DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

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

Decreto Exento N°257/2022

CAPITULO 3 / ANEXO 3.10

Análisis de aplicabilidad PAS 155/156/157

2026

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 4

2. IDENTIFICACIÓN DE OBRAS 5

3. IDENTIFICACIÓN DE CAUCES 10

4. METODOLOGÍA 12

4.1 TORRES Y SUBESTACIONES 12

4.1.1 Descarte por cabecera de cuenca o divisoria de aguas 12

4.1.2 Descarte por desnivel topográfico 14

4.1.3 Análisis altura normal 15

4.1.4 Modelación hidráulica bidimensional (2D) 19

4.2 CAMINOS 20

5. ANÁLISIS DE APLICABILIDAD 21

5.1 TORRES 22

5.2 SUBESTACIONES 24

5.3 CAMINOS 25

5.4 RESULTADOS ANÁLISIS DE APLICABILIDAD 27

6. CONCLUSIONES 29

7. BIBLIOGRAFÍA 30

8. APÉNDICES 31

APÉNDICE 1 – SIG 31

APÉNDICE 2 – TOPOGRAFÍA 31

APÉNDICE 3 - HIDROLOGÍA 31

APÉNDICE 4 – FICHAS 31

APÉNDICE 5 – ESTUDIO DE INUNDACIÓN 31

TABLAS

Tabla 2-1: Coordenadas vértices de la S/E Las Delicias, en UTM 18S. 7
Tabla 2-2: Coordenadas vértices de la S/E Coiquén, en UTM 18S. 7
Tabla 2-3: Coordenadas de torres de la Línea de transmisión de 220 kV, UTM 18S. 8
Tabla 2-4: Coordenadas de torres de la Línea 2x66 kV, UTM 18S. 8
Tabla 2-5: Coordenadas de caminos de acceso de la Línea de transmisión de 220 *kV*, en UTM 18S. 9
Tabla 2-6: Coordenadas de caminos de acceso de la Línea 2x66 *kV*, en UTM 18S. 9
Tabla 2-7: Coordenadas de caminos a modificar de la Línea de transmisión de 66 kV, en UTM 18S. 10
Tabla 5-1: Resultado filtro por divisoria de aguas o cabecera de cuenca. 22
Tabla 5-2: Torres que presentan desniveles mayores o iguales a la altura máxima según Glasner et al. (2025) y sus áreas aportantes. 23
Tabla 5-3: Resultados aplicabilidad torres según criterio de altura normal. 23
Tabla 5-4: Resultados aplicabilidad torres según criterio modelación hidráulica 2D. 24
Tabla 5-5: Resultado aplicabilidad Subestación Las Delicias. 25
Tabla 5-6: Resumen de interacciones entre los caminos de acceso con cauces naturales. Coordenadas en UTM 18S. 26
Tabla 5-7: Obras dentro del área de inundación asociada a la crecida de 100 años de periodo de retorno en la situación actual. 27
Tabla 6-1: Estructuras que les aplica PAS. 29

FIGURAS

Figura 1-1: Visión general de la Línea 2x66 kV Delicias-Coiquén y Línea Seccionamiento 220 kV en relación con la localidad de Quirihue XVI Región del Ñuble. 4
Figura 2-1: Ubicación de Subestaciones Las Delicias y Coiquén. 6
Figura 2-2: Ubicación geográfica de torres y caminos. 7
Figura 3-1: Identificación de cauces según cartografía IGM y red hídrica local. 11
Figura 4-1: Ejemplo de Torre ubicada en divisoria de aguas. 13
Figura 4-2: Ejemplo de Torre en cabecera de cuenca. 13
Figura 4-3: Ejemplo de interacción potencial con el sistema hídrico superficial. (a) Inspección visual en imagen satelital. (b) Identificación de depresión topográfica. 14
Figura 4-4: Relación entre la máxima altura de escurrimiento y el área aportante al cauce para escenarios de 100 años de período de retorno en cuencas chilenas menores (Glasner et al., 2025). 15
Figura 4-5: Estadísticas históricas de precipitación en la estación Coelemu (Línea azul continua) y máximos anuales (puntos rojos). 16
Figura 4-6: Análisis de frecuencia precipitaciones máximas en 24 horas y ajuste del modelo GEV. 17
Figura 4-7: Ejemplos de sectores donde se ha estimado el coeficiente de Manning en zonas similares al área de estudio. (a) $n = 0{,}050$; (b) $n = 0{,}054$. Fuente: *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS* (1989). . 18
Figura 4-8: Ejemplo de perfil transversal utilizado para estimar la altura normal (Torre E-2). Curvas de nivel cada 1 metro. 19
Figura 4-9: Ejemplo de modelación hidráulica 2D para la Torre E 21 (NE-21). 20
Figura 4-10: Ejemplo de atravieso identificado entre el camino de acceso a la torre E-12 y la red hídrica local. Curvas de nivel (líneas negras) espaciadas cada 0,5 m. 21
Figura 5-1: Perfil transversal utilizado para estimar la altura normal de la Subestación Las Delicias. Curvas de nivel cada 1 metro. 24

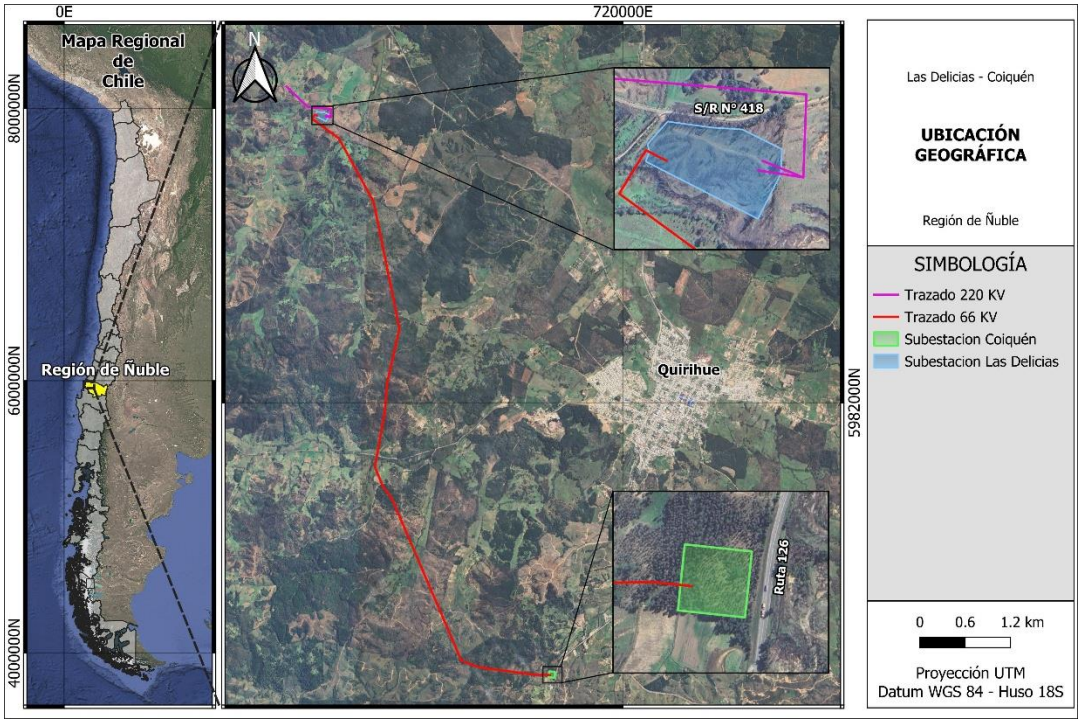
FIGURA 5-2: RESULTADO PROFUNDIDAD DE ESCURRIMIENTO SIN PROYECTO PARA T=100 AÑOS SUBESTACIÓN COIQUÉN. 25
FIGURA 5-3: IDENTIFICACIÓN DE INTERACCIONES ENTRE CAMINOS DE ACCESO CON CAUCES NATURALES. 26
FIGURA 5-4: RESULTADO PROFUNDIDAD DE ESCURRIMIENTO CON PROYECTO PARA T=100 AÑOS SUBESTACIÓN COIQUÉN. 28

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén" (en adelante el Proyecto), se elaboró un análisis de aplicabilidad de Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) 155, 156 y 157, asociados a los caminos de acceso, torres y subestaciones que pudieran interactuar con cauces presentes en la zona de estudio. Para efectos de estos permisos, y conforme a la normativa vigente, se entiende por cauce la superficie susceptible de inundación frente a una crecida con un periodo de retorno de 100 años.

El Proyecto se ubica en la comuna de Quirihue, Región del Ñuble, y consiste en una Línea de transmisión eléctrica de 2x66 kV con una extensión de 9,1 km y 39 torres. Esta infraestructura conecta las subestaciones Las Delicias y Coiquén, ambas integradas en el alcance del estudio. Adicionalmente, el Proyecto incluye una Línea de 220 kV de aproximadamente 865 m de longitud, que contempla 6 torres asociadas a la S/E Las Delicias. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta una visión general del Proyecto.

Figura 1-1: Visión general de la Línea 2x66 kV Delicias-Coiquén y Línea Seccionamiento 220 kV en relación con la localidad de Quirihue XVI Región del Ñuble.



El presente estudio analiza la posible interacción entre las estructuras proyectadas y los cauces identificados, con el fin de determinar la pertinencia de los permisos ambientales correspondientes.

2. IDENTIFICACIÓN DE OBRAS

El Proyecto es un sistema de transmisión eléctrica de dos líneas (66 kV y 220 kV), el cual contempla las siguientes obras:

- 2 subestaciones, S/E Las Delicias y S/E Coiquén
- 41 torres, de las cuales 37 corresponden a la línea de 66 kV y 4 a la de 220 KV.
- 42 caminos de acceso, de los cuales 40 corresponden a caminos a construir y 2 caminos existentes a modificar.

La posible interacción del Proyecto con el sistema hídrico depende directamente de la ubicación de sus distintas estructuras. En este contexto, en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y

Figura **2-2** se muestra la disposición general de las subestaciones Las Delicias y Coiquén, así como la distribución espacial de los caminos y torres del Proyecto. De la Tabla 2-1 a la

Tabla 2-7 se presentan las coordenadas (en UTM 18S) de los vértices que delimitan las subestaciones y las estructuras asociadas a las líneas de 220 kV y 66 kV.

En el Apéndice 1 – Proyecto de los anexos digitales del presente documento se encuentran las capas vectoriales (formato shapefile) con la ubicación geográfica de las obras mencionadas anteriormente y sus respectivas coordenadas.

Figura 2-1: Ubicación de Subestaciones Las Delicias y Coiquén.

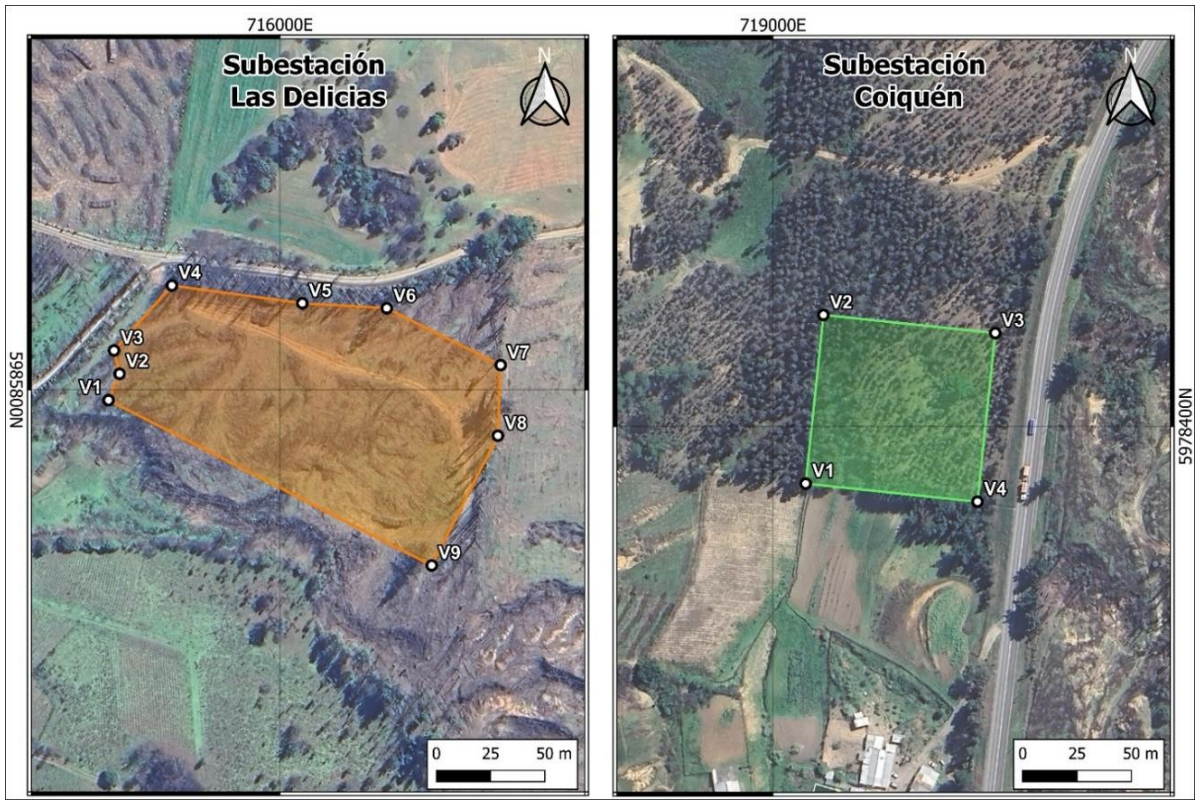


Figura 2-2: Ubicación geográfica de torres y caminos.

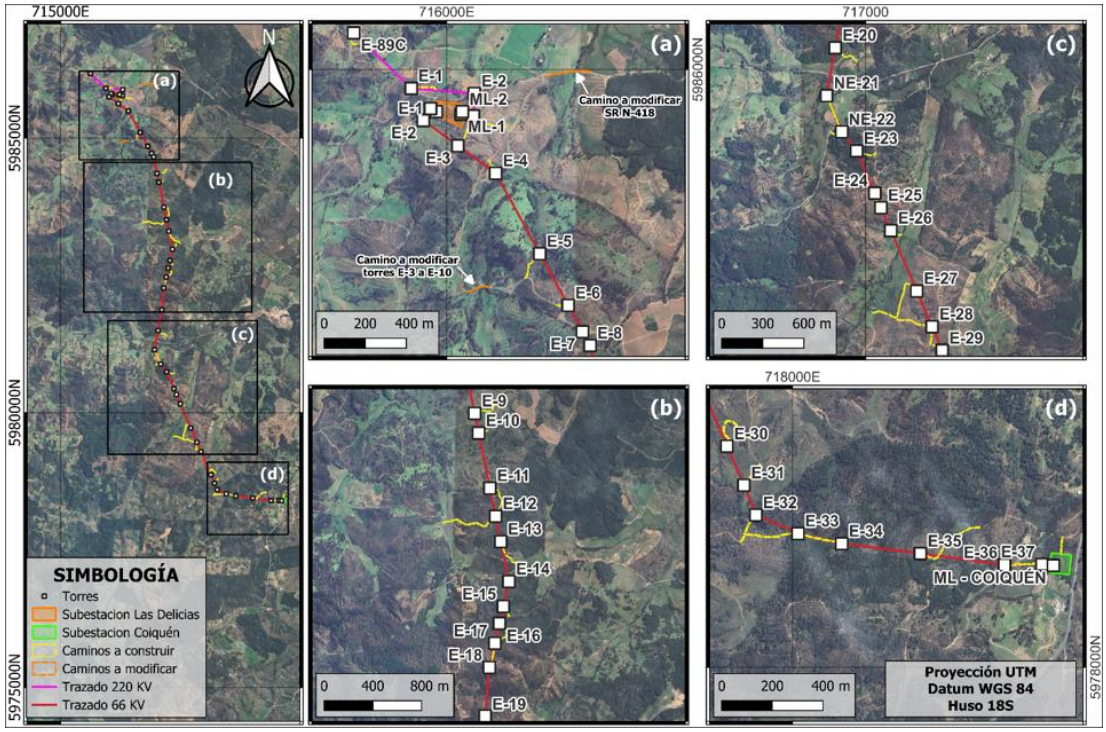


Tabla 2-1: Coordenadas vértices de la S/E Las Delicias, en UTM 18S.

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n..m.)
V1	715.921,17	5.985.795,25	260
V2	715.926,24	5.985.807,35	261
V3	715.923,68	5.985.818,10	261
V4	715.950,32	5.985.847,97	263
V5	716.010,36	5.985.839,82	267
V6	716.049,24	5.985.837,52	268
V7	716.101,61	5.985.811,36	273
V8	716.100,34	5.985.778,88	274
V9	716.069,90	5.985.719,21	268

Tabla 2-2: Coordenadas vértices de la S/E Coiquén, en UTM 18S.

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n.m)
V1	719.015,09	5.978.373,72	234
V2	719.023,27	5.978.451,29	229
V3	719.102.33	5.978.442,95	237
V4	719.094,16	5.978.365,38	240

Tabla 2-3: Coordenadas de torres de la Línea de transmisión de 220 kV, UTM 18S.

Torre	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n..m.)
E-1	715.827,51	5.985.908,73	253
E-2	716.134,08	5.985.883,74	268
E-3	716.130,00	5.985.774,13	269
E-89C	715.547,08	5.986.178,99	273
ML-1	716.069,95	5.985.783,39	272
ML-2	716.076,31	5.985.795,86	273

Tabla 2-4: Coordenadas de torres de la Línea 2x66 kV, UTM 18S.

Torre	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n..m.)
ML-DELICIAS	715.949,07	5.985.795,88	262
E-1	715.921,50	5.985.810,10	261
E-2	715.886,13	5.985.752,60	260
E-3	716.054,10	5.985.629,83	276
E-4	716.238,67	5.985.495,15	255
E-5	716.453,55	5.985.104,37	256
E-6	716.591,32	5.984.853,82	298
E-7	716.661,89	5.984.725,49	316
E-8	716.698,64	5.984.658,65	313
E-9	716.760,04	5.984.358,20	305
E-10	716.793,05	5.984.196,66	294
E-11	716.885,37	5.983.744,89	305
E-12	716.932,42	5.983.514,60	312
E-13	716.975,03	5.983.306,09	281
E-14	717.041,91	5.982.978,82	292
E-15	716.995,27	5.982.774,88	317
E-16	716.963,35	5.982.635,35	327
E-17	716.926,22	5.982.472,99	333
E-18	716.881,08	5.982.273,67	337
E-19	716.846,59	5.981.875,80	320
E-20	716.779,00	5.981.499,46	270
NE-21	716.716,34	5.981.150,16	223
NE-22	716.826,36	5.980.887,71	234
E-23	716.935,50	5.980.747,51	254
E-24	717.068,08	5.980.439,00	279
E-25	717.113,41	5.980.333,51	278
E-26	717.185,23	5.980.166,40	237
E-27	717.374,51	5.979.725,95	243
E-28	717.486,50	5.979.465,36	283
E-29	717.560,37	5.979.293,46	276
E-30	717.740,72	5.978.873,80	297
E-31	717.807,13	5.978.719,26	306
E-32	717.855,53	5.978.601,09	298
E-33	718.021,34	5.978.528,94	305
E-34	718.194,63	5.978.488,94	308
E-35	718.505,18	5.978.449,50	274
E-36	718.838,22	5.978.404,85	268
E-37	718.986,61	5.978.406,89	234
ML-COIQUEN	719.031,36	5.978.402,17	232

Tabla 2-5: Coordenadas de caminos de acceso de la Línea de transmisión de 220 *kV,* en UTM 18S.

Camino	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n..m.)
ACCESO A TORRE E-1	715.888,20	5.985.912,35	256
ACCESO A TORRE E-2	716.144,68	5.985.880,05	267
ACCESO A TORRE E-3	716.129,26	5.985.833,58	269
ACCESO A TORRE E-89C	715.540,83	5.986.146,87	276

Tabla 2-6: Coordenadas de caminos de acceso de la Línea 2x66 *kV*, en UTM 18S.

Camino	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s..n..m.)
ACCESO A TORRE E-2	715.880,47	5.985.769,71	257
ACCESO A TORRE E-3	716.154,85	5.985.711,13	272
ACCESO A TORRE E-4	716.222,65	5.985.526,24	249
ACCESO A TORRE E-5	716.411,00	5.985.051,27	259
ACCESO A TORRE E-6	716.565,62	5.984.852,33	298
ACCESO A TORRE E-7	716.652,61	5.984.733,73	313
ACCESO A TORRE E-8	716.700,78	5.984.666,80	315
ACCESO A TORRE E-9	716.855,20	5.984.383,84	320
ACCESO A TORRE E-10	716.829,86	5.984.206,94	301
ACCESO A TORRE E-12	716.724,07	5.983.462,94	309
ACCESO A TORRE E-11	716.953,86	5.983.646,54	315
ACCESO A TORRE E-13	717.056,01	5.983.182,01	265
ACCESO A TORRE E-14	717.082,65	5.983.022,04	279
ACCESO A TORRE E-15	717.023,31	5.982.732,70	303
ACCESO A TORRE E-16	716.976,94	5.982.639,70	328
ACCESO A TORRE E-17	716.990,86	5.982.549,35	324
ACCESO A TORRE E-18	716.908,75	5.982.372,84	321
ACCESO A TORRE E-20	716.856,38	5.981.446,07	230
ACCESO A TORRE NE-21	716.761,90	5.981.040,91	224
ACCESO A TORRE NE-22	716.788,62	5.980.872,76	235
ACCESO A TORRE E-23	717.005,87	5.980.726,10	260
ACCESO A TORRE E-24	717.079,91	5.980.449,08	277
ACCESO A TORRE E-25	717.089,08	5.980.385,16	280
ACCESO A TORRE E-26	717.223,64	5.980.147,41	229
ACCESO A TORRE E-27	717.277,10	5.979.676,84	234
ACCESO A TORRE E-28	717.484,06	5.979.450,57	283
ACCESO A TORRE E-29	717.343,23	5.979.466,50	254
ACCESO A TORRE E-30	717.763,41	5.978.932,80	288
ACCESO A TORRE E-31	717.840,19	5.978.760,90	312
ACCESO A TORRE E-32	717.821,51	5.978.546,20	304
ACCESO A TORRE E-33	717.916,99	5.978.520,88	311
ACCESO A TORRE E-34	718.111,53	5.978.507,16	311
ACCESO A TORRE E-35	718.623,94	5.978.493,95	249

Camino	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)
ACCESO A TORRE E-36	718.914,67	5.978.406,67	248
ACCESO A TORRE E-37	719.002,23	5.978.403,88	232
ACCESO A SUBESTACIÓN COIQUÉN	719.063,67	5.978.480,08	229

Tabla 2-7: Coordenadas de caminos a modificar de la Línea de transmisión de 66 kV, en UTM 18S.

Nombre	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m s.n.m.)
Camino existente a modificar S/R N-418 / Camino existente a Subestación Las Delicias	716.598,65	5.985.986,36	212
Camino existente a modificar torres E-3 a E-10	716.157,28	5.984.935,71	224

3. IDENTIFICACIÓN DE CAUCES

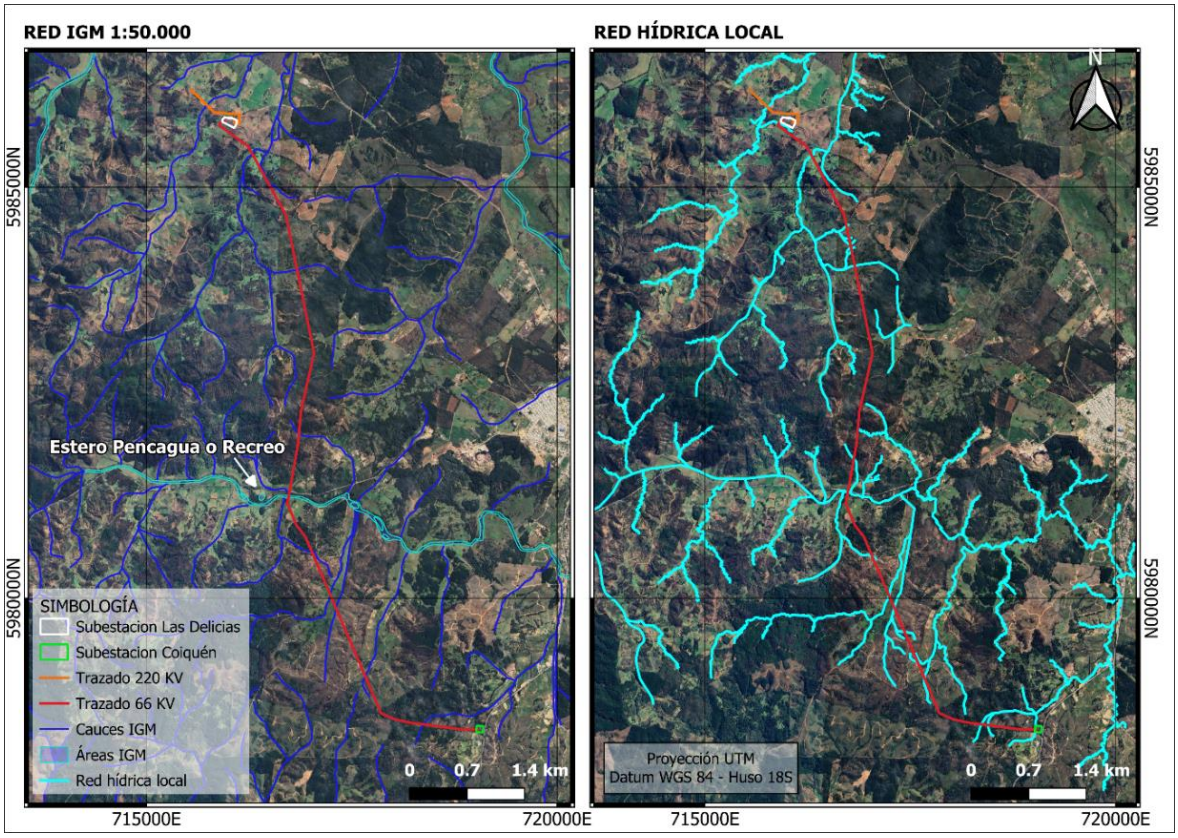
La identificación de cauces se realizó mediante el análisis de distintas fuentes de información, considerando la cartografía IGM escala 1:50.000, la red hídrica del IDE, el Modelo de Elevación Digital (DEM) ALOS-PALSAR y el levantamiento topográfico del Proyecto, cuyos archivos se encuentran en el Apéndice 1 – Cauces.

En primer lugar, se revisaron las redes hidrográficas del IGM y del IDE, constatando que la primera presenta una mayor densidad de cauces e incluye la totalidad de los identificados en el IDE. Con el propósito de complementar estas fuentes de información y precisar la identificación de los cauces, se utilizó el DEM ALOS-PALSAR, considerando un umbral mínimo de 0,1 km^2 de superficie aportante para generar la red hídrica. Esta información se contrastó con la cartografía IGM y se complementó con el levantamiento topográfico del Proyecto, permitiendo incorporar aquellos cauces no representados en las fuentes anteriores. Como resultado, se obtuvo una red hídrica de mayor detalle, que integra las distintas fuentes de información y contiene la totalidad de los cauces identificados en la cartografía IGM.

Una vez definida la red hídrica local, en aquellas etapas del análisis que requieren determinar las áreas aportantes de los cauces, se utiliza el DEM ALOS-PALSAR y el DEM de detalle para delimitar las cuencas aportantes y calcular sus respectivas superficies.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los cauces identificados en la cartografía IGM 1:50.000 (izquierda) y la red hídrica local delimitada (derecha), siendo esta última la que se utilizará en adelante para el desarrollo del análisis de aplicabilidad.

Figura 3-1: Identificación de cauces según cartografía IGM y red hídrica local.



4. METODOLOGÍA

El análisis de aplicabilidad se desarrolla mediante una evaluación de las obras del Proyecto, integrando antecedentes topográficos, cartográficos e hidrológicos, con el propósito de identificar aquellas estructuras que presentan una potencial interacción con cauces naturales durante eventos de crecida. Para ello, se adopta un enfoque conservador, considerando criterios de evaluación que permiten identificar las obras que requieren un análisis hidráulico de mayor detalle.

La metodología se diferencia según el tipo de obra analizada. Para las torres y subestaciones se aplica un procedimiento sucesivo, basado en criterios de localización, desnivel topográfico y estimación de altura normal, complementado mediante modelaciones hidráulicas bidimensionales (2D) cuando corresponde. Por su parte, para los caminos de acceso se identifican los cruces directos entre los trazados proyectados y la red hídrica, con el fin de determinar su interacción con los cauces naturales.

4.1 TORRES Y SUBESTACIONES

El análisis de aplicabilidad para las torres y subestaciones del Proyecto considera la aplicación sucesiva de cuatro criterios de evaluación, destinados a identificar las obras potencialmente expuestas a inundaciones asociadas a la crecida centenaria de los cauces naturales. Estos criterios comprenden la identificación de obras emplazadas en cabeceras de cuenca o divisoria de aguas, la evaluación del desnivel topográfico respecto de los cauces cercanos, la estimación de altura normal y, finalmente, la modelación hidráulica bidimensional (2D) en aquellos casos donde los criterios anteriores no permiten descartar la interacción potencial.

Este procedimiento permite concentrar los análisis de mayor detalle en las estructuras que presentan condiciones topográficas e hidráulicas favorables para una eventual interacción con los escurrimientos superficiales. El detalle de cada procedimiento empleado se describe a continuación:

4.1.1 Descarte por cabecera de cuenca o divisoria de aguas

A partir de la red hídrica identificada, el levantamiento topográfico del Proyecto y la revisión de imágenes satelitales, se identifican las estructuras emplazadas en cabeceras de cuenca o sobre divisorias de aguas. Este criterio permite descartar preliminarmente la interacción con cauces naturales en aquellos sectores donde no existen áreas aportantes aguas arriba que generen escurrimientos hacia las obras analizadas.

Como ejemplo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la Torre E-29, ubicada sobre una divisoria de aguas, condición que permite descartar su

interacción con los cauces presentes en el sector. De manera similar, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la Torre E-7, emplazada en la cabecera de una cuenca, donde tampoco se identifica un aporte superficial aguas arriba que pueda generar una interacción con la estructura.

Figura 4-1: Ejemplo de Torre ubicada en divisoria de aguas.

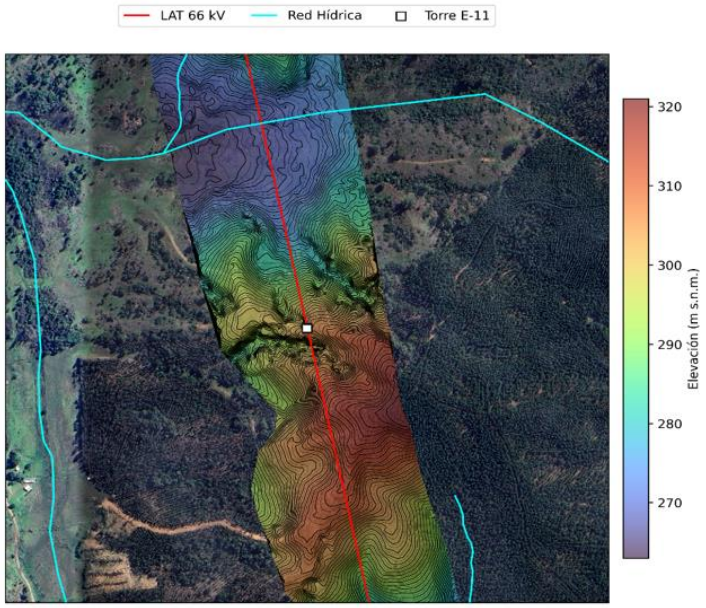
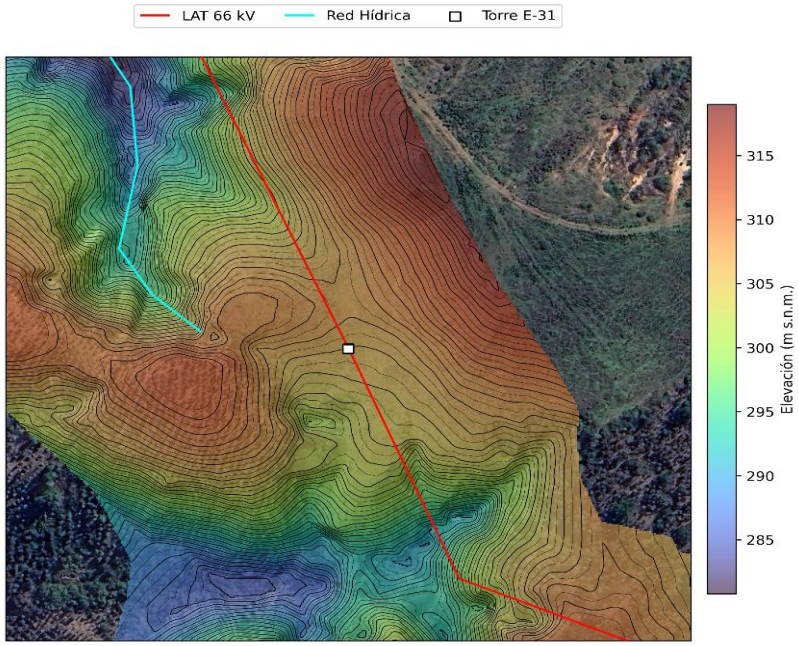


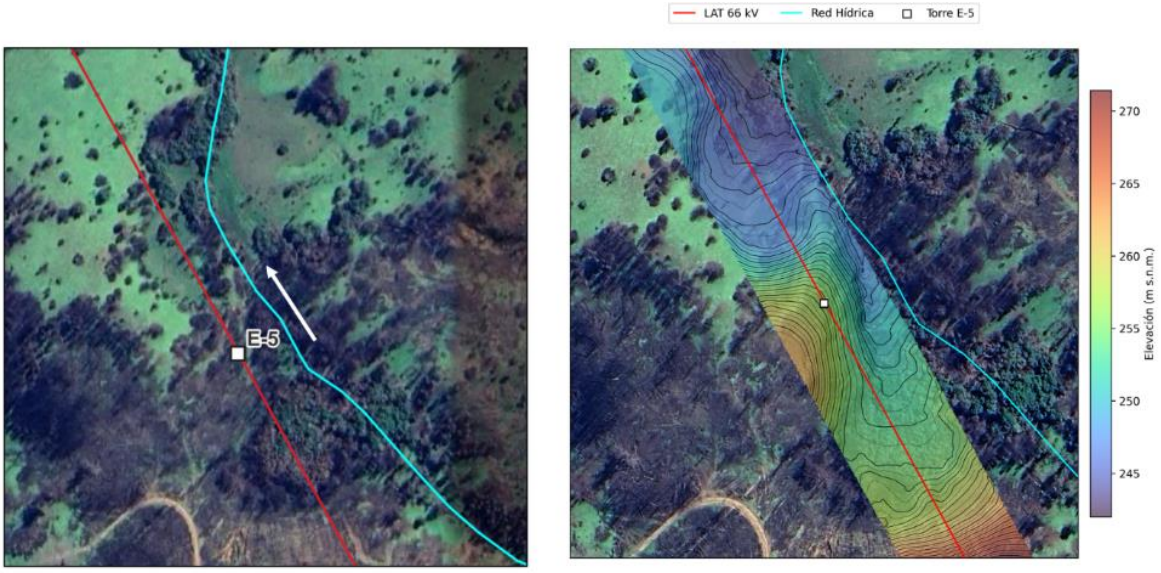
Figura 4-2: Ejemplo de Torre en cabecera de cuenca.



4.1.2 Descarte por desnivel topográfico

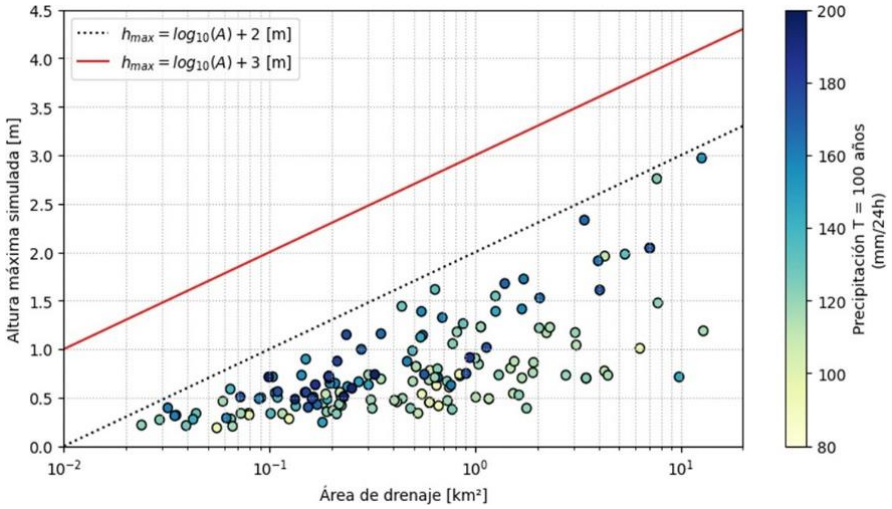
Para las estructuras que no son descartadas mediante el criterio anterior, se evalúa su posición respecto de los cauces o depresiones topográficas más cercanas. Para ello, se determina la distancia horizontal y la diferencia de elevación desde cada estructura hacia la depresión identificada, a partir de la información topográfica disponible y su interpretación mediante imágenes satelitales. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta un ejemplo de este procedimiento, en el cual se identifica la depresión topográfica más cercana a la Torre E-5 y se analiza su relación espacial y altimétrica con el emplazamiento de la estructura.

Figura 4-3: Ejemplo de interacción potencial con el sistema hídrico superficial. (a) Inspección visual en imagen satelital. (b) Identificación de depresión topográfica.



Como referencia para establecer el criterio de descarte, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la relación entre la altura máxima de escurrimiento y el área aportante para cuencas chilenas menores (Área $< 20\,\text{km}^2$), considerando un periodo de retorno de 100 años (Glasner et al., 2025). A partir de estos antecedentes, y considerando que las cuencas involucradas en el análisis presentan superficies menores a 20 km^2, se adopta el desnivel asociado a la envolvente superior de los datos con un resguardo de 1 metro como criterio para descartar el riesgo de inundación.

Figura 4-4: Relación entre la máxima altura de escurrimiento y el área aportante al cauce para escenarios de 100 años de período de retorno en cuencas chilenas menores (Glasner et al., 2025).



4.1.3 Análisis altura normal

Las estructuras que no pueden descartarse mediante los criterios topográficos anteriores son evaluadas a partir de una estimación de la altura normal de escurrimiento del cauce más cercano. La altura normal se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\frac{Q \cdot n}{\sqrt{i}} = A \cdot R_h^{2/3}$$

donde Q corresponde al caudal, n al coeficiente de rugosidad de Manning, i la pendiente media del cauce, A al área mojada y R_h el radio hidráulico. A continuación, se presenta el método de cálculo de cada uno de estos parámetros:

4.1.3.1 Estimación de caudales

Para la estimación de los caudales, y considerando que las cuencas aportantes presentan superficies menores o iguales a 20 km^2, se aplica el método racional, cuya expresión general corresponde a:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

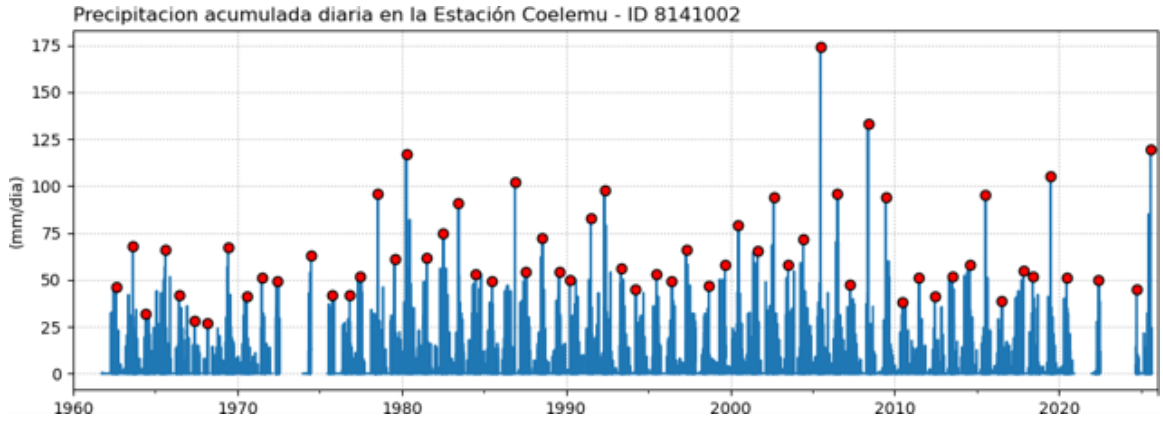
donde Q corresponde al caudal, C al coeficiente de escorrentía, I a la intensidad de precipitación de diseño y A al área de drenaje.

Las áreas aportantes se determinan a partir del modelo digital de elevación ALOS PALSAR. De manera conservadora, se adopta un coeficiente de escorrentía C = 0,55, representativo de quebradas de alta pendiente con vegetación y bajo potencial de

infiltración y almacenamiento superficial (Manual de Carreteras, 2023; Ven Te Chow, 1994).

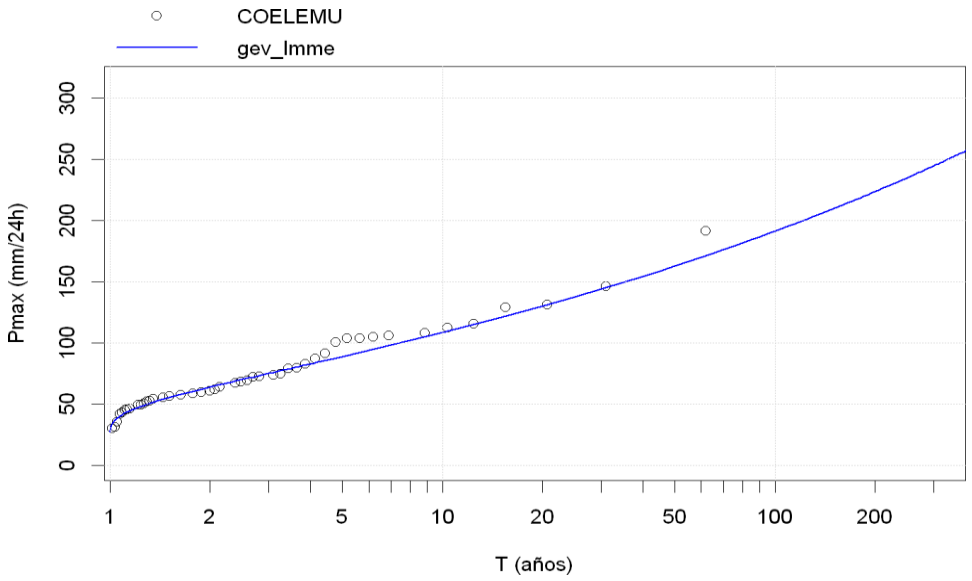
La intensidad de precipitación se determina a partir del análisis estadístico de registros históricos, ajustando posteriormente la precipitación mediante coeficientes de duración para obtener la intensidad correspondiente a la duración adoptada. Para ello, se utiliza la información de la estación Coelemu, ubicada aproximadamente a 30 km al suroeste de Quirihue, sobre el río Itata, que dispone de registros de precipitación diaria desde 1961, cuyos datos se encuentran en el **Apéndice 3 - Hidrología**. La máxima precipitación diaria registrada corresponde a 174 mm, observada el 28 de junio de 2005. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las precipitaciones históricas y sus respectivos máximos anuales.

Figura 4-5: Estadísticas históricas de precipitación en la estación Coelemu (Línea azul continua) y máximos anuales (puntos rojos).



Para el análisis de frecuencia, se utiliza la serie de precipitaciones máximas anuales, aplicando un factor de 1,1 para transformar los máximos diarios en precipitaciones máximas en 24 horas. Posteriormente, se ajusta la distribución de valores extremos generalizados (GEV), cuyos parámetros se estiman mediante L-momentos. La bondad de ajuste se evalúa mediante el test de Kolmogorov–Smirnov (p-valor = 0,82) y una inspección visual, obteniéndose una precipitación de diseño de 191,1 mm en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años, según se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Figura 4-6: Análisis de frecuencia precipitaciones máximas en 24 horas y ajuste del modelo GEV.



De manera conservadora, se adopta el tiempo de concentración mínimo de 10 minutos, conforme a lo recomendado en la "Guía para presentación de Proyectos de modificación de cauces" (DGA, 2016).

Utilizando el coeficiente de duración de 1 hora de la estación Concepción Cd = 0,19, y la relación de Bell (Manual de Carreteras, 2023), se obtiene una intensidad de precipitación de diseño de aproximadamente 100 mm/hr. Bajo estas condiciones, la aplicación del método racional permite obtener un rendimiento específico del orden de $15 m^3/s/km^2$, el cual se utiliza para estimar los caudales asociados a las áreas aportantes de cada estructura.

4.1.3.2 Determinación del Coeficiente de Manning

Para la estimación del coeficiente de rugosidad, se adopta un coeficiente de Manning de *n* = 0,06, considerado conservador respecto de los valores reportados por el USGS (1989) en la publicación "Guide *for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*", para cauces naturales de características similares a los presentes en el área de estudio. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran ejemplos de condiciones de rugosidad comparables, cuyos coeficientes son inferiores al valor adoptado.

Figura 4-7: Ejemplos de sectores donde se ha estimado el coeficiente de Manning en zonas similares al área de estudio. (a) *n* = 0,050; (b) *n* = 0,054. Fuente: *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains, USGS* (1989).

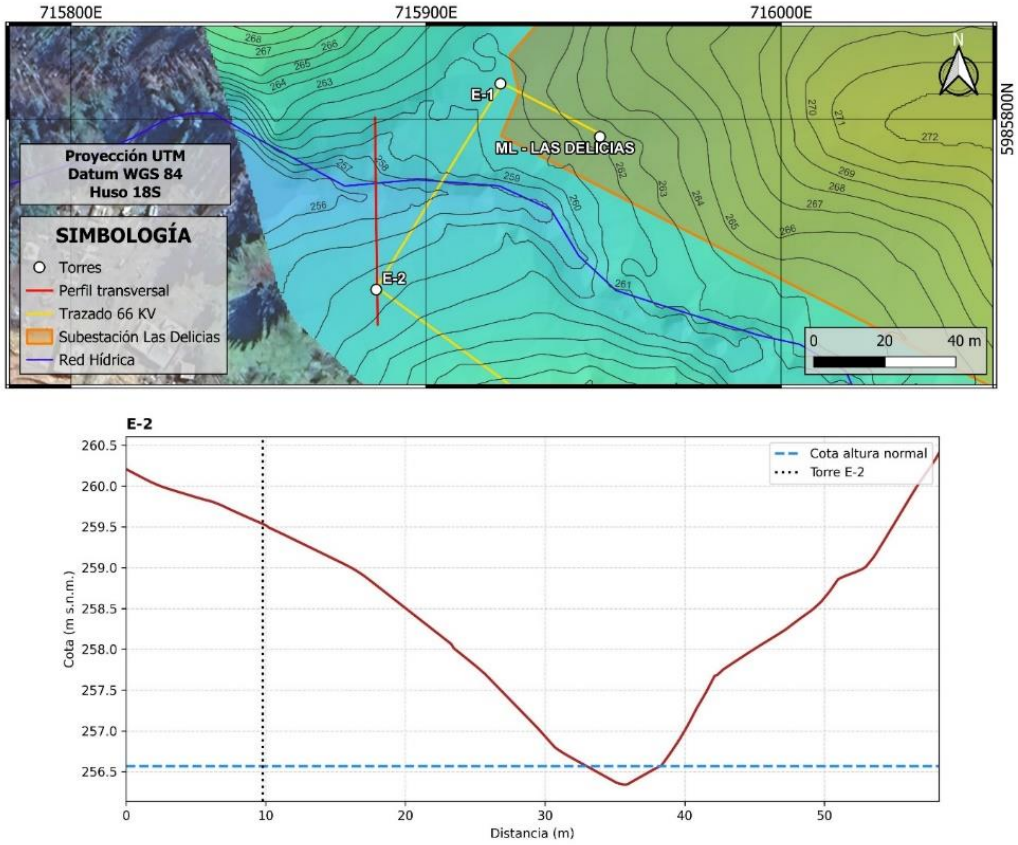


4.1.3.3 Geometría del cauce

Posteriormente, se caracteriza la geometría del cauce con los perfiles transversales trazados y se determina la pendiente media del cauce a partir de la información topográfica. Considerando los caudales, el coeficiente de Manning y los perfiles transversales, se estima la altura normal de escurrimiento.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta un ejemplo de la sección transversal junto con la cota de la altura normal calculada en las proximidades de la Torre E-2. Finalmente, la cota del nivel de agua se compara con la elevación de cada estructura, a fin de evaluar si existe una interacción potencial con el escurrimiento asociado a la crecida de diseño.

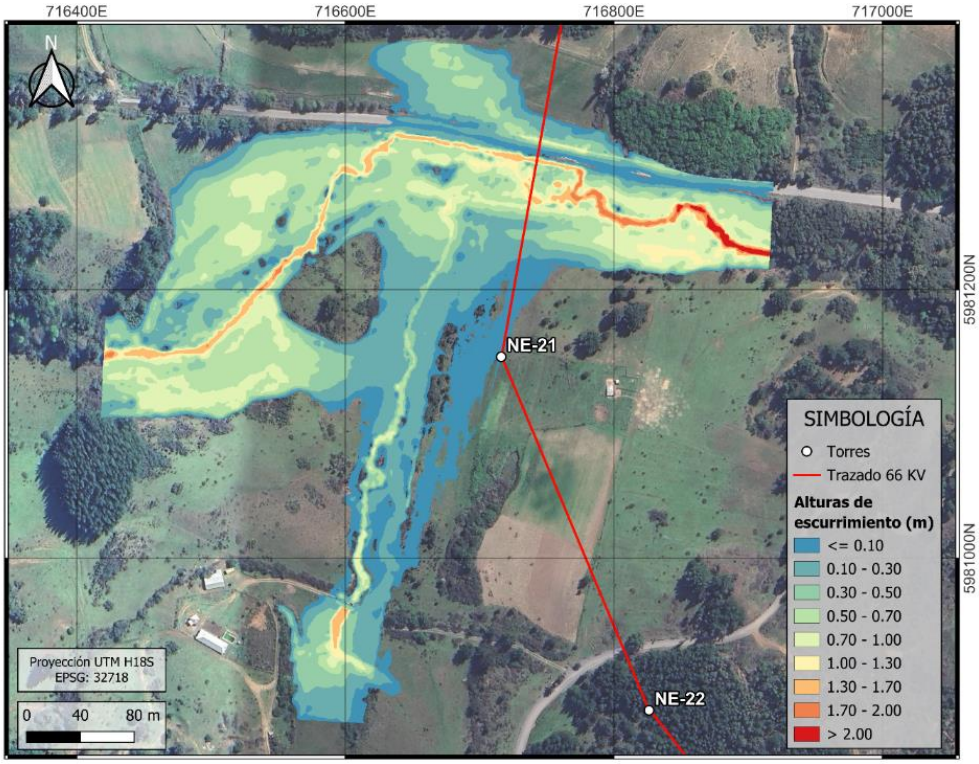
Figura 4-8: Ejemplo de perfil transversal utilizado para estimar la altura normal (Torre E-2). Curvas de nivel cada 1 metro.



4.1.4 Modelación hidráulica bidimensional (2D)

Esta etapa se aplica a las estructuras que no presentan una revancha suficiente para descartar el riesgo de inundación mediante el método de altura normal**.** Para estos casos, se desarrollan modelaciones hidráulicas bidimensionales (2D) para la crecida centenaria mediante el software HEC-RAS, con el objetivo de caracterizar la distribución espacial del escurrimiento, determinar la extensión y profundidad de las áreas inundadas, y evaluar con mayor detalle la interacción entre el flujo y las estructuras. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un ejemplo de las alturas de escurrimiento obtenidas para la Torre E 21 (NE-21).

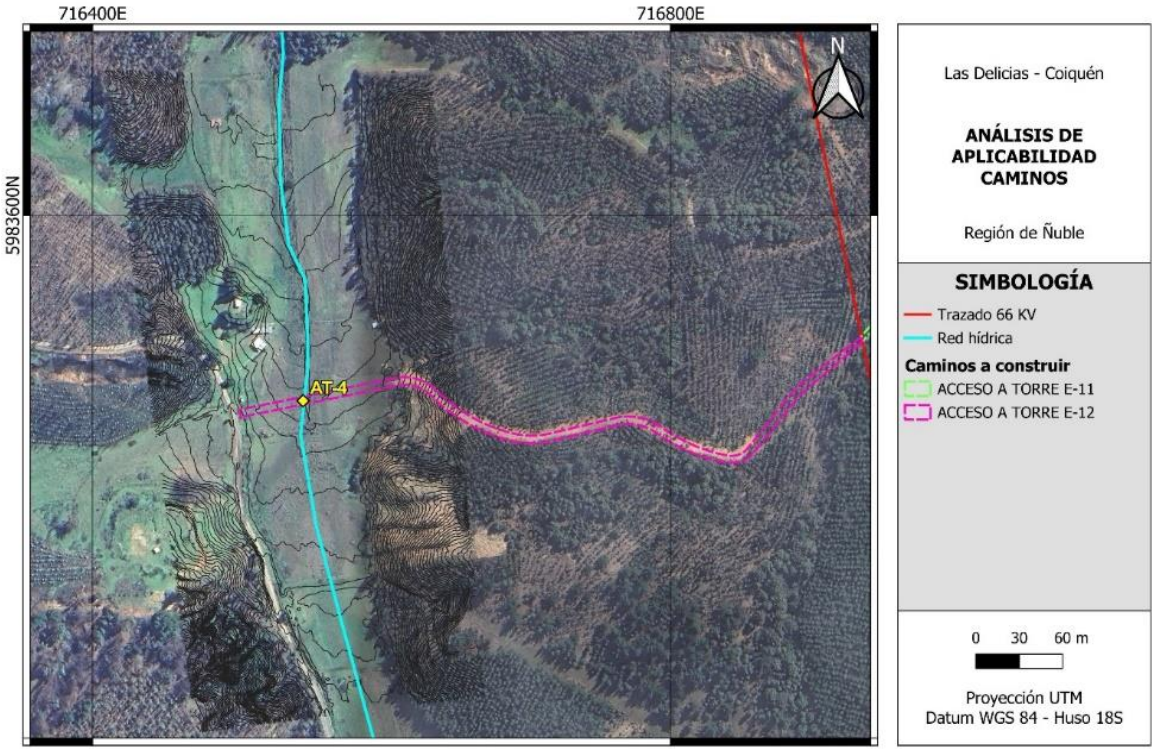
Figura 4-9: Ejemplo de modelación hidráulica 2D para la Torre E 21 (NE-21).



4.2 CAMINOS

El análisis de aplicabilidad para los caminos de acceso consiste en identificar las intersecciones entre los trazados proyectados y la red hídrica local, utilizando información cartográfica y topográfica disponible. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta un ejemplo de esta condición, donde se observa el cruce de un camino de acceso a construir con un cauce natural, determinando la aplicabilidad del PAS correspondiente.

Figura 4-10: Ejemplo de atravieso identificado entre el camino de acceso a la torre E-12 y la red hídrica local. Curvas de nivel (líneas negras) espaciadas cada 0,5 m.



5. ANÁLISIS DE APLICABILIDAD

En este apartado se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología descrita para las torres, subestaciones y caminos de acceso.

Para complementar los resultados expuestos en las siguientes secciones, en el Apéndice 4 – Fichas se encuentran las figuras en planta de cada obra, donde se detalla la red hídrica y los cauces identificados en las inmediaciones de cada obra, respaldando así los filtros aplicados: cabeceras de cuenca, divisorias de agua, desniveles, cálculo de altura normal y modelación 2D. Asimismo, en el Apéndice 1 – SIG se encuentran los perfiles transversales y resultados de cálculo de altura normal, que respaldan el análisis hidráulico realizado para las obras analizadas por dicho método. Para el caso de los modelos en HEC-RAS, el detalle de las geometrías, la configuración y el análisis de sus resultados se presentan en el documento Apéndice 5 - Estudio de Inundación.

5.1 TORRES

En primer lugar, se descartaron las torres ubicadas en cabeceras de cuencas y/o en la divisoria de aguas. En la Tabla 5-1 se presentan las estructuras a las cuales no les aplica PAS, de acuerdo con estos criterios.

Tabla 5-1: Resultado filtro por divisoria de aguas o cabecera de cuenca.

Línea (kV)	Torre	Razón de descarte
220	E-2	Divisoria de aguas
220	E-3	Cabecera de cuenca
220	E-89C	Divisoria de aguas
220	ML-1	Cabecera de cuenca
220	ML-2	Cabecera de cuenca
66	E-3	Cabecera de cuenca
66	E-7	Cabecera de cuenca
66	E-8	Cabecera de cuenca
66	E-10	Cabecera de cuenca
66	E-11	Divisoria de aguas
66	E-12	Divisoria de aguas
66	E-13	Divisoria de aguas
66	E-14	Divisoria de aguas
66	E-15	Cabecera de cuenca
66	E-16	Cabecera de cuenca
66	E-17	Cabecera de cuenca
66	E-18	Cabecera de cuenca
66	E-19	Divisoria de aguas
66	E-20	Divisoria de aguas
66	E-23	Divisoria de aguas
66	E-24	Cabecera de cuenca
66	E-25	Cabecera de cuenca
66	E-28	Cabecera de cuenca
66	E-29	Divisoria de aguas
66	E-31	Cabecera de cuenca
66	E-32	Cabecera de cuenca
66	E.33	Cabecera de cuenca
66	E-34	Cabecera de cuenca

En segundo lugar, se aplicó el criterio de descarte por desnivel. Para ello, se calculó el desnivel de manera manual y se complementó con el cálculo de la altura máxima según Glasner et al (2025). Al comparar los valores, se observó que los desniveles calculados son muy superiores a los valores obtenidos con la formula, y por lo tanto se verifica su descarte. En la Tabla 5-2 se muestran las torres excluidas según este criterio.

Tabla 5-2: Torres que presentan desniveles mayores o iguales a la altura máxima según Glasner et al. (2025) y sus áreas aportantes.

Línea (kV)	Torre	Área aportante (km^2)	Desnivel (m)	Altura máxima (m), Glasner et al. (2025)
220	E-1	3,31	17,1	3,52
66	E-1	0,09	5,8	1,95
66	E-4	5,06	14,7	3,70
66	E-5	0,16	6,3	2,20
66	E-6	0,13	21*	2,11
66	E-9	0,003	5,5	0,48
66	NE-22	0,64	8,37	2,81
66	E-26	2,00	11,2	3,30
66	E-27	0,05	7,7	1,70
66	E-30	0,03	16,2	1,48
66	E-35	0,03	15,1	1,48
66	E-36	0,18	35,8	2,26

*Calculado con DEM ALOS – PALSAR. No hay topografía de detalle suficiente en el sector.

En tercer lugar, en la Tabla 5-3 presentan los resultados de las alturas normales, sus revanchas y si requiere o no modelación 2D.

Tabla 5-3: Resultados aplicabilidad torres según criterio de altura normal.

Obra	Área Aportante	Caudal (m^3/s)	Altura normal (m)	Revancha (m)	Altura máx. (m),	¿Requiere modelación
ML-DELICIAS	0,024	0,37	0,18	3,6	1,38	No
E-2 LAT 66kV	0,035	0,53	0,23	1,89	1,54	No
NE-21	0,71	10,8	0,43	0,0	2,85	Si
E-37 LAT 66kV	0,20	3,11	0,23	1,2	2,30	Si
ML-COIQUEN	0,20	3,11	0,23	0,0	2,30	Si

Finalmente, de acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 5-3, la torre ML- Las Delicias y la torre E-2 de la línea 66kV presentan una revancha suficiente para descartar el riesgo de inundación mediante el método de altura normal, por lo que no requirieron de una modelación 2D adicional. Por el contrario, para las torres NE-21 y E-37, junto con la torre ML-Coiquén, se desarrollaron modelos hidráulicos bidimensionales que permitieron determinar que la torre NE-21 y la ML- Coiquén se emplazan dentro del área de inundación asociada a la crecida centenaria, mientras que la torre E-37 quedó fuera de dicha mancha de inundación (Apéndice 5 – Estudio de Inundación). El resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Resultados aplicabilidad torres según criterio modelación hidráulica 2D.

Obra	Resultado modelo 2D
Torre NE-21 LAT 66kV	Se inunda
Torre E-37 LAT 66kV	No se inunda
ML-COIQUEN	Se inunda

5.2 SUBESTACIONES

La S/E Las Delicias queda fuera del área de inundación para la crecida centenaria, de acuerdo con el cálculo de la altura normal realizado para la torre ML-Las Delicias, ubicada en su interior. Tal como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se detalla en la Tabla 5-5, el nivel del agua se sitúa aproximadamente 2,8 m por debajo de la cota del terreno, medida en la ladera más baja de la S/E cercana al cauce, lo que permite descartar su aplicabilidad del PAS.

Figura 5-1: Perfil transversal utilizado para estimar la altura normal de la Subestación Las Delicias. Curvas de nivel cada 1 metro.

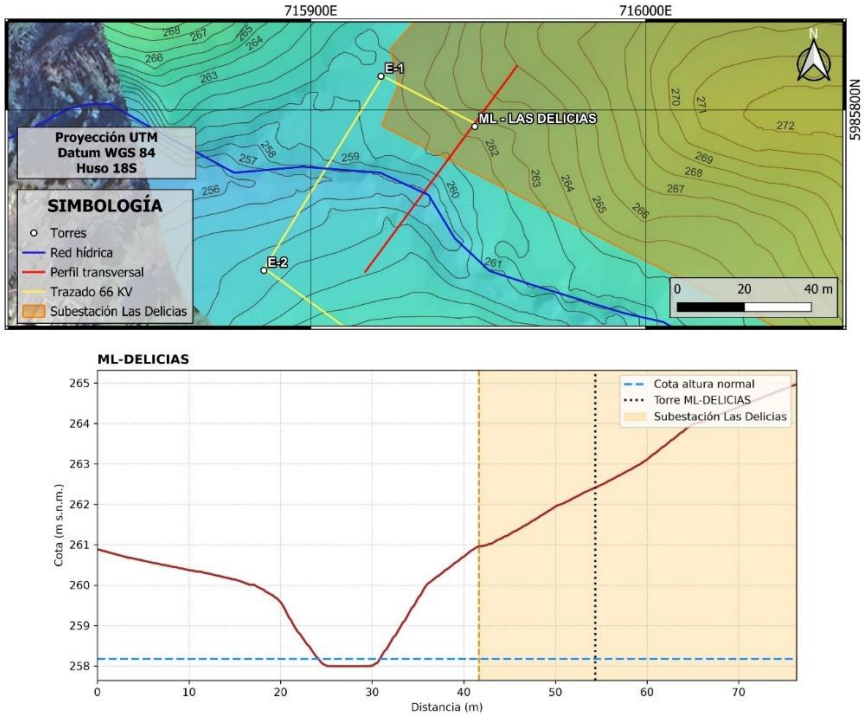
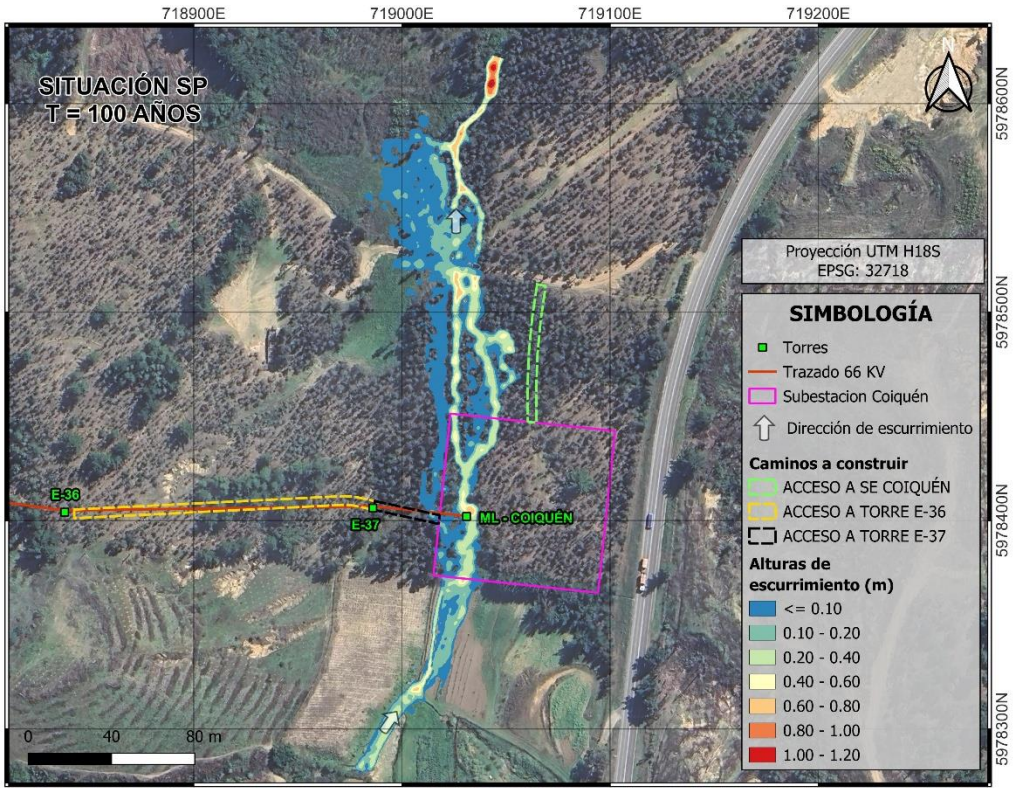


Tabla 5-5: Resultado aplicabilidad Subestación Las Delicias.

Obra	Área Aportante (Ha)	Caudal (m^3/s)	Altura normal (m)	Revancha (m)
S/E Las Delicias	2,43	0,37	0,18	2,8

La S/E Coiquén según los resultados obtenidos en el Apéndice 5 - Estudio de Inundación se encuentra dentro del área de inundación. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la situación sin Proyecto para la subestación.

Figura 5-2: Resultado profundidad de escurrimiento Sin Proyecto para T=100 años Subestación Coiquén.



5.3 CAMINOS

De acuerdo con la revisión de los caminos y la red hidrográfica del Proyecto, se identificaron 8 puntos de intersección. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los atraviesos de cauce generados a partir de la proyección de los caminos de acceso, mientras que en la Tabla 5-6 se presentan las coordenadas de dichos atraviesos.

Figura 5-3: Identificación de interacciones entre caminos de acceso con cauces naturales.

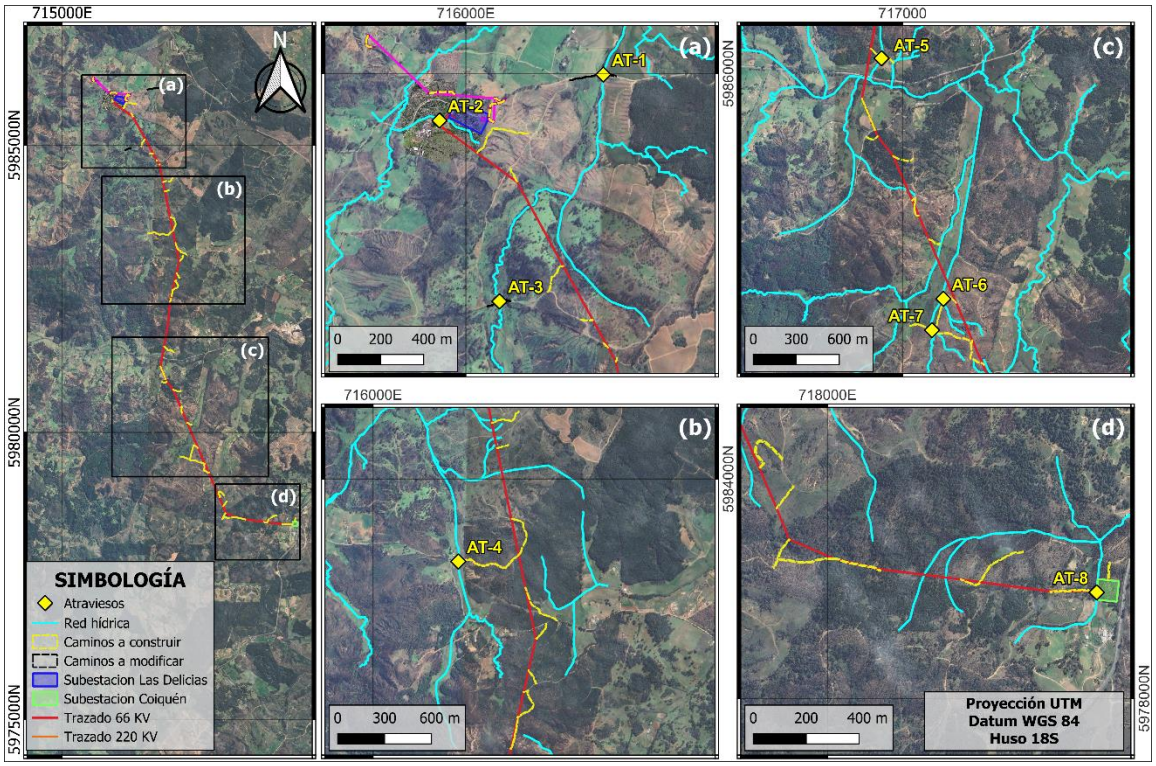


Tabla 5-6: Resumen de interacciones entre los caminos de acceso con cauces naturales. Coordenadas en UTM 18S.

Camino	ID Atravieso	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)
Camino a modificar S/R N-418 / Camino existente a Subestación Las Delicias	AT-1	716.640	5.985.995
Acceso nuevo a torre E-2	AT-2	715.877	5.985.781
Camino a modificar torres E-3 a E-10	AT-3	716.156	5.984.940
Acceso nuevo a torre E-12	AT-4	716.546	5.983.472
Acceso nuevo a torre E-20	AT-5	716.854	5.981.431
Acceso nuevo a torre E-27	AT-6	717.285	5.979.753
Acceso nuevo a torre E-29	AT-7	717.206	5.979.535
Acceso nuevo a torre E-37	AT-8	719.018	5.978.401

5.4 Resultados Análisis de Aplicabilidad

De acuerdo con el análisis realizado, las estructuras emplazadas dentro del área de inundación asociada a la crecida con periodo de retorno de 100 años corresponden a las siguientes:

