APÉNDICE B. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS y MODELACIÓN HIDRAULICA BIDIMENSIONAL

DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

PROYECTO

PARQUE SOLAR EL VALLE Y LÍNEA DE TRANSMISIÓN 1X110 KV

NOVIEMBRE 2026

EL VALLE SPA

SOCOAM - Sociedad de Consultoría Ambiental Ltda.
Fono: (56-32) 2683222
contacto@socoam.cl
www.socoam.cl

Índice de Contenido

1. Resumen 5
2. Introducción 6
3. Objetivos 6
4. Antecedentes del Proyecto 7
4.1 Hidrología superficial 8
4.2. Geomorfología 15
4.3. Información Pluviométrica 21
4.4. Análisis de Frecuencia 24
4.4.1. Método Racional 31
5. Modelación Hidráulica 33
5.1. Topografía 33
5.2. Coeficiente de Rugosidad 34
5.3. Resultados de la Modelación Hidráulica de la Crecida 39
6. Conclusiones 45
7. Revisión Bibliográfica. 47

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación general del Proyecto 7
Figura 2. Cauces principales en relación a la ubicación del Proyecto 8
Figura 3. Cauces oficiales en el área del Proyecto 9
Figura 4. Total de cauces ubicados cercanos al área de emplazamiento del proyecto. 10
Figura 5. Total de cauces ubicados en el trazado de la línea de transmisión. 11
Figura 6. Quebrada no oficial, afluente a la quebrada del Pera (Vista E: 264.018; N:6.216.268) 12
Figura 7. Origen Quebrada La Gallina (Vista E: 262.953; N: 6.215.706) 12
Figura 8. Quebradas afluentes origen quebrada La Cruz (Vista E:264.765; N: 6.215.380) 13
Figura 9. Quebradas afluentes origen quebrada Lo Ortega (Vista E:263.711; N: 6.217.182) 13
Figura 10. Quebradas afluentes origen quebrada Honda, trazado LTE (Vista E:257.911; N: 6.216.241) 14
Figura 11. Origen estero Coipue o San Rafael, trazado LTE (Vista E:260.275; N: 6.215.757) 14
Figura 12. Áreas de drenaje de cursos pluviales cercanos al área del Proyecto. 15
Figura 13. Áreas de drenaje de cursos pluviales cercanos a la línea de transmisión del Proyecto 16
Figura 14. Ubicación de estaciones meteorológicas (pluviométricas cercanas) 22
Figura 15. Registro de precipitaciones máximas diarias en estación Pichidegua 23
Figura 16. Registro de precipitaciones máximas diarias en estación Litueche 23
Figura 17. Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas estación Pichidegua 24

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 18. Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas estación Litueche 24
Figura 19. Ajuste gráfico de cuantiles para distribución Log-Pearson 3, estación Pichidegua (izquierda) y Litueche (derecha) 25
Figura 20. Curvas isoyetas de precipitaciones máximas para T 10 años. 26
Figura 21. Curvas IDF del sector del proyecto 30
Figura 22. Modelo Digital del Terreno DTM, zona de generación. 33
Figura 23. Modelo Digital del Terreno DTM, trazado línea de transmisión. 34
Figura 24. Condición cauces zona trazado de línea de Transmisión (Q1LTE) 35
Figura 25. Condición cauces zona trazado de línea de Transmisión (Q4LTE) 35
Figura 26. Condición de la zona de flujo preferente Q10, zona área de generación. 36
Figura 27. Condición de la zona de flujo preferente Q11, zona área de generación. 36
Figura 28. Zona (sector sur) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional. 39
Figura 29. Zona (nororiente) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional. 40
Figura 30. Zona (acceso) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional 40
Figura 31. Zona (nororiente) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional. 41
Figura 32. Plan (cauces sector sur) modelado bidimensional 41
Figura 33. Condiciones de flujo y condiciones de borde del modelo (sector sur). 42
Figura 34. Simulación de la crecida en la zona de generación 43
Figura 35. Simulación bidimensional de la crecida trazado de línea de transmisión. 44

Índice de Tablas

Tabla 1. Extracto de Tabla N3 .702.503.B del Manual de Carreteras 17
Tabla 2. Resumen área de drenaje y coeficiente de escorrentía de la cuenca 17
Tabla 3. Tiempo de concentración 19
Tabla 4. Capacidad de infiltración de suelo 19
Tabla 5. Determinación del Número de Curva 20
Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de los cauces cercanos al área de influencia. 21
Tabla 7. Resultados del Test de Bondad de ajuste para Log-Pearson III Estación Pichidegua 25
Tabla 8. Resultados del Test de Bondad de ajuste para Log-Pearson III Estación Litueche 25
Tabla 9. Resultados análisis de frecuencia de precipitaciones máximas diaria hasta 2024. 26
Tabla 10. Coeficientes de duración para la zona de estudio para T=10 años. Extracto del Manual de Carreteras 27
Tabla 11. Coeficientes de frecuencia para la zona de estudio para T=10 años. Extracto del Manual de Carreteras 28

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Tabla 12. Resultados de precipitaciones (mm) para distintos periodos de retorno en base curvas isoyetas y coeficientes de frecuencias asociados..... 29
Tabla 13. Resumen de resultados de precipitaciones máximas diarias (mm) para periodos de retorno de hasta 100 años..... 29
Tabla 14. Caudales con Método Racional para todos los cauces..... 32
Tabla 15. Extracto. Tabla 3.707.104B 37
Tabla 16. Extracto. Tabla 3.707.104A 38
Tabla 17. Coeficiente de rugosidad de Manning de los cauces presentes en el área de influencia del Proyecto. 38

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

1. Resumen

Se realizó un reconocimiento de todos los cauces naturales del área de influencia del Proyecto, en caso de cauces naturales estos oficiales y no oficiales. Para todos ellos se realizó un análisis de crecida para períodos de retorno de hasta 100 años. Por su parte, no existen cauces artificiales en el área de influencia del Proyecto.

Dado que todos los cauces identificados poseen áreas pequeñas se utilizó el método Racional, según lineamientos del Manual de Carreteras, pues todas las quebradas poseen áreas menores a 20 km^2.

El estudio se realizó siguiendo los lineamientos de la Guía metodológica de proyectos de Modificación de Cauce de la Dirección General de Aguas.

Se realizó una modelación hidráulica bidimensional para obtener resultados más precisos, especialmente en las zonas que no poseen un álveo bien definido

A partir de los resultados obtenidos, se dispusieron las obras fuera de la crecida.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

2. Introducción

Los cauces naturales son sistemas dinámicos cuyo régimen hidrológico se ve condicionado principalmente por dos factores, la fisiografía de la cuenca y la pluviometría de la zona. Antes de definir el emplazamiento de un Proyecto cercano a un cauce natural, es necesario conocer su régimen hidrológico y consecuentemente la influencia y recurrencia de sus crecidas, de otro modo, no habría certeza si se está proyectando construir en una zona que es susceptible de inundarse periódicamente.

Ahora bien, para determinar los efectos de una crecida y la influencia de la misma, son necesarios dos antecedentes fundamentales:

a) La batimetría o topografía y el coeficiente de rugosidad del cauce en la zona de interés.

b) Los caudales esperados para distintos periodos de retorno.

Así entonces, una correcta hidrología de la zona de emplazamiento del Proyecto permitirá dar certeza respecto de los efectos que una actividad pudiera generar sobre el recurso agua, así como establecer los límites que den seguridad y sustentabilidad al Proyecto o proyectar las obras hidráulicas que sean necesarias.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Conocer la hidrología del sector de emplazamiento del Proyecto y tener certeza de los efectos o interacción que el Proyecto pudiere tener en el recurso natural agua.

3.2. Objetivos específicos

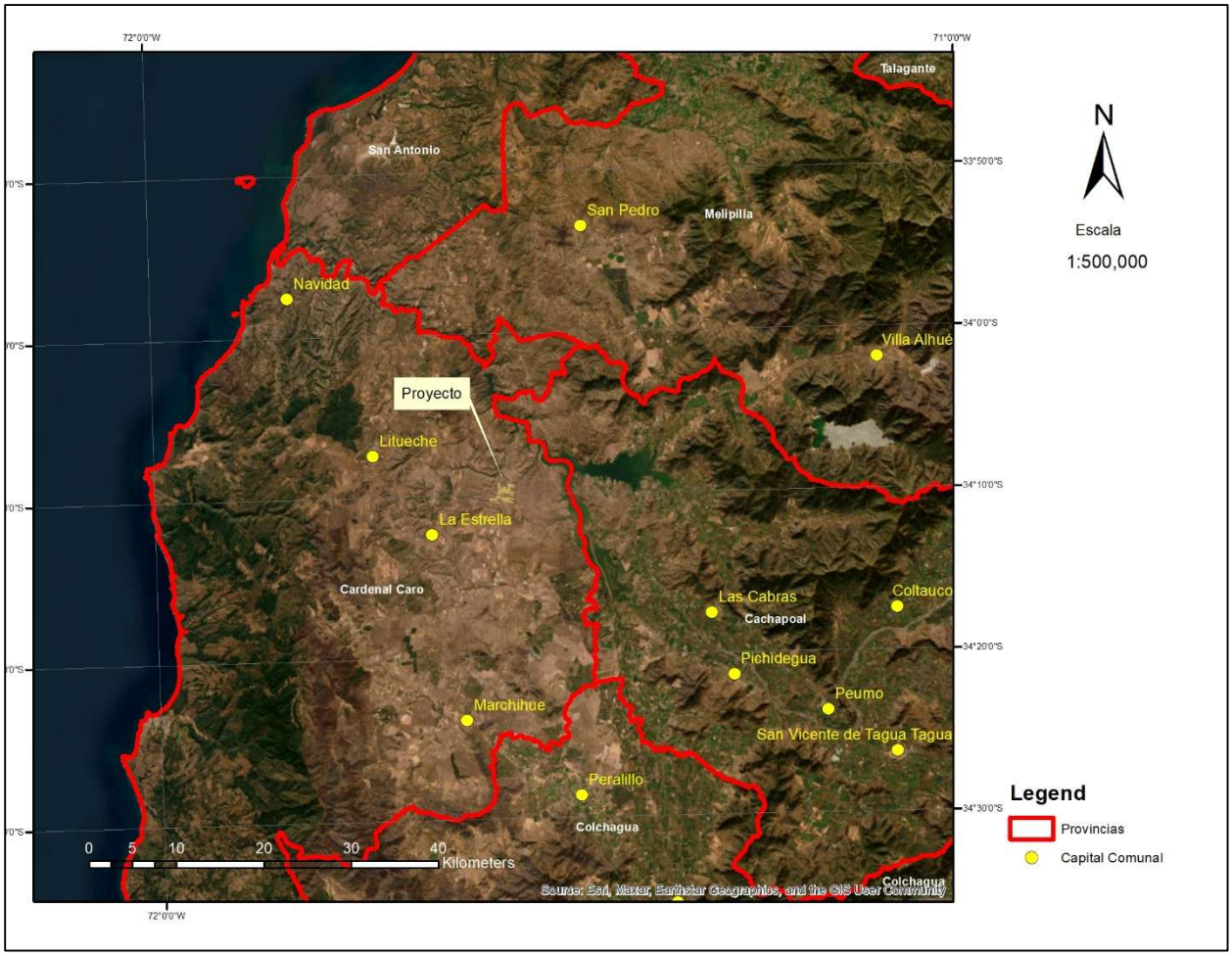
- Definir la cuenca e hidrología del o los cauces involucrados.
- Realizar un análisis de crecida y determinar el caudal de crecida de los cauces involucrados para T=100 años.
- Evaluar la aplicabilidad de los PAS 156 y 157.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

4. Antecedentes del Proyecto

El Proyecto Fotovoltaico El Valle se localiza en la comuna de La Estrella, Provincia de Cardenal Caro, región del Libertador Bernardo O’Higgins, en una zona que tiene una pluviometría media anual de 600 mm (Balance Hídrico Nacional, 1991), dentro de la hoya hidrográfica del río Rapel, en una zona netamente pluvial.

Figura 1. Ubicación general del Proyecto



Fuente: Elaboración Propia.

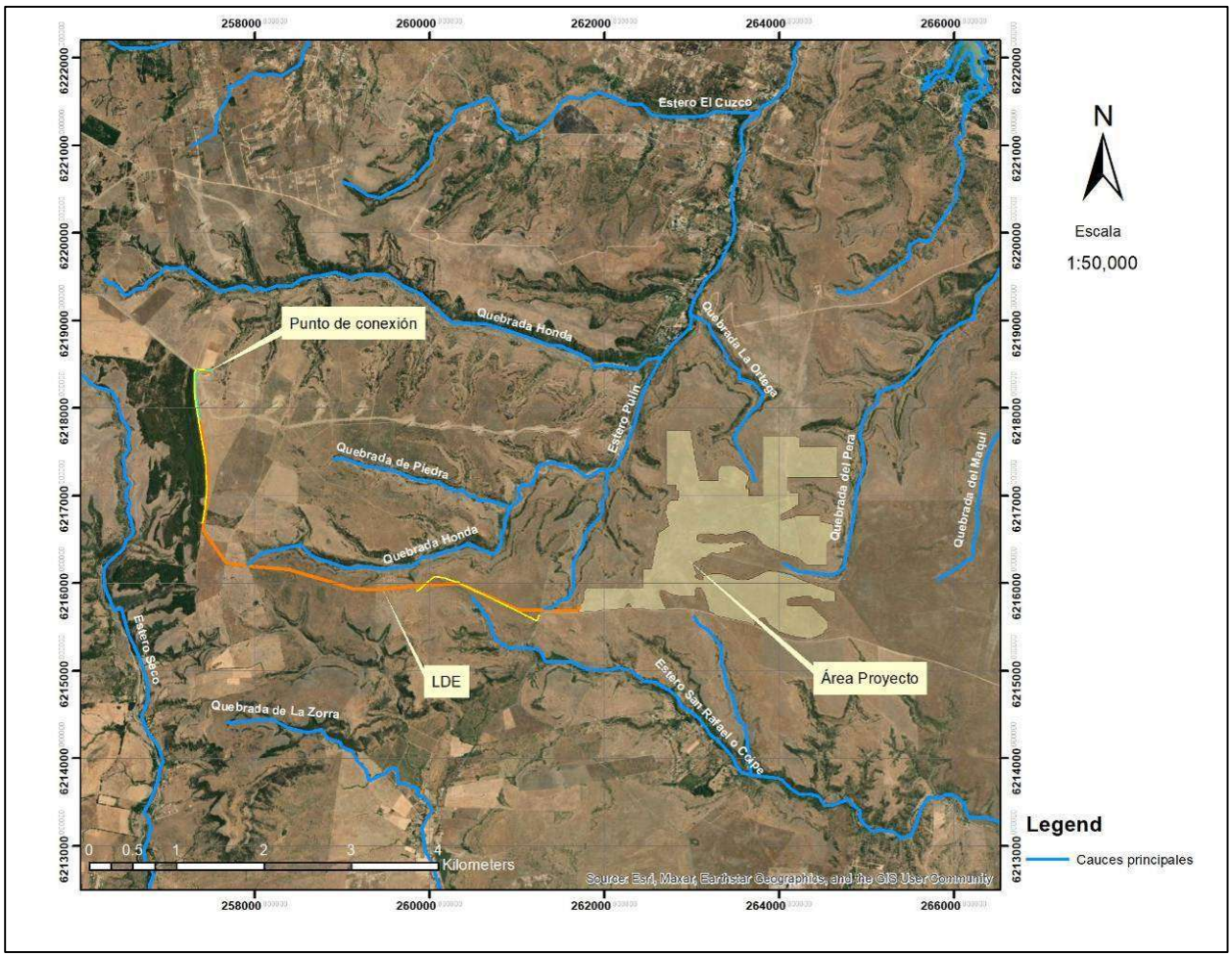
(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

4.1 Hidrología superficial

i. Hidrología natural

En el área de emplazamiento del Proyecto, existe una red de cauces naturales de régimen netamente pluvial, todos ellos pertenecientes a la cuenca del río Rapel. A continuación, se presenta la distribución de los principales cauces cercanos a la zona del Proyecto.

