperatura y caudales, con el propósito de caracterizar el comportamiento histórico de la zona, su variabilidad, ocurrencia de eventos extremos y potenciales tendencias. La segunda consiste en un análisis cartográfico y geográfico orientado a identificar y caracterizar la red de drenaje superficial, delimitar las cuencas hidrográficas asociadas al área del proyecto y describir sus principales atributos geomorfológicos e hidrológicos, proporcionando el contexto espacial necesario para evaluar la interacción entre el proyecto y el sistema hídrico.

4 HIDROLOGÍA

El proyecto se ubica en la región del Ñuble, comuna de Quirihue, en el borde oriental de la cordillera de la costa, al comienzo de la depresión intermedia (Figura 1-1). De acuerdo a la clasificación Köppen-Geiger expuesta por Vásquez y Mendoza (2025), la región del Biobío y actual Ñuble, presenta un clima mediterráneo de estación seca bien definida. Este clima marca una transición entre los climas templados de Chile central y los climas húmedos al sur del río Laja. Los primeros están caracterizados por veranos cálidos y secos con predominio de la actividad agrícola, mientras que en los segundos predominan la ganadería y la silvicultura. En términos generales, los autores indican que la precipitación anual supera los 1.000 mm, concentrándose el 70 % del total anual entre los meses de mayo a agosto. A su vez los meses comprendidos entre diciembre y marzo tienen un comportamiento seco, con totales mensuales inferiores a 40 mm.

En este contexto, el Proyecto se ubica próximo a la macrozona de la depresión intermedia de Ñuble, de manera que la línea de base se enfoca mayoritariamente en observaciones de estaciones meteorológicas y fluviométricas cercanas, donde cabe destacar que no se encontró ningún monitoreo específico a la comuna de Quirihue. Para

las estaciones cercanas seleccionadas se presenta un análisis de promedios mensuales, tendencias anuales y eventos extremos. Adicionalmente se estiman proyecciones de cambio climático para el sector a intervenir a partir de ARClim.

4.1 ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

A continuación, se expone la caracterización de los antecedentes hidroclimáticos generales. Para esto se tuvo en consideración la literatura reciente y los criterios técnicos establecidos por el Servicio de Evaluación Ambiental.

Para el análisis de variables hidrológicas, se consideran las bases de datos provenientes de la DGA y DMC. En particular se identifican estaciones próximas a la zona de estudio, que tengan registros extensos tanto de temperatura como precipitación. Adicionalmente, se identifican mediciones fluviométricas en cuencas relevantes para la caracterización hidrológica del Proyecto.

Las Tablas Tabla 4-1, Tabla 4-2 y Tabla 4-3 resumen las características de las estaciones identificadas, mientras que la Figura 4-1 ilustra la ubicación de las estaciones en relación al Proyecto. Particularmente, la Figura 4-2 destaca las estaciones meteorológicas con registros de temperatura. Adicionalmente, la Tabla 4-4 incluye información general concerniente a las cuencas asociadas a las estaciones fluviométricas.

Tabla 4-1: Catastro de estaciones meteorológicas DGA cercanas al área del proyecto. En rojo se destacan las estaciones utilizadas para caracterizar la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S.

Nombre	ID	Este (m)	Norte (m)	Altura (m s.n.m)	Años con registro
Tutuven Embalse	07337002-7	736.458	6.024.380	179	1975-2024
El Álamo	07336003-K	732.184	6.000.437	180	1994-2019
Mangarral	08142001-7	738.813	5.986.680	140	1992-2019
San Agustín de Puñual	08118004-0	733.807	5.973.556	138	1993-2019
Rio Itata En Coelemu	08141001-1	706.737	5.961.803	27	1961-2019
Coelemu	08141002-K	707.052	5.960.945	40	1961-2020
Portezuelo	08140005-9	730.319	5.954.628	135	2011-2020
Rafael	08140001-6	692.309	5.943.295	294	1993-2019
Dichato	08210002-4	685.186	5.953.539	11	1980-2019
Estero Bellavista en Tomé	08210003-2	683.322	5.943.150	7	2009-2024
Nueva Aldea	08135003-5	727.358	5.940.372	32	1956-2019
Faro Isla Quiriquina	08240000-1	674.407	5.946.800	35	-

Tabla 4-2: Catastro de estaciones fluviométricas DGA cercanas al área del proyecto. En rojo se destacan las estaciones utilizadas para caracterizar la hidrología de la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S.

Nombre	ID	Este (m)	Norte (m)	Altura (m s.n.m)	Años con registro
Río Cauquenes en el Arrayan	07336001-3	736.593	6.012.545	590	1986-2019
Río Chovellén en el Risco	07440000-0	714.179	6.021.369	21	2018-2022
Rio Lonquén en Trehuaco	08144001-8	709.399	5.966.160	0	1976-2019
Río Itata en Coelemu	08141001-1	706.737	5.961.803	27	1985-2019
Estero Bellavista en Tomé	08210003-2	683.322	5.943.150	7	2019-2020
Río Chillán en Camino a Confluencia	08117005-3	739.397	5.944.472	40	1956-2019
Río Itata en Balsa Nueva Aldea	08135002-7	727.368	5.940.371	29	1956-2020
Río Itata en Paso Hondo	08140002-4	724.449	5.943.596	26	2006-2020

Tabla 4-3: Catastro de estaciones meteorológicas con registros de temperaturas cercanas al área del proyecto. En rojo se destaca la estación utilizada para caracterizar la climatología de la zona de estudio. Coordenadas en UTM Huso 18S.

Nombre	ID	Este (m)	Norte (m)	Altura (m s.n.m)	Años con registro
Parral	07345001-2	245.632	5.990.901	175	1975-1993 2013-2020
General Bernardo O'Higgins, Chillán Ad.	360011 (DMC)	764.540	5.946.816	155	1966-2024
Coihueco Embalse	08113001-9	249.755	5.941.311	314	1976-1993
Carriel Sur, Concepción Ap.	360019 (DMC)	672.258	5.927.2615	8	1966-2024

Figura 4-1: Estaciones pluviométricas y cuencas con control fluviométrico en las cercanías del Proyecto. Se destaca la estación pluviométrica San Agustín de Puñual y las estaciones fluviométricas del río Cauquenes en El Arrayan y el río Lonquén en El Trahuaco cuyos registros son analizados.

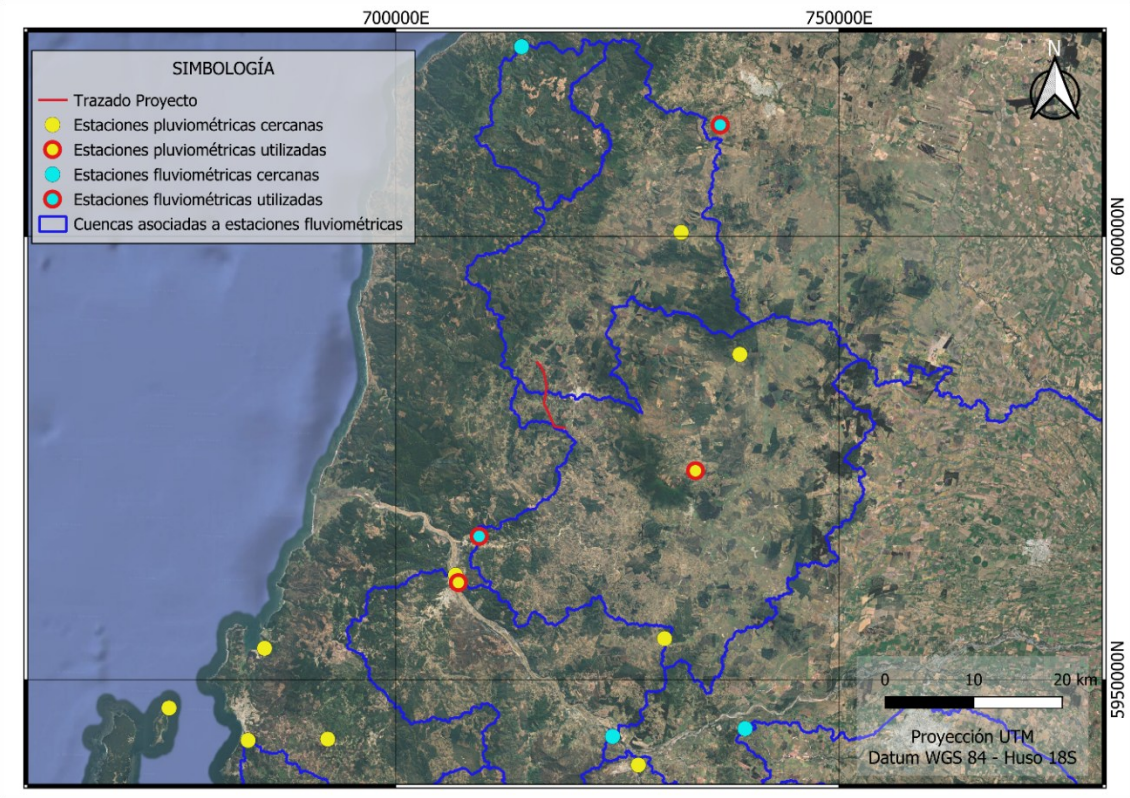
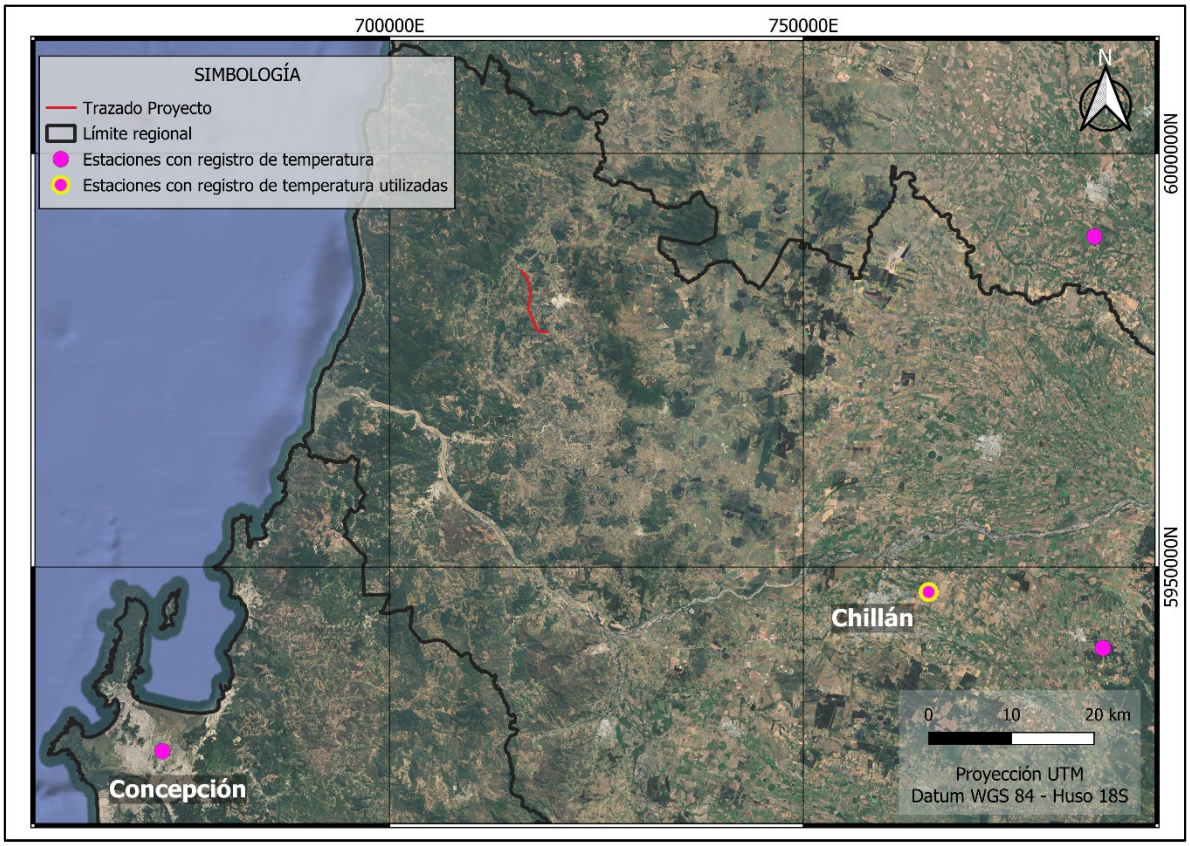


Tabla 4-4: Información general de las cuencas asociadas a las estaciones fluviométricas utilizadas

Estación	Área (km^2)	Pendiente (%)	Precipitación media anual (mm)
Río Cauquenes en el Arrayán	662	18,3	963
Río Lonquén en Trehuaco	1.160	13,9	902

Figura 4-2: Estaciones meteorológicas con información de temperaturas cercanas al Proyecto.



Del conjunto de estaciones identificadas se selecciona para el análisis hidrológico la estación pluviométrica San Agustín de Puñual por ser considerada la más relevante en términos de cercanía al Proyecto, representatividad y disponibilidad históricas. Bajo los mismos criterios, para el análisis de temperatura se utiliza la estación General Bernardo O'Higgins, Chillán ad. de la DMC.

