ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
PROYECTO

“PARQUE HÍBRIDO EÓLICO, SOLAR Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA LAS QUINTAS (PHLQ)”

CAPÍTULO 3.1.3.1. LÍNEA DE BASE HIDROLOGÍA

2026

Sustentable S.A.
Asesoría y Gestión Ambiental
www.sustentable.cl

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 1
3. ÁREA DE INFLUENCIA 1
4. METODOLOGÍA 2
4.1. Cuenca Hidrográfica 2
4.2. Precipitaciones 3
4.3. Caudales 3
4.4. Red Hídrica Local 3
4.5. Efecto Cambio Climático 3
5. RESULTADOS 4
5.1. Cuenca Hidrográfica 4
5.2. Precipitaciones 6
5.1.1. Precipitaciones Medias 7
5.1.2. Precipitaciones Máximas 8
5.3. Caudales 12
5.4. Red Hídrica Local 14
5.5. Efecto Cambio Climático 18
6. CONCLUSIONES 22
7. BIBLIOGRAFÍA 23

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones meteorológicas vigentes dentro del buffer 25 km 6
Tabla 2. Estadísticas principales de precipitaciones anuales (mm) 7
Tabla 3. Precipitación media y mensual anual (mm) 7
Tabla 4. Precipitaciones máximas anuales (mm) 8
Tabla 5. Estación Fundo Las Dos Puertas 10
Tabla 6. Estación Litueche 10
Tabla 7. Estación Rapel 11
Tabla 8. Precipitaciones máximas 11
Tabla 9. Estación fluviométrica en buffer 25 km 12
Tabla 10. Estadísticas principales de caudales medios anuales (m^3/s) 13
Tabla 11. Caudales medios mensuales (m^3/s) 14
Tabla 12. Valores de cambio porcentual esperado de precipitación según sectorización con respecto al período "Histórico" 20

Tabla 13. Proyección de la precipitación media anual con Cambio Climático 20
Tabla 14. Precipitaciones acumuladas y máximas ARClim ráster 5 km 21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de influencia hidrología 2
Figura 2. Cuencas en el área de influencia del Proyecto 5
Figura 3. Estaciones meteorológicas seleccionadas cercanas al Proyecto 6
Figura 4. Distribución estacional de precipitaciones 8
Figura 5. Precipitaciones máximas T=10 años 12
Figura 6. Estaciones fluviométricas seleccionadas 13
Figura 7. Curva variación estacional caudal medio mensual 14
Figura 8. Red hídrica general 16
Figura 9. Red hídrica local tramo norte 17
Figura 10. Red hídrica local tramo centro 17
Figura 11. Red hídrica local tramo sur 18
Figura 12. Sectorización de proyecciones de precipitación 19

1. INTRODUCCIÓN

La presente línea de base tiene por objeto describir las características hidrogeológicas del Área de Influencia del Proyecto "Parque Híbrido Eólico, Solar y Almacenamiento de Energía Las Quintas (PHLQ)" (en adelante el Proyecto, PHLQ, Parque Híbrido, indistintamente), conforme a los descrito en el Capítulo 1 y, a lo establecido por la Ley N°19.300 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N°40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente).

El proyecto está ubicado en las comunas de San Pedro y Litueche, Provincia de Melipilla y Cardenal Caro, región de Metropolitana y Libertador Bernardo O'Higgins.

2. OBJETIVOS

Describir y determinar las características propias de la Hidrología en el Área de Influencia, con el fin de caracterizar el comportamiento del sistema hídrico superficial, así como también determinar los rangos y distribución espacial de los cursos de aguas.

Considerando lo anterior, este estudio permitirá describir la ubicación, extensión, abundancia y sensibilidad de este componente, en concordancia a lo establecido por el reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA (D.S. N°40/12).

3. ÁREA DE INFLUENCIA

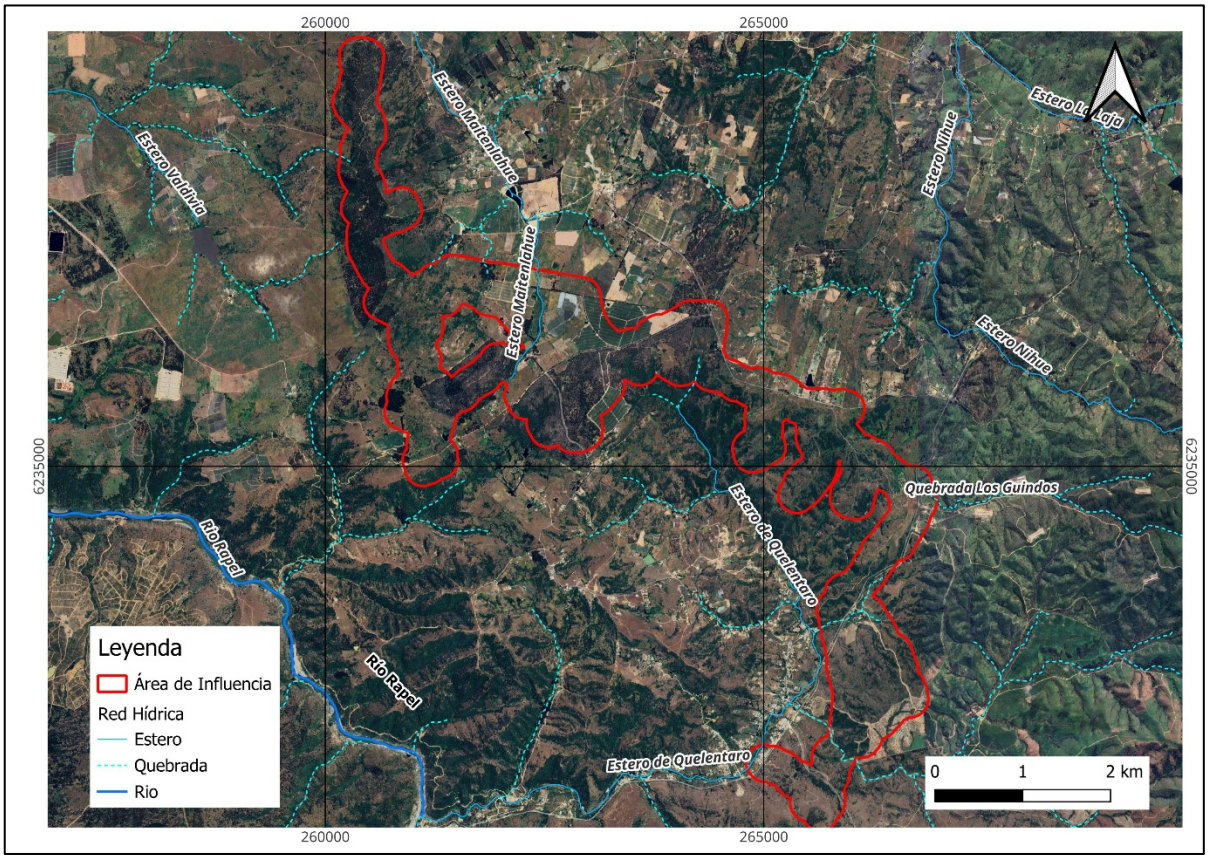
El Proyecto "Parque Híbrido Eólico, Solar y Almacenamiento de Energía Las Quintas (PHLQ)" está ubicado administrativamente en las comunas de San Pedro y Litueche, región de Metropolitana y Libertador Bernardo O'Higgins, respectivamente. Para determinar el Área de Influencia de la componente Hidrología, se aplicaron los criterios establecidos en el artículo 2, letra a), del D.S. N° 40/2012, que define el Área de Influencia 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". También se considera lo señalado en el artículo 18, letra d), del D.S. N° 40/2012, que establece *"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".*

Por último, se considera la "Guía para la Descripción del Área de Influencia" del Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental, establece que *"el Área de Influencia deberá considerar el espacio geográfico en el cual se emplazan las partes, obras y/o acciones del Proyecto o actividad, así como aquel comprendido por los elementos del medio ambiente receptores de impactos potencialmente significativos y de sus atributos".*

En base a lo indicado por el Reglamento del Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto Supremo N°40/12) y la Guía para determinar el Área de Influencia, el componente de Hidrología corresponde a un "atributo" de otros componentes, y que, para efectos del presente Proyecto, los criterios que definirán su Área de Influencia corresponden a las características de las partes, obras y acciones del Proyecto. Este criterio considera incluir dentro del Área de Influencia todas las actividades y obras que puedan constituir alteraciones directas a cauces naturales y artificiales del tipo superficial, afectando su ciclo hidrológico.

En la siguiente Figura se presenta el Área de Influencia para la componente de hidrología en base a los fundamentos normativos anteriores, que corresponde a las obras del layout y su entorno inmediato, con un buffer de 200 metros alrededor de las partes y obras del proyecto.

Figura 1. Área de influencia hidrología



Fuente: Elaboración propia (Proyección UTM, Zona 19S, WGS 1984).

4. METODOLOGÍA

La descripción hidrológica se realiza abarcando tanto el área de emplazamiento del Proyecto como sus principales zonas de influencia hídrica. Para ello se analizan cuatro atributos de la componente hidrológica del área de influencia.

4.1. Cuenca Hidrográfica

Para llevar a cabo la identificación de las cuencas y subcuencas donde se emplaza el Proyecto y su respectiva Área de Influencia (AI), se empleó el inventario de cuencas, subcuencas y subsubcuencas proporcionado por la Dirección General de Aguas (DGA) en 2014. Este inventario consistió en la superposición de las capas vectoriales de las cuencas y subcuencas con las obras proyectadas. Posteriormente, una vez identificadas, se procedió a realizar una descripción concisa de sus principales características, tales como ubicación geográfica, régimen hidrológico, entre otros aspectos relevantes.

4.2. Precipitaciones

Las precipitaciones asociadas al área de influencia fueron caracterizadas mediante el análisis de estaciones meteorológicas representativas en términos espaciales y con un historial de registros suficientemente extenso para permitir un análisis estadístico. Se realizó una consulta de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA) en la región, seleccionando aquellas que se encuentran a menos de 25 km alrededor del Proyecto y con una altitud similar al área de influencia del proyecto.

A partir de los registros de precipitaciones mensuales de las estaciones seleccionadas, se procedió a describir el régimen estacional de la pluviometría, identificando las precipitaciones medias y máximas. Este análisis se llevó a cabo considerando estaciones con un período estadístico de al menos 20 años para garantizar la validez de los resultados obtenidos. El año máximo para el análisis estadístico fue establecido en 2020, debido a que posterior a este año la densidad de los registros disminuye de forma considerable.

En base a los datos de precipitaciones máximas recopilados, se realiza un análisis de frecuencia para determinar la probabilidad de que ocurra un evento de precipitaciones máximas en 24 horas en un período de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Se adopta la distribución matemática (Gumbel, Log-Pearson, Log-Normal, Pearson, Normal) que mejor se ajuste a los datos de precipitación recopilados.

4.3. Caudales

La caracterización de los escurrimientos en el área de influencia del Proyecto se lleva a cabo mediante el análisis de los registros de las estaciones fluviométricas ubicadas en los cauces dentro y a menos de 25 km del Proyecto. Para seleccionar estas estaciones, se aplicaron los mismos criterios utilizados en la selección de las estaciones pluviométricas.

4.4. Red Hídrica Local

La caracterización de la red hidrográfica se realiza mediante un análisis de gabinete que consiste en la superposición de la red hídrica oficial del Instituto Geográfico Militar de Chile (IGM), a una escala de 1:50.000, con imágenes satelitales, junto con las obras del Proyecto. Este procedimiento permite identificar los sectores donde las instalaciones se ubican en cercanía a los cauces existentes. También se realiza un análisis por medio de fotointerpretación utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), además de una recopilación bibliográfica de fuentes oficiales y de Proyectos cercanos al área de influencia.

4.5. Efecto Cambio Climático

Según el artículo 40 de la ley N°21.455, también conocida como "Ley Marco de Cambio Climático", es necesario considerar el cambio climático en los componentes ambientales relevantes de los proyectos o actividades sujetos a evaluación de impacto ambiental. Para proporcionar directrices sobre cómo analizar los efectos adversos del cambio climático en estos componentes, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) ha desarrollado la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental". Esta guía se basa en la plataforma "Atlas de Riesgos Climáticos" (ARClim) como fuente principal de información.

Con base en las directrices establecidas en la guía y la información suministrada por ARClim, se procede a llevar a cabo una caracterización analítica que examina los parámetros climáticos pertinentes para el proyecto y la región en la que se encuentra. Entre estos parámetros se incluyen la precipitación media anual y la precipitación máxima anual.

La selección de la escala de análisis se realiza considerando la variabilidad de los parámetros climáticos en la zona del proyecto. Con el objetivo de evitar la inclusión de patrones climáticos propios de áreas distantes al proyecto, se decide emplear datos de ARClim a una escala de grilla de 5 km x 5 km.

5. RESULTADOS

5.1. Cuenca Hidrográfica

El Proyecto se encuentra presente en las comunas de San Pedro y Litueche, se inserta en la Cuenca Río Rapel y Costeras entre Maipo y Rapel, según clasificación de cuencas desarrollada en el inventario de cuencas, subcuencas y subsubcuencas proporcionado por la Dirección General de Aguas (DGA) en 2014, ver Figura 2.

Las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel cubren un área de 1.072,5 km^2. Son varias cuencas exorreicas costeras ubicadas entre los estuarios de los ríos Maipo y Rapel que nacen en las estribaciones occidentales de la cordillera de la Costa para desembocar en el océano Pacífico.

La mitad (55%) superior y oriental de la cuenca se emplaza en la Región Metropolitana y la mitad (45%) inferior y occidental en la Región de Valparaíso. La cuenca abarca un 3,5% del territorio de la Región Metropolitana y un 3,3% de la Región de Valparaíso respectivamente.

Entre los principales cursos de agua que forman parte de la red hídrica de la cuenca, se encuentra el río Maipo, Rapel y estero Yali. El Río Maipo tiene una longitud de 250 Km y es la principal fuente de agua de la región Metropolitana. Atiende alrededor del 70% de la demanda actual de agua potable y cerca de un 90% de las demandas de regadío. Drena una superficie de 15.304 km^2. La superficie de la cuenca cubre prácticamente el 100% de la región Metropolitana y una mínima superficie de las regiones de Valparaíso (Provincia de San Antonio y Valparaíso) y del Libertador Bernardo O'Higgins.

El río Rapel se forma de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, a unos 6 km al oeste de la localidad de Las Cabras. La confluencia tiene lugar en el interior de la cordillera de la Costa y se encuentra hoy inundada por las aguas del embalse Rapel, con una capacidad de 680 millones de m^3. Desde La Junta, el río Rapel corre hacia el noreste, en medio de un lecho obstruido por depósitos fluviales. Desemboca en el mar, cerca del pueblo de Navidad, a través de un solo cauce de unos 60 m de ancho. En su recorrido, no recibe afluentes de importancia, siendo el de mayor significación el estero Alhué.

La cuenca del estero Yali, cubre una superficie de 750 km^2 aproximadamente. Corresponde a una cuenca costera exorreica, que limita al norte con la cuenca del río Maipo; al sur con la cuenca del río Rapel; al oriente con la subcuenca del estero Alhué; y al poniente con el océano Pacífico. El cauce principal de la cuenca lo constituye el estero Yali, con una extensión aproximada de 50 Km. Sus tributarios principales son los esteros San Pedro, El Sauce, Las Diucas, Lo Chacón, San Vicente y Loica

La cuenca hidrográfica del río Rapel forma parte de la VI Región del General Libertador Bernardo O'Higgins, se sitúa entre los paralelos 33°53' y 35°01' de latitud sur, drenando una superficie total de 13.695 km^2 y se caracteriza por ser exorreica.

El río Rapel se forma de la unión de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, en el lugar denominado La Junta, a unos 6 km al oeste de la localidad de Las Cabras. La confluencia tiene lugar en el interior de la Cordillera de la Costa y se encuentra hoy inundada por las aguas del embalse Rapel, con una capacidad de 680 millones de m^3.

El régimen del río Rapel es mixto debido a que se observan tanto regímenes nivales, pluviales y mixtos en los afluentes principales. Se aprecian regímenes nivales en la parte alta de la subcuenca del río Cachapoal, tanto en

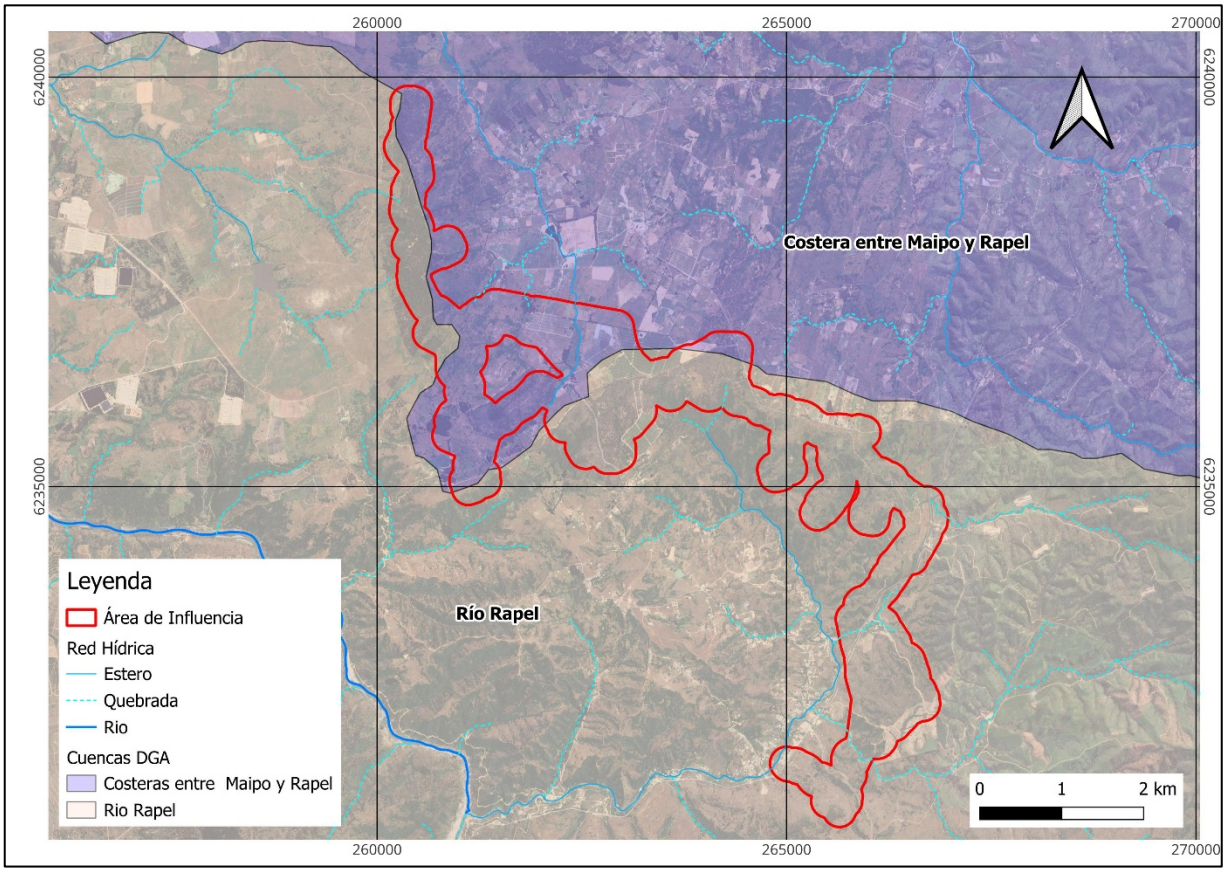
el río homónimo como en el río Pangal. Los regímenes pluviales se observan en el estero Alhue y en el estero Zamorano, este último ubicado en la subcuenca del río Cachapoal. Los regímenes mixtos se observan en la subcuenca del río Tinguiririca, con mayor influencia nival en la parte alta y pluvial en la baja, y en la subcuenca baja del río Cachapoal.

Desde La Junta, el río Rapel corre hacia el noreste, en medio de un lecho obstruido por depósitos fluviales. Desemboca en el mar, cerca del pueblo de Navidad, a través de un solo cauce de unos 60 m de ancho. En su recorrido, no recibe afluentes de importancia, siendo el de mayor significación el estero Alhué.

El clima predominante corresponde al Clima Templado Mediterráneo, el cual presenta variaciones por efecto de la topografía local. En la costa se presenta nuboso, mientras que hacia el interior debido a la sequedad experimenta fuertes contrastes térmicos. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de Los Andes, debido al relieve que no deja entrada a los vientos húmedos Oceánicos.

Uno de los usos más importantes desarrollados en la cuenca corresponde al uso agrícola. Estos se ubican de preferencia en los llanos de la depresión central, alcanzando un total de 301.097 Ha, que corresponden al 22% de la superficie total. Los terrenos destinados a la rotación de cultivo - pradera alcanzan las 54.434 Ha.

Figura 2. Cuencas en el área de influencia del Proyecto



Fuente: Elaboración propia en base a DGA.

5.2. Precipitaciones

Con el propósito de localizar estaciones meteorológicas que reflejen adecuadamente las precipitaciones anuales en el área de influencia, se delimitó un radio de estudio al Proyecto de 25 kilómetros, identificándose la presencia de 4 estaciones activas de la Dirección General de Agua. La Tabla 1 resume las características de las estaciones identificadas.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas vigentes dentro del buffer 25 km

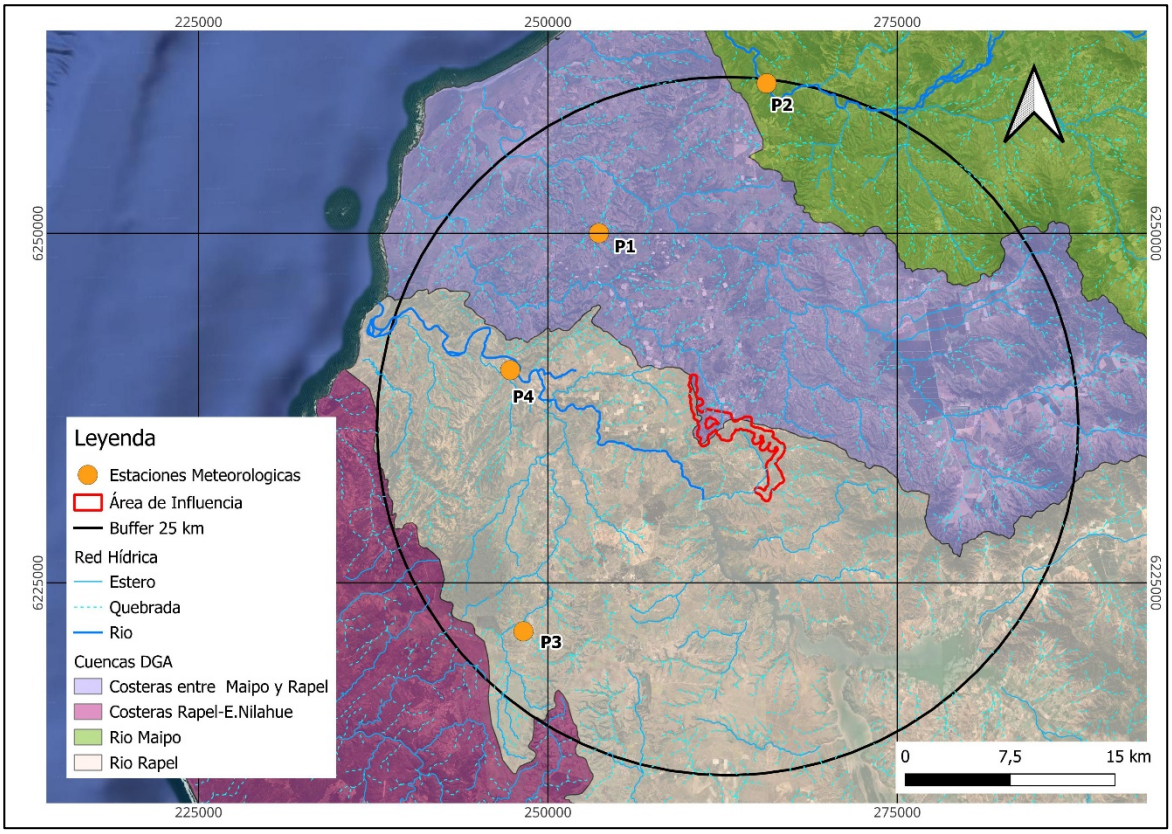
ID	Nombre	Código BNA	Coordenadas UTM WGS84 19S		Altitud (msnm)	Estado	Tipo de Estación
			Este (m)	Norte (m)			
P1	Fundo Las Dos Puertas	05800002-7	253643	6250021	24	Vigente	Meteorológica
P2	Río Maipo en Cabimbao	05748001-7	265651	6260738	35	Vigente	Meteorológica
P3	Litueche	06055003-4	248245	6221536	250	Vigente	Meteorológica
P4	Rapel	06056003-K	247306	6240217	16	Vigente	Meteorológica

Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

Una vez identificadas las estaciones de interés, se revisó la calidad de los registros existentes, enfocándose en la cantidad de registros por año calendario y la cantidad de registros de precipitación máxima.

A continuación, en la siguiente Figura se presenta la ubicación de las estaciones seleccionadas:

Figura 3. Estaciones meteorológicas seleccionadas cercanas al Proyecto



Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

5.1.1. Precipitaciones Medias

Para caracterizar la precipitación mensual del área de influencia, se utilizaron las precipitaciones medias anuales registradas en las estaciones pluviométricas mencionadas. En base a la disponibilidad de registros existentes en las estaciones seleccionadas, se estableció el período de análisis de 1990 a 2025, ver Tabla 2.

Tabla 2. Estadísticas principales de precipitaciones anuales (mm)

ID	Nombre	Min. (mm)	Max. (mm)	Promedio (mm)	Desviación estándar (mm)
P1	Fundo Las Dos Puertas	0,0	416,0	35,9	58,6
P2	Río Maipo en Cabimbao	0,0	154,2	15,9	31,9
P3	Litueche	0,0	651,0	54,4	89,8
P4	Rapel	0,0	479,9	40,8	67,4

Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

La variación estacional se expone en la Tabla 3, donde se presentan las precipitaciones medias mensuales y el promedio anual, este último corresponde a la suma acumulada de los promedios mensuales. Como se observa en la siguiente Tabla, las precipitaciones promedio en el área de estudio presentan valores de 206,4 a 646,2 mm anuales.

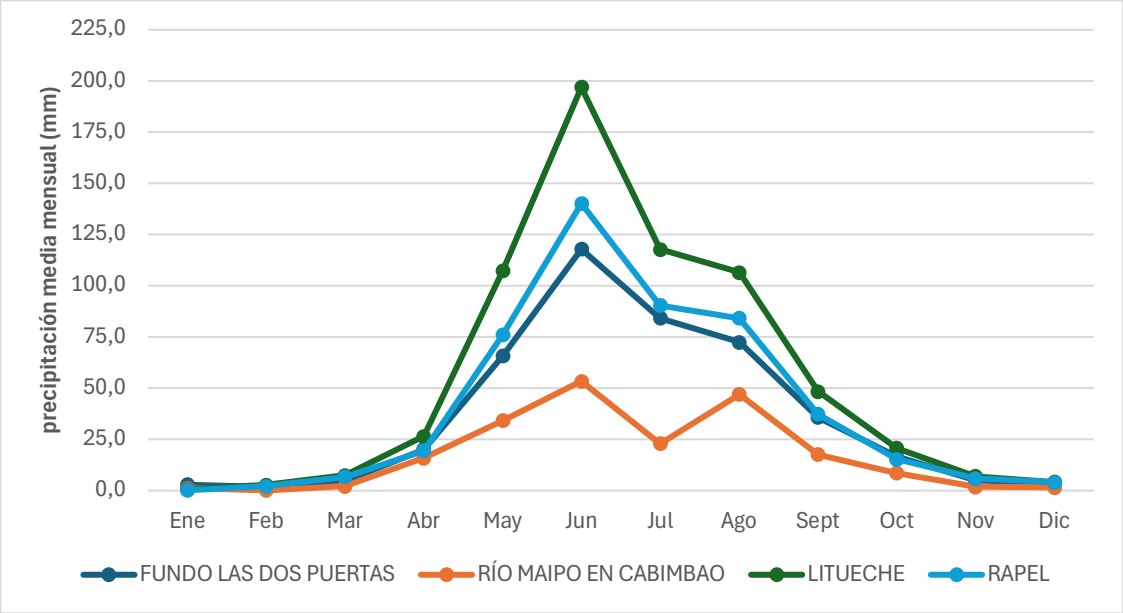
Tabla 3. Precipitación media y mensual anual (mm)

ID	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
P1	Fundo Las Dos Puertas	2,9	1,8	4,6	20,1	65,8	117,9	84,2	72,5	35,8	16,5	5,0	3,5	**430,6**
P2	Río Maipo en Cabimbao	1,3	0,1	2,1	15,9	34,2	53,4	22,9	47,0	17,6	8,6	1,8	1,6	**206,4**
P3	Litueche	0,6	2,8	7,4	26,6	107,3	196,9	117,8	106,6	48,5	20,8	7,0	4,1	**646,2**
P4	Rapel	0,2	2,1	6,6	19,5	76,0	140,2	90,4	84,2	37,4	15,2	6,0	4,0	**481,6**

Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

En la Figura 4 se presentan las distribuciones de las precipitaciones anuales para las precipitaciones en el área de influencia del Proyecto. Las precipitaciones se concentran principalmente en los períodos de otoño e invierno.

Figura 4. Distribución estacional de precipitaciones



Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

5.1.2. Precipitaciones Máximas

La caracterización de las precipitaciones máximas diarias en el área de influencia se llevó a cabo mediante el análisis de los registros efectivamente medidos en las estaciones meteorológicas previamente seleccionadas.

En la Tabla 4 se muestran las precipitaciones máximas anuales en un periodo de 24 horas. Al igual que en el estudio de las precipitaciones medias anuales, se considera el período de análisis comprendido entre los años 1990 y 2025.

Los valores registrados como “0,0” corresponden a precipitaciones máximas diarias iguales a 0 mm, es decir, eventos en los cuales no se registró precipitación durante el periodo de 24 horas considerado. Por su parte, las celdas con el símbolo “–” corresponden a datos faltantes o sin registro, asociados a ausencia de información en la base de datos original (BNA DGA), ya sea por discontinuidad de medición o falta de reporte en la estación. Para efectos del análisis estadístico, ambos casos fueron tratados de manera diferenciada, los valores “0,0” fueron incorporados como observaciones válidas dentro de la serie, mientras que los registros faltantes “–” fueron excluidos del análisis de frecuencia, evitando así introducir sesgos en la estimación de precipitaciones máximas asociadas a distintos periodos de retorno. De este modo, se asegura que los resultados obtenidos reflejen adecuadamente el comportamiento estadístico de las precipitaciones extremas, manteniendo la consistencia y trazabilidad del análisis.

Tabla 4. Precipitaciones máximas anuales (mm)

Año	Fundo Las Dos Puertas	Río Maipo en Cabimbao	Litueche	Rapel
1990	54,5	-	65,5	40,0
1991	56,0	-	75,5	48,5
1992	57,5	-	120,0	103,0
1993	56,5	-	59,0	47,0

Año	Fundo Las Dos Puertas	Río Maipo en Cabimbao	Litueche	Rapel
1994	40,0	-	71,5	52,0
1995	41,0	-	60,0	53,0
1996	45,0	-	52,0	52,0
1997	80,0	-	140,5	98,0
1998	31,0	-	63,0	48,0
1999	45,0	-	86,0	54,0
2000	90,0	-	110,0	93,0
2001	108,0	-	142,5	115,0
2002	78,0	-	91,5	80,0
2003	94,0	-	118,0	80,0
2004	50,0	-	73,0	58,0
2005	56,0	-	98,0	62,0
2006	47,0	-	174,0	80,0
2007	33,0	-	38,0	31,0
2008	48,0	-	148,0	95,4
2009	51,0	0,9	88,0	63,0
2010	43,0	1,5	60,0	73,0
2011	42,0	3,8	40,0	32,0
2012	46,0	28,0	182,0	117,0
2013	53,0	75,6	62,0	90,0
2014	48,0	45,6	101,0	74,0
2015	46,0	41,6	68,0	65,0
2016	48,0	39,2	53,5	53,0
2017	46,0	33,2	78,0	49,0
2018	47,0	9,6	52,0	46,0
2019	36,0	5,8	83,0	55,0
2020	48,0	8,8	79,0	72,0
2021	49,0	11,2	-	-
2022	-	0,0	-	-
2023	0,0	-	-	-
2024	0,0	29,0	107,7	101,7
2025	47,0	64,8	93,1	42,7

Fuente: Elaboración propia a partir de BNA DGA.

En base a los datos obtenidos de las precipitaciones máximas se realiza un análisis de frecuencia para un periodo de retorno de 10, 25, 50 y 100 años. Con el objetivo de evaluar la representatividad de cada distribución, se aplicó la prueba de ajuste Chi-cuadrado (χ^2). Los resultados indican que, para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$,

algunas de las distribuciones no cumplen estrictamente con el criterio de aceptación, lo cual se atribuye a una alta variabilidad de la serie o la presencia de valores extremos, condiciones típicas en series hidrológicas. En base a la mismo, no se analiza la Estación Río Maipo en Cambimbao debido a una cantidad insuficiente de datos para el análisis. En las siguientes Tablas se presenta la prueba de Ajuste para estaciones Fundo Las Dos Puertas, Litueche y Rapel.

Tabla 5. Estación Fundo Las Dos Puertas

Prob Exced %	Periodo Retorno años	Precipitación 24 horas (mm)				
		Distrib. Normal	Distrib. Log-Normal	Distrib. Pearson	Distrib. Log-Pearson	Distrib. Gumbel
1	100	95,2	100,4	114,7	122,0	118,3
2	50	90,3	92,7	103,3	106,1	107,1
4	25	84,8	84,9	91,9	91,9	95,8
10	10	76,3	74,1	76,7	75,1	80,6
χ^2(calculado)		13,86	9,75	7,42	10,04	7,81
χ^2(0,05)		5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test		Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado	Rechazado

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del test de bondad de ajuste Chi-cuadrado en “Estación Fundo Las Dos Puertas”, indican que ninguna de las distribuciones evaluadas cumple estrictamente con el criterio de aceptación para un nivel de significancia de α = 0,05. Esta situación se explica por las características propias de la serie de precipitaciones máximas, la cual presenta alta variabilidad, presencia de valores extremos y un tamaño de muestra limitado, condiciones que dificultan el ajuste estadístico mediante pruebas de bondad de ajuste como el test de Chi-cuadrado. Asimismo, el test de Chi-cuadrado es altamente sensible a la definición de intervalos de clase y a la distribución de frecuencias, lo que puede derivar en el rechazo de distribuciones.

Tabla 6. Estación Litueche

Prob Exced %	Periodo Retorno años	Precipitación 24 horas (mm)				
		Distrib. Normal	Distrib. Log-Normal	Distrib. Pearson	Distrib. Log-Pearson	Distrib. Gumbel
1	100	174,3	208,9	200,2	225,8	222,6
2	50	164,4	187,2	182,5	198,1	199,8
4	25	153,4	165,8	164,2	171,8	176,8
10	10	136,3	137,4	138,6	138,8	145,8
χ^2(calculado)		2,08	0,10	0,22	1,19	0,33
χ^2(0,05)		5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test		Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados del test de bondad de ajuste Chi-cuadrado, todas las distribuciones evaluadas presentan un ajuste estadísticamente aceptable para un nivel de significancia de α = 0,05. No obstante, la distribución Log-Normal presenta el menor valor del estadístico χ^2, lo que indica que es la que mejor representa el comportamiento de la serie de precipitaciones máximas.

Tabla 7. Estación Rapel

Prob Exced %	Periodo Retorno años	Precipitación 24 horas (mm)				
		Distrib. Normal	Distrib. Log-Normal	Distrib. Pearson	Distrib. Log-Pearson	Distrib. Gumbel
1	100	122,6	142,5	132,1	140,3	153,9
2	50	116,2	129,7	123,0	128,2	139,1
4	25	109,1	116,8	113,3	116,0	124,2
10	10	98,1	99,4	99,2	99,1	104,2
χ^2(calculado)		3,49	0,92	1,80	3,14	0,97
χ^2(0,05)		5,99	5,99	3,84	3,84	5,99
Test		Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la estación Litueche, en la estación Rapel todas las distribuciones evaluadas presentan un ajuste estadísticamente aceptable para un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. No obstante, la distribución Log-Normal presenta el menor valor del estadístico χ^2, lo que indica que es la que mejor representa el comportamiento de la serie de precipitaciones máximas.

En la Tabla 8 se resumen los valores para cada periodo de retorno y la distribución matemática que mejor se ajusta en cada estación pluviométrica.

Tabla 8. Precipitaciones máximas

ID	Nombre	Precipitación Máxima en 24 hr (mm)				Distribución adoptada
		T=100 años	T=50 años	T=25 años	T=10 años	
P3	Litueche	208,9	187,2	165,8	137,4	Log-Normal
P4	Rapel	142,5	129,7	116,8	99,4	Log-Normal

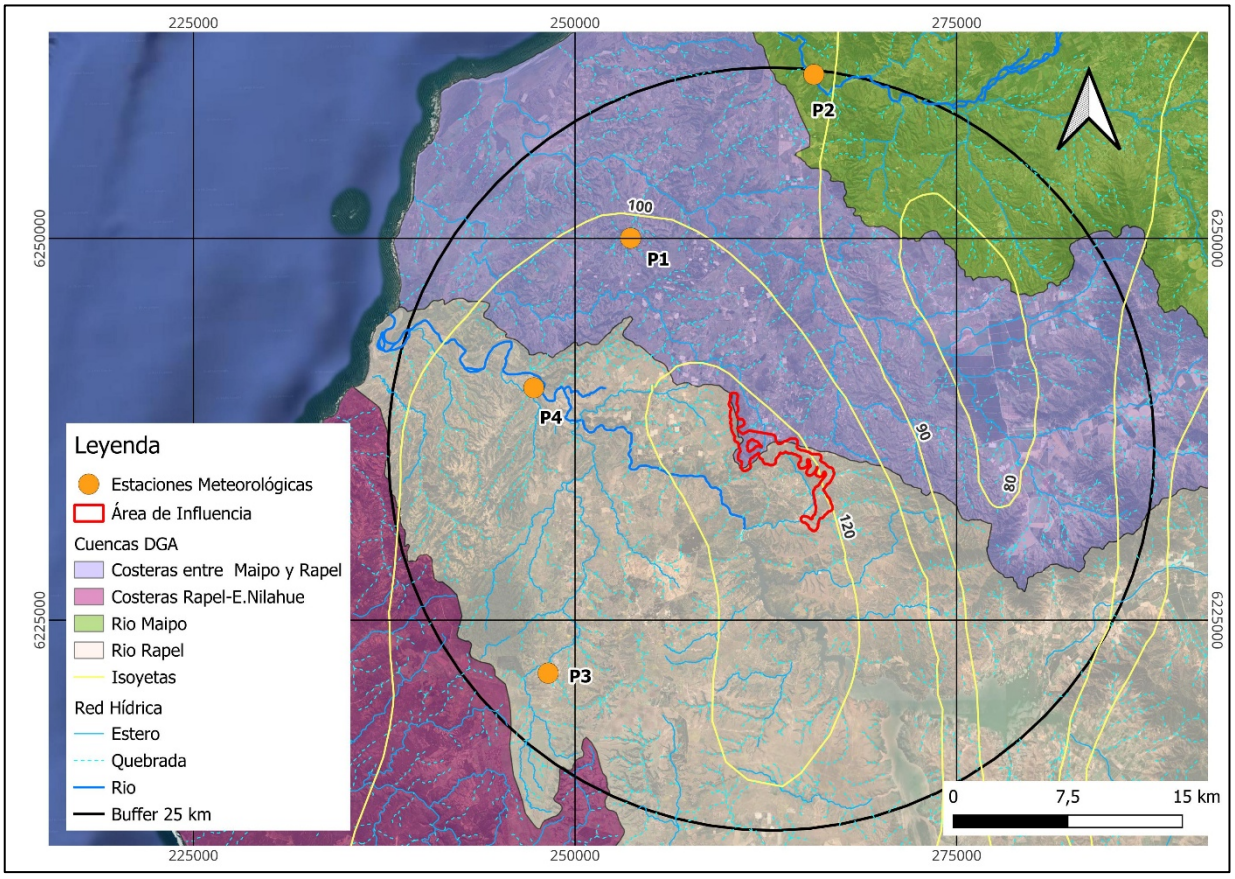
Fuente: Elaboración propia.

Así, la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años se registra en la estación Litueche y Rapel valores de 208,9 mm y 142,5 mm, respectivamente.

A partir de los valores de precipitación máxima para una periodicidad de 10 años obtenidos mediante el análisis de frecuencia en cada estación, en la siguiente figura se presenta en planta los resultados de la precipitación obtenida en cada estación y las isoyetas de la precipitación máxima en 1,2 y 3 días (DGA, 1991). Se utiliza la cartografía de isoyetas correspondiente al estudio de la DGA (1991), debido a que constituye una de las referencias oficiales validadas a nivel nacional para la caracterización espacial de precipitaciones máximas. A pesar de su antigüedad, dicha información se basa en series históricas, permitiendo una adecuada representación de la distribución espacial de las precipitaciones extremas.

En este contexto, los valores estimados para las estaciones Litueche (P3) y Rapel (P4), correspondientes a 137,4 mm y 99,4 mm respectivamente para un periodo de retorno de 10 años, resultan coherentes con la distribución espacial definida por las isoyetas. En particular, ambas estaciones se sitúan en zonas cercanas a la isoyeta de 100 mm, observándose que los valores calculados se encuentran en torno a dicho rango, con una leve sobreestimación en el caso de la estación Litueche.

Figura 5. Precipitaciones máximas T=10 años



Fuente: Elaboración propia en base DGA.

5.3. Caudales

Para llevar a cabo la caracterización fluviométrica del área de influencia, se delimitó un radio de estudio al Proyecto de 25 kilómetros, identificándose la presencia de una estación fluviométrica. La Tabla 9 resume las principales características de la estación identificada.

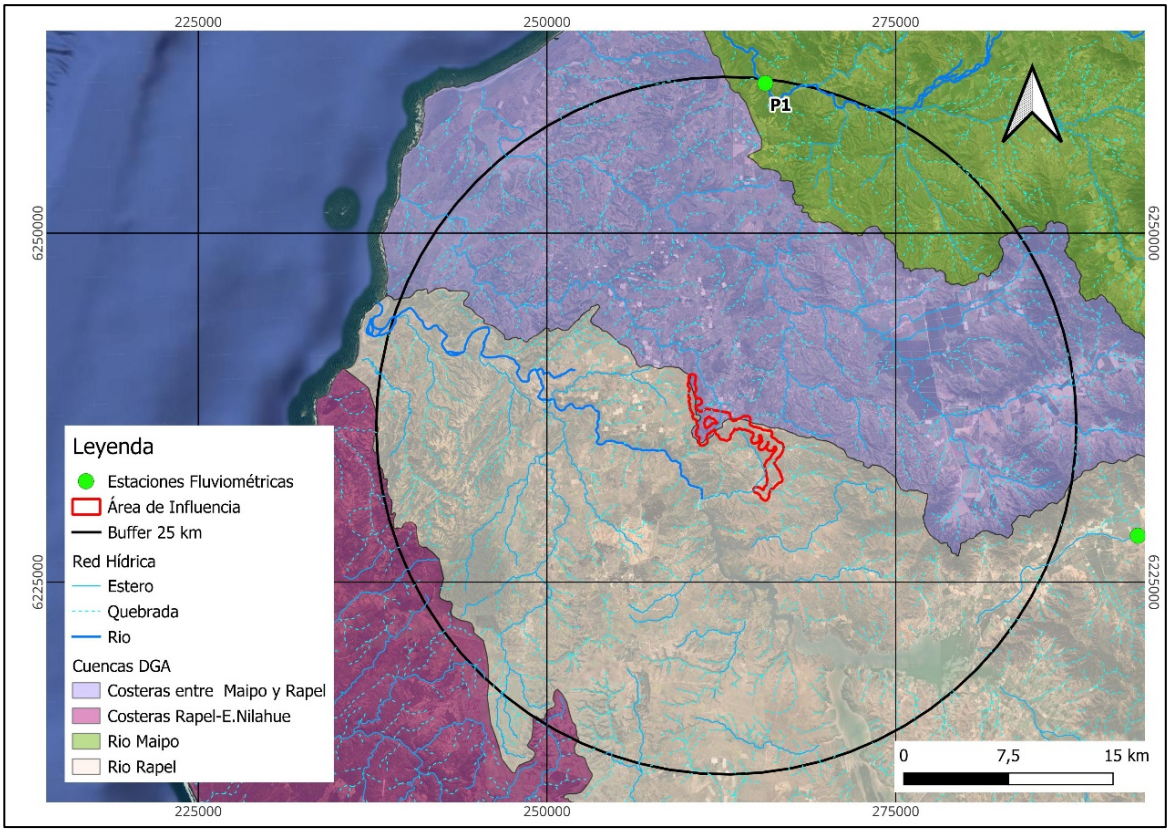
Tabla 9. Estación fluviométrica en buffer 25 km

ID	Nombre	Código BNA	Coordenadas UTM WGS84 19S		Altitud (msnm)	Estado
			Este (m)	Norte (m)		
P1	RIO MAIPO EN CABIMBAO	05748001-7	265.651	6.260.738	35	Vigente

Elaboración propia en base a BNA DGA.

En la siguiente Figura se muestra la ubicación en planta de las estaciones en relación con el Proyecto.

Figura 6. Estaciones fluviométricas seleccionadas



Fuente: Elaboración propia en base BNA DGA.

En la siguiente Tabla se resumen los principales estadígrafos del caudal medio anual (m^3/s) para la estación analizada. La estación con el mayor caudal es la del Río Maipo en Cabimbao con un valor de 99,4 m^3/s, ubicada a 21,1 km al norte del Proyecto.

Tabla 10. Estadísticas principales de caudales medios anuales (m^3/s)

ID	Nombre	Min	Max	Promedio	Desviación estándar
P1	RIO MAIPO EN CABIMBAO	2,4	674,8	99,4	89,3

Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

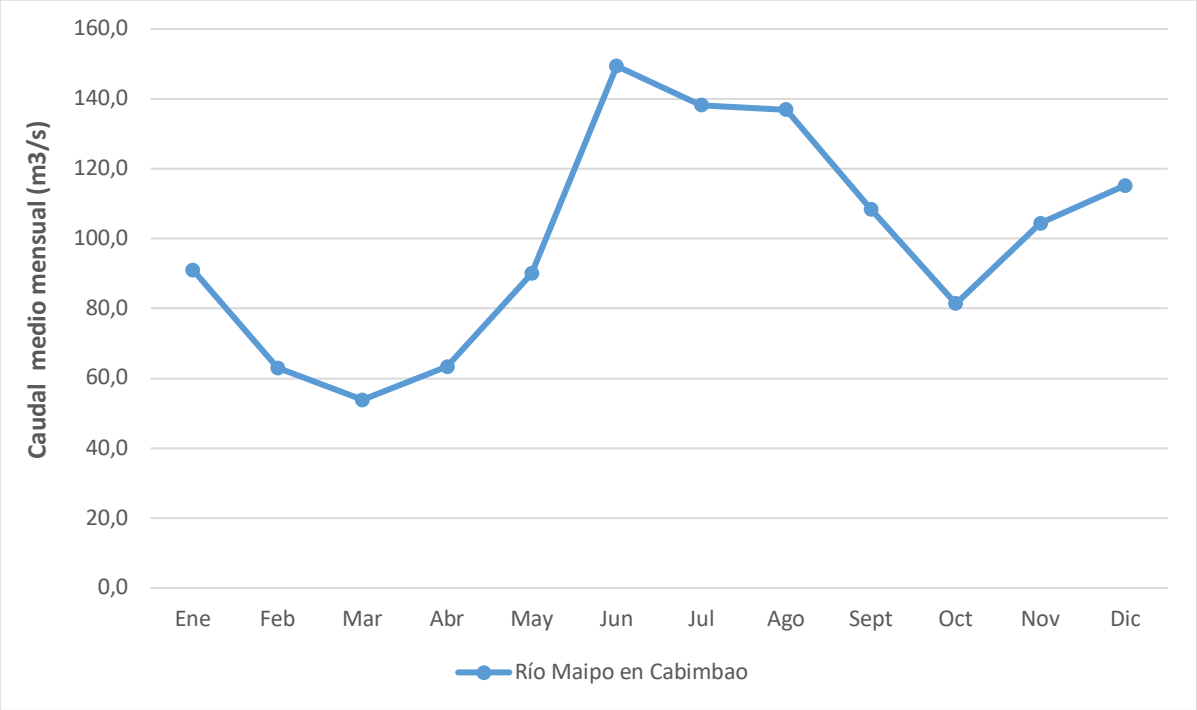
En la Tabla 11se presentan los medios mensuales en el periodo de estudio (1990- 2025). En la Figura 7 se presenta la curva de variación estacional del caudal de la estación en estudio. La estación se encuentra sobre cauces que se desarrollan en el valle central y en los faldeos cordilleranos, registrando caudales medios mensuales máximos en los meses invernales (junio, julio y agosto). Dado que las estaciones están ubicadas en ríos cercanos a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, exhiben un régimen hidrológico de origen pluvial.

Tabla 11. Caudales medios mensuales (m^3/s)

ID	Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
P1	RIO MAIPO EN CABIMBAO	91,0	63,0	53,9	63,3	90,0	149,4	138,2	136,9	108,5	81,4	104,4	115,2	**1195,2**

Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

Figura 7. Curva variación estacional caudal medio mensual



Fuente: Elaboración propia en base a BNA DGA.

5.4. Red Hídrica Local

La caracterización de la red hidrográfica existente en las obras del Proyecto y en sus inmediaciones. Se realiza utilizando como fuente de información la cartografía oficial de IDE Chile trabajada a escala 1:25000.

El área del Proyecto se enmarca sobre una densa red hidrográfica compuestas por cauces naturales superficiales intermitentes como quebradas y esteros. Cabe mencionar que las obras del Proyecto que son intersectadas por quebradas intermitentes intervenidas corresponden a caminos internos.

En el tramo norte y medio del Proyecto, comprendido entre los aerogeneradores N°4 y N°16, se identifica una única intersección entre las obras proyectadas y un cauce superficial. Dicha intersección corresponde al cruce aéreo de una línea de Media Tensión y Media Tensión Soterrada sobre el nacimiento del estero Maitenlahue.

El estero Maitenlahue corresponde a un cauce superficial intermitente, de una extensión aproximada de 42 km y con dirección general de escurrimiento sur–norte, que atraviesa las regiones Metropolitana y de San Antonio. Nace en la unidad geomorfológica de llanos de sedimentación fluvial o aluvial, y su desembocadura es en Playa Mostazal, de la comuna Santo Domingo. En el tramo cercano a su desembocadura presenta un patrón meándrico.

Dado que la infraestructura proyectada corresponde a una obra aérea y otra soterrada, en la primera no se prevé intervención directa ni alteración del cauce, de su lecho ni de sus riberas. Por el contrario, en la segunda obra

(Media Tensión Soterrada) requerirá trabajos menores de atravieso de cauce del estero Maitenlahue. Asimismo, a partir de la fotointerpretación en este punto de intersección, se puede observar una cobertura vegetacional densa, con un ancho de cauce aproximado de 5 m y emplazado en pendientes suaves inferiores a 5.

Fotografía 1. Cruce de obras en Estero Maitenlahue



Fuente: Capturada por el autor, 2025.

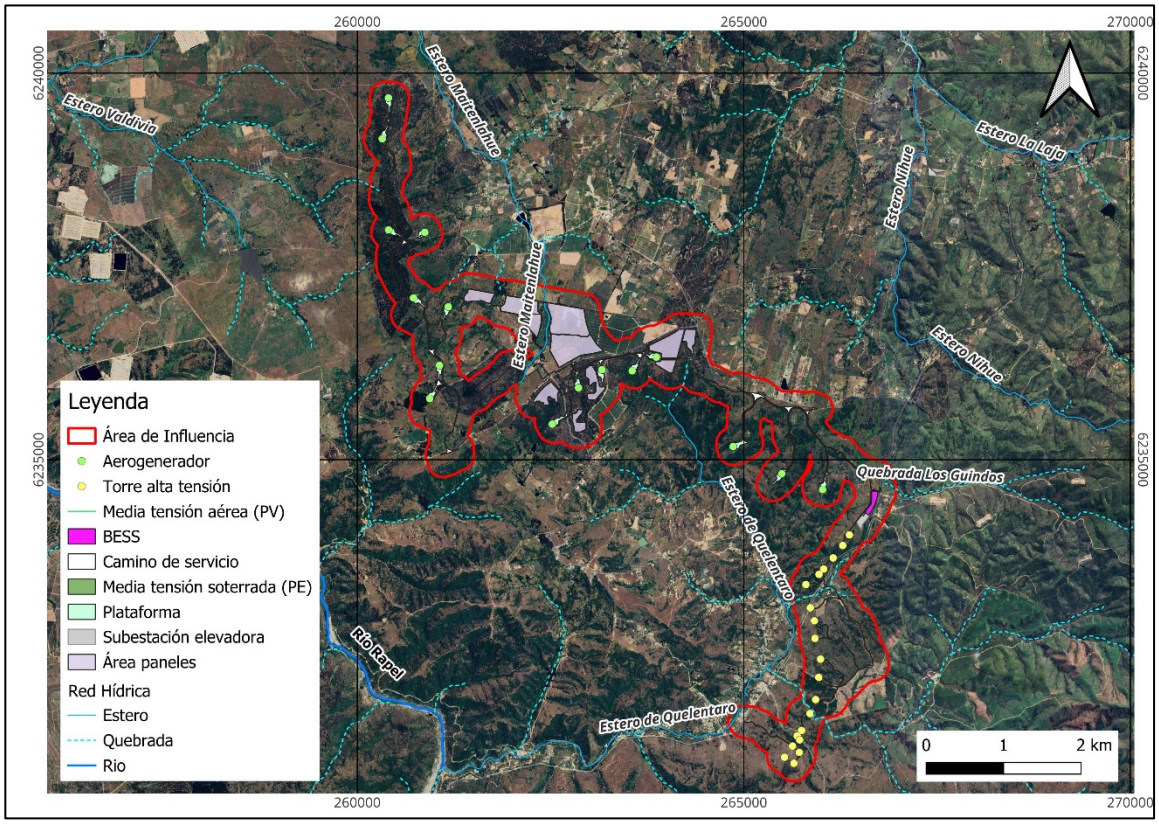
En tramo sur del Proyecto, entre el aerogenerador N°3 y la torre N°20 no se identifican interacciones directas entre las obras del Proyecto y el estero Maitenlahue. En este tramo, el estero se desarrolla de manera paralela a las obras, manteniendo una distancia mínima del orden de 250 m en su punto más cercano. No obstante, se reconocen dos quebradas aportantes al estero Maitenlahue que intersectan la Línea de Alta Tensión (LAT), la cual corresponde a una obra de carácter aéreo, por lo que no genera intervención directa sobre los cauces. Dichas intersecciones se localizan específicamente entre las torres N°6 y N°7, y entre las torres N°12 y N°13, a continuación, se caracterizan las quebradas, a pesar de no verse afectadas por las obras del proyecto.

La quebrada sin nombre 1 (QSN1), intersectada por la LAT entre las torres N°6 y N°7 (ambas a una distancia de 150 metros aprox de la quebrada), pertenece a la subsubcuenca “Embalse Central Rapel entre Brazo Estero Alhué y Muro Central Rapel”, presentando una dirección general noreste–suroeste. De acuerdo con la inspección en terreno, esta quebrada se encuentra cubierta por una densa cobertura vegetacional, no evidencia escurrimiento superficial actual ni reciente y carece de un cauce definido. Asimismo, no se observaron indicios geomorfológicos de activación hídrica en los últimos años. Se emplaza en un sector de pendientes suaves, inferiores a 5°, y presenta intervención antrópica asociada al atravieso de las rutas G-868 y H-62-G.

En contraste, la quebrada sin nombre 2 (QSN2), ubicada entre las torres N°12 y N°13 (a una distancia de 140 y 35 metros de la quebrada) y perteneciente a la misma subsubcuenca que QSN1, presenta una orientación predominante este–oeste. Si bien no registra escurrimiento permanente, se observa un cauce con morfología definida, con un ancho aproximado de 8 m, evidenciando signos de activación intermitente asociados a eventos de precipitación intensa. Actualmente, el lecho del cauce se encuentra cubierto por vegetación, con presencia de especies características del bosque esclerófilo.

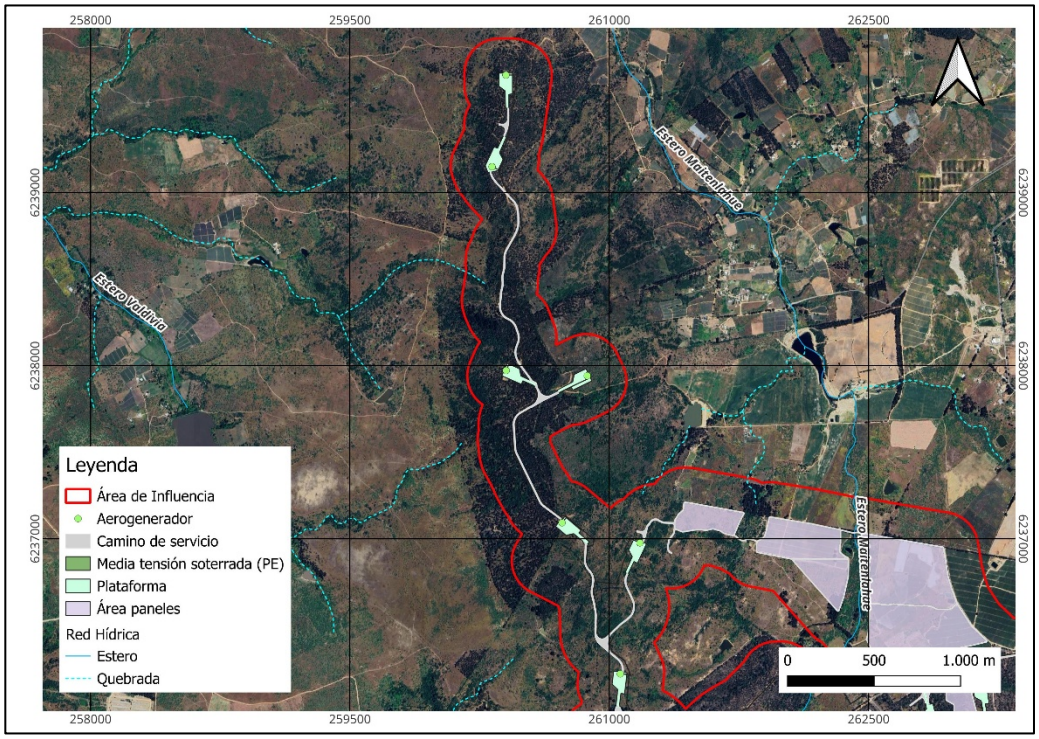
En las siguientes Figuras se presenta en planta la red hídrica local en relación con las obras del Proyecto.

Figura 8. Red hídrica general



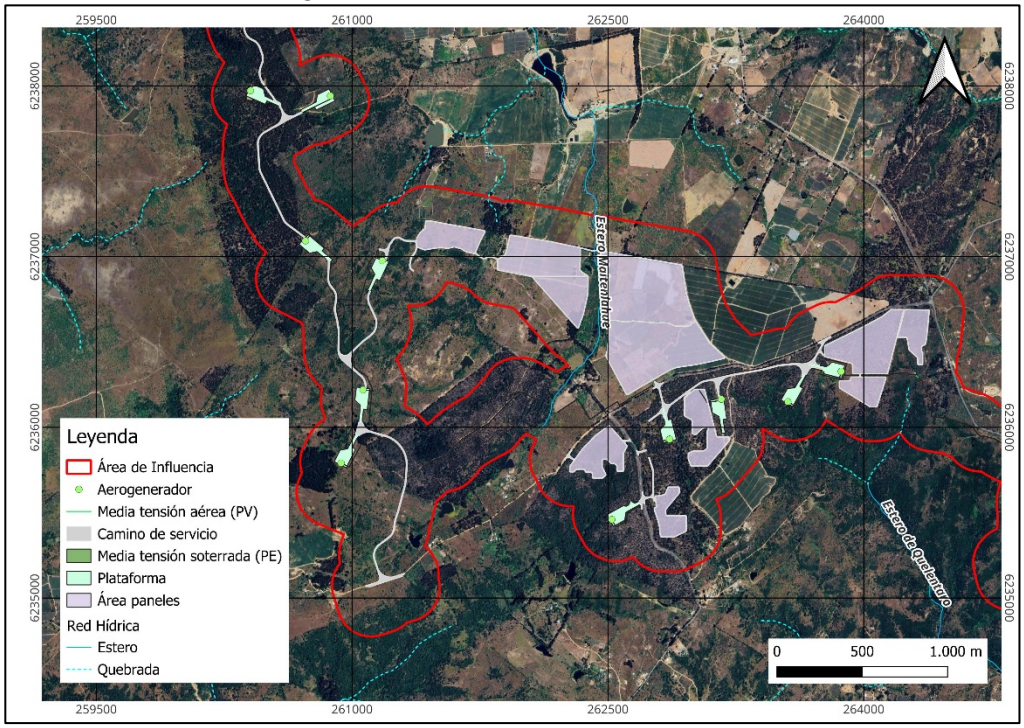
Fuente: Elaboración propia en base a red IGM 1:50.000.

Figura 9. Red hídrica local tramo norte



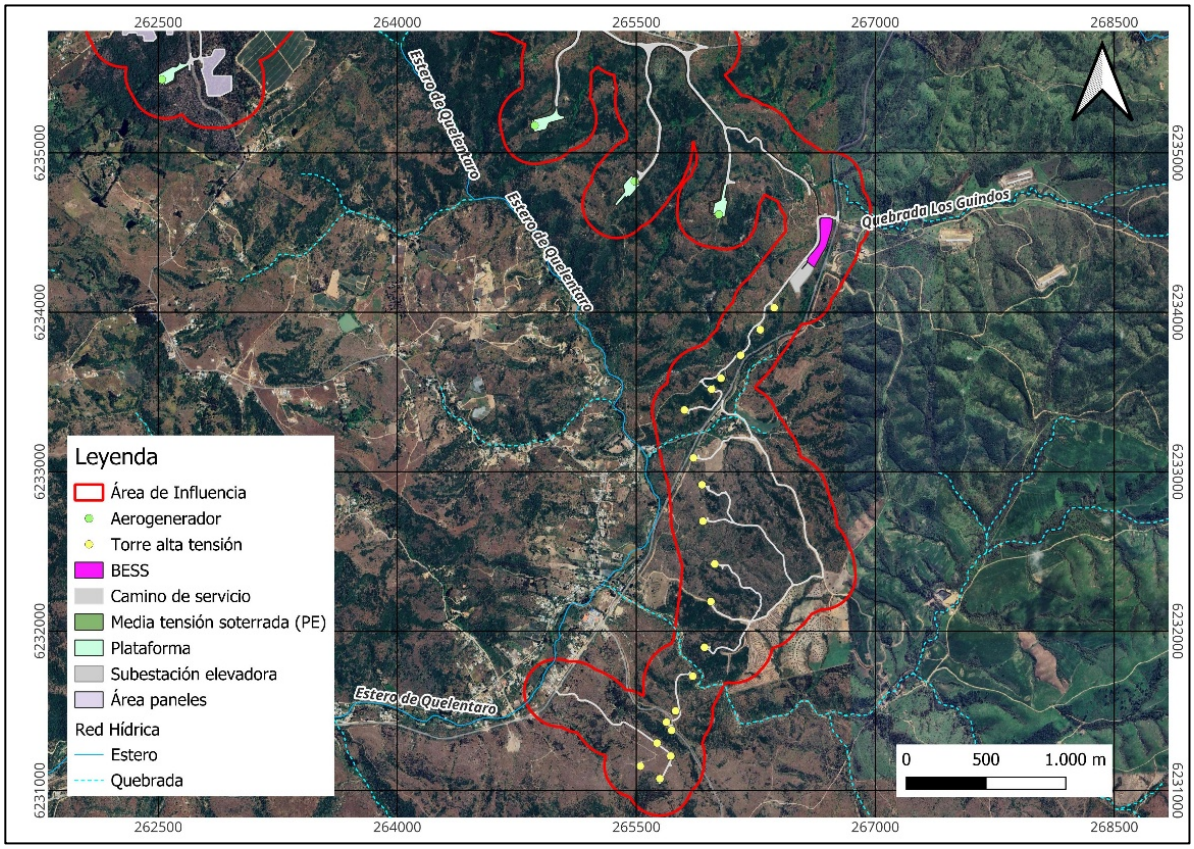
Fuente: Elaboración propia en base a red IGM 1:50.000.

Figura 10. Red hídrica local tramo centro



Fuente: Elaboración propia en base a red IGM 1:50.000.

Figura 11. Red hídrica local tramo sur



Fuente: Elaboración propia en base a red IGM 1:50.000.

5.5. Efecto Cambio Climático

Los únicos factores generadores de impactos del Proyecto sobre la componente hidrología es la temporalidad de sus obras, puesto que no se contemplan extracciones o descargas en cuerpos de agua continentales. A continuación, se analiza el cambio climático de acuerdo Criterio de Evaluación (SEA, 2023).

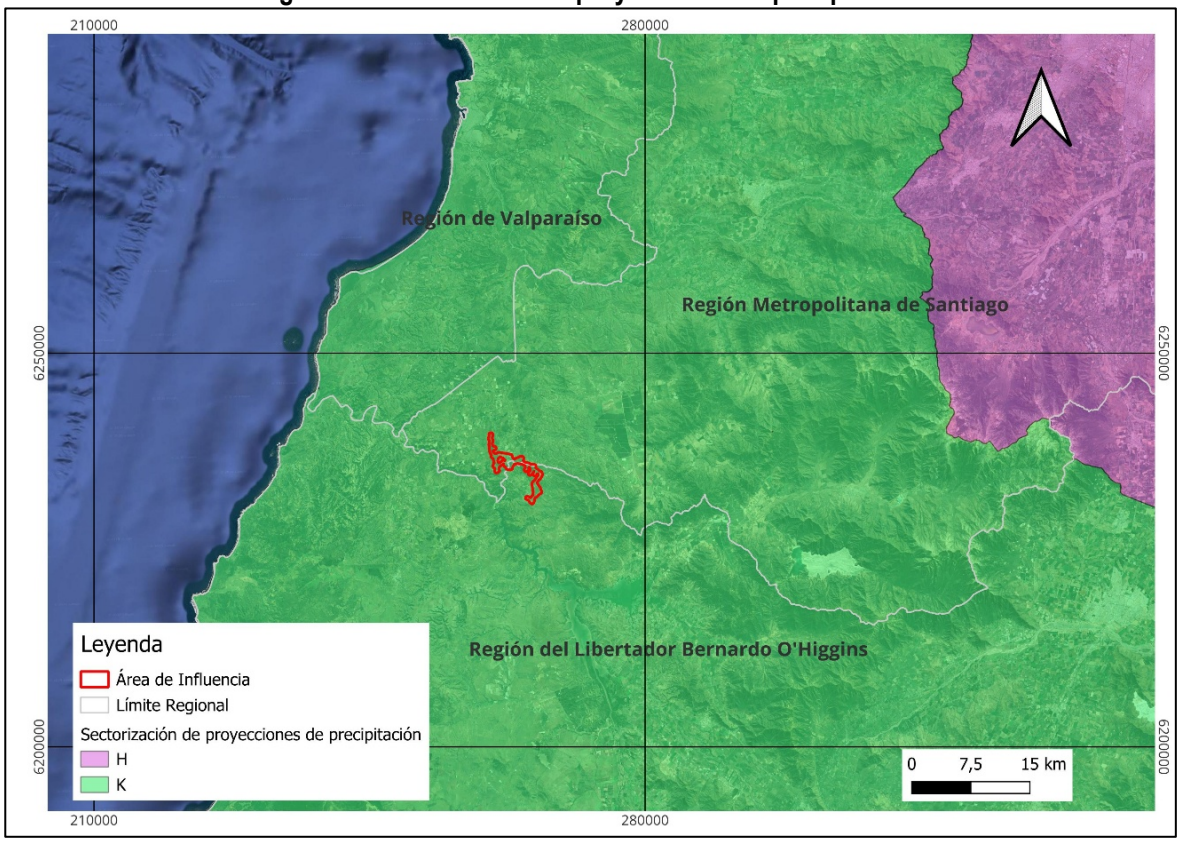
5.5.1 Precipitaciones Medias

De acuerdo con las indicaciones del documento "Criterio de Evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico", las proyecciones de la precipitación en escenarios de cambio climático deben considerar el emplazamiento del proyecto en el marco de las zonas definidas en la siguiente Figura. En el caso del Proyecto, el AI se localiza en la zona K.

Por otra parte, deben considerarse los percentiles P25 o P75 entre los datos simulados disponibles en la plataforma ARClim, cuyas variaciones entre el período histórico y el futuro se presentan por zona en la siguiente Tabla. La elección del percentil depende de las actividades y obras del Proyecto, considerando el resultado más conservador en función de la magnitud y duración del eventual impacto que se pretende predecir.

A pesar de que las obras del Proyecto no intervienen cursos superficiales, y tampoco contempla extracciones del recurso hídrico, se considera el escenario más desfavorable o percentil P75. es decir, aquel que producirá mayores caudales de escorrentía superficial en cauces naturales.

Figura 12. Sectorización de proyecciones de precipitación



Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2023).

Tabla 12. Valores de cambio porcentual esperado de precipitación según sectorización con respecto al período "Histórico"

SECTOR	ELEVACIÓN MEDIA [MSNM]	CAMBIO EN LA PRECIPITACIÓN (%)	
		P25	P75
A	4.140	-11,6	15,8
B	2.491	-17,6	13,5
C	960	33,7	165,6
D	1.948	-5,5	35,9
E	1.122	2,9	99,0
F	1.160	-24,1	19,8
G	3.459	-23,8	10,0
H	512	-30,5	0,2
I	1.992	-28,5	0,0
J	1.283	-18,8	-8,3
K	292	-20,1	-9,5
L	317	-8,8	-3,3
M	857	-6,8	-1,4
N	312	1,2	6,1

Fuente: Elaboración propia en base a SEA (2023).

En base a la sectorización presentada en la Figura anterior y al percentil P75 de la Tabla anterior, se tiene una disminución de -9,5% en la zona K para las precipitaciones medias en un escenario futuro de cambio climático. Al realizar las proyecciones futuras con los valores presentados en el acápite 5.2, se obtiene que las proyecciones futuras para la precipitación media anual van de los 14,38 mm a los 49,23 para las estaciones en estudio, según se observa en la siguiente Tabla.

Tabla 13. Proyección de la precipitación media anual con Cambio Climático

Estación	Sector	PP Histórica (mm)	P75(%)	PP Futura (mm)
Fundo Las Dos Puertas	K	35,9	-9,5	32,48
Río Maipo en Cabimbao	K	15,9	-9,5	14,38
Litueche	K	54,4	-9,5	49,23
Rapel	K	40,8	-9,5	36,92

Fuente: Elaboración propia.

5.5.2 Precipitaciones Acumuladas y Precipitaciones Máximas

La caracterización del efecto del cambio climático en las variables relevantes de la componente hidrológica dentro del área de influencia se lleva a cabo mediante el análisis de los valores promedio obtenidos de 67 Modelos Climáticos Globales (GCMs) en la plataforma de ARClim.

Basándonos en la información recopilada de dicha plataforma en la siguiente Tabla se presentan los cambios proyectados en la precipitación anual y máxima, respectivamente, para el período futuro (2035-2065) en comparación con el período histórico (1980-2010) en el área del Proyecto.

Tabla 14. Precipitaciones acumuladas y máximas ARClim ráster 5 km

Componente Climático	Período histórico (1980-2010)	Período futuro (2035-2065)	Cambio
Precipitaciones Acumuladas Anual (mm)	546,10	482,35	-11,67%
Precipitaciones Máximas Diarias (días)	60,63	60,77	0,22

Fuente: Elaboración propia en base a ARClim (2024).

En términos generales, la precipitación acumulada anual muestra una disminución del 11% en el futuro cercano. En el período histórico (1980-2010), se registraron precipitaciones de 546,10 mm, mientras que para el período futuro (2035-2065) se proyectan precipitaciones de 482,35 mm. Por el contrario, las precipitaciones máximas diarias muestran un leve aumento de cara al futuro cercano. En el período histórico (1980-2010), se registraron valores de 60,63 mientras que para el período futuro (2035-2065) se proyectan valores de 60,77 mm, lo que representa un cambio favorable de 0,22.

6. CONCLUSIONES

El Proyecto se ubicará sobre las cuencas Costeras entre Maipo y Rapel y Río Rapel ambas cuencas exorreicas, según la clasificación establecida por la Dirección General de Aguas (DGA). El clima en las cuencas corresponde a clima Mediterráneo, las condiciones varían dependiendo del sector de la cuenca. En sector donde se ubica el Proyecto las precipitaciones medias anuales se concentran periodos de invierno con medias acumuladas anuales máximas de 646,2 mm, según se analizó de la base pluviométrica recopilada.

El régimen de los caudales de estas cuencas es en su mayoría de tipo pluvial, debido a que sus crecidas son causa de precipitaciones invernales, el máximo de caudal de 99,4 m^3/s en estación Río Maipo en Cabimbao.

El sistema hidrográfico superficial en el que se enmarca el Proyecto presenta, en su mayoría, características de cursos superficiales intermitentes. La hidrografía local se caracteriza principalmente por esteros y quebradas intermitente. En este contexto, se puede afirmar que una obra, específicamente un tramo de las obras soterradas atraviesa el estero Maitenlahue. Asimismo, se reconocen dos quebradas tributarias intermitentes que intersectan la Línea de Alta Tensión de carácter aéreo, las cuales no presentan escurrimiento permanente y, en uno de los casos, por lo que no se generan afectaciones directas sobre la red hidrográfica ni modificaciones a las condiciones hidrológicas naturales del área.

Las proyecciones de cambio climático indican una disminución de la magnitud de la precipitación media anual, y precipitación máxima diaria anual. La precipitación media anual disminuye desde los 546,10 mm actuales a 482,35 mm en el 2065, considerando el percentil P75% de las simulaciones. Por otra parte, se estima una disminución no significativa en las precipitaciones máximas anuales en 24 h en el área del Proyecto, disminuyendo en promedio 0,22 mm en el período futuro.

En términos generales, los resultados obtenidos permiten concluir que el comportamiento hidrológico del área de influencia no tendrá efectos significativos por las obras del Proyecto, considerando la naturaleza de sus obras y la limitada interacción con la red hídrica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Atlas de Riesgo Climático (ARClim). (2024). Atlas de Riesgos Climáticos para Chile. Disponible en https://arclim.mma.gob.cl/atlas/about/.
- DGA. (1980). Hoyas Hidrográficas de Chile.
- DGA. (1991). Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días. Santiago.
- DGA. (2014). Inventario de Cuencas, Subcuencas, y Subsubcuencas de Chile. Santiago, Chile.
- Rodríguez, E. (1974). Clasificación Climática de Wilhelm Koeppen. En Boletín Instituto de Geografía. Santiago: Boletín Instituto de Geografía.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2026). *Guía áreas de influencia en el SEIA (2ª ed.)*. Gobierno de Chile.
- SEA. (2023). Criterio de evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico. Servicio de Evaluación Ambiental. https://www.sea.gob.cl/documentacion/guias-y-criterios/criterio-de-evaluacion-en-el-seia-cambio-climatico-en-la-evaluacion