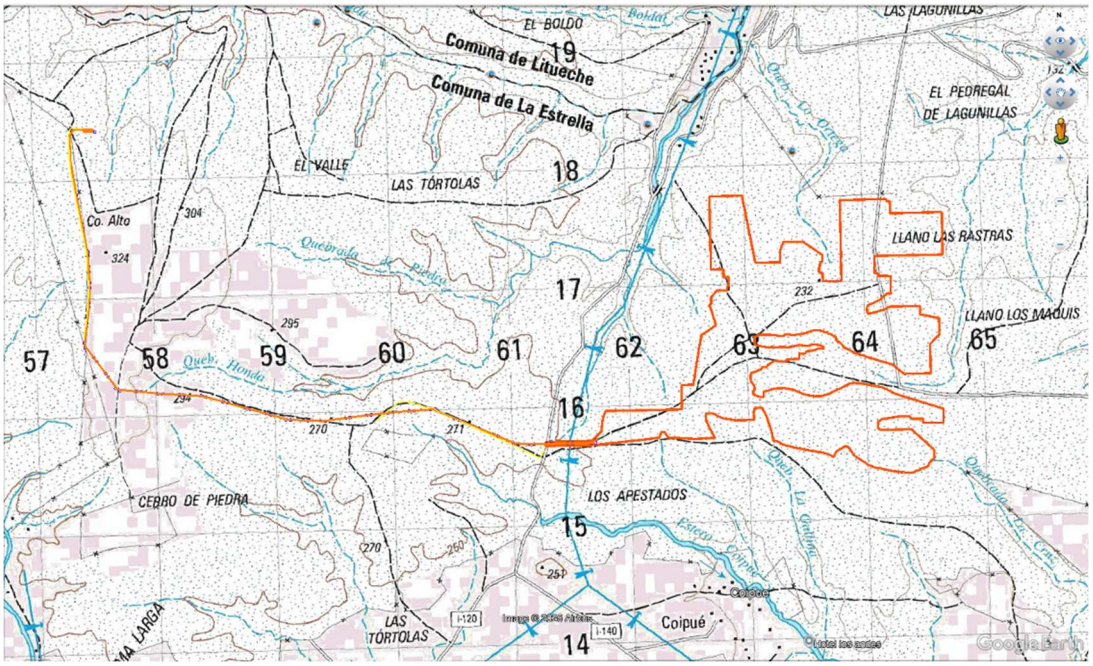
Figura 2. Cauces principales en relación a la ubicación del Proyecto



Fuente: Elaboración propia, a partir de Mapoteca DGA

Consultada la Cartografía IGM F-002 escala 1:50.000 “Rapel”, y realizada una inspección en terreno, se constató la existencia de 10 cauces oficiales (reconocidos por IGM), cuya distribución se presenta en la figura siguiente:

Figura 3. Cauces oficiales en el área del Proyecto

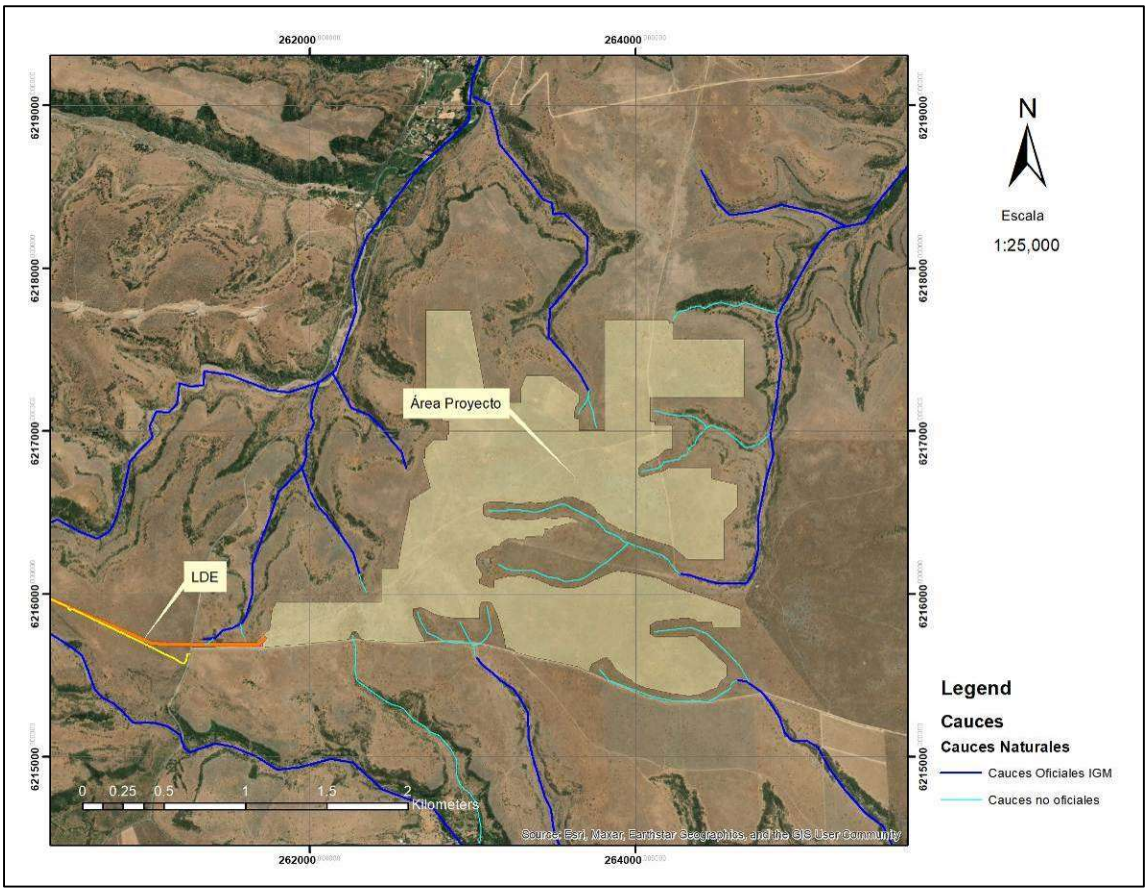


Fuente: Elaboración propia, según carta IGM F-002 (Edición 2008)

Sin perjuicio de lo anterior, se identificaron todos los cauces naturales, es decir, los reconocidos oficialmente y los identificados en terreno, totalizando 21 tramos de cauces. Los tramos identificados cercanos al área de emplazamiento del Proyecto se presentan a continuación:

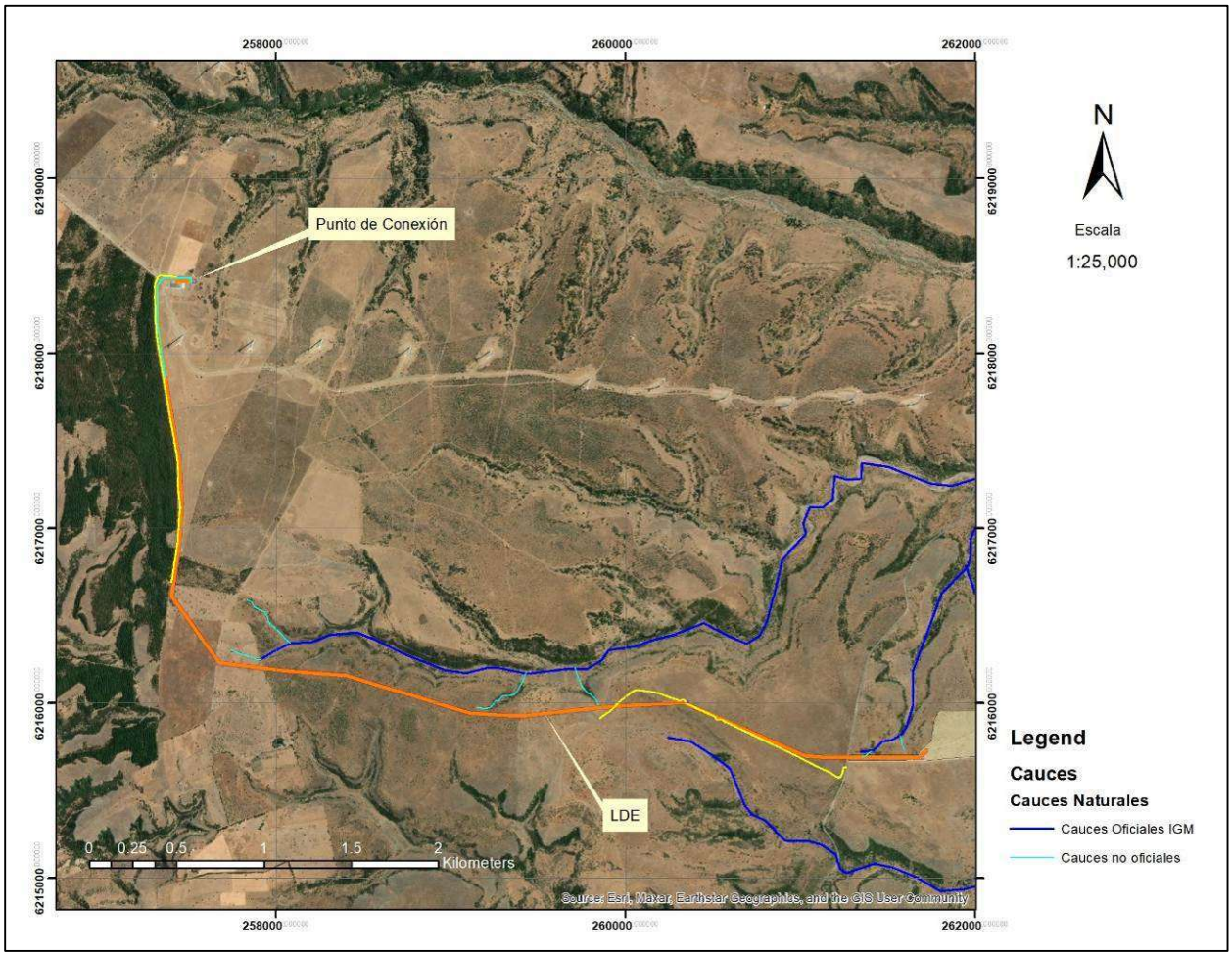
(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 4. **Total de cauces ubicados cercanos al área de emplazamiento del proyecto.**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Total de cauces ubicados en el trazado de la línea de transmisión.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan imágenes representativas de los cauces antes señalados.

(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

Figura 6. Quebrada no oficial, afluente a la quebrada del Pera (Vista E: 264.018; N:6.216.268)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Origen Quebrada La Gallina (Vista E: 262.953; N: 6.215.706)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Quebradas afluentes origen quebrada La Cruz (Vista E:264.765; N: 6.215.380)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Quebradas afluentes origen quebrada Lo Ortega (Vista E:263.711; N: 6.217.182)



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Quebradas afluentes origen quebrada Honda, trazado LTE (Vista E:257.911; N: 6.216.241)



Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Origen estero Coipue o San Rafael, trazado LTE (Vista E:260.275; N: 6.215.757)



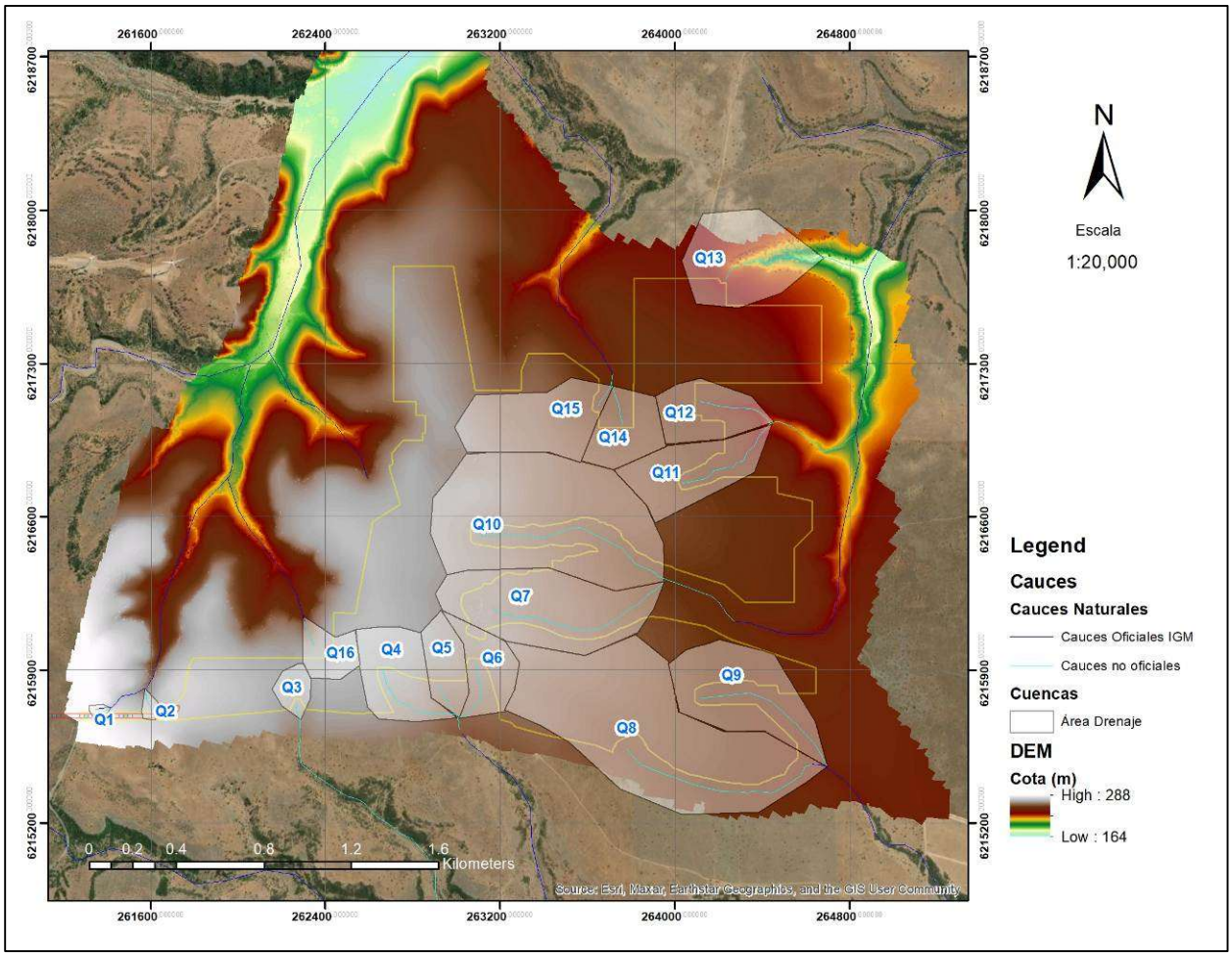
Fuente: Elaboración propia

4.2. Geomorfología

Para la determinación de las áreas de drenaje, se utilizó la topografía del terreno, específicamente el modelo digital de elevación de 0.5 m/pixel, complementado imágenes satelitales, vuelos de dron e inspecciones de campo.