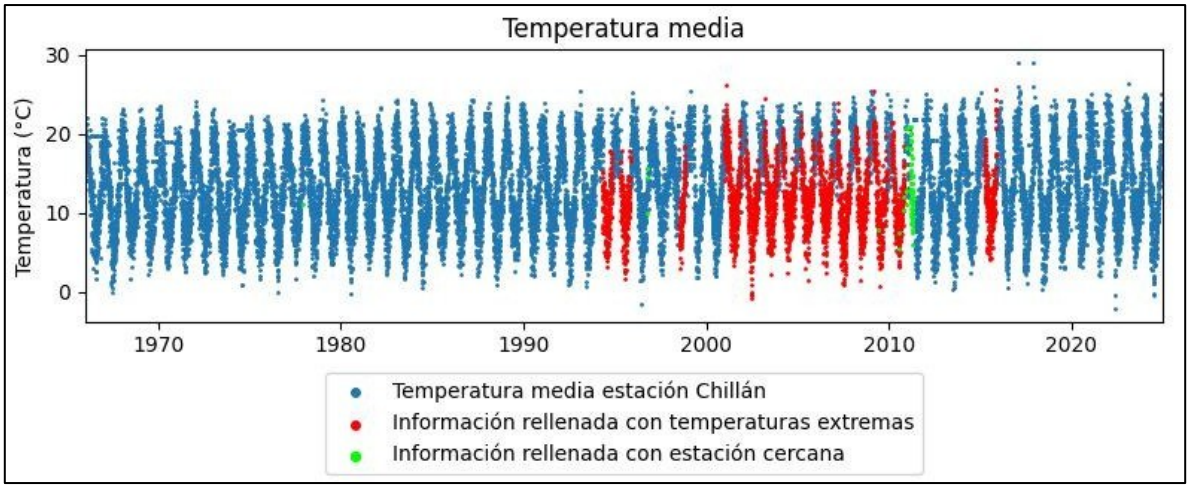
Se destaca que en la zona de intervención no se detecta ninguna estación fluviométrica cercana, sin embargo, aquellos cauces que interactúen con el Proyecto necesariamente son subcuencas de cabecera de los ríos Cauquenes y Lonquén, los cuales respectivamente están monitoreados por las estaciones "Cauquenes en el Risco" y "Lonquén en Trehuaco". A priori estas estaciones registran datos de cuencas de una magnitud significativamente mayor que las áreas a intervenir, sin embargo, su información será útil para analizar de forma general el comportamiento estacional y las tendencias a largo plazo de los ríos en la región.

4.2 DIAGNÓSTICO Y RELLENO DE SERIES DE TIEMPO

Para la información de las estaciones seleccionadas se identifican algunos intervalos de tiempo con mediciones faltantes. Para estos escenarios, se procede a rellenar la estadística utilizando mediciones asociadas a la misma estación o mediante modelos de regresión lineal simple con otras estaciones cercanas.

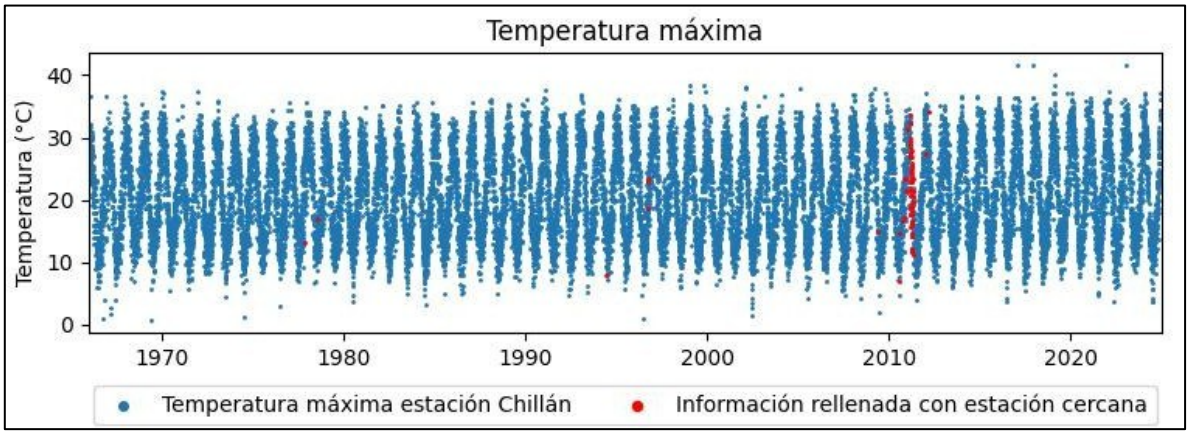
Los registros de temperatura media de la estación Chillán se completan siguiendo dos criterios: (i) si la estación posee información de temperatura máxima y mínima, se completa la media con el promedio de éstas, y (ii) si no se tiene ninguna de las tres mediciones, se completa mediante una regresión lineal con la temperatura media de Coihueco, estación más cercana a Chillán. En este último escenario, a partir de ambas estaciones se estima una constante de proporcionalidad de 0,96 con R2 = 0,98. La Figura 4-3 indica la serie de tiempo utilizada, destacando aquellos períodos medidos y rellenados.

Figura 4-3: Temperatura media diaria medida (azul) y rellenada (rojo y verde) para la estación Chillán (DMC).



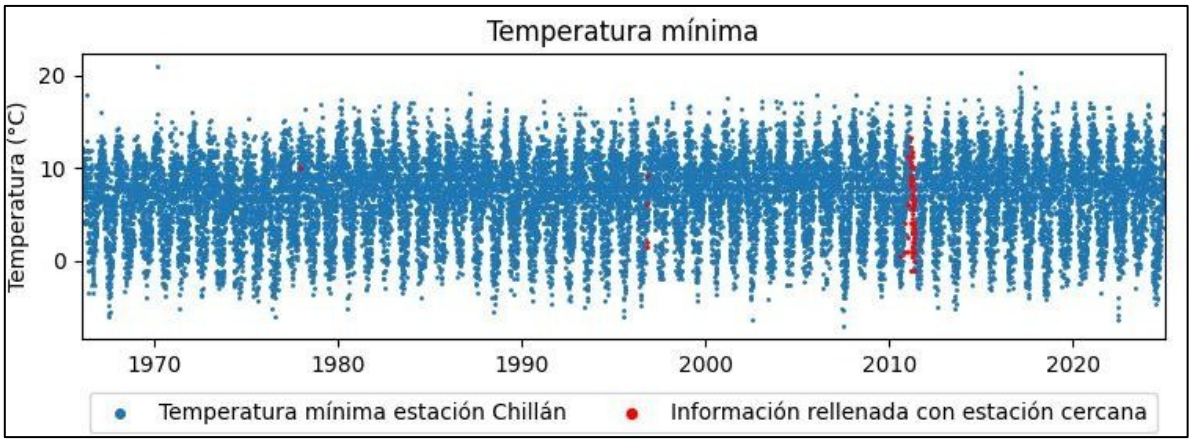
Para el caso de las temperaturas mínimas y máximas diarias, las Figuras Figura 4-4 y Figura 4-5 muestran el registro de la estación Chillán, destacando el relleno de datos obtenido mediante la relación lineal con la estación Coihueco. Respecto al modelo lineal, para estas variables se determinaron factores de proporcionalidad de 0,98 y 1,02 con correlaciones de R2 = 0,99 y 0,88 respectivamente.

Figura 4-4: Temperatura máxima diaria medida (azul) y rellenada (rojo) en la estación Chillán (DMC).



Cabe destacar que el Proyecto se encuentra a alrededor de 150 metros sobre la cota de la estación utilizada para personalizar las temperaturas, por lo que considerando el gradiente estándar de temperatura vertical de la atmósfera (−6,5 °C por kilómetro), es esperable que la temperatura en la zona de intervención sea aproximadamente 1 °C menor a lo indicado por la estación.

Figura 4-5: Temperatura mínima diaria medida (azul) y rellenada (rojo) en la estación Chillán (DMC).



Por otro lado, respecto a las precipitaciones, la Figura 4-6 presentan los datos de la estación San Agustín de Puñual (DGA), los cuales por encontrarse completos entre 1993 y 2020 no se sometieron a un relleno. De forma similar los registros de la estación Coelemu se indican en la Figura 4-7 en conjunto a los eventos extremos disponibles desde 1960.

Figura 4-6: Precipitación acumulada diaria en la estación San Agustín de Puñual (DGA).

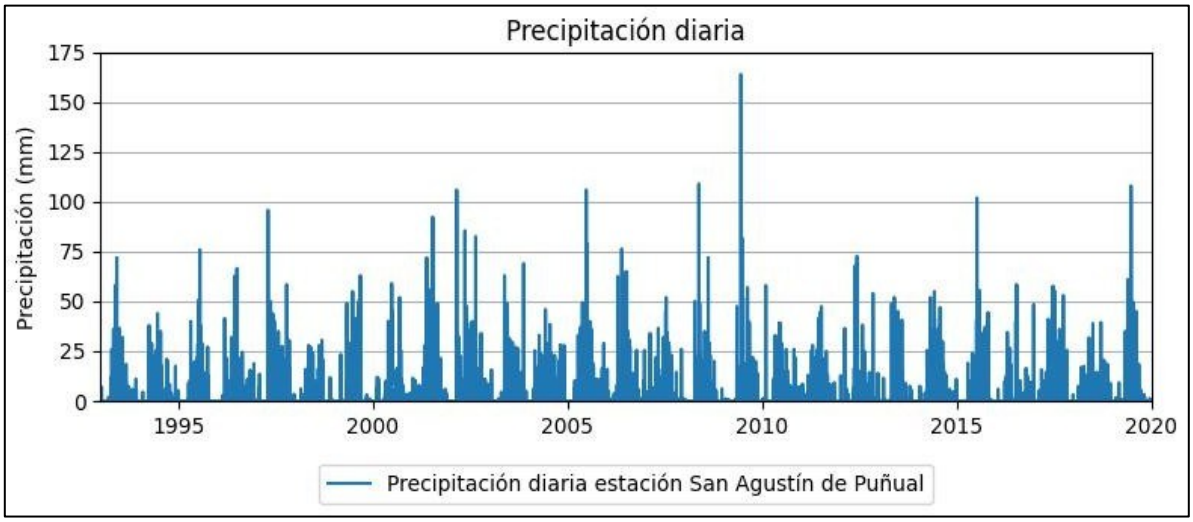
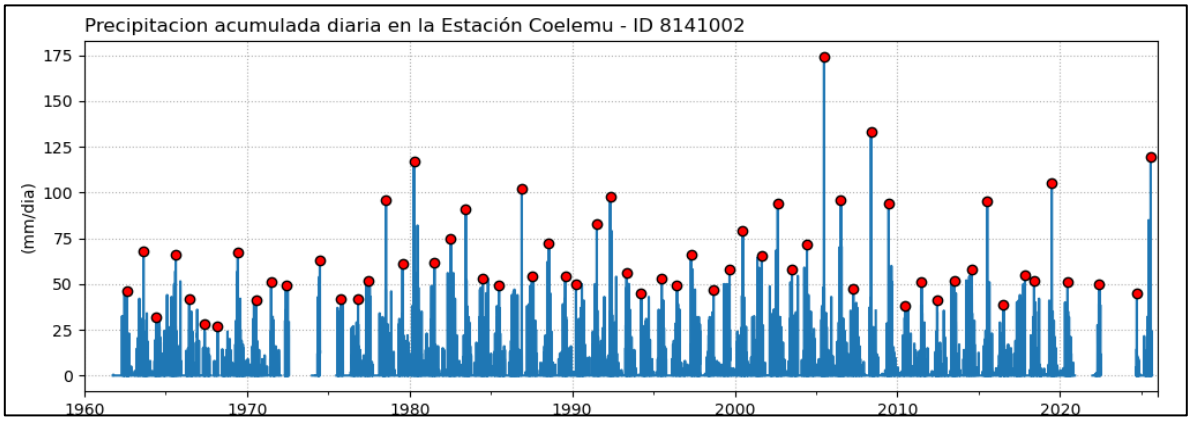


Figura 4-7: Precipitación acumulada diaria y máximos anuales en la estación Coelemu (DGA).



Finalmente, las Figuras Figura 4-8 y Figura 4-9 muestran las mediciones de caudal de las estaciones fluviométricas río Cauquenes y río Lonquén respectivamente. Dado que ambas cuencas son adyacentes y presentan características similares, los datos faltantes de la estación Lonquén se completan utilizando una regresión lineal con la estación del río Cauquenes, resultando en una constante de proporcionalidad de 1,29. De manera análoga, los datos faltantes en la estación del río Cauquenes se completan con el río Lonquén, utilizando una constante de proporcionalidad de 0,78. En ambos casos, la relación entre las series presenta un coeficiente de correlación de R2 = 0,64.

Figura 4-8: Caudal medio diario Río Cauquenes en el Arrayán.

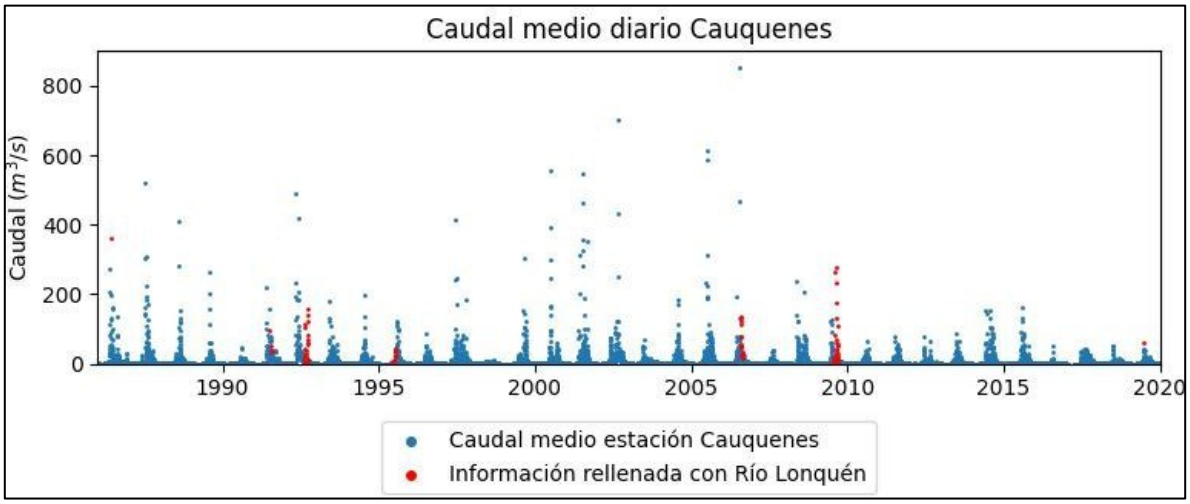
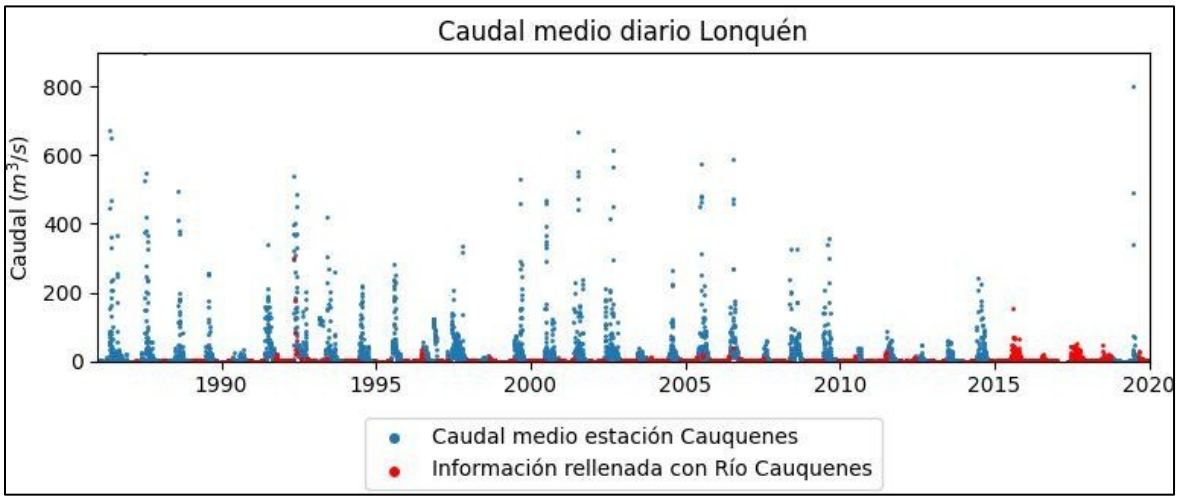


Figura 4-9: Caudal medio diario Río Lonquén en Trehuaco.



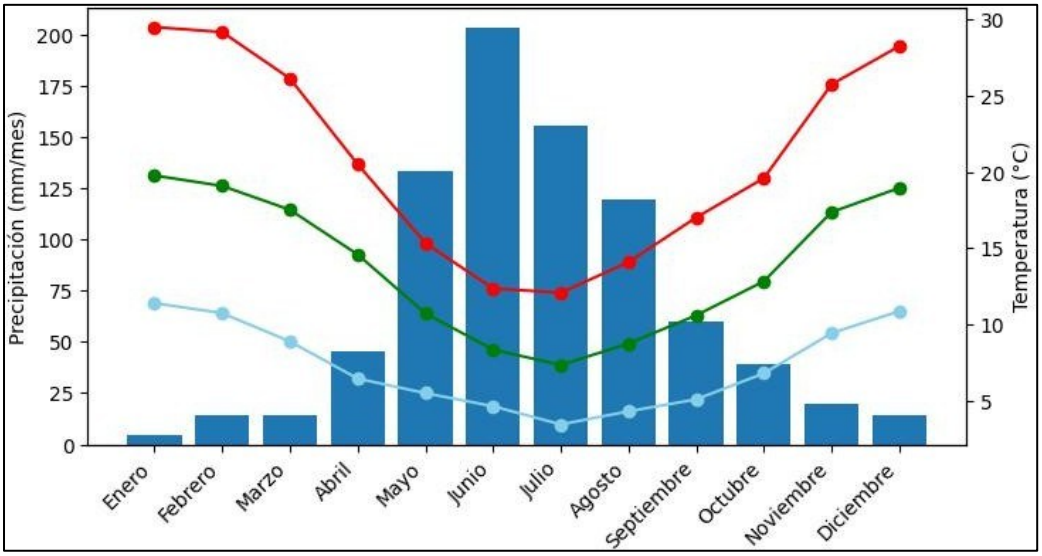
El detalle de la dispersión y relación lineal construida entre las estaciones por rellenar y la estación donante se incluyen en el ***Apéndice 1- Hidrología***.

4.3 HIDROCLIMA HISTÓRICO

La Figura 4-10 muestra la variación estacional típica de precipitación y temperatura calculada para el período 1993 y 2019. En ella se observa un ciclo estacional marcado, tanto en las precipitaciones como en las temperaturas. Durante el verano, las precipitaciones son escasas, mientras que las temperaturas máximas alcanzan valores

elevados. Análogamente, en invierno las temperaturas son frías y las precipitaciones aumentan significativamente.

Figura 4-10: Variación estacional de precipitación (San Agustín de Puñual) y temperatura (Chillán) calculada a partir de la serie temporal comprendida entre 1993 y 2019.



Cuantitativamente, la temperatura media varía entre 7,3 °C en invierno y 19,5 °C en verano, con máximas estivales de 29,1 °C y mínimas invernales de 3,5 °C. En eventos extremos, como ya sugerían las Figuras Figura 4-4 y Figura 4-5, las temperaturas pueden alcanzar hasta los 41,6 °C o descender hasta mínimas de -7 °C. Además, el climograma revela que la amplitud térmica de verano (≈ 18 °C) es mayor que la de invierno (≈ 10 °C), lo cual es una cualidad común de los climas continentales.

En cuanto a las precipitaciones, se observa que en el mes de julio estas superan los 200 mm acumulados, mientras que en enero se acumulan menos de 5 mm. Puntualmente, como evidencia la Figura 4-6 , se detectan acumulaciones de hasta 164 mm diarios en eventos extremos, pudiendo ser equivalente al 80 % de la lluvia mensual acumulada en el mes más lluvioso.

Respecto al caudal de las cuencas asociadas al proyecto, en la Figura 4-11 y Figura 4-12 se muestra la variación estacional del caudal medio mensual. Ambas gráficas muestran un comportamiento similar, con caudales relativamente altos en invierno y casi nulos en verano, lo que permite inferir que las cuencas presentan un régimen pluvial.

Figura 4-11: Caudales medio mensual Río Cauquenes en el Arrayan. Período 1986 – 2016.

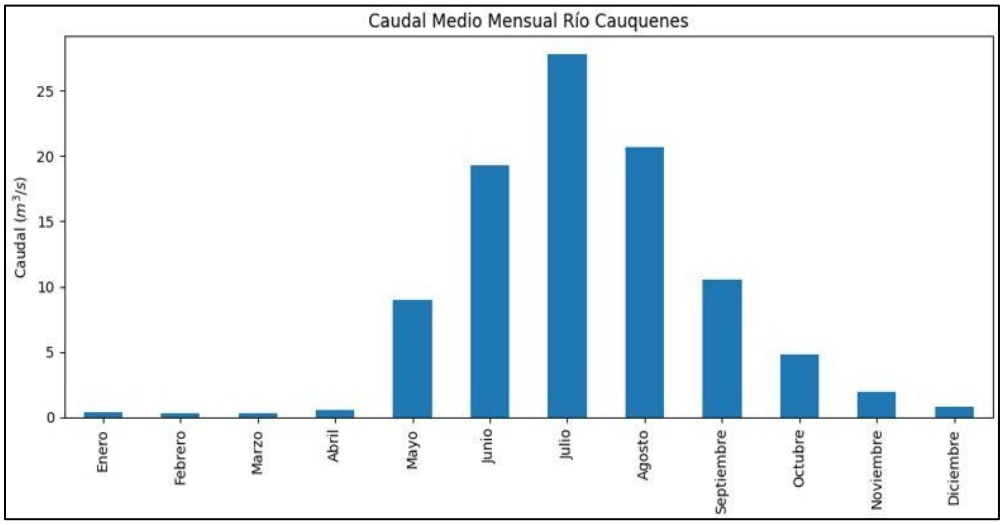
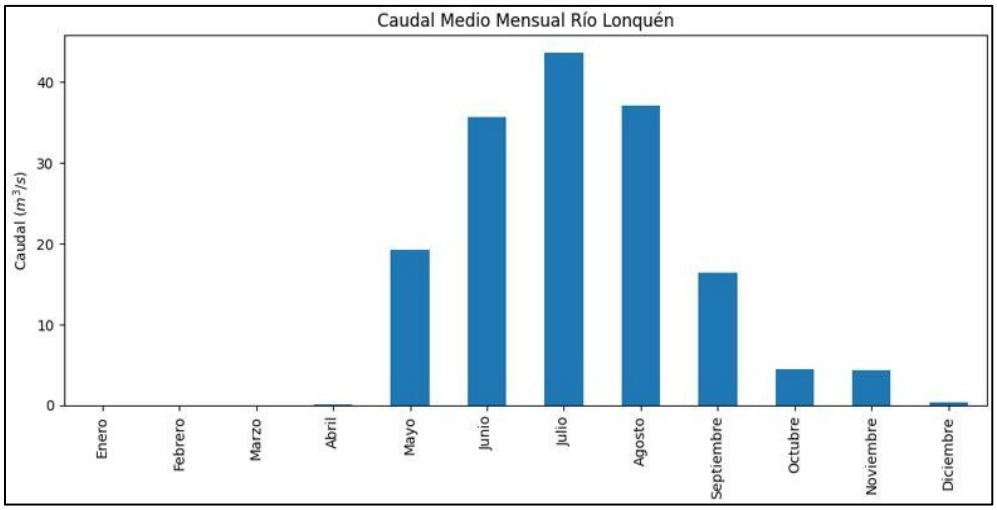
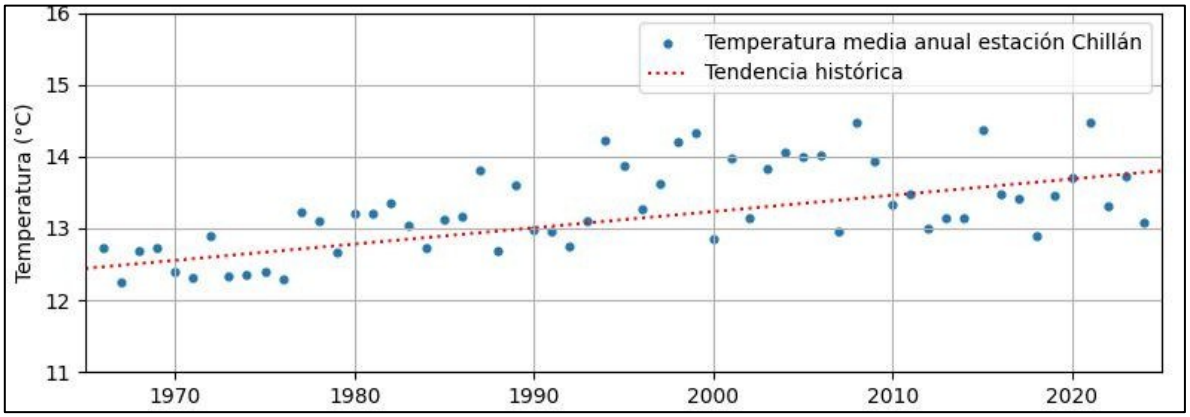


Figura 4-12: Caudal medio mensual Río Lonquén en Trehuaco. Período 1986-2020.



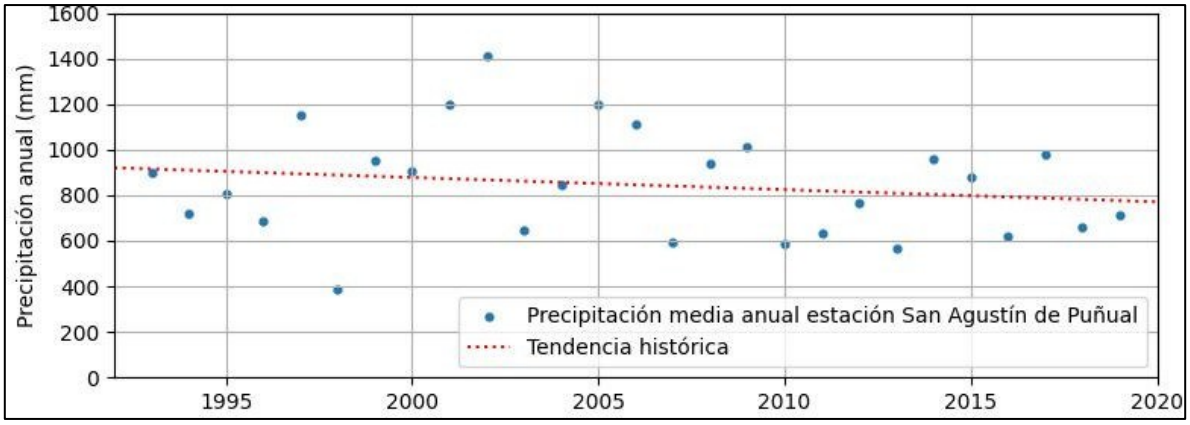
Respecto a las variaciones de largo plazo, la Figura 4-13 muestra la serie de temperaturas medias anuales a lo largo de las últimas décadas. En ella se observa una tendencia al calentamiento la cual se estima en una intensidad de ~ 1°C cada 50 años.

Figura 4-13: Temperatura media anual estación Chillán (DMC).



Por otro lado, la Figura 4-14 muestra la serie de precipitación acumulada anual, con una media de 846 mm y una desviación estándar de 238 mm, reflejando la considerable variabilidad entre años húmedos y secos. Aunque existen fluctuaciones interanuales, se observa una ligera tendencia a la disminución, la cual no se considera significativa debido a lo corto del registro y a la alta variabilidad de los datos.

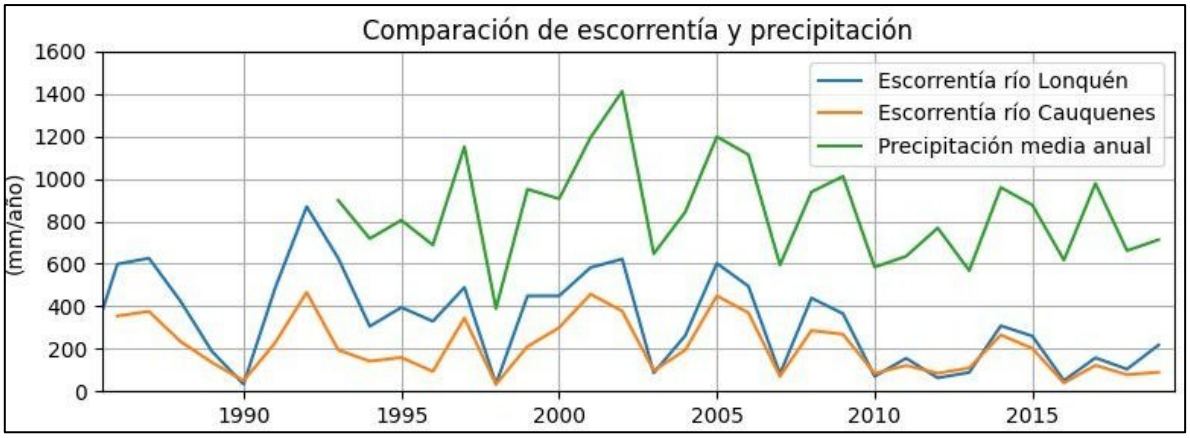
Figura 4-14: Precipitación media anual estación San Agustín de Puñual.



En cuanto el comportamiento a largo plazo de los ríos Cauquenes y Lonquén, se divide la serie de caudales medios anuales por el área de su respectiva cuenca, obteniéndose la escorrentía expresada en mm/año, valor que luego es comparable con la precipitación media anual. La Figura 4-15 ilustra este análisis, donde se evidencia una fuerte correlación entre la escorrentía y la precipitación en ambas cuencas, lo que confirma el régimen pluvial predominante en la zona de estudio. Adicionalmente, se observa que ambos ríos presentan un comportamiento similar, aunque no estrictamente lineal. En

años secos, los caudales son comparables, mientras que en años lluviosos el caudal del río Lonquén experimenta un aumento mayor. Este comportamiento indica que, en la zona de estudio, la escorrentía basal proveniente de acuíferos subterráneos es un factor clave para mantener el caudal de los ríos en años de precipitaciones escasas.

Figura 4-15: Comparación entre la escorrentía de los ríos analizados y la precipitación a nivel anual en San Agustín de Puñual.



Finalmente, dado que las series de caudales no muestran indicios de escorrentía nival y considerando que el Manual de Carreteras establece una cota inferior media de nieve de aproximadamente 850 m s.n.m para la zona (Figura 3.906.1A del manual), se concluye que la presencia de nieve no es un factor relevante en el presente estudio.

4.4 EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

Para efectos de evaluar los eventos de precipitación extrema se utiliza la estación con el registro más extenso en las cercanías de Quirihue: la estación Coelemu, que cuenta con datos de precipitaciones diarias desde 1961 a la fecha (Figura 4-7). Ubicada en el río Itata, a aproximadamente 30 km al suroeste de Quirihue, su máxima precipitación diaria registrada corresponde a 174 mm el 28 de junio de 2005, valor mayor a cualquier evento registrado en la estación cercana San Agustín de Puñual (Figura 4-6).

Tal como recomienda el Manual de Carreteras, a la serie de máximas anuales se aplica un factor de 1,1 para transformar las precipitaciones máximas diarias en máximas en 24 horas. Luego, se realiza un análisis de frecuencia de la serie anual para obtener la relación entre precipitación y período de retorno. La Figura 4-16 presenta los resultados, donde se selecciona la distribución de valores extremos generalizados (GEV). Los parámetros se estiman mediante L-momentos y se verifica el ajuste mediante el test de Kolmogorov–Smirnov (p-valor = 0,82) y una inspección visual. De acuerdo con este

modelo, la precipitación máxima en 24 horas para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años se indica en la Tabla 4-5.

Figura 4-16: Análisis de frecuencia precipitaciones máximas en 24 horas y ajuste del modelo GEV.

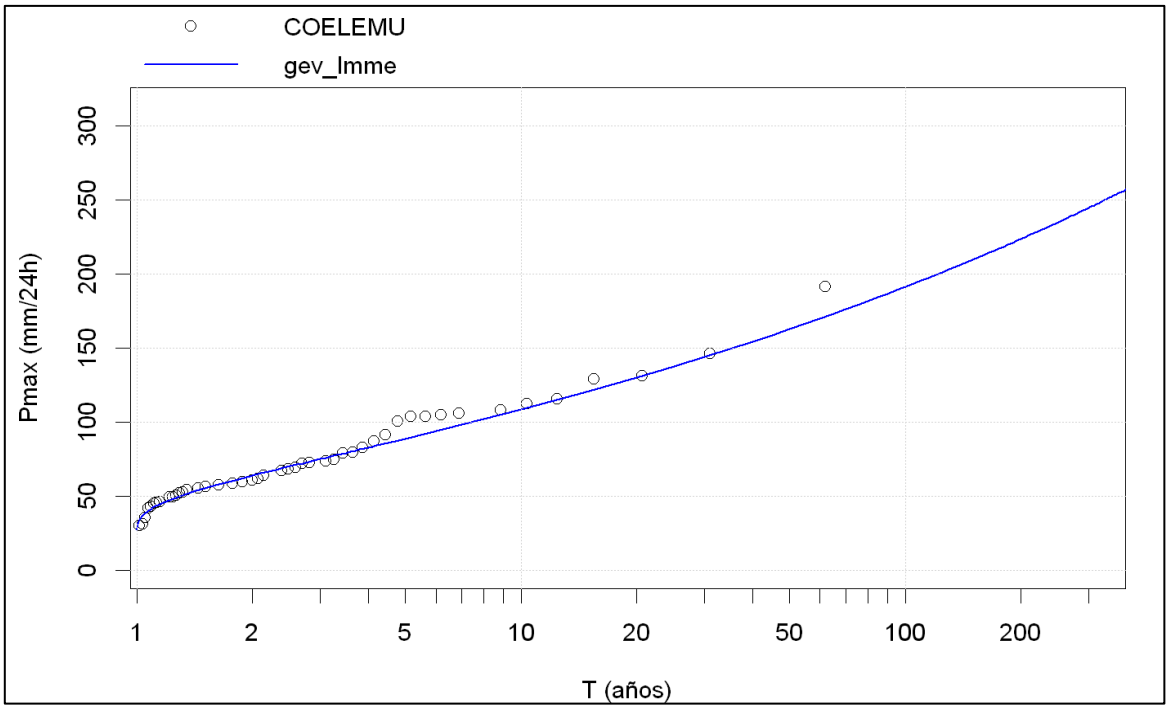


Tabla 4-5: Precipitaciones máximas en 24 horas en función del período de retorno para la estación Coelemu.

T (años)	2	5	10	25	50	100	200
P24 (mm)	63,8	88,7	108,3	137,4	162,6	191,1	223,5

El cálculo de caudales de crecida, independiente de la cuenca o cauce en estudio, suele requerir valores de precipitación para diferentes duraciones de lluvia. Para esto se determinan las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), las cuales para efectos de este proyecto se determinan mediante la siguiente fórmula:

$$i(t,T) = \frac{C_d(t) \cdot P_{24}(T)}{t}$$

donde *i* es la intensidad de precipitación en mm/hr, *Cd* el coeficiente de duración, *P24* la lluvia máxima en 24 horas y *t* la duración de la tormenta. Para el cálculo del coeficiente de duración se consideran los valores dados por el Manual de Carreteras para la estación

Concepción, la cual de las más cercanas al proyecto es la que entrega resultados más conservadores. La Tabla 4-6 indica los valores considerados para dicho coeficiente.

Tabla 4-6: Coeficiente de duración asociados a la estación Concepción.

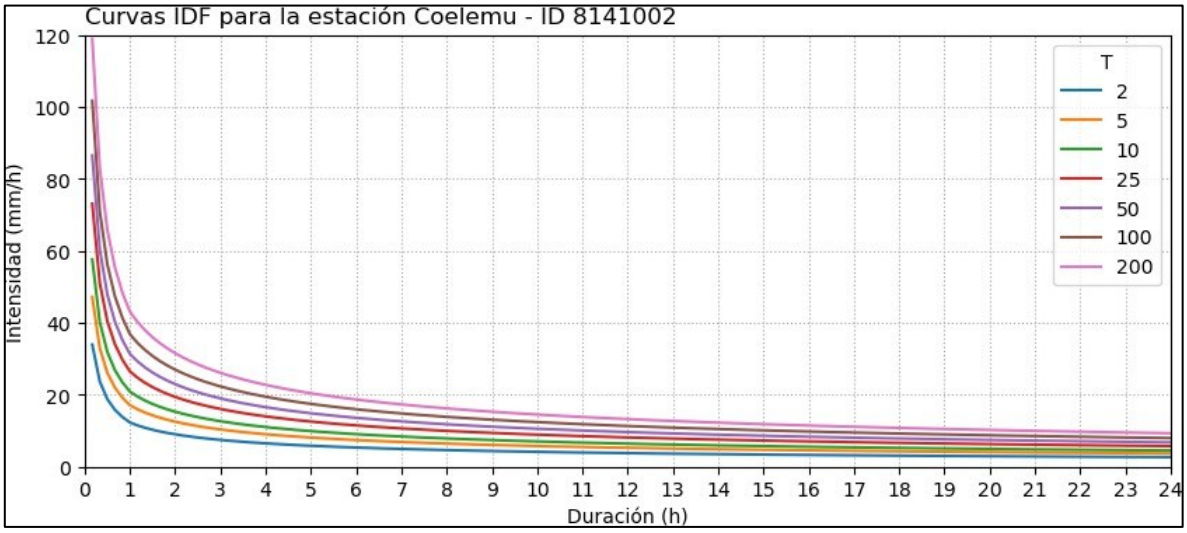
Duración (horas)	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Cd (-)	0,19	0,30	0,39	0,48	0,56	0,64	0,70	0,76	0,90	1,00

En el caso de duraciones menores a 1 hora se considera la ecuación de Bell, la cual permite estimar nuevos coeficientes de duración a partir de la siguiente fórmula:

$$C_d(t) = C_d(t = 1hr) \cdot (0.54 \cdot t^{0.25} - 0.5)$$

donde *Cd(t=1hr)* es el coeficiente de duración asociado a una lluvia de 1 hora y *t* es nuevamente la duración de la tormenta en minutos. Finalmente, dados estos antecedentes la Figura 4-17 indica las curvas IDF asociadas a la estación Coelemu.

Figura 4-17: Curvas intensidad-duración-frecuencia asociadas a la estación Coelemu.



5 HIDROGRAFÍA

En relación a la hidrografía, el área de estudio corresponde a la zona de intervención directa, es decir, el espacio geográfico donde se desarrollan las distintas partes, obras y acciones del Proyecto. En este caso, la relación entre el Proyecto y la componente hidrológica está determinada principalmente por la presencia de cauces que podrían verse afectados por la intervención. Dado que se trata de un proyecto de transmisión eléctrica, se estima que la principal amenaza a evaluar para el sistema hídrico radica en la posible interacción de los cauces con la construcción de caminos, torres, subestaciones eléctricas, u otras obras asociadas al Proyecto.

5.1 ANTECEDENTES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

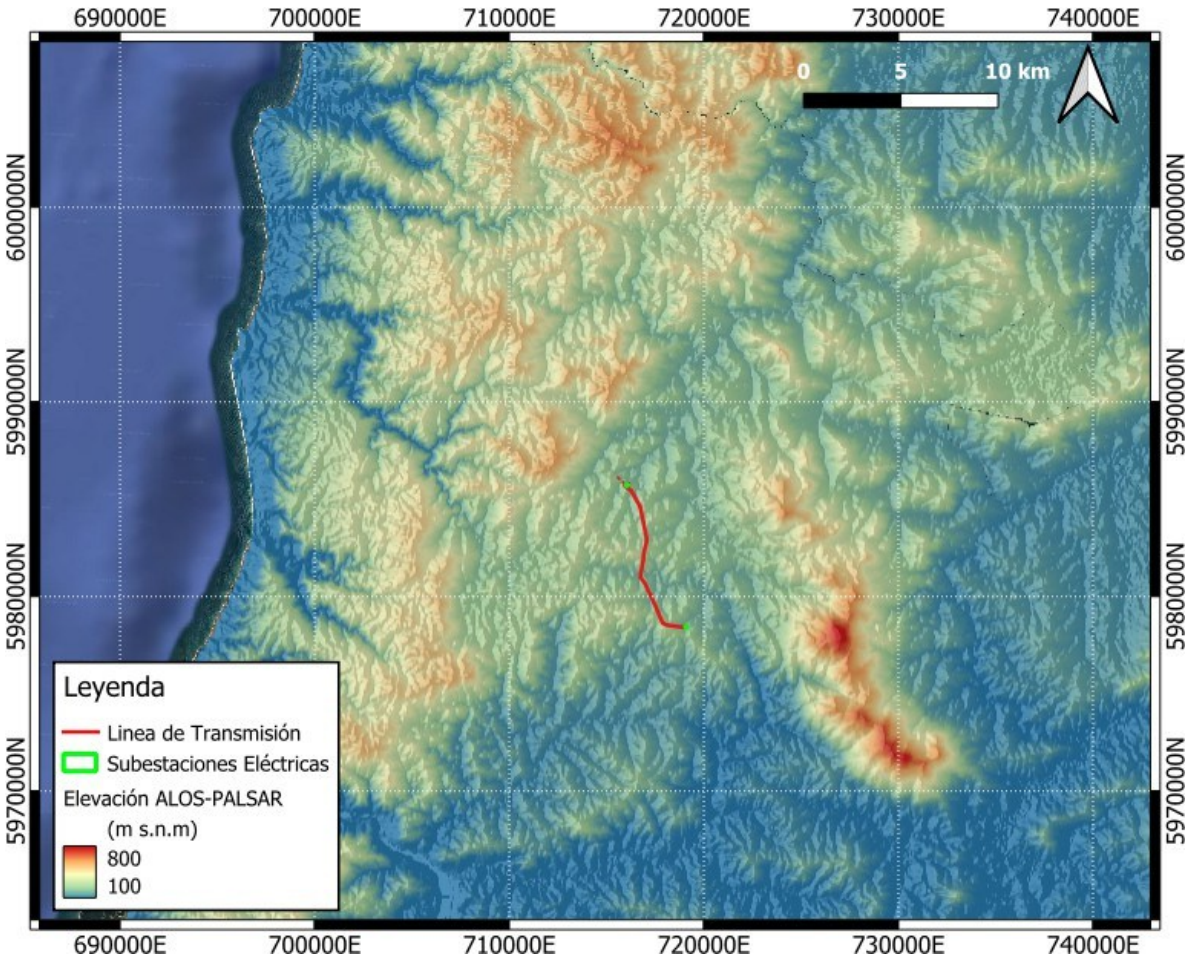
Para la elaboración de esta línea de base, se revisaron diversas fuentes de información relacionadas con los antecedentes hidrográficos, el relieve y la cobertura de suelo en las proximidades del área de estudio. Las principales instituciones y bases de datos consultadas incluyen:

- Mapoteca Digital de la Dirección General de Aguas (DGA)
- Red hídrica IDE (SNIT)
- Cartografía 1:50.000 del Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM)
- Modelo de Elevación Digital ALOS-PALSAR (ASF, 2024)
- Mapa de cobertura de suelos de Chile (Hernández et al., 2016)

5.2 ANÁLISIS DEL RELIEVE Y TIPO DE SUELO

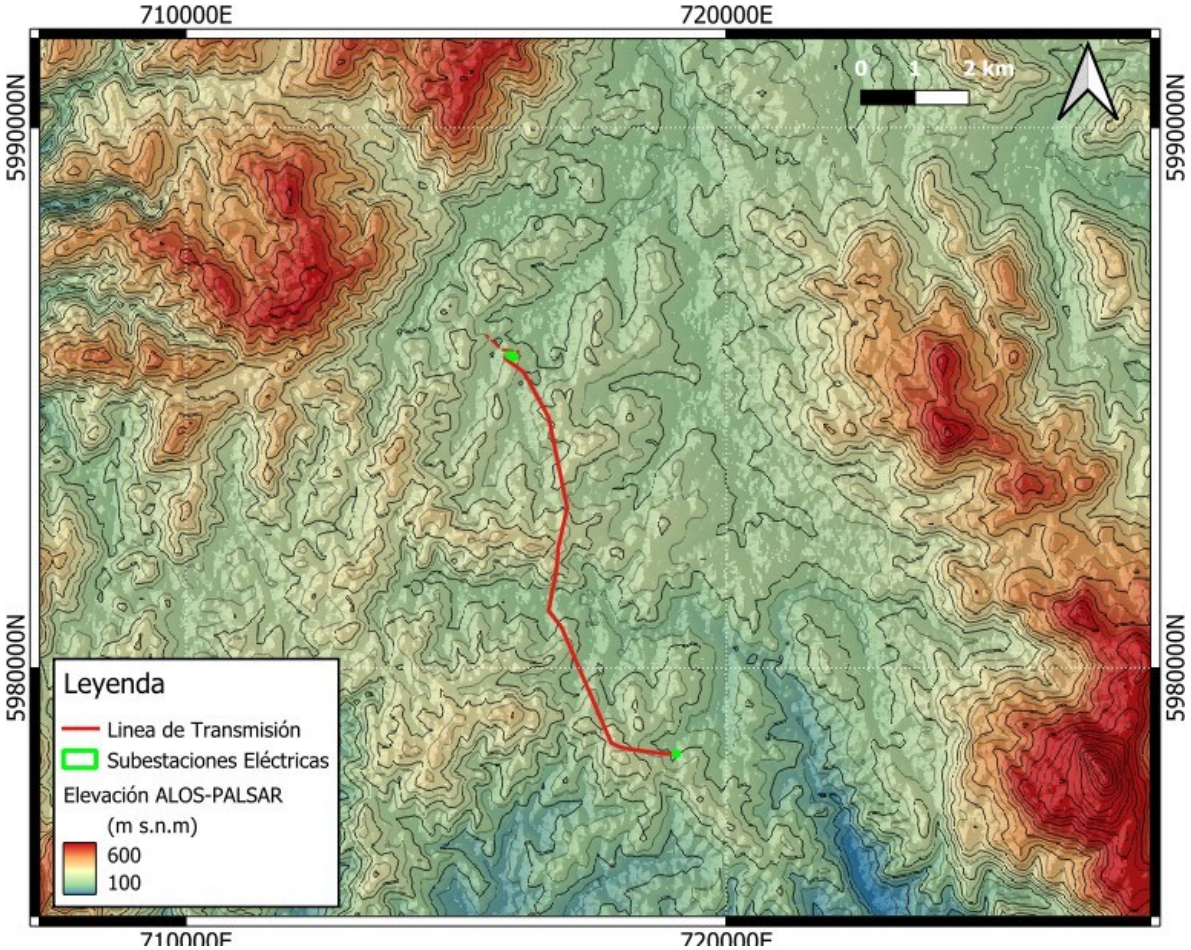
En relación con el relieve, la Figura 5-1 muestra un mapa de elevaciones a nivel regional basado en el modelo de elevación digital (DEM) ALOS-PALSAR. En él se observa que, al oeste del emplazamiento del Proyecto, se encuentra un sector montañoso que apenas supera los 600 metros sobre el nivel del mar, correspondiente a la Cordillera de la Costa. Asimismo, al sureste del emplazamiento, se identifica el cerro Coiquén, cuya elevación supera los 800 metros. Así, se evidencia que el área del proyecto está rodeada por formaciones montañosas de baja altitud y pendiente variable.

Figura 5-1: Mapa de elevaciones de la zona costera de la región del Ñuble.



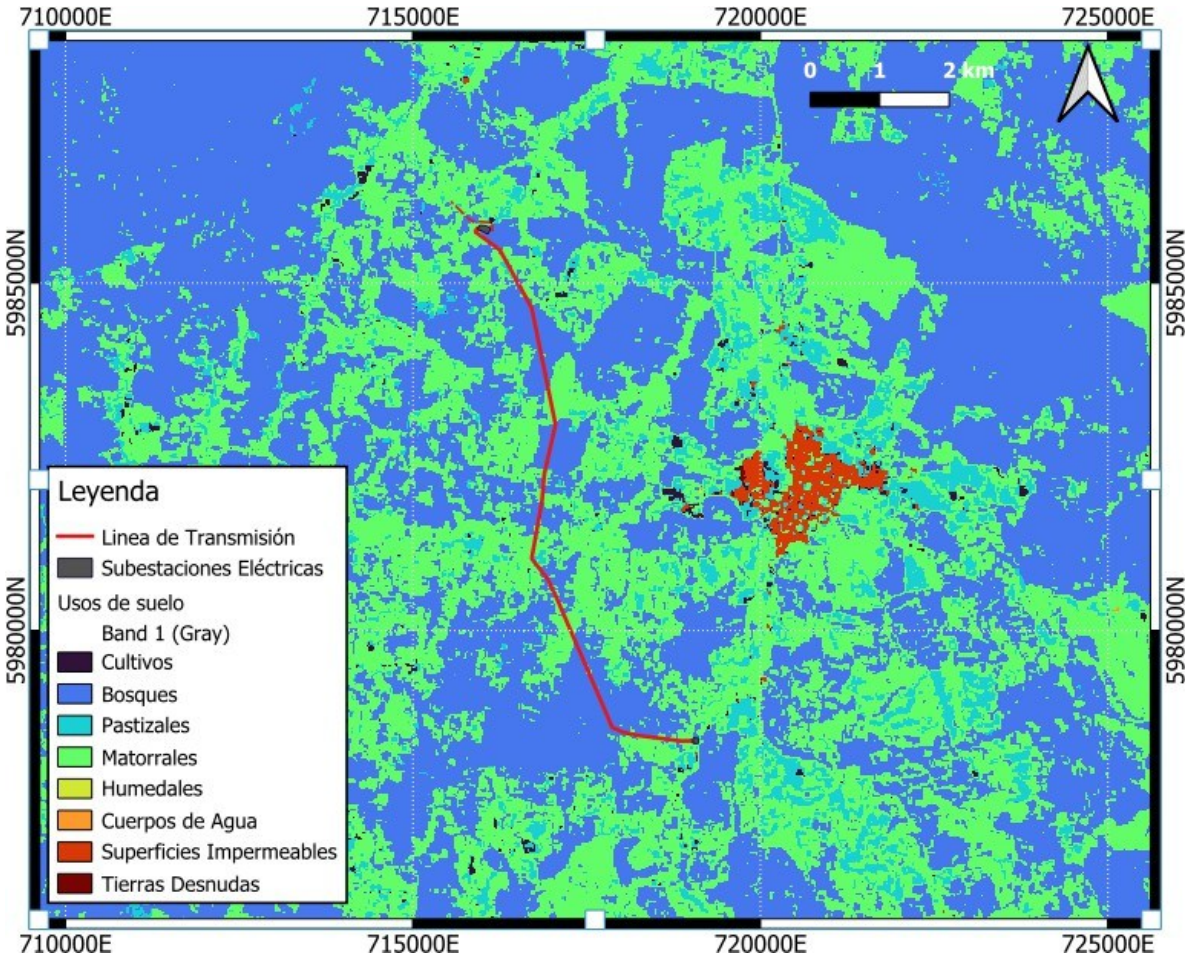
En la Figura 5-2 se presentan las elevaciones en las cercanías de las obras proyectadas. Observando la topografía se puede intuir que la zona norte de la línea de transmisión desagua en dirección norte, mientras la zona central y sur desagua hacia el sur-este, existiendo una línea divisoria de aguas en el trazado del Proyecto. Dicho antecedente se considerará en secciones posteriores al momento de identificar los cauces y cuencas más relevantes.

Figura 5-2: Mapa de elevaciones de la zona de estudio. Curvas de nivel cada 25 y 50 metros.



Por último, en relación a la cobertura de suelo, la Figura 5-3 indica los principales usos del área de estudio. En ella se aprecia que el Proyecto se emplaza en un terreno donde mayoritariamente dominan los matorrales, pastizales y bosques típicos de las zonas rurales de Chile. Respecto a la vegetación, de imágenes satelitales se infiere que los matorrales y pastizales corresponden a especies silvestres o llanos abiertos asociados a la agricultura y ganadería. Respecto a los bosques se observa que la mayoría corresponde a plantaciones forestales.

Figura 5-3: Mapa de cobertura de suelo en la zona de estudio.



5.3 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CUENCAS

Desde la plataforma "Mapoteca Digital de la DGA" del Ministerio de Obras Públicas (MOP), se obtuvo la información sobre cuencas, subcuencas y subsubcuencas del Banco Nacional de Aguas. De las fuentes nacionales, se identifica que la Región del Ñuble es dividida por la DGA en un sistema de 3 cuencas hidrográficas, las que a su vez están constituidas por subcuencas y subsubcuencas. Las cuencas existentes a nivel regional son exorreicas, es decir, que drenan sus aguas al mar.

El Proyecto se encuentra dentro de 2 cuencas administrativas, como se muestra en la Figura 5-4. Al norte, forma parte de la cuenca del río Maule, mientras que, al sur, se ubica dentro de la cuenca "Costeras entre Límite Región y Río Itata". A partir del DEM ALOS-PALSAR, se observa que este sector drena directamente hacia el río Itata. La información detallada sobre las cuencas, subcuencas y subsubcuencas se presenta a continuación en la Tabla 5-1.

Figura 5-4: Cuencas administrativas cercanas al proyecto.

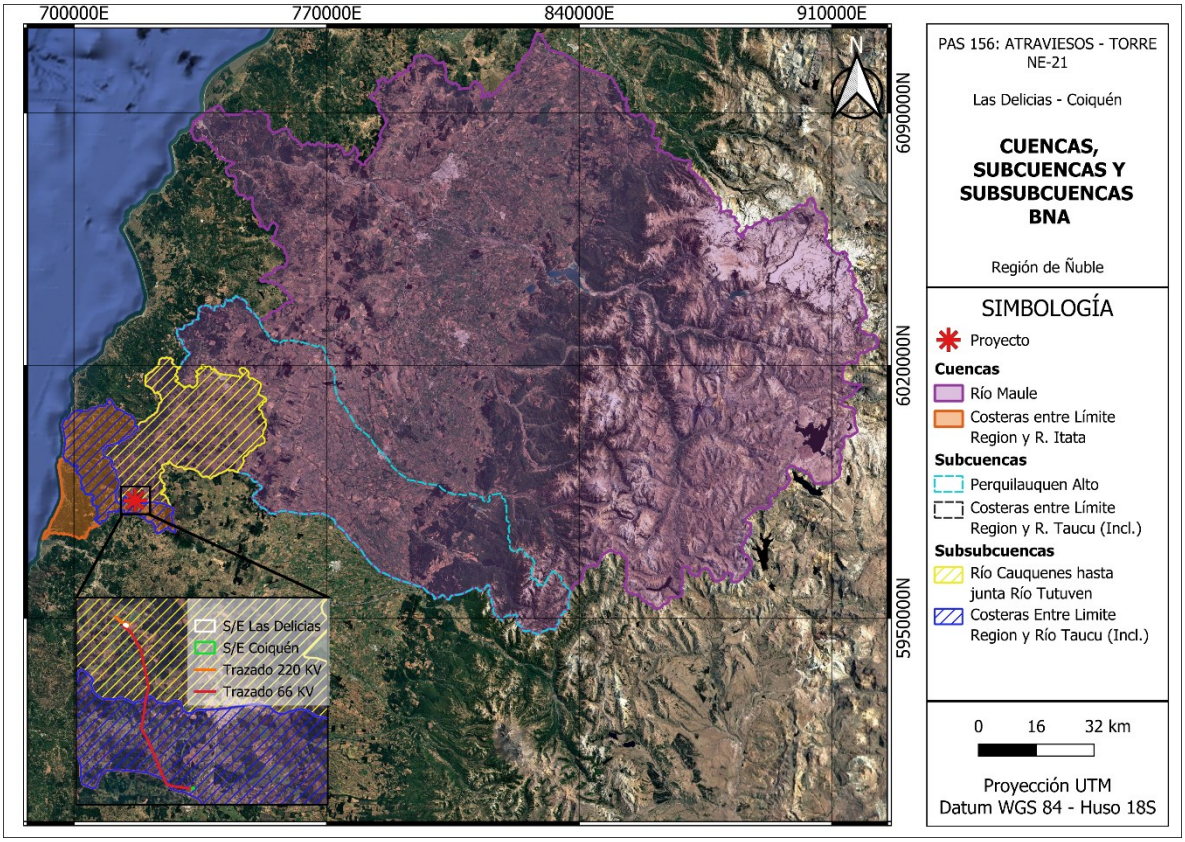


Tabla 5-1: Cuencas, subcuencas y subsubcuencas identificadas en el área del Proyecto.

Código BNA	Cuenca	Área (km2)
073	Río Maule	21.052
080	Costeras entre limite Región y R. Itata	616
Código BNA	**Subcuenca**	**Área (km2)**
0733	Perquilauquén Alto	4.163
0800	Costeras entre Limite Región y R. Taucu (Incl.)	444
Código BNA	**Subsubcuenca**	**Área (km2)**
07336	Río Cauquenes hasta junta Río Tutuven	1.030
08000	Costeras Entre Limite Región y Rio Taucu (Incluido)	444

Se utiliza el DEM ALOS-PALSAR para identificar los cauces que drenan áreas de al menos 0,1 km², para luego delimitar las cuencas que drenan el área a intervenir por el Proyecto. Dicha información se presenta en la Figura 5-5 , la cual permite identificar dos cuencas

principales y una tercera de menor extensión. Sus características geomorfológicas generales se presentan en la Tabla 5-2.

Figura 5-5: Red hídrica en la vecindad del proyecto confeccionada a partir del DEM ALOS-PALSAR.

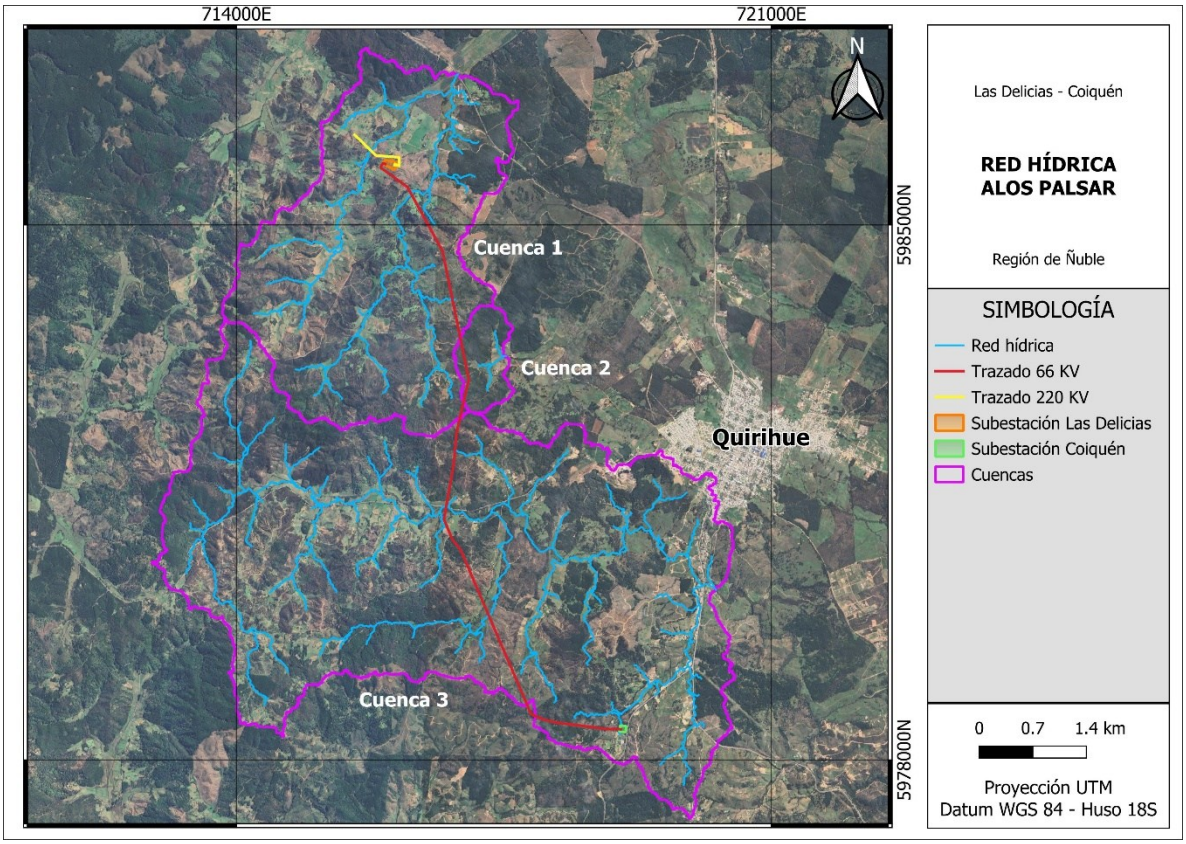


Tabla 5-2: Información geomorfológica básica de las cuencas identificadas.

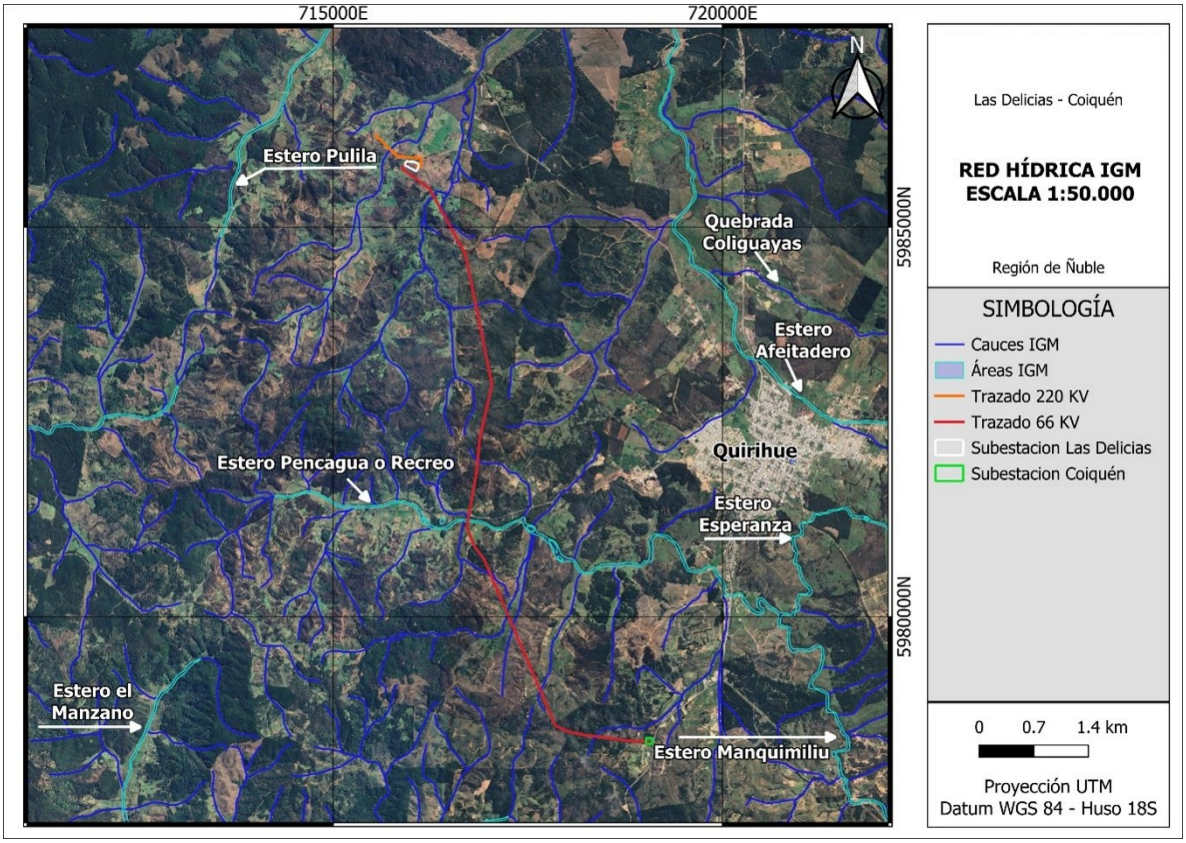
Cuenca	Área (km²)	Pendiente cuenca (%)	Pendiente cauce principal (%)
Cuenca 1	12	15,5	1,59
Cuenca 2	0,75	14,9	3,8
Cuenca 3	27	16,4	1,18

5.4 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CAUCES Y CUERPOS DE AGUA

Para la identificación de los cauces y la caracterización de la red hidrográfica en el área del Proyecto, se utilizan tanto la cartografía IGM 1:50.000 como la red hídrica del IDE y la red preliminar generada a partir de la topografía ALOS-PALSAR, cuyos archivos se incorporan en el Apéndice 2 - SIG.

En la Figura 5-6 se presentan los cauces registrados en las cartas IGM "El Guanaco" y "Quirihue". Estas cartografías no evidencian la presencia de lagunas ni canales ni grandes ríos. No obstante, se observa una alta densidad de cursos de agua sinuosos y de pequeño grosor, algunos identificados como esteros, aunque la mayoría carece de nombre.

Figura 5-6: Red hídrica en la vecindad del proyecto confeccionada a partir de las cartas IGM.

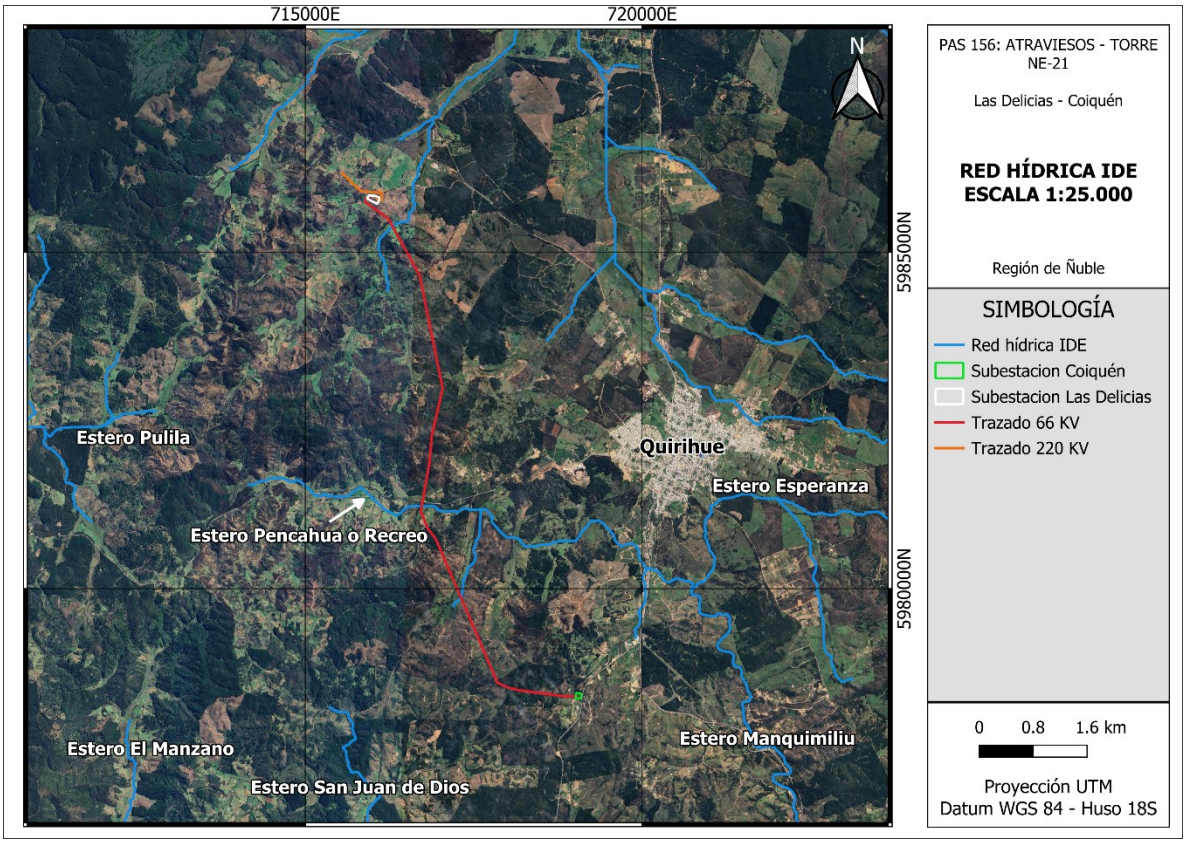


Análogamente, en la Figura 5-7 se pueden ver los cauces señalados en los archivos deL IDE. Una vez más, no se ve la presencia de cuerpos lacustres en las cercanías del Proyecto. Se observa sólo un estero que atraviesa directamente el trazado del proyecto,

correspondiente al Estero Pencahua o Recreo. También destacan al este los esteros Esperanza y Manquimiliu y al sur los esteros San Juan de Dios y El Manzano.

El cauce principal que atraviesa el sector donde se emplazará el Proyecto se presenta con el nombre de Estero Pencagua tanto en las cartas IGM como en el registro del IDE. Adicionalmente, ambos reconocen el nombre alternativo de "Estero Recreo", por lo que será el nombre adoptado en el presente documento.

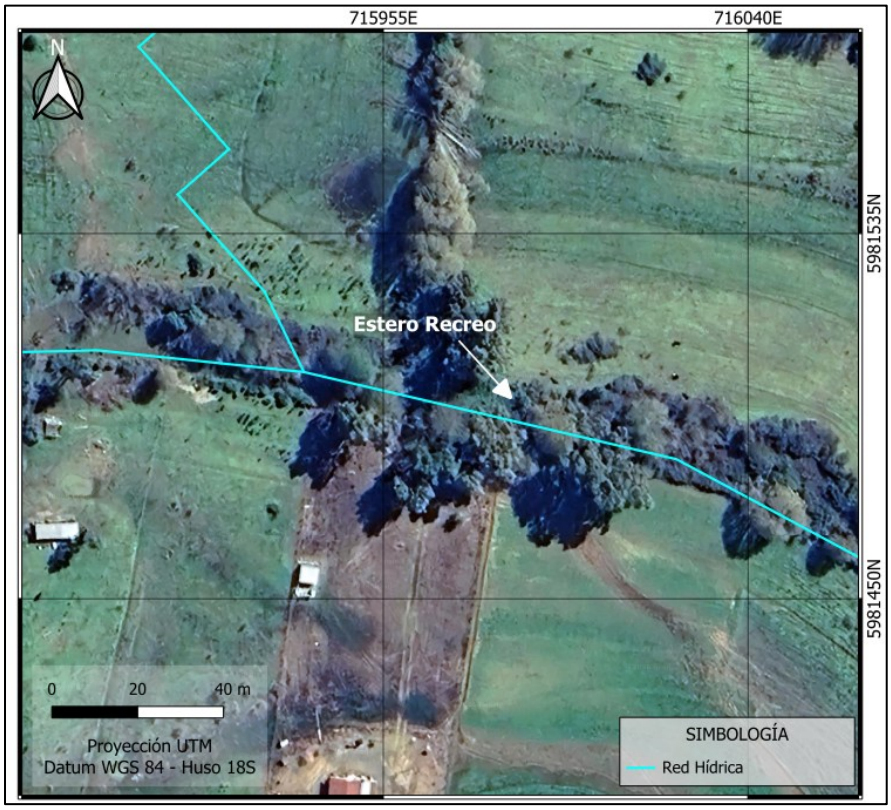
Figura 5-7: Red hídrica en la vecindad del proyecto obtenida de la base de datos del IDE.



De manera general, se observa que los cauces principales en el área a intervenir son sinuosos, de pendiente alta, angostos y con un probable comportamiento torrentoso. Estos cauces se pueden dividir en dos subcuencas principales: en el sector norte, los cauces fluyen hacia el norte y drenan al río San Juan, tributario del río Maule, mientras que, en la subcuenca sur, los cauces fluyen hacia el sur, desaguando en el río Itata.

En la Figura 5-8 se presenta una imagen satelital del estero Recreo, donde se puede observar que este se caracteriza por una alta densidad de vegetación a lo largo de su perfil longitudinal.

Figura 5-8: Imagen satelital del cauce del estero Recreo.



Considerando las semejanzas entre la cartografía IGM y la red ALOS-PALSAR delimitada, se identifican los cauces finales de la línea base como todos aquellos cauces IGM que queden contenidos dentro de las cuencas delimitadas. Esta red se complementa localmente con el levantamiento topográfico de detalle del Proyecto, el cual permite reconocer las depresiones y los cauces presentes en las inmediaciones de cada obra. Además, con tal de establecer una nomenclatura consistente desde un punto de vista hidrológico, se clasifica la red hídrica según el orden jerárquico de Hack, también conocido como orden de Gravelius.

Esta clasificación resulta particularmente útil para identificar los cauces en la medida que estos tributan al cauce principal, ya que, a diferencia de otros órdenes jerárquicos (como el de Strahler), el método de Hack opera de la siguiente manera:

- Orden 1: Se asigna al cauce principal (el de mayor longitud de la cuenca).
- Orden 2: Se asigna a los tributarios directos que aportan agua al cauce principal.
- Orden 3: Se asigna a los tributarios que aportan a los de orden 2, y así sucesivamente.

De este modo, se asocia un número entero al tributario n-ésimo del cauce de mayor longitud. Por ejemplo, la denominación "C1.3.5" correspondería al quinto tributario de orden 3 identificado en la cuenca 1.

Considerando el trazado de la línea de transmisión proyectada de norte a sur, las Figuras 5-9, 5-10 y 5-11 muestran el detalle de los cauces IGM identificados y clasificados bajo este criterio.

Figura 5-9: Cauces identificados en el tramo norte-centro de la línea proyectada.

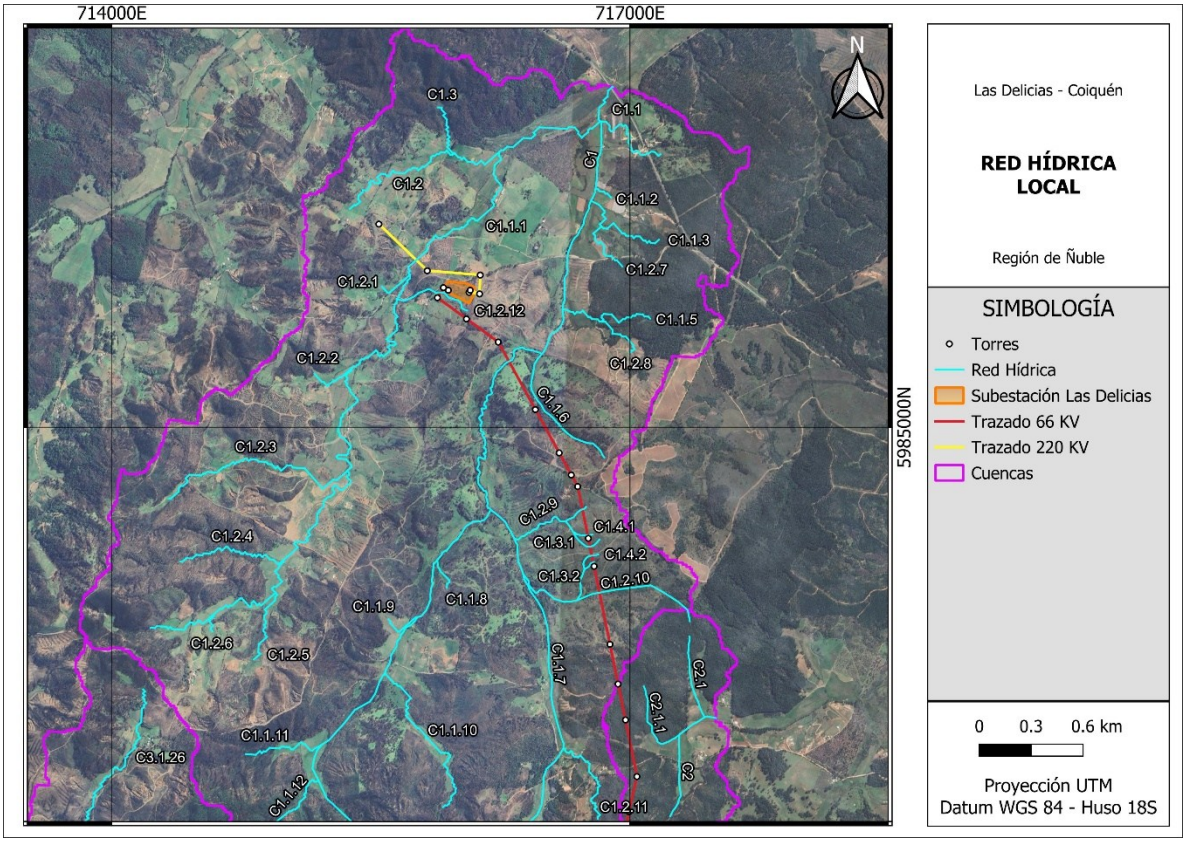


Figura 5-10: Cauces identificados en el tramo central de la línea proyectada.

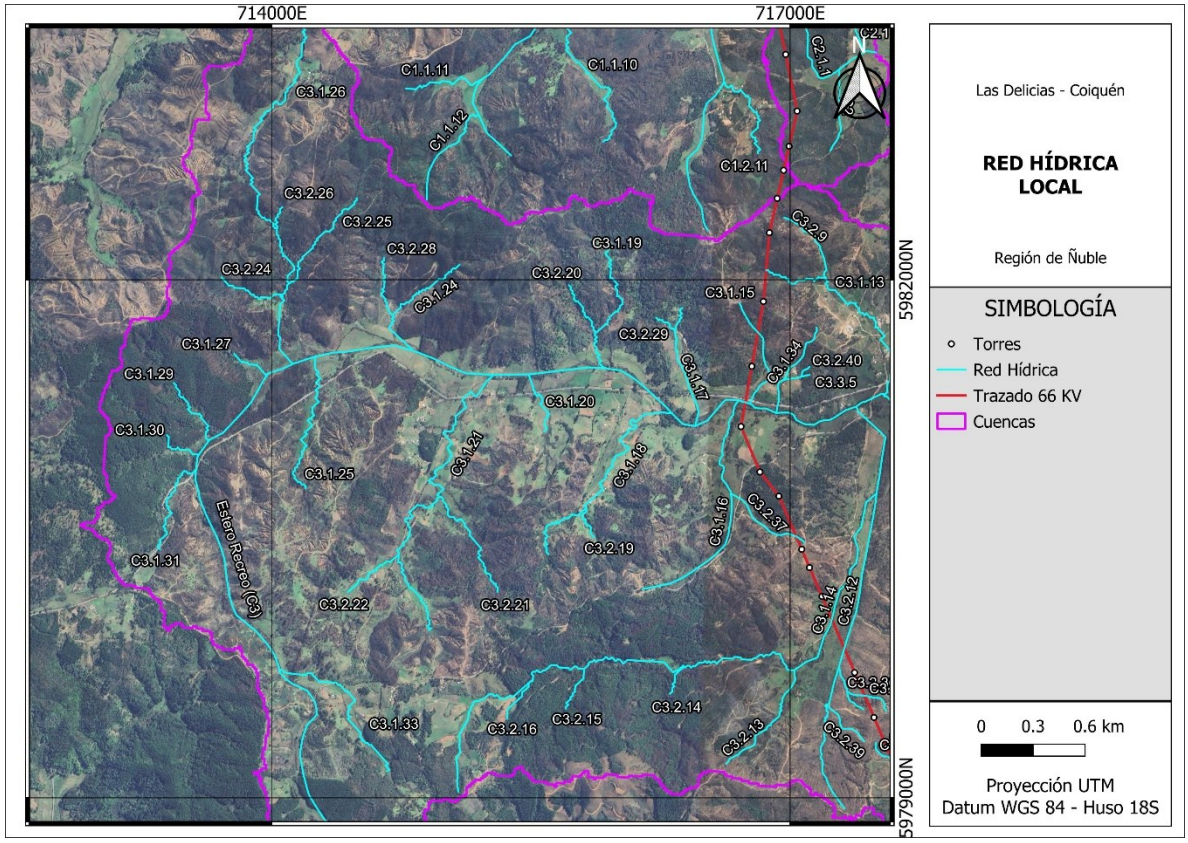
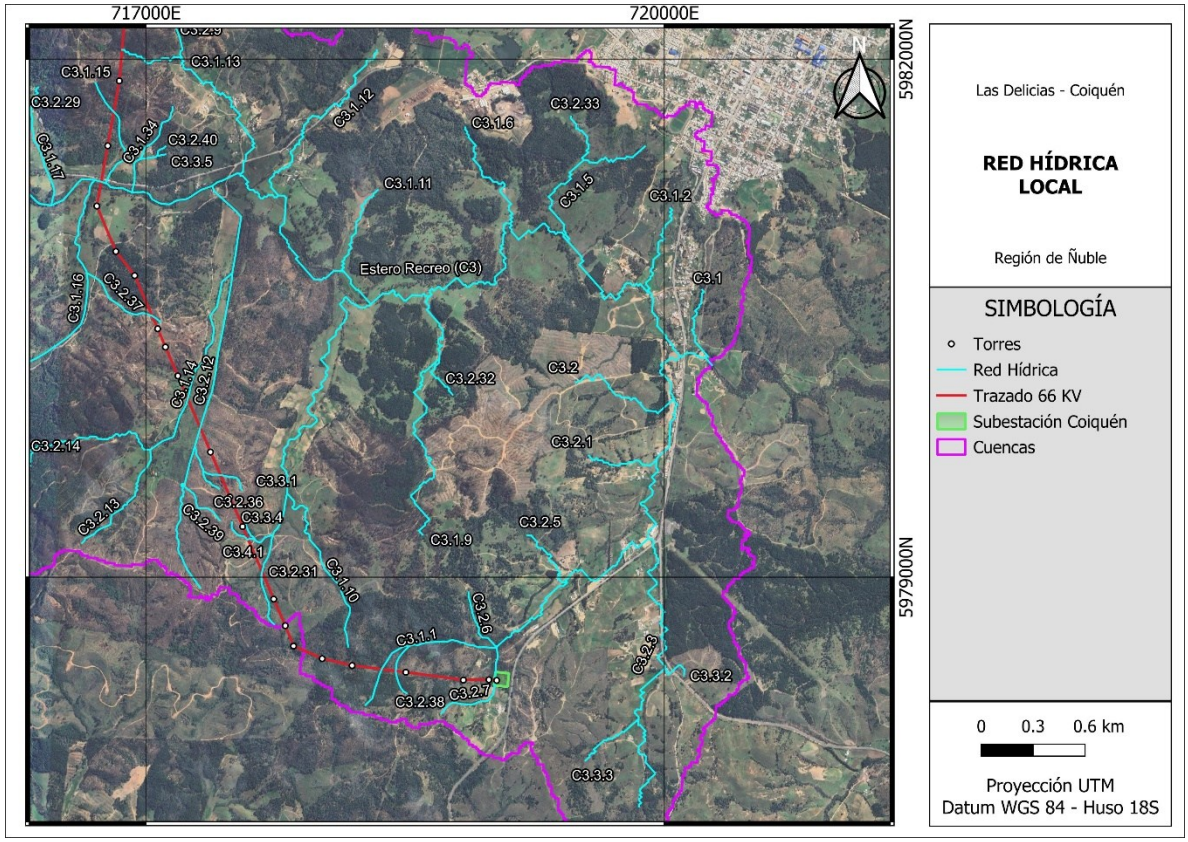


Figura 5-11: Cauces identificados en el tramo centro-sur de la línea proyectada.



6 PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Para evaluar las proyecciones hidroclimáticas del área a intervenir, tal como se comentó anteriormente, se considera la base de datos ARClim y las recomendaciones del SEIA en la guía "Cambio Climático en la Evaluación Ambiental del Recurso Hídrico".

De ARClim se extraen las series de tiempo de las proyecciones correspondientes al escenario SSP5-8.5, utilizando 20 modelos de circulación general (GCM) para la temperatura y 42 para la precipitación anual.

Se evalúan las proyecciones de estas variables para el periodo histórico 1993-2019 y el periodo futuro 2035-2065, cuantificando sus diferencias en términos de la media aritmética. Los resultados de dicho análisis se comparan con las proyecciones estipuladas por el SEA para la Zona K, la cual proyecta de forma homogénea cambios en precipitación y temperatura para la zona costera y la depresión intermedia de Chile Central.

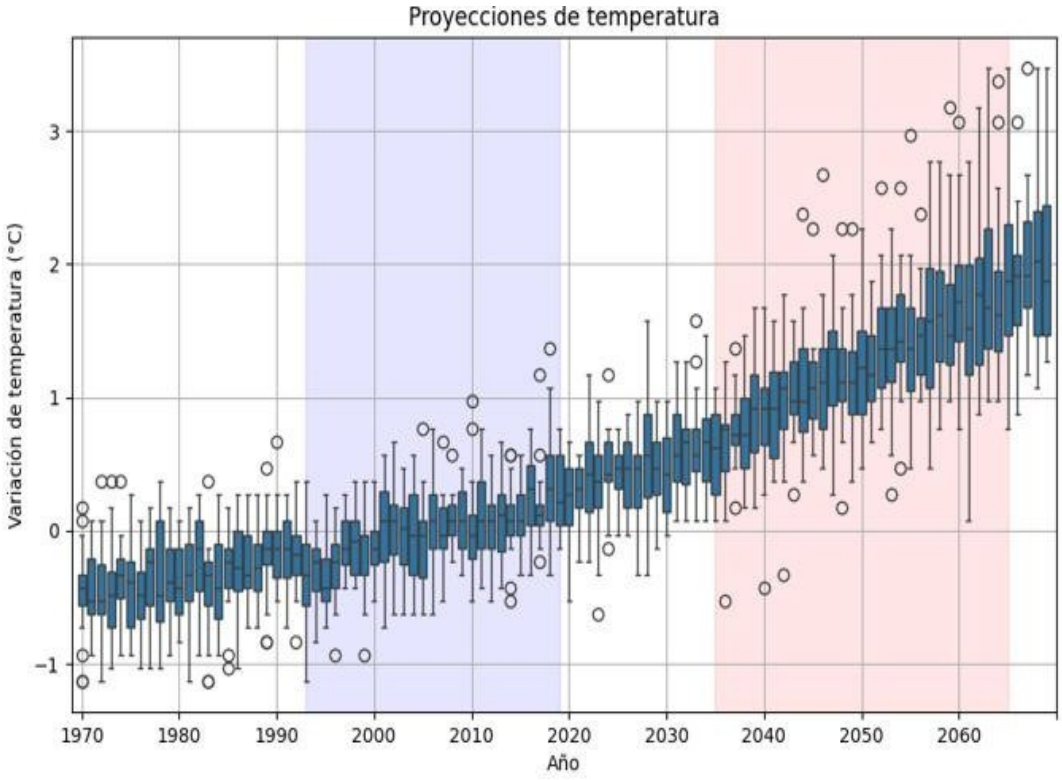
6.1 PROYECCIONES DE TEMPERATURA

Respecto a las temperaturas, la Figura 6-1 presenta las series proyectadas de la anomalía de temperatura media anual, definida como la diferencia entre la variable y su promedio histórico.

Este valor histórico es de 13,4 °C para el periodo 1993-2019 (Figura 4-13), y para el periodo futuro (2035-2065) se proyecta un incremento de 1,3 °C según el promedio de los distintos GCM (Modelos de Circulación General), resultando así en una temperatura media futura de 14,7 °C.

Específicamente, las simulaciones indican una clara tendencia al aumento; sin embargo, se observa que los modelos presentan una considerable dispersión entre ellos mientras más lejano sea el año en cuestión. Según las proyecciones del SEA para la zona K, se espera un aumento de entre 0,4 °C hasta 1,4 °C lo cual es consistente con los cálculos realizados (1,3 °C).

Figura 6-1: Proyecciones de temperatura media anual (anomalía) en el sector del proyecto según varios GCM en el escenario SSP8.5. Color rojo y azul indican el período futuro e histórico respectivamente



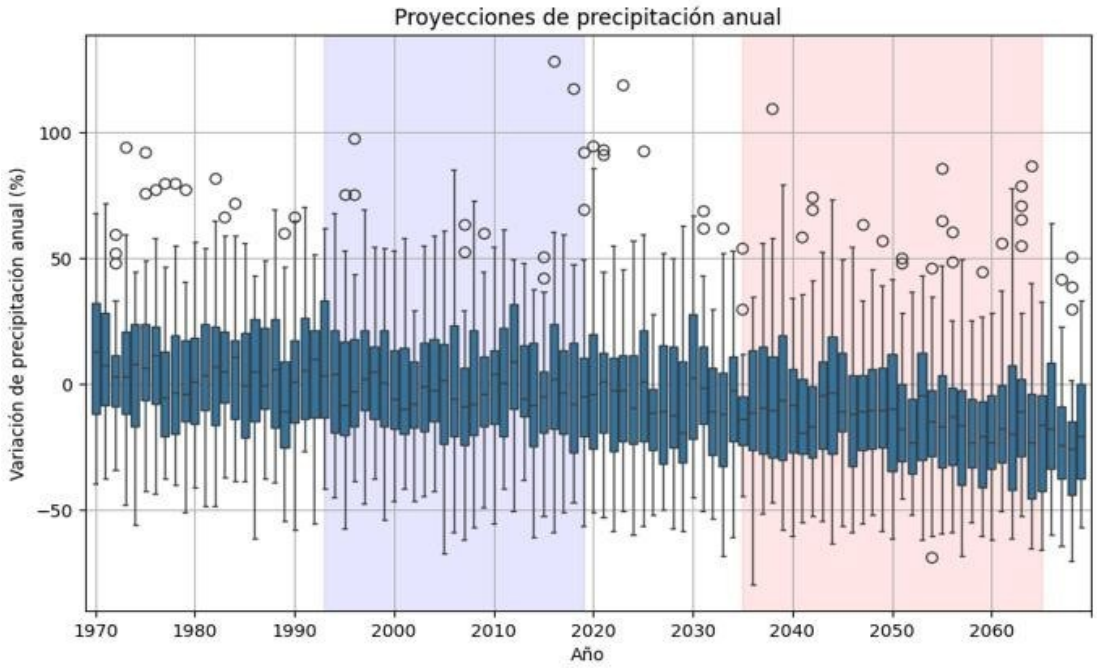
6.2 PROYECCIONES DE PRECIPITACIÓN

La Figura 6-2 presenta las anomalías de precipitación proyectadas bajo el escenario SSP5-8.5, normalizadas respecto al período histórico. Los resultados muestran una alta dispersión entre los distintos modelos de circulación general (GCM): mientras algunos proyectan incrementos superiores al 50%, otros estiman disminuciones que superan ese mismo porcentaje. Esta variabilidad refleja una marcada incertidumbre tanto en la tendencia como en la proyección futura del recurso hídrico.

No obstante, el promedio multi-modelo sugiere una reducción del 12% en la precipitación anual. En términos absolutos, el registro histórico (1993-2019) presenta una precipitación acumulada anual de 918 mm, la cual descendería a 812 mm en el período futuro (2035-2065) según la media de los GCM, lo que equivale a una pérdida neta de 107 mm al año.

Por su parte, las proyecciones oficiales expuestas por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) para la zona K estiman una disminución de la lluvia media anual de entre un 9,5% y un 20,1%. De este modo, la reducción del 12% calculada en este estudio resulta consistente con los rangos institucionales de referencia.

Figura 6-2: Proyecciones de precipitación acumulada anual (anomalía porcentual) en la comuna de Quirihue según varios GCM en un escenario SSP8.5. Color rojo y azul indican el período futuro e histórico respectivamente.



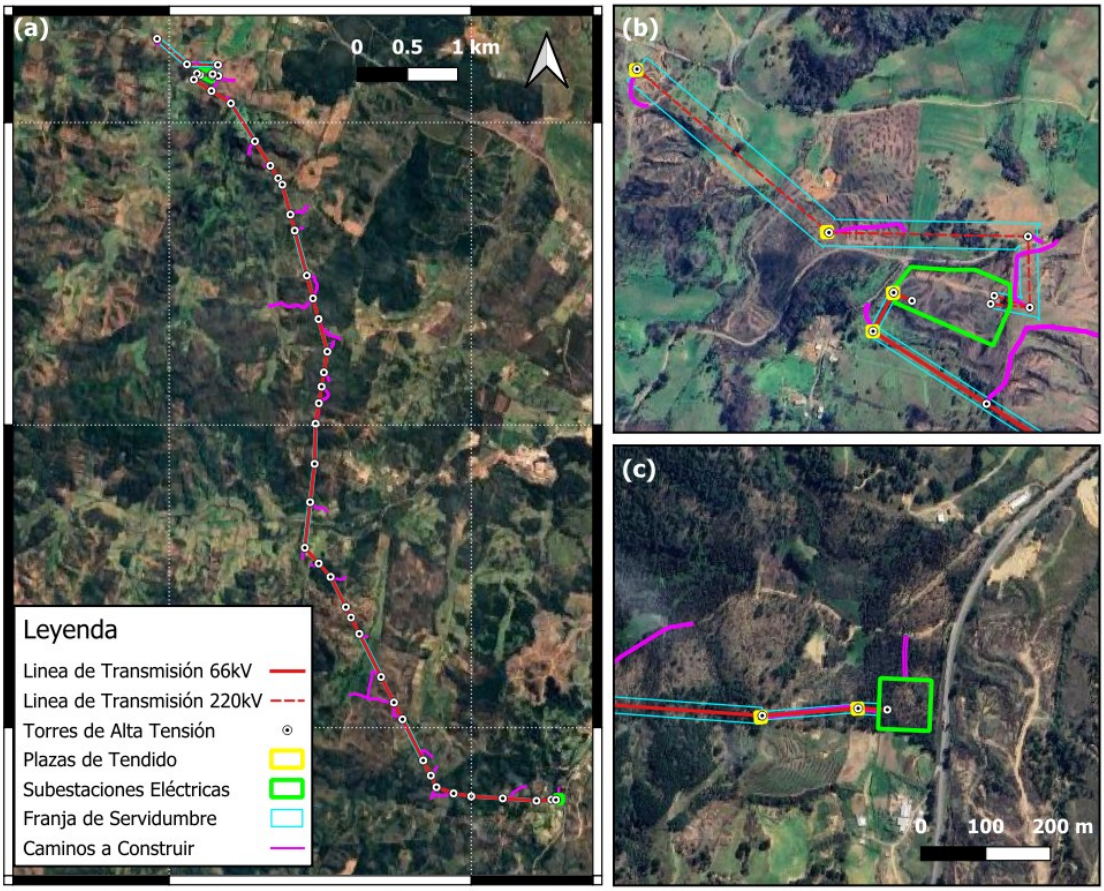
7 ÁREA DE INFLUENCIA

El Área de Influencia, se define en el Art. 2 del RSEIA como "*el área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera o presenta alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la Ley, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias*".

Adicionalmente, según lo establecido en el Art. 19 letra b.1) y Art. 18 letra d) del RSEIA, en que indica, "*El área de influencia se definirá y justificará para cada elemento afectado del medio ambiente, tomando en consideración los impactos ambientales potencialmente significativos sobre ellos, así como el* ***espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del proyecto o actividad***".

En base a lo anterior, y como se ha analizado en el presente informe, para la componente hidrológica no se identifican alteraciones por parte del proyecto en cantidad, magnitud, extensión y duración, por lo tanto, el área de influencia para esta componente queda definida como el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del proyecto en las fases de construcción, operación y cierre (Figura 7-1).

Figura 7-1: Área de Influencia hidrológica del proyecto Las Delicias - Coiquén. (a) Trazado general del proyecto y obras. (b) S/E Las Delicias y Líneas de Transmisión de 220 y 66 kV. (c) S/E Coiquén y Línea de Transmisión de 66 kV.



8 BIBLIOGRAFÍA

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2022). *Criterio de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico.*

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2023). *Criterio de evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico.*

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). (2023). *Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA.*

Dirección de Vialidad. (2022). *Manual de Carreteras*. Ministerio de Obras Públicas (MOP), Gobierno de Chile.

Pica-Téllez, A., Garreaud, R., Meza, F., Bustos, S., Falvey, M., Ibarra, M., Duarte, K., Ormazábal, R., Dittborn, R., & Silva, I. (2020). *Informe proyecto ARClim: Atlas de Riesgos Climáticos para Chile*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), Centro de Cambio Global UC y Meteodata para el Ministerio del Medio Ambiente, a través de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago, Chile.

Ilustre Municipalidad de Quirihue. (2008). *Estudio y diseño plan de cierre vertedero.*

Hernández, J., Galleguillos, M., & Estades, C. (2016). *Mapa de cobertura de suelos de Chile 2014: Descripción del producto*. Laboratorio GEP, Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, pp. 1–4.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). (2015). *ALOS PALSAR Radiometric Terrain Corrected Digital Elevation Model*. ASF DAAC. https://doi.org/10.5067/z97hfcnkr6va

American Meteorological Society (AMS). *Glossary of Meteorology: Standard atmosphere*. Disponible en: https://glossary.ametsoc.org/wiki/Standard_atmosphere

Vásquez, N. A., Mendoza, P. A., Lagos-Zuñiga, M., Scaff, L., Muñoz-Castro, E., & Vargas, X. (2025). Robust spatial changes in climate classes: insights from bias-corrected CMIP6 models across Chile. *Environmental Research Letters*, *20*(1), 014061.

ASF DAAC. (2014). *ALOS PALSAR High Resolution Radiometric Terrain Corrected Product* [Dataset]. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA Date Accessed: 2026-08-19.

9 APÉNDICES

APÉNDICE 1 – HIDROLOGÍA

APÉNDICE 2 - SIG