A continuación, se presentan las áreas de drenaje de los cauces cercanos a la zona de emplazamiento del Proyecto.

Figura 12. Áreas de drenaje de cursos pluviales cercanos al área del Proyecto.

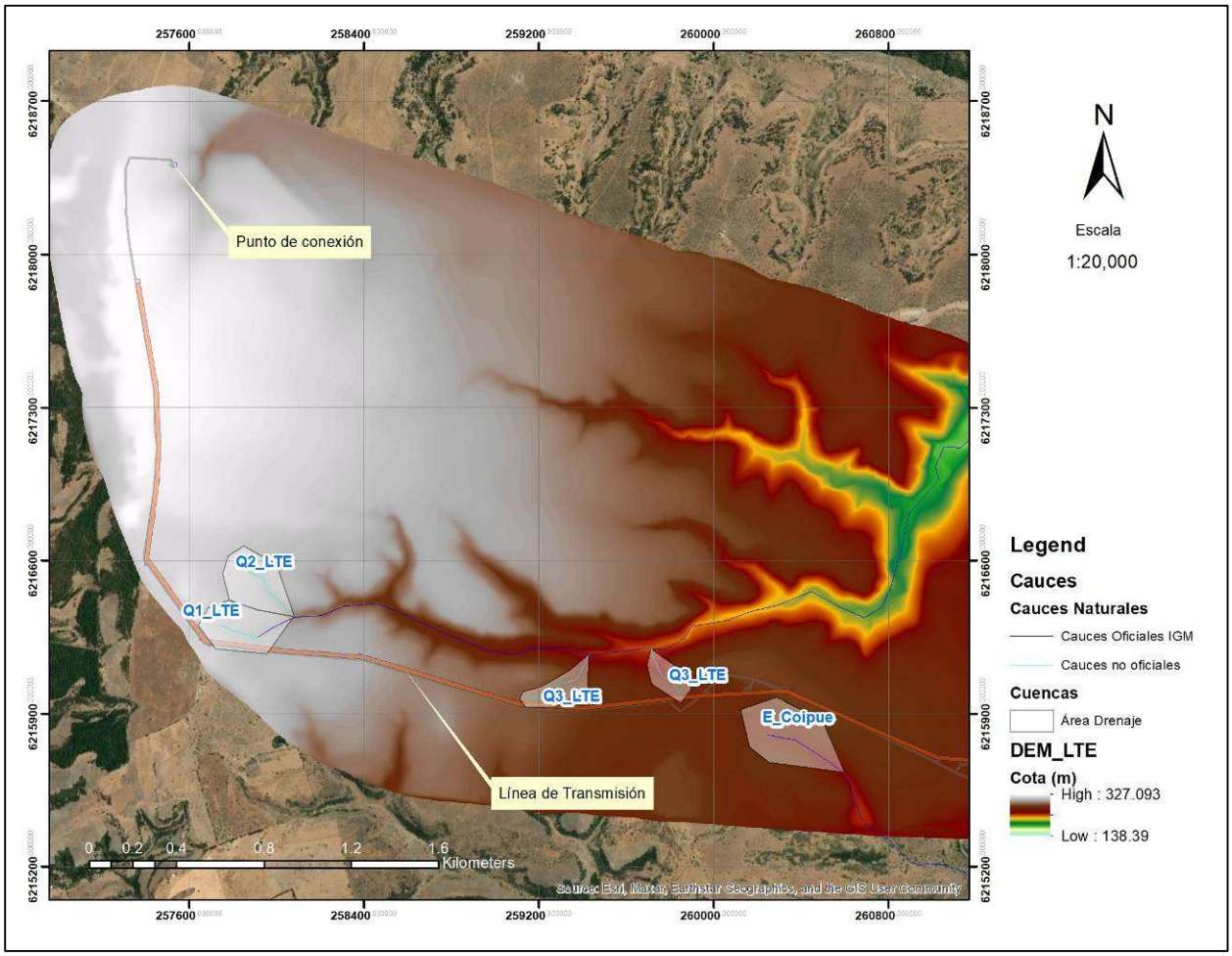


Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, y de la misma forma, se obtuvieron las áreas de drenaje de las quebradas presentes en el trazado de la línea de transmisión que se presentan a continuación.

(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

Figura 13. Áreas de drenaje de cursos pluviales cercanos a la línea de transmisión del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Las figuras anteriores dan cuenta de que en todos los casos analizados las cuencas son de dimensiones menores a 1,0 km^2. Adicionalmente, se presenta en Apéndice A del presente Anexo, un archivo kmz con los cauces contemplados en el estudio.

Además, según consta en las imágenes presentadas anteriormente en el presente informe, el proyecto se ubica en las cabeceras de cuencas, que corresponden principalmente a llanuras de pastoreo y rurales.

Así entonces, el Coeficiente de escorrentía fue calculado a partir del cuadro Nº 3.702.503.B del Manual de Carreteras, extracto que se presenta a continuación:

Tabla 1. Extracto de Tabla N3 .702.503.B del Manual de Carreteras

Factor	Extremo	Alto	Normal	Bajo
Relieve	0,28-0,35 Escarpado con pendientes mayores que 30%	0,20-0,28 Montañoso con pendientes entre 10 y 30%	0,14-0,20 Con cerros y pendientes entre 5 y 10%	0,08-0,14 Relativamente plano con pendientes menores al 5%
Infiltración	0,12-0,16 Suelo rocoso, o arcilloso con capacidad de infiltración despreciable	0,08-0,12 Suelos arcillosos o limosos con baja capacidad de infiltración, mal drenados	0,06-0,08 Normales, bien drenados, textura mediana, limos arenosos, suelos arenosos	0,04-0,06 Suelos profundos de arena u otros suelos bien drenados con alta capacidad de infiltración
Cobertura vegetal	0,12-0,16 Cobertura escasa, terreno sin vegetación o escasa cobertura	0,08-0,12 Poca vegetación, terrenos cultivados o naturales, menos del 20% del área con buena cobertura vegetal	0,06-0,08 Regular a buena;50% del área con praderas o bosques, no más del 50% cultivado	0,04-0,06 Buena a excelente; 90% del área con praderas, bosques o cobertura equivalente
Almacenamiento Superficial	0,10-0,12 Despreciable, pocas depresiones superficiales, sin zonas húmedas	0,08-0,10 Baja, sistema de cauces superficiales pequeños bien definidos, sin zonas húmedas	0,06-0,08 Normal; posibilidad de almacenamiento buena, zonas húmedas, pantanos, lagunas y lagos	0,04-0,06 Capacidad alta, sistema hidrográfico poco definido, buenas planicies de inundación o gran cantidad de zonas húmedas, lagunas o pantanos.
Si T > 10 años Amplificar Resultado por: T = 25 ; C x 1,10 T = 50 ; C x 1,20 T = 100 ; C x 1,25				

Fuente: Manual de Carreteras

Así entonces el coeficiente de escorrentía de los cauces presentes en el sector de emplazamiento del Proyecto es el siguiente:

Tabla 2. Resumen área de drenaje y coeficiente de escorrentía de la cuenca

Cauce	Cuenca Km^2	Relieve	Infiltración	Cob. Vegetal	Almacenamiento	Total
Q1	0,01	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q2	0,01	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q3	0,03	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q4	0,13	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q5	0,07	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q6	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q7	0,28	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q8	0,61	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q9	0,22	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q10	0,41	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Cauce	Cuenca Km²	Relieve	Infiltración	Cob. Vegetal	Almacenamiento	Total
Q11	0,15	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q12	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q13	0,2	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q14	0,13	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q15	0,18	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q16	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q1_LTE	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q2_LTE	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q3_LTE	0,04	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
Q4_LTE	0,03	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**
E_Coipue	0,1	0,15	0,07	0,06	0,04	**0,32**

Fuente: Elaboración propia.

Al resultado obtenido se aplica un factor de ampliación de 1,25 para un periodo de retorno de 100 años.

Los cauces se encuentran en una zona hidrográfica netamente pluvial, pues las alturas máximas de las cuencas no son superiores a las señaladas por Peña y Vidal en el Manual de Crecidas de la DGA.

A partir de los datos geomorfológicos señalados en Tabla 6, es posible establecer el tiempo de concentración, es decir, el tiempo que tarda el agua en viajar desde el punto más lejano de la cuenca hasta la salida o punto de desagüe.

De conformidad con lo dispuesto en el Manual de Carreteras, dado que las cuencas no poseen pendientes pronunciadas, sino que en general son terrenos planos y rurales, la fórmula idónea para determinar el tiempo de concentración de las cuencas de estudio corresponde al modelo de SCS (Soil Conservation Service, USA) según se expone en el extracto siguiente.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Tabla 3. Tiempo de concentración

TABLA 3.702.501.A
TIEMPOS DE CONCENTRACION PARA CUENCAS (Tc)

Autor	Expresión	Observaciones
Normas Españolas	$Tc=18\ L^{0,76}/S^{0,19}$	
California Culverts Practice (1942)	$Tc=57\ (L^3/H)^{0,385}$	Cuencas de montaña
Giandotti	$Tc= 60\ ((4\ A^{0,5}+1,5\ L)/(0,8\ Hm^{0,5}))$	Cuencas pequeñas con pendiente
SCS(1975)	$Tc=258,7\ L^{0,8}((1000/CN)-9)^{0,7}/1900\ S^{0,5}$	Cuencas rurales

Notación:
T = tiempo de concentración (min)
L = longitud cauce (km)
S = pendiente (m/m)
A = área de la cuenca en km²
Hm = diferencia de nivel en m entre la cota media de la cuenca y la salida
H = diferencia de nivel total entre cotas extremas de la cuenca (m)
CN = curva número

Fuente: extracto Manual de Carreteras.

La fórmula propuesta resulta la más recomendada ya que incorpora el largo del cauce, la pendiente y los usos de suelo.

En tal sentido, para la determinación de la curva de número (CN) se tendrá presente la capacidad de infiltración según el tipo de suelo, según la tabla siguiente:

Tabla 4. Capacidad de infiltración de suelo

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración<13 mm/h	Arcillosa

Fuente: SCS, USA.

A partir de la tabla anterior, se procede a determinar el Número de Curva según la tabla siguiente:

Tabla 5. Determinación del Número de Curva

Cobertura superficie	% impermeable	Grupo de suelo			
		A	B	C	D
Desarrollado :					
Prados y parques					
pasto < 50%		68	79	86	89
pasto 50%-75%		49	69	79	84
pasto > 75%		39	61	74	80
Areas impermeables:					
Estacionamientos pavimentados		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89
Zonas rurales:					
Praderas		68	79	86	89
Arbustos y pastos naturales		48	67	77	83
Cultivos en hileras		67	78	85	89
Bosques y praderas		43	65	76	82
Residencial:					
sitios 500 m^2 o menor	65	77	85	90	92
sitios 1000 m^2	38	61	75	83	87
sitios 2000 m^2	25	54	70	80	85
sitios 5000 m^2	20	51	68	79	84
sitios 10000 m^2	12	46	65	77	82
Areas urbanas en desarrollo:					
Areas nuevas poca vegetación		77	86	91	94

Fuente: SCS, USA.

Dado que las áreas de drenaje corresponden a praderas de pastoreo, se ha adoptado el valor de Número de Curva 89, correspondiente al más conservador.

Con todo se presenta una tabla resumen con todos los parámetros geomorfológicos, incluyendo el tiempo de concentración.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de los cauces cercanos al área de influencia.

Cauce o tramo	Largo cauce principal (km)	Pendiente media (m/m)	Cota máxima (msnm)	Cota mínima (msnm)	Coef.de escorrentía x 1.25	Área de drenaje (km^2)	Tiempo Concent (min)
Q1	0,17	0,041	264	257	0,4	0,01	17
Q2	0,14	0,043	253	247	0,4	0,01	14
Q3	0,22	0,009	247	245	0,4	0,03	45
Q4	0,67	0,043	250	239	0,4	0,13	81
Q5	0,67	0,007	244	239	0,4	0,07	120
Q6	0,47	0,005	241	239	0,4	0,1	110
Q7	1,35	0,013	248	230	0,4	0,28	158
Q8	1,66	0,014	242	219	0,4	0,61	183
Q9	1,00	0,017	235	218	0,4	0,22	110
Q10	1,41	0,014	251	231	0,4	0,41	159
Q11	0,55	0,016	237	228	0,4	0,15	70
Q12	0,55	0,016	237	228	0,4	0,1	69
Q13	0,56	0,029	220	200	0,4	0,2	63
Q14	0,70	0,026	226	208	0,4	0,13	67
Q15	0,98	0,014	246	232	0,4	0,18	118
Q16	0,7	0,026	226	208	0,4	0,1	67
Q1_LTE	0,48	0,025	314	302	0,4	0,1	50
Q2_LTE	0,4	0,035	316	302	0,4	0,067	47
Q3_LTE	0,36	0,056	285	265	0,4	0,03	27
Q4_LTE	0,3	0,067	272	252	0,4	0,03	21
E_Coipue	0,54	0,013	272	265	0,4	0,1	77

Fuente: Elaboración propia.

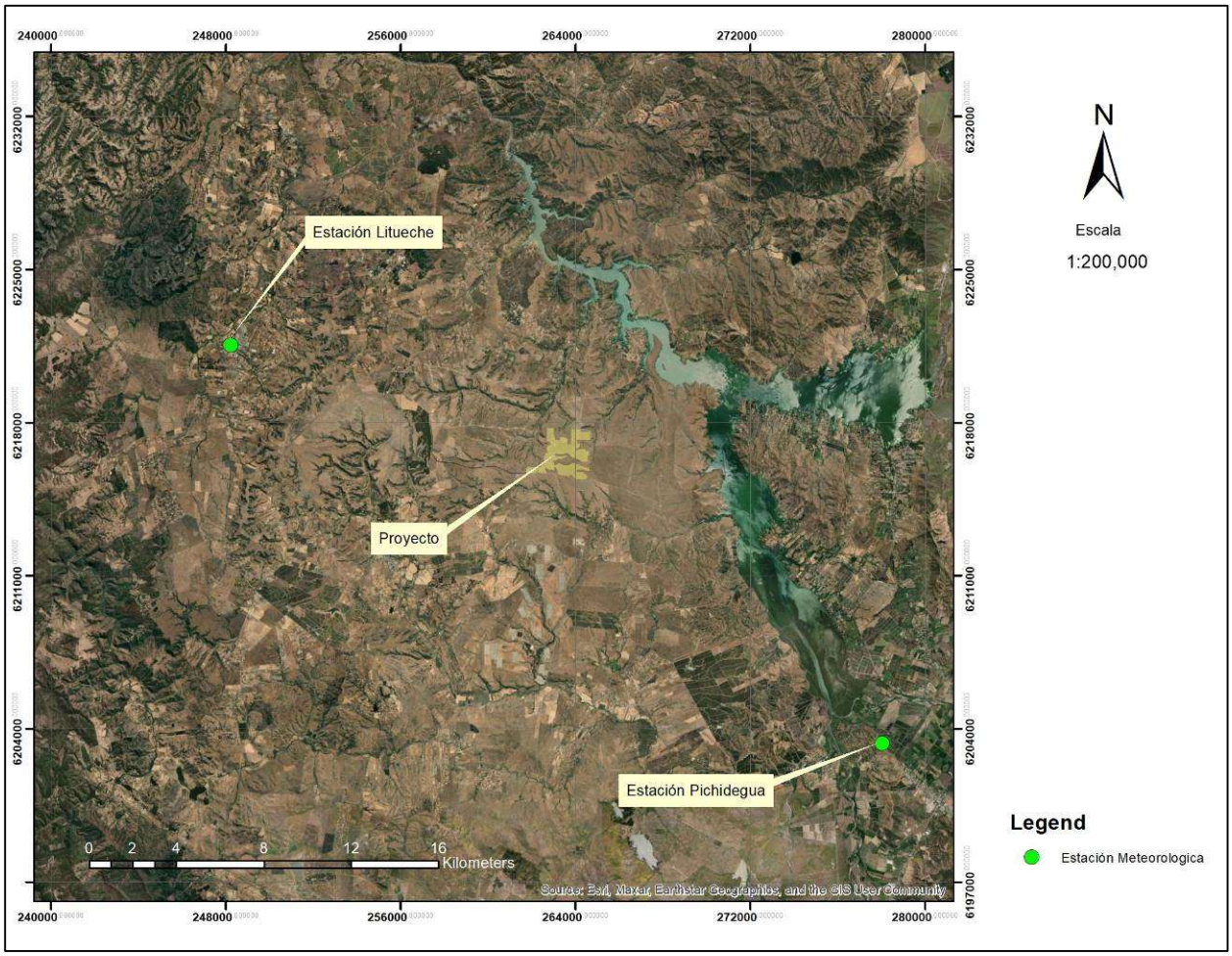
4.3. Información Pluviométrica

Inicialmente, se realizó un análisis de frecuencia a partir de las precipitaciones máximas diarias de las estaciones meteorológicas (pluviométricas) más cercanas al proyecto, correspondientes a la estación Pichidegua, Código BNA N°06019005-4, ubicada a aproximadamente 18 km, entre los años 1991 y 2024, con a 34 años continuos de datos, y la estación pluviométrica Litueche, Código BNA 06055003-4, ubicada aproximadamente 16 km, entre los años 1979 y 2020, con 42 años continuos, es decir, en ambos casos más de los 25 años que exige la Guía Metodológica para la presentación y revisión de proyectos de modificación de cauce (DGA,2016).

La ubicación de las estaciones antes señaladas se presenta en la figura siguiente.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 14. Ubicación de estaciones meteorológicas (pluviométricas cercanas)

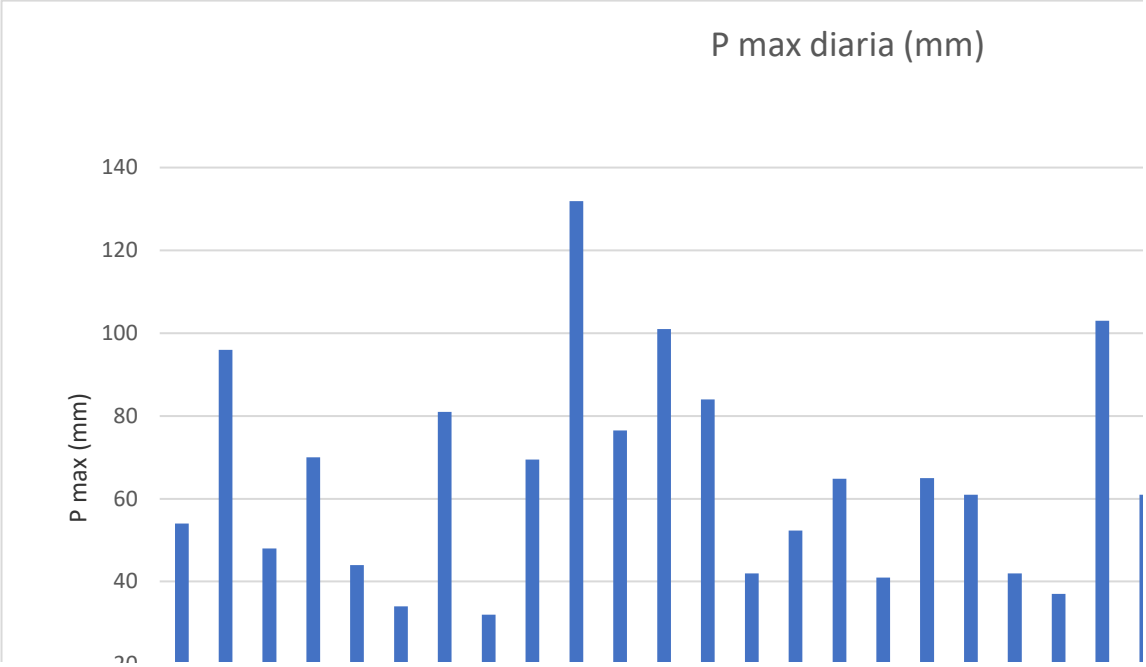


Fuente: Elaboración Propia

Así entonces, las precipitaciones máximas utilizadas para el análisis de frecuencia son las siguientes.

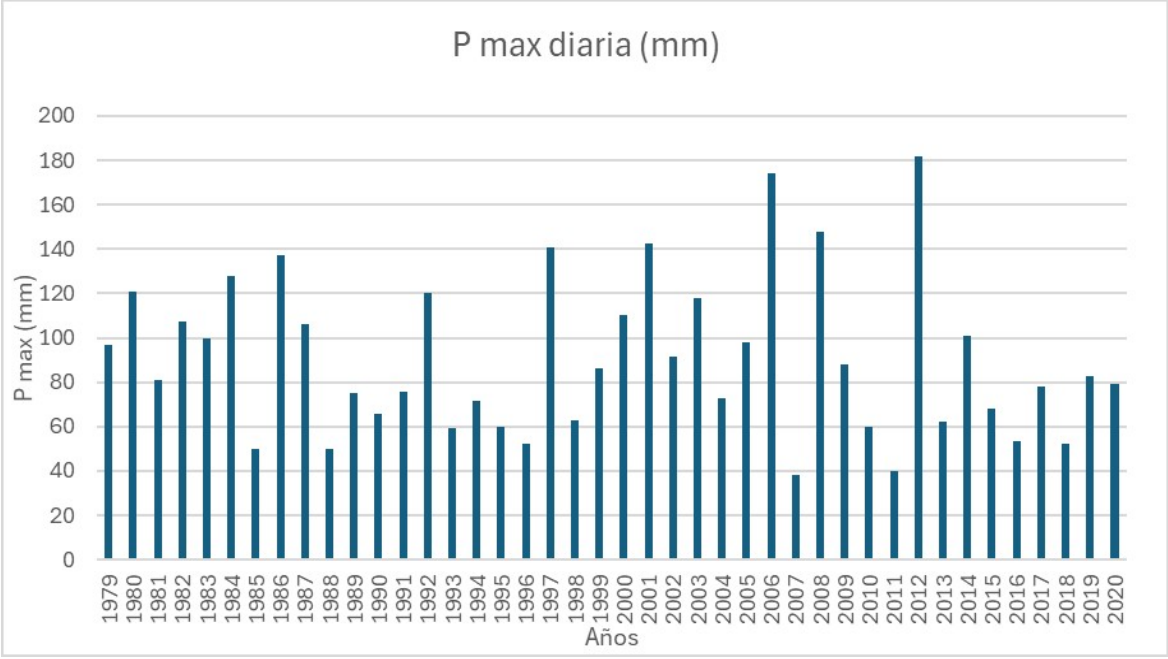
(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

Figura 15. Registro de precipitaciones máximas diarias en estación Pichidegua



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Registro de precipitaciones máximas diarias en estación Litueche



Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis de Frecuencia

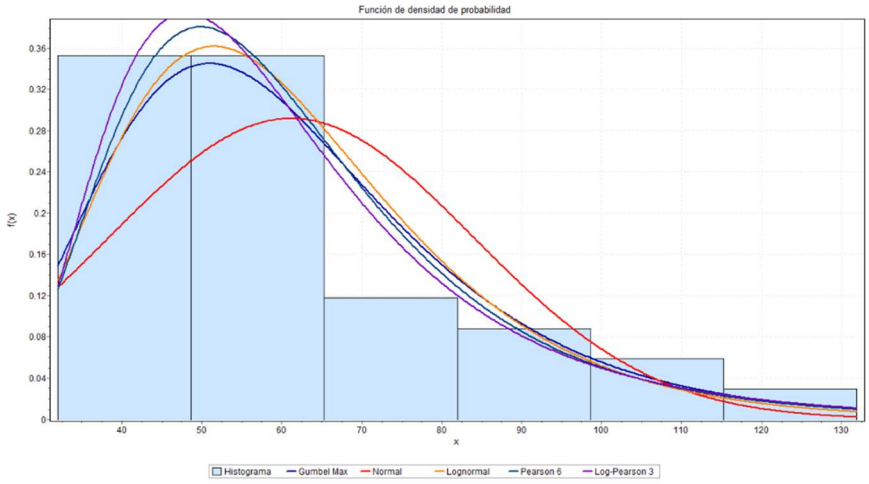
A partir de los datos antes señalados se realizó un análisis de frecuencia donde se identificó la precipitación máxima esperada en 24 horas para distintos periodos de retorno.

Previo a la determinación probabilidades se realizó un análisis de distribución log-Normal, Gumbel Max, Pearson 6, Log Pearson 3 y Normal.

El análisis estadístico se realizó mediante el software Easy Fit® 5.3.

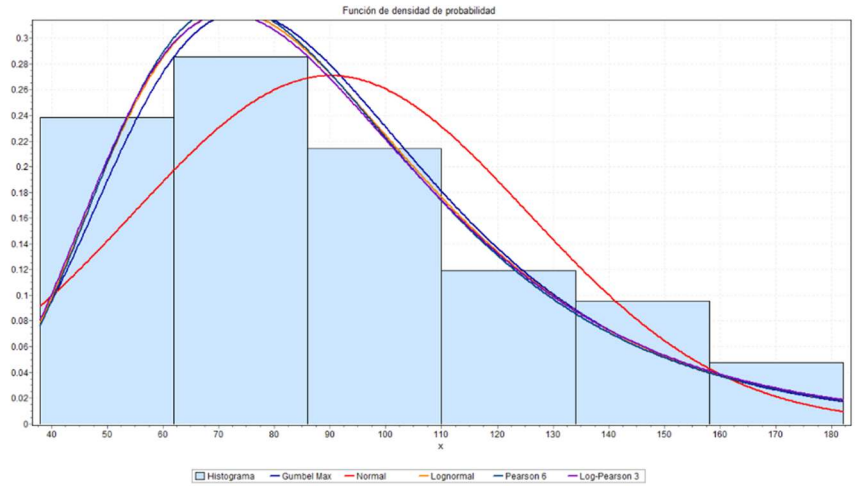
Para el caso de la zona del Proyecto los resultados son los siguientes:

Figura 17. Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas estación Pichidegua



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Distribución de probabilidades de precipitaciones máximas estación Litueche



Fuente: Elaboración propia

Para la elección de la distribución correspondiente, se aplicó el test de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 7. **Resultados del Test de Bondad de ajuste para Log-Pearson III Estación Pichidegua**

Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
	Estadística	Rango	Estadística	Rango
Log-Pearson 3	0.07098	1	0.18221	1
Pearson 6	0.08115	2	0.26416	2
Gumbel Max	0.08526	3	0.37811	3
Lognormal	0.09769	4	0.39888	4
Normal	0.13858	5	1.1524	5

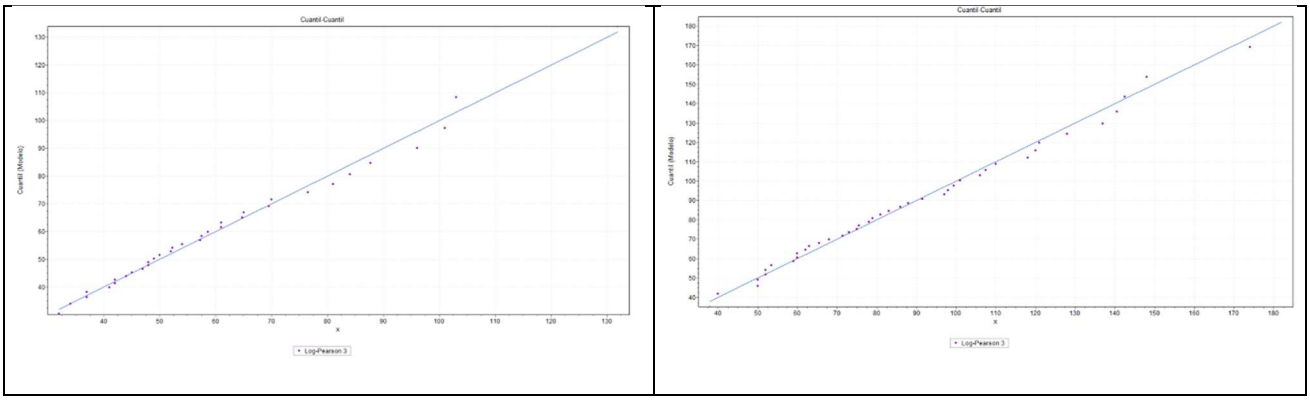
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. **Resultados del Test de Bondad de ajuste para Log-Pearson III Estación Litueche**

#	Distribución	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango
2	Log-Pearson 3	0.05341	1	0.14956	1
3	Lognormal	0.05661	2	0.16519	2
5	Pearson 6	0.05754	3	0.16998	3
1	Gumbel Max	0.06283	4	0.19625	4
4	Normal	0.10348	5	0.67727	5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. **Ajuste gráfico de cuantiles para distribución Log-Pearson 3, estación Pichidegua (izquierda) y Litueche (derecha)**



Fuente: Elaboración propia

Así entonces, la distribución que logra el mejor ajuste es Log-Pearson 3, cuyos resultados se presentan en la figura siguiente:

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

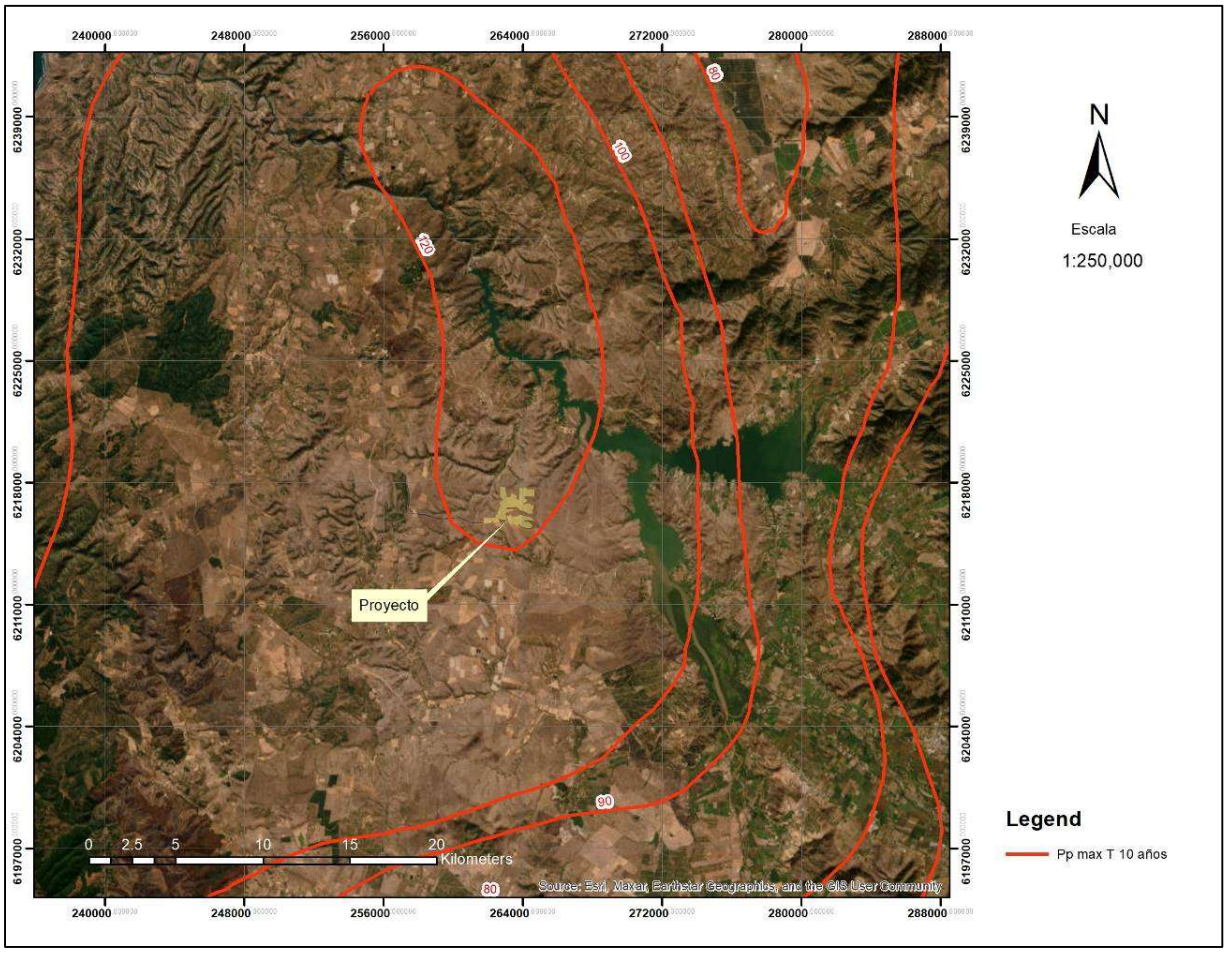
Tabla 9. Resultados análisis de frecuencia de precipitaciones máximas diaria hasta 2024.

P Excedencia	T Retorno	Precip Max (mm) Pichidegua	Precip Max (mm) Litueche
0,5	2	56	86,0
0,2	5	76	116,0
0,1	**10**	**90,6**	**137,0**
0,04	25	105,5	165,8
0,02	50	126,5	186,0
0,01	**100**	**143,5**	**203,0**

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, tomando en consideración las curvas isoyetas de precipitaciones máximas establecidas en el informe “Precipitaciones Máximas de 1, 2 y 3 días” de la Dirección General de Aguas (1991) se advierte que el Proyecto se localiza en la curva 120 mm para T 10 años.

Figura 20. Curvas isoyetas de precipitaciones máximas para T 10 años.



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener resultados conservadores se utilizó la curva mayor del método de curvas isoyetas, es decir, 120 mm en 24 horas para T= 10 años. En tanto, los coeficientes de duración CD y coeficientes de

frecuencia CFT fueron obtenidos de la estación Rapel, según tablas 3.702.403 A y 3.702.403 B del Manual de Carreteras MOP, 2023, por encontrarse en la misma zona pluviográfica según se presentó en la figura anterior.

Tabla 10. Coeficientes de duración para la zona de estudio para T=10 años. Extracto del Manual de Carreteras

TABLA 3.702.403.A
COEFICIENTES DE DURACION PARA 10 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO

Estación pluviográfica	Duración (horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Putre	0,44	0,62	0,73	0,78	0,81	0,82	0,83	0,83	0,87	1,00
Lequena	0,34	0,52	0,75	0,87	0,93	0,94	0,95	0,96	0,92	1,00
Toconce	0,39	0,57	0,79	0,90	0,94	0,94	0,95	0,95	0,97	1,00
Rivadavia	0,12	0,21	0,35	0,48	0,59	0,68	0,75	0,78	0,87	1,00
La Paloma	0,15	0,25	0,41	0,55	0,65	0,74	0,80	0,84	0,92	1,00
Illapel	0,14	0,25	0,41	0,54	0,66	0,73	0,79	0,84	0,92	1,00
La Tranquilla	0,11	0,19	0,31	0,40	0,49	0,57	0,64	0,72	0,87	1,00
Quillota	0,13	0,23	0,38	0,50	0,58	0,67	0,75	0,80	0,88	1,00
Rungue	0,09	0,18	0,31	0,44	0,53	0,62	0,69	0,73	0,84	1,00
Lago Peñuelas	0,12	0,21	0,37	0,49	0,60	0,68	0,76	0,82	0,92	1,00
Los Panguiles	0,16	0,27	0,41	0,55	0,66	0,78	0,83	0,86	0,90	1,00
Santiago-Q.Normal	0,14	0,23	0,38	0,51	0,63	0,70	0,77	0,82	0,90	1,00
Santiago- San Joaquín	0,15	0,24	0,38	0,51	0,60	0,69	0,70	0,80	0,91	1,00
Pirque	0,11	0,17	0,30	0,40	0,49	0,57	0,63	0,69	0,82	1,00
Melipilla	0,12	0,21	0,35	0,47	0,55	0,63	0,68	0,75	0,88	1,00
Rapel	0,15	0,23	0,33	0,47	0,56	0,64	0,72	0,78	0,92	1,00
Llallauquén	0,16	0,25	0,40	0,50	0,57	0,64	0,70	0,76	0,86	1,00
San Fernando	0,12	0,20	0,33	0,43	0,52	0,61	0,68	0,73	0,85	1,00
Curicó	0,15	0,22	0,35	0,45	0,54	0,63	0,71	0,79	0,89	1,00
Armerillo	0,08	0,15	0,26	0,37	0,47	0,56	0,64	0,70	0,83	1,00
Colbún en Los Colorados	0,12	0,19	0,29	0,41	0,52	0,59	0,68	0,73	0,83	1,00
Chillán	0,13	0,21	0,34	0,42	0,49	0,55	0,61	0,69	0,84	1,00
Concepción	0,19	0,30	0,39	0,48	0,56	0,64	0,70	0,76	0,90	1,00
Polcura en Balseadero	0,11	0,18	0,31	0,42	0,51	0,59	0,66	0,73	0,84	1,00
Quilaco	0,17	0,26	0,37	0,45	0,54	0,61	0,67	0,74	0,88	1,00
Temuco	0,21	0,32	0,50	0,59	0,67	0,73	0,79	0,84	0,91	1,00
Pullinque	0,12	0,20	0,33	0,43	0,50	0,58	0,65	0,72	0,84	1,00
Valdivia	0,13	0,18	0,31	0,43	0,53	0,60	0,67	0,74	0,89	1,00
Osorno	0,20	0,33	0,50	0,60	0,65	0,69	0,75	0,82	0,92	1,00
Ensenada	0,17	0,23	0,35	0,46	0,53	0,60	0,68	0,74	0,86	1,00
Puerto Montt	0,16	0,27	0,36	0,47	0,55	0,62	0,70	0,77	0,88	1,00
Lago Chapo	0,09	0,16	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,71	0,85	1,00
Canutillar en Portezuelo	0,11	0,20	0,33	0,44	0,54	0,63	0,68	0,75	0,82	1,00
Chaitén	0,18	0,29	0,42	0,51	0,61	0,69	0,75	0,81	0,91	1,00
Puerto Aysén	0,14	0,23	0,38	0,51	0,60	0,71	0,81	0,88	0,98	1,00
Punta Arenas	0,20	0,33	0,48	0,61	0,73	0,81	0,86	0,91	0,97	1,00

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Tabla 11. Coeficientes de frecuencia para la zona de estudio para T=10 años. Extracto del Manual de Carreteras

TABLA 3.702.403.B
COEFICIENTES DE FRECUENCIA

Estación pluviográfica	Período de retorno (años)							
	2	5	10	20	25	50	100	200
Putre	0,61	0,85	1,00	1,15	1,20	1,34	1,48	1,63
Lequena	0,49	0,80	1,00	1,20	1,26	1,45	1,64	1,83
Toconce	0,52	0,81	1,00	1,18	1,24	1,42	1,60	1,78
Rivadavia	0,49	0,80	1,00	1,19	1,26	1,44	1,63	1,82
La Paloma	0,48	0,79	1,00	1,20	1,26	1,46	1,65	1,84
Illapel	0,50	0,80	1,00	1,19	1,25	1,44	1,62	1,81
La Tranquilla	0,47	0,79	1,00	1,20	1,27	1,47	1,66	1,86
Quillota	0,55	0,82	1,00	1,17	1,22	1,39	1,56	1,72
Rungue	0,51	0,80	1,00	1,19	1,25	1,43	1,61	1,80
Lago Peñuelas	0,52	0,81	1,00	1,18	1,24	1,42	1,60	1,77
Los Panguiles	0,43	0,77	1,00	1,22	1,29	1,50	1,71	1,92
Santiago- Quinta Normal	0,60	0,84	1,00	1,15	1,20	1,35	1,50	1,64
Santiago- San Joaquín	0,58	0,83	1,00	1,16	1,21	1,37	1,52	1,67
Pirque	0,62	0,85	1,00	1,15	1,19	1,33	1,47	1,61
Melipilla	0,53	0,81	1,00	1,18	1,24	1,41	1,59	1,76
Rapel	0,62	0,85	1,00	1,15	1,19	1,33	1,48	1,62
Llallauquén	0,58	0,83	1,00	1,16	1,21	1,37	1,52	1,68
San Fernando	0,59	0,84	1,00	1,16	1,21	1,36	1,51	1,66
Curicó	0,66	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,42	1,55
Armerillo	0,66	0,87	1,00	1,13	1,17	1,29	1,42	1,54
Colbún en Los Colorados	0,68	0,88	1,00	1,15	1,20	1,36	1,51	1,60
Chillán	0,66	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,42	1,55
Concepción	0,68	0,87	1,00	1,12	1,16	1,28	1,40	1,52
Polcura en Balseadero	0,73	0,89	1,00	1,11	1,14	1,24	1,34	1,44
Quilaco	0,66	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,43	1,56
Temuco	0,68	0,87	1,00	1,12	1,16	1,28	1,41	1,53
Pullinque	0,68	0,87	1,00	1,12	1,16	1,28	1,40	1,51
Valdivia	0,68	0,87	1,00	1,12	1,16	1,28	1,40	1,52
Osorno	0,63	0,85	1,00	1,14	1,19	1,32	1,46	1,59
Ensenada	0,66	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,43	1,55
Puerto Montt	0,65	0,86	1,00	1,13	1,18	1,31	1,44	1,57
Lago Chapo	0,65	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,43	1,56
Canutillar en Portezuelo	0,72	0,89	1,00	1,11	1,14	1,25	1,35	1,46
Chaitén	0,65	0,86	1,00	1,13	1,17	1,30	1,43	1,56
Puerto Aysén	0,70	0,88	1,00	1,12	1,15	1,26	1,38	1,49
Punta Arenas	0,59	0,84	1,00	1,16	1,21	1,36	1,51	1,66

Así entonces, al multiplicar los coeficientes de frecuencia CFT con la precipitación máxima de un día para un período de retorno de 10 años, obtenido de la curva isoyeta, se obtiene la precipitación máxima diaria apa los distintos períodos de retorno.

Tabla 12. Resultados de precipitaciones (mm) para distintos periodos de retorno en base curvas isoyetas y coeficientes de frecuencias asociados.

T retorno	P diaria máx (mm)
2	74,4
5	102,0
10	**120,0**
25	142,8
50	159,6
100	**177,6**

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta una tabla con el resumen de resultados de las 3 estimaciones realizadas.

Tabla 13. Resumen de resultados de precipitaciones máximas diarias (mm) para periodos de retorno de hasta 100 años.

T Retorno	P max (mm) Isoyetas	Precip Max (mm) Pichidegua	Precip Max (mm) Litueche
2	74,4	56	86,0
5	102,0	76	116,0
10	**120,0**	**90,6**	**137,0**
25	142,8	105,5	165,8
50	159,6	126,5	186,0
100	**177,6**	**143,5**	**203,0**

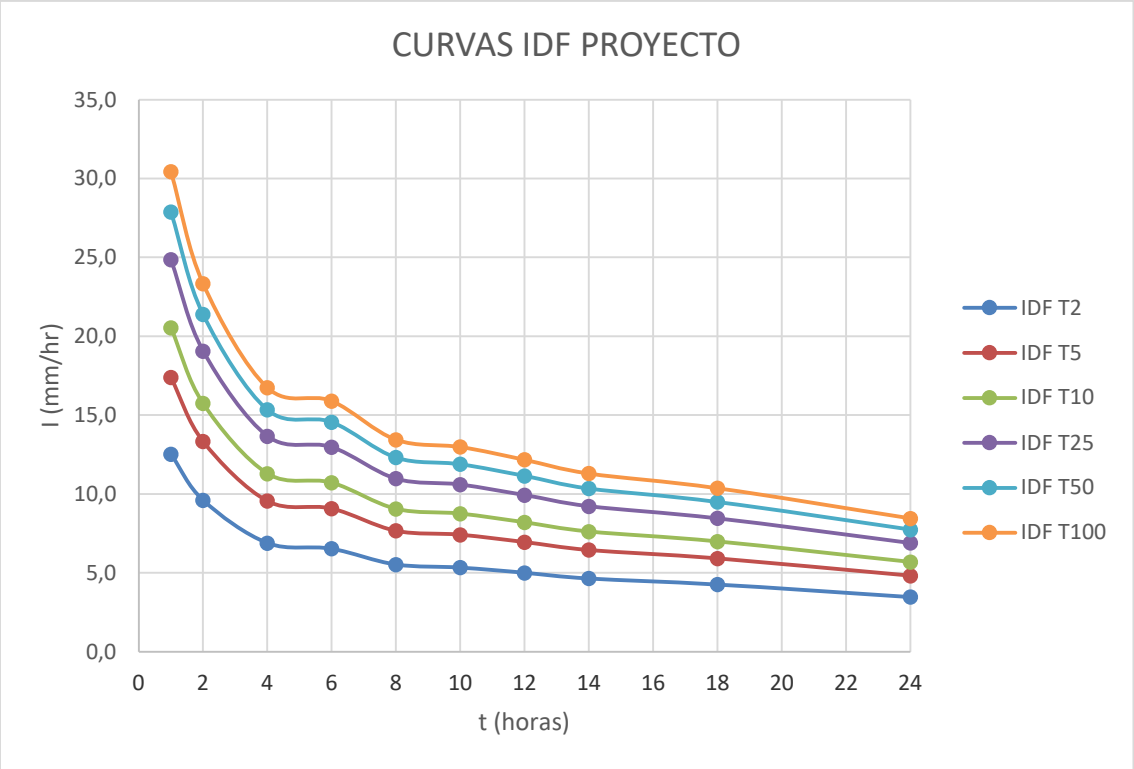
Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, dado que los resultados obtenidos a partir del análisis de datos de precipitaciones de la estación Litueche son los mayores entre las 3 estimaciones, se adoptarán estos valores para resultados más conservadores.

A continuación, se presentan las curvas IDF de la zona del proyecto en base análisis de precipitaciones.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 21. Curvas IDF del sector del Proyecto



Fuente: Elaboración propia

Dado que se trata de cuencas pequeñas, se utilizará el Método Racional para la estimación de caudales.

En el caso de que el tiempo de concentración sea menor a 1 hora, la expresión a emplear es la fórmula de Bell, según la sección 3.702.405 del Manual de Carreteras (Bell, F.C. 1969, Generalized Rainfall-Duration-Frecuency Relationships, Journal of Hydarulis Division os ASCE, 95 Nº HY1, 311-327):

$$P^{T}_{t} = (0{,}54*tc^{0.25}-0{,}50)*(0{,}21*\ln(T)+0{,}52)*P^{10}_{1}$$

T = Periodo de retorno en años

tc = tiempo de concentración en min

P(10,1) = Precipitación correspondiente a un periodo de retorno de T años y una duración de 1 hora.

De esta forma, para obtener P(10,1) se aplica la siguiente formula

$$P^{10}_{1} = K \times CD_{1} \times CFT \times P^{10}_{D}$$

Donde,

P^{T}_{t}= Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas.

(56 32) 2683222 1 Poniente Nº123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

$P^{10}{}_D$ = Lluvia diaria (8AM a 8AM) con 10 años de período de retorno obtenida de una estación pluviométrica

CD_1 = Coeficiente de duración para 1 horas

CFT = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

K = Coeficiente de corrección para la lluvia máxima P10 D medida entre 8 AM y 8 AM respecto de las 24 Hrs más lluviosas de la tormenta, para el que se ha adoptado un valor K = 1.1.

Así entonces, se tiene:

$$P^{10}{}_1 = 1.1 \times 0.15 \times 1 \times 137 = \mathbf{22.6}\ \text{mm}$$

Por otra parte, para las cuencas que poseen un tiempo de concentración mayor a una hora, es decir, se procedió al cálculo de caudales de crecida mediante el Método Racional, con la ecuación de precipitación 3.702.404.1 que se expone a continuación:

$$P^{T}{}_t = K \times P^{T}{}_t \times CD_t \times CF\ T \cdot P^{10}{}_D$$

Donde,

$P^{T}{}_t$= Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas.

$P^{10}{}_D$ = Lluvia diaria (8AM a 8AM) con 10 años de período de retorno obtenida de una estación pluviométrica

CD^t = Coeficiente de duración para t horas CFT = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

K = Coeficiente de corrección para la lluvia máxima P10 D medida entre 8 AM y 8 AM respecto de las 24 Hrs más lluviosas de la tormenta, para el que se ha adoptado un valor K = 1.1.

4.4.1. Método Racional

Para determinar los caudales de aguas lluvia asociados al área de emplazamiento del Proyecto se utilizó el Método Racional, método ampliamente usado en particular para cuencas menores a 20 km^2.

$$Q(T) = \frac{C(T) * i * A}{3.6}$$

Donde, Q es el caudal instantáneo máximo (m^3/s) de periodo de retorno T (años), C es el coeficiente de escorrentía asociado al periodo de retorno T (años), i es la intensidad media de lluvia asociada al periodo

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

de retorno T (años) y una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca pluvial (mm/h) y finalmente A es el área pluvial aportante (km^2).

Con todo lo anteriormente expuesto, se aplicó el Método Racional obteniéndose los caudales de aguas lluvias para periodos de retorno de hasta 100 años. Los resultados de caudal para un período de retorno de 100 años, se presenta en la siguiente tabla resumen.

Tabla 14. Caudales con Método Racional para todos los cauces

Cauce o tramo	I_{24}T100 mm/h	Coef.de escorrentía x 1.25	Área de drenaje (km^2)	Caudal T100 M^3/s
Q1	70,5	0,4	0,01	0,08
Q2	77,4	0,4	0,01	0,09
Q3	40,4	0,4	0,03	0,13
Q4	29,4	0,4	0,13	0,42
Q5	25,6	0,4	0,07	0,2
Q6	26,3	0,4	0,1	0,29
Q7	22,2	0,4	0,28	0,69
Q8	20,7	0,4	0,61	1,40
Q9	26,4	0,4	0,22	0,64
Q10	22,1	0,4	0,41	1,01
Q11	31,3	0,4	0,15	0,52
Q12	31,4	0,4	0,1	0,35
Q13	32,5	0,4	0,2	0,72
Q14	31,8	0,4	0,13	0,46
Q15	25,9	0,4	0,18	0,52
Q16	31,8	0,4	0,1	0,35
Q1_LTE	37,5	0,4	0,1	0,42
Q2_LTE	45,5	0,4	0,067	0,34
Q3_LTE	54,7	0,4	0,03	0,18
Q4_LTE	62,7	0,4	0,03	0,21
E_Coipue	30,0	0,4	0,1	0,33

Fuente: Elaboración propia.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

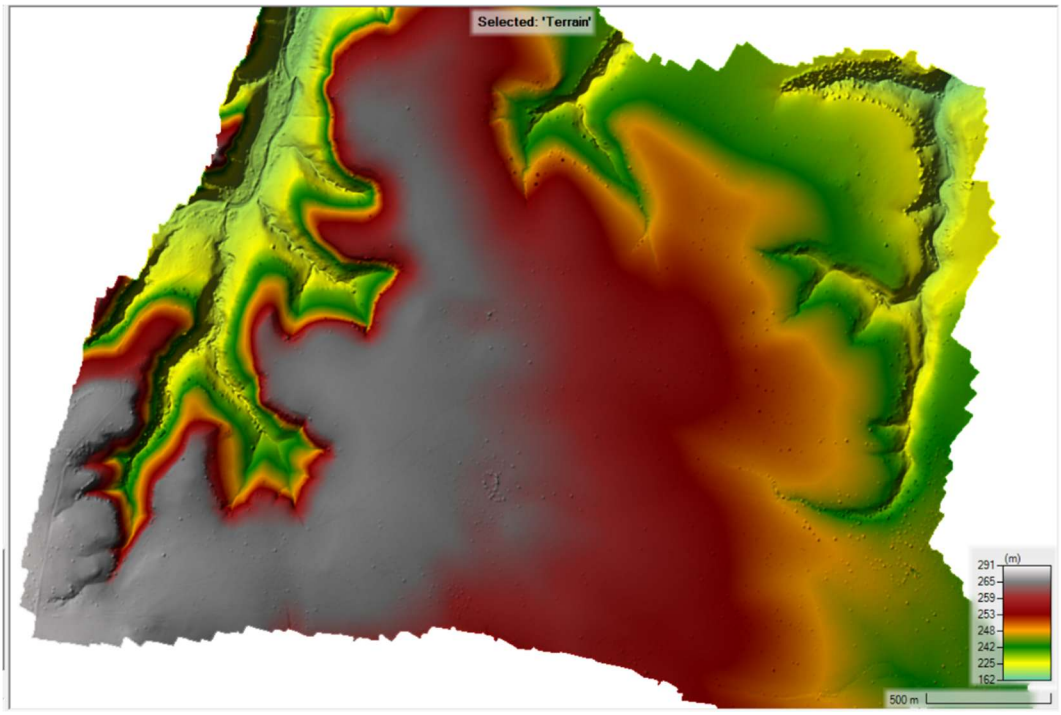
5. Modelación Hidráulica

5.1. Topografía

Se realizó un levantamiento topobatimétrico en la zona de interés susceptible de ser inundada con mediante un modelo digital del terreno con una resolución de 0.5 m/pixel

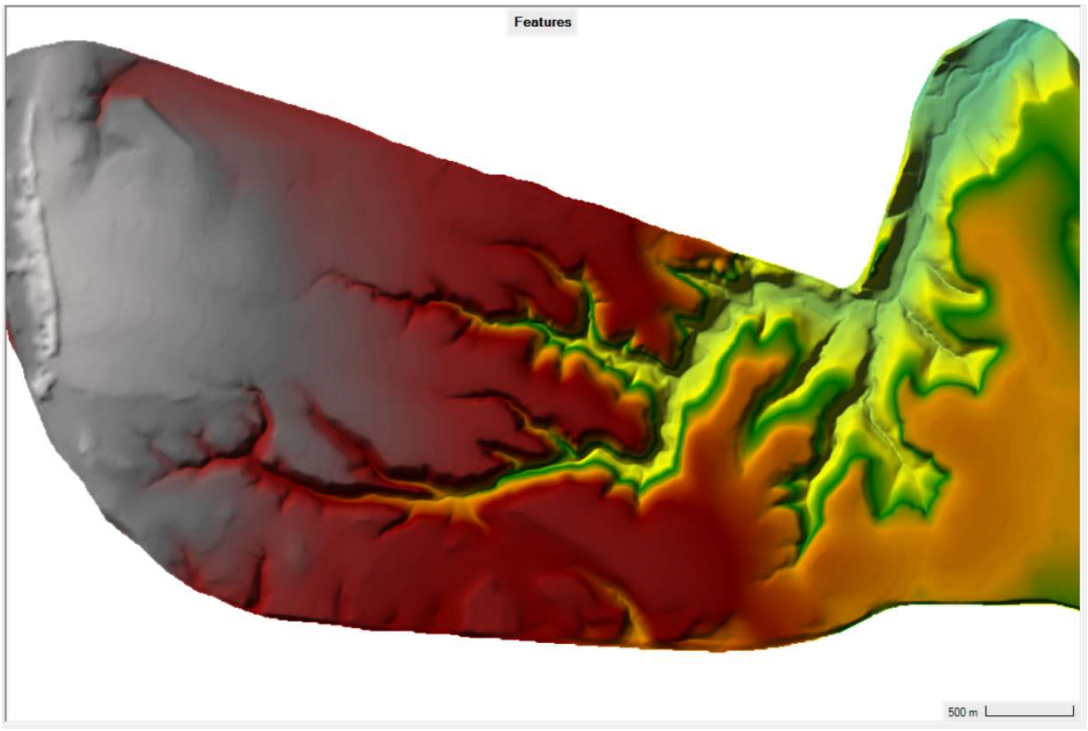
Con lo anterior, se procedió a realizar una modelación bidimensional, en régimen no permanente con una simulación de escorrentía durante 3 horas, con simulaciones a cada 2 segundos, a partir del modelo digital del terreno, lo que permite simular la crecida máxima en todo el tramo.

Figura 22. Modelo Digital del Terreno DTM, zona de generación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Modelo Digital del Terreno DTM, trazado línea de transmisión.



Fuente: Elaboración propia

5.2. Coeficiente de Rugosidad

Se observó que los cauces, en el tramo en estudio, corresponde a un álveo principalmente de grava gruesa, con mediana presencia de vegetación. En tanto las planicies de inundación corresponden a zonas con escasos matorrales y planicies cultivables

Ahora bien, para la determinación del coeficiente de rugosidad de Manning del cauce y las planicies de inundación, se utilizó en método de COWAN, propuesto en el Manual de Carreteras. A continuación, se exponen algunas imágenes de cauces que son representativas de las zonas del proyecto, en las cuales se puede advertir que se trata de cauces menores, intermitentes, y con características hidráulicas uniformes.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 24. Condición cauces zona trazado de línea de Transmisión (Q1LTE)



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Condición cauces zona trazado de línea de Transmisión (Q4LTE)



Fuente: Elaboración propia

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 26. Condición de la zona de flujo preferente Q10, zona área de generación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Condición de la zona de flujo preferente Q11, zona área de generación.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Extracto. Tabla 3.707.104B

TABLA 3.707.104.B
ESTIMACION DEL COEFICIENTE DE MANNING SEGUN METODO DE COWAN

CONDICIONES DEL CANAL		VALOR	
Material del Lecho	Tierra	n_0	0,020
	Roca Cortada		0,025
	Grava Fina		0,024
	Grava Gruesa		0,028
Grado de Irregularidad Perímetro Mojado	Despreciable	n_1	0,000
	Leve		0,005
	Moderado		0,010
	Alto		0,020
Variaciones de las Secciones	Graduales	n_2	0,000
	Alternándose Ocasionalmente		0,005
	Alternándose Frecuentemente		0,010 – 0,015
Efecto Relativo de las Obstrucciones	Despreciable	n_3	0,000
	Leve		0,010 – 0,015
	Apreciable		0,020 – 0,030
	Alto		0,040 – 0,060
Densidad de Vegetación	Baja	n_4	0,005 – 0,010
	Media		0,010 – 0,025
	Alta		0,025 – 0,050
	Muy Alta		0,050 – 0,100
Sinuosidad y Frecuencia de Meandros	Leve	m	1,000
	Apreciable		1,150
	Alto		1,300

Fuente: Manual de Carreteras, Vol.3.

La determinación del coeficiente de rugosidad de Manning está dada por la siguiente expresión:

n=m*(n0+n1+n2+n3+n4)

- Dónde: n0 = Rugosidad base
- n1= Rugosidad adicional por irregularidades perímetro mojado
- n2= Rugosidad adicional por variación de forma
- n3= Rugosidad adicional por obstrucciones
- n4= Rugosidad adicional por presencia de vegetación
- m = Factor de corrección por efecto sinuosidad

Los factores que componen el coeficiente de rugosidad de Manning se obtuvieron de la Tabla 3.707.104B del Manual de Carreteras, Vol. 3, cuyo resultado es el siguiente:

n = 1*(0,028+0,005+0,00+0,00+0,01 = **0,043**

En tanto, la rugosidad asociada a las riberas y las planicies de inundación se obtienen de la Tabla 3.707.104 A del Manual de Carreteras, cuyo extracto se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 16. Extracto. Tabla 3.707.104A

Planicies de Inundación				
a)	Pastizales, sin Matorrales			
	Pasto pequeño	0,025	0,030	0,035
	Pasto alto	0,030	0,035	0,050
b)	Areas Cultivadas			
	Sin cosechas	0,020	0,030	0,040
	Cultivos crecidos, plantación en surcos	0,025	0,035	0,045
	Cultivos crecidos, plantación a campo traviesa	0,030	0,040	0,050
c)	Matorrales			
	Matorrales dispersos, grandes malezas	0,035	0,050	0,070
	Pocos matorrales y árboles, en invierno	0,035	0,050	0,060
	Pocos matorrales y árboles, en verano	0,040	0,060	0,080
	Mediana a gran cantidad de matorrales, en invierno	0,045	0,070	0,110
	Mediana a gran cantidad de matorrales, en verano	0,070	0,100	0,160
d)	Arboles			
	Sauces densos, en verano, rectos	0,110	0,150	0,200
	Tierra despejada con postes o troncos de árboles, sin brotes	0,030	0,040	0,050
	Idem, con gran cantidad de brotes o ramas	0,050	0,060	0,080
	Troncos o postes, pocos árboles caídos, pequeños cultivos, nivel d crecida bajo las ramas	0,080	0,100	0,120
	Idem, pero el nivel de crecida alcanza las ramas	0,100	0,120	0,160

Fuente: Manual de Carreteras,

En tal sentido, según se ha podido advertir en las imágenes exhibidas en el presente documento, las praderas de inundación corresponden a terrenos limpios, con pastizales bajos, correspondiendo la rugosidad establecida el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, esto es **0.035.**

A continuación, se presenta una tabla resumen con los coeficientes de rugosidad definidos para cada caso.

Tabla 17. **Coeficiente de rugosidad de Manning de los cauces presentes en el área de influencia del Proyecto.**

Cauce	Rugosidad del lecho	Rugosidad planicie
Q1	0,043	0,035
Q2	0,043	0,035
Q3	0,043	0,035
Q4	0,043	0,035
Q5	0,043	0,035
Q6	0,043	0,035
Q7	0,043	0,035
Q8	0,043	0,035
Q9	0,043	0,035
Q10	0,043	0,035
Q11	0,043	0,035
Q12	0,043	0,035
Q13	0,043	0,035

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Cauce	Rugosidad del lecho	Rugosidad planicie
Q14	0,043	0,035
Q15	0,043	0,035
Q16	0,043	0,035
Q1_LTE	0,043	0,035
Q2_LTE	0,043	0,035
Q3_LTE	0,043	0,035
Q4_LTE	0,043	0,035
E_Coipue	0,043	0,035

Fuente: Elaboración propia,

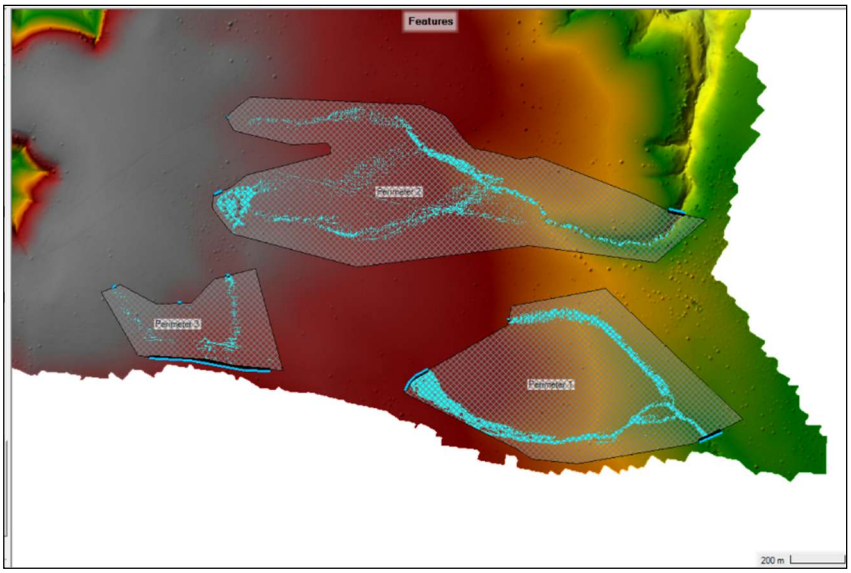
Sin embargo, dado que en general la zona de generación corresponde a un sector relativamente plano, donde los cauces no están bien definidos, es posible asumir una rugosidad constante tanto para el lecho como para las praderas de inundación.

5.3. Resultados de la Modelación Hidráulica de la Crecida

Finalmente, mediante Hec Ras 6.4.1, se realizó una modelación numérica Bidimensional.

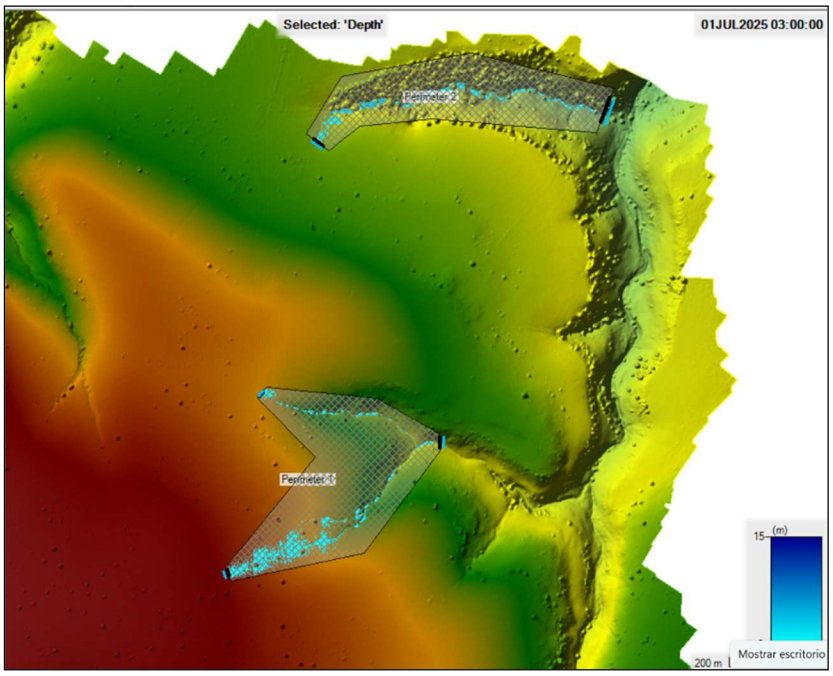
A continuación, se presentan las características de la modelación de los cauces ubicados en el sector sur, correspondiente a los cauces de mayor envergadura. Sin perjuicio de ello, se acompañan los archivos digitales de la modelación de los 21 tramos modelados. En la figura siguiente, se observan los polígonos definidos para la modelación en el sector sur, con 115.140 celdas en el perímetro 1; 166.800 celdas en el perímetro 2 y 36.605 celdas en el perímetro 3.

Figura 28. Zona (sector sur) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional.



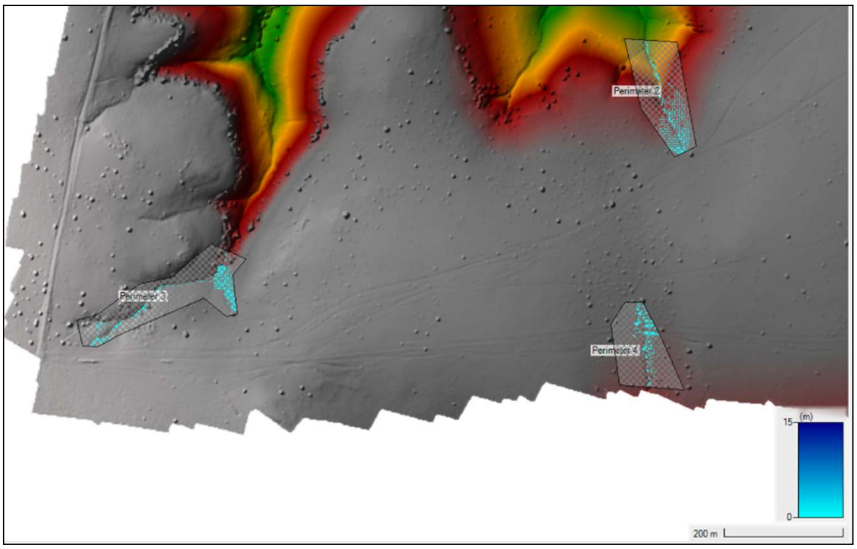
Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Zona (nororiente) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional.



Fuente: Elaboración propia

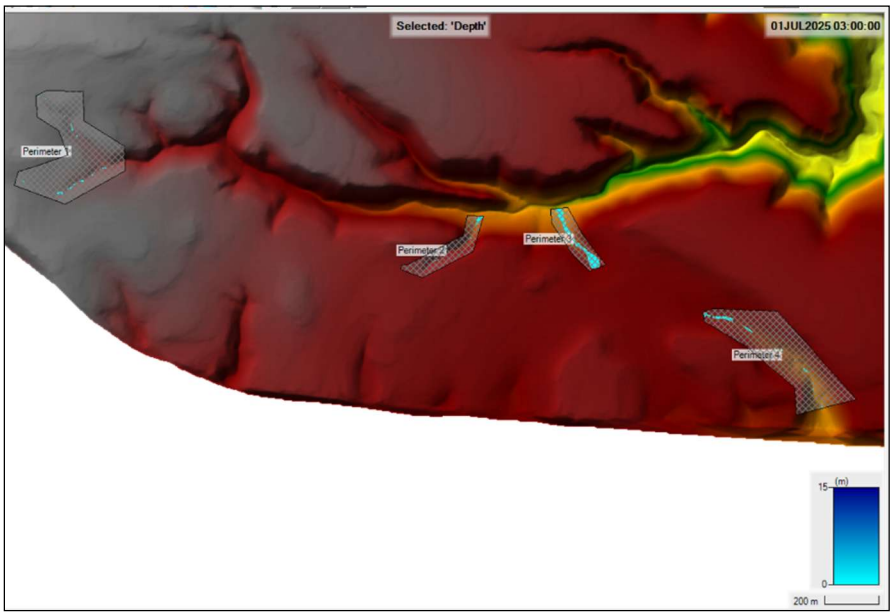
Figura 30. Zona (acceso) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional.



Fuente: Elaboración propia

(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

Figura 31. Zona (nororiente) de mallado para el modelo hidráulico bidimensional.

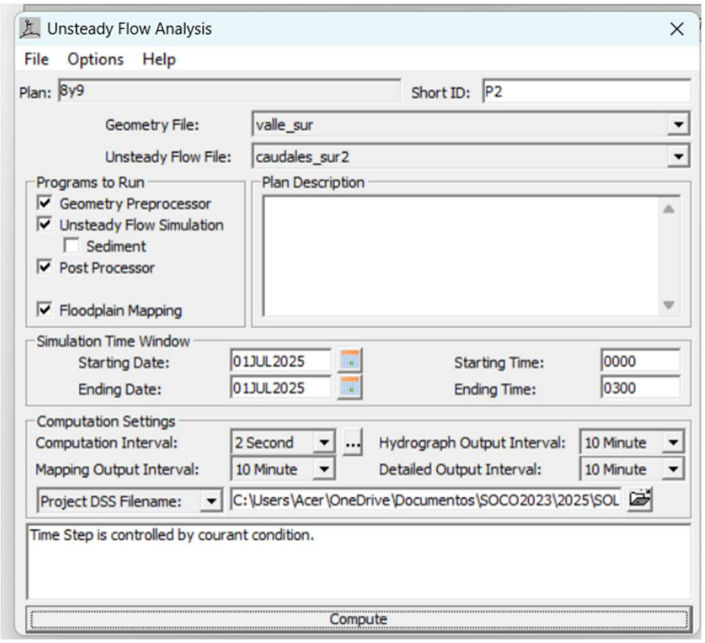


Fuente: Elaboración propia

Como se indicó anteriormente el plan se ejecutó con simulaciones a cada 2 segundos, y mapas de resultados cada 10 minutos durante las 3 horas de modelado, tiempo suficiente para lograr establecer la zona de inundación máxima en todo el tramo modelado. La ecuación utilizada es SWE-ELM.

A continuación, se presenta el resumen del plan.

Figura 32. Plan (cauces sector sur) modelado bidimensional



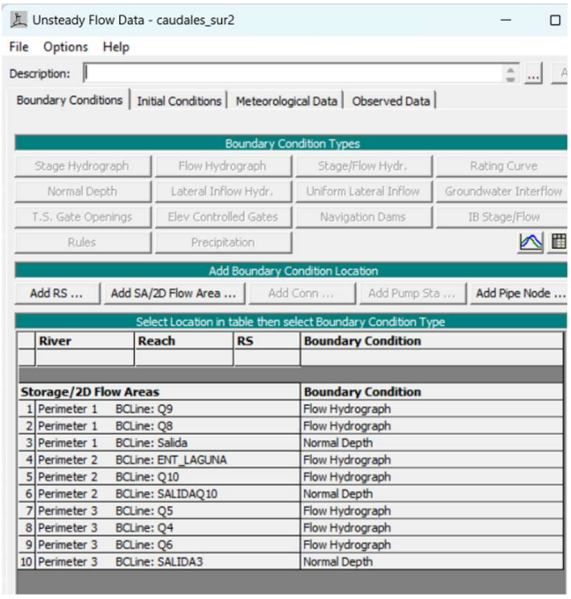
Fuente: Elaboración propia

(56 32) 2683222
1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar
www.socoam.cl

Dado que la pendiente, en general es aproximadamente 0.01 m/m para los tramos modelado, esta es asimilada como condición de contorno.

A continuación, se presenta el resumen de condición de flujo y condiciones de borde de los cauces ubicados en el sector sur, tales como caudal y pendiente de la condición de entrada, teniendo presente que se acompañan los archivos digitales de todos los tramos modelados.

Figura 33. Condiciones de flujo y condiciones de borde del modelo (sector sur).

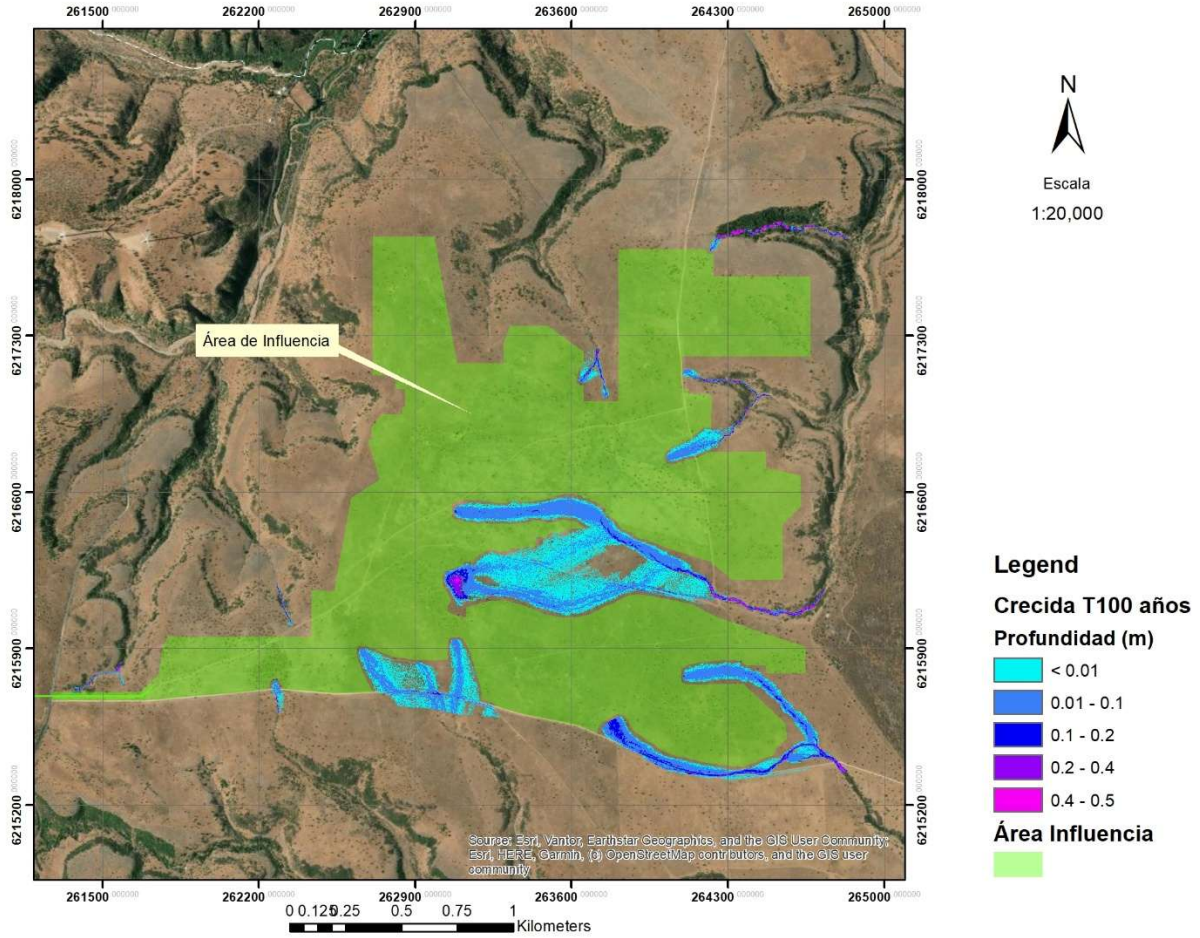


Fuente: Elaboración propia

Con todo lo anteriormente expuesto, se tienen los resultados de la modelación hidráulica y con ello se puede definir el área de influencia del proyecto a fin de diseñar y proyectar las obras fuera de la zona de crecida asociada a un periodo de retorno de 100 años.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

Figura 34. Simulación de la crecida en la zona de generación



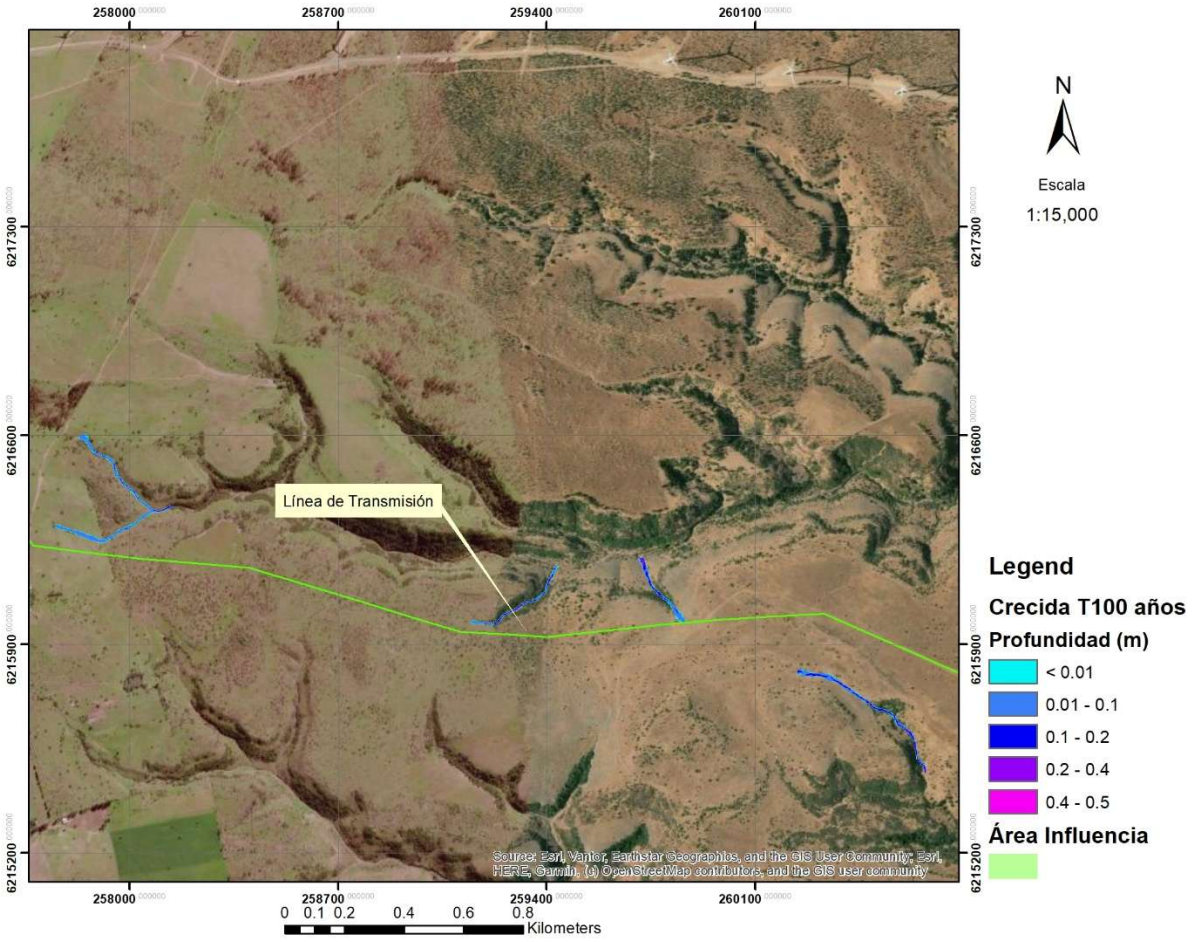
Fuente: Elaboración propia

La figura anterior da cuenta de amplias zonas de inundación, debido a que los cauces no están bien definidos en la parte alta, observándose algunas acumulaciones temporales de aguas lluvias. Si bien la zona inundable es amplia, las profundidades son en general menores a 1 cm, solamente en los sectores donde los álveos se encuentran bien definidos, se observan profundidades de aproximadamente 1.0 m.

Sin perjuicio de lo anterior, la zona de emplazamiento de las obras se ha definido una vez obtenidos los resultados de la modelación hidráulica, a fin de ubicar el proyecto fuera de cualquier crecida.

En tanto, para el caso del trazado de la LTE, estos corresponden a cauces bien definidos cuyas zonas de inundación no son extensas. No obstante, se hace presente que todos los postes o torres se encontrarán fuera de la influencia de los cauces

Figura 35. Simulación bidimensional de la crecida trazado de línea de transmisión.



Fuente: Elaboración propia

La figura anterior da cuenta que los cauces más cercanos al trazado de la línea de transmisión no se cruzan y, por tanto, no serán intervenidos en ninguna forma.

Con todo, se determinaron las zonas de crecida máxima para periodos de retorno de hasta 100 años y, a partir de ello, se diseñaron todas las partes fuera de la zona inundable, con el fin de no intervenir ningún cauce natural, con una distancia mínima de 10 metros entre el límite de la zona de generación y el área de inundación máxima. Asimismo, los postes de la línea de transmisión o cualquier otra estructura, estará a una distancia mayor o igual a la señalada anteriormente.

Así entonces, en atención con lo dispuesto en la resolución DGA Exenta N°2116 de 2024 y en observancia de las guías “Permiso para efectuar modificaciones de cauce” (PAS 156) y “Permiso para efectuar obras de regularización o defensa de cauces naturales” (PAS 157), no resultan aplicables estos permisos al presente proyecto.

6. Conclusiones

- Dado que las cuencas en estudio no cuentan con información de mediciones efectivas de caudal, se realizó el cálculo mediante métodos indirectos, siguiendo los lineamientos señalados en la Guías Metodológicas para Proyectos de Modificación de Cauces” de la Dirección General de Aguas, y el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas.

- Se realizó un análisis de frecuencia de las precipitaciones obtenidas de las estaciones meteorológicas (pluviométricas) más cercanas al proyecto, correspondientes a la estación Pichidegua, Código BNA N°06019005-4, ubicada a aproximadamente 18 km, entre los años 1991 y 2024, con 34 años continuos de datos; y la estación pluviométrica Litueche, Código BNA 06055003-4, ubicada aproximadamente 16 km, entre los años 1979 y 2020, con 42 años continuos, es decir, en ambos casos más de los 25 años que exige la Guía Metodológica para la presentación y revisión de proyectos de modificación de cauce (DGA,2016). Para el análisis se utilizó la distribución Log-Pearson 3, aplicándose el test de bondad de ajuste de Smirnov-Kolmogorov, concluyéndose que la distribución elegida es correcta.

- Además, se realizó una estimación de precipitaciones máximas diarias a partir de las curvas isoyetas, según el informe DGA "Precipitaciones Máximas para 1, 2 y 3 días", donde se concluye que el proyecto se localiza en una zona pluviográfica de 120 mm para T=10 años, y mediante la aplicación de los coeficientes de frecuencia sector Rapel, se obtuvo las precipitaciones máximas diarias para periodos de retorno de hasta 100 años.

- Se determinó que el análisis de frecuencia realizado sobre los datos obtenidos de la estación Litueche arroja los resultados más elevados, los que son finalmente adoptados para resultados más conservadores.

- Mediante el método Racional, se obtuvieron los caudales para periodos de retorno de hasta 100 años.

- Se realizó una modelación bidimensional de todos los cauces cercanos al proyecto, a fin de determinar la inundación asociada a un período de retorno de 100 años. Los resultados mostraron amplias zonas de inundación, debido a que los cauces no están bien definidos en la parte alta, observándose algunas acumulaciones temporales de aguas lluvias. Si bien la zona inundable es amplia, las profundidades son en general menores a 1 cm, solamente en los sectores donde los álveos se encuentran bien definidos, se observan profundidades de aproximadamente 1 m. En el caso de los cauces cercanos al trazado de la línea de transmisión, estos no serán intervenidos.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

- Con todo, se determinaron las zonas de crecida máxima para periodos de retorno de hasta 100 años y, a partir de ello, se diseñaron todas las obras fuera de la zona inundable, con el fin de no intervenir ningún cauce natural
- Finalmente, dado que las obras se han diseñado fuera de la zona inundable, no son aplicables los PAS 156 y 157.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl

7. Revisión Bibliográfica.

- CHOW, VEN TE. *Applied Hydrology*. International Edition, McGraw-Hill Book Co. 1988.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. *Guía metodológica para la presentación y revisión técnica de modificaciones de cauces naturales y artificiales*. Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos. 2016.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. *Guía de reconocimiento de obras tipo y de procedimientos. Dirección General de Aguas*, Unidad de Fiscalización. 2009.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. *Informe de precipitaciones máximas para 1, 2 y 3 Días*. Dirección General de Aguas. 1991.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. *Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica*. Dirección General de Aguas. 1995.
- Ministerio de Obras Públicas de Chile. *Manual de Carreteras. Vol. 3, Capítulo 3.700, Diseño del Drenaje, Mecánica e Hidráulica Fluvial.* Dirección de Vialidad. 2023.
- Ministerio de Justicia de Chile. D.F.L N° 1122, Código de Aguas, Art. 41 y 171. 1981.
- Organización Mundial de Meteorología. *Volumen I – Normas meteorológicas de carácter general y normas recomendadas*. Reglamento Técnico OMM N° 49. Documentos fundamentales Nº 2. Edición 2015 actualizado en 2017.

(56 32) 2683222 1 Poniente N°123, Of. 213 Viña del Mar www.socoam.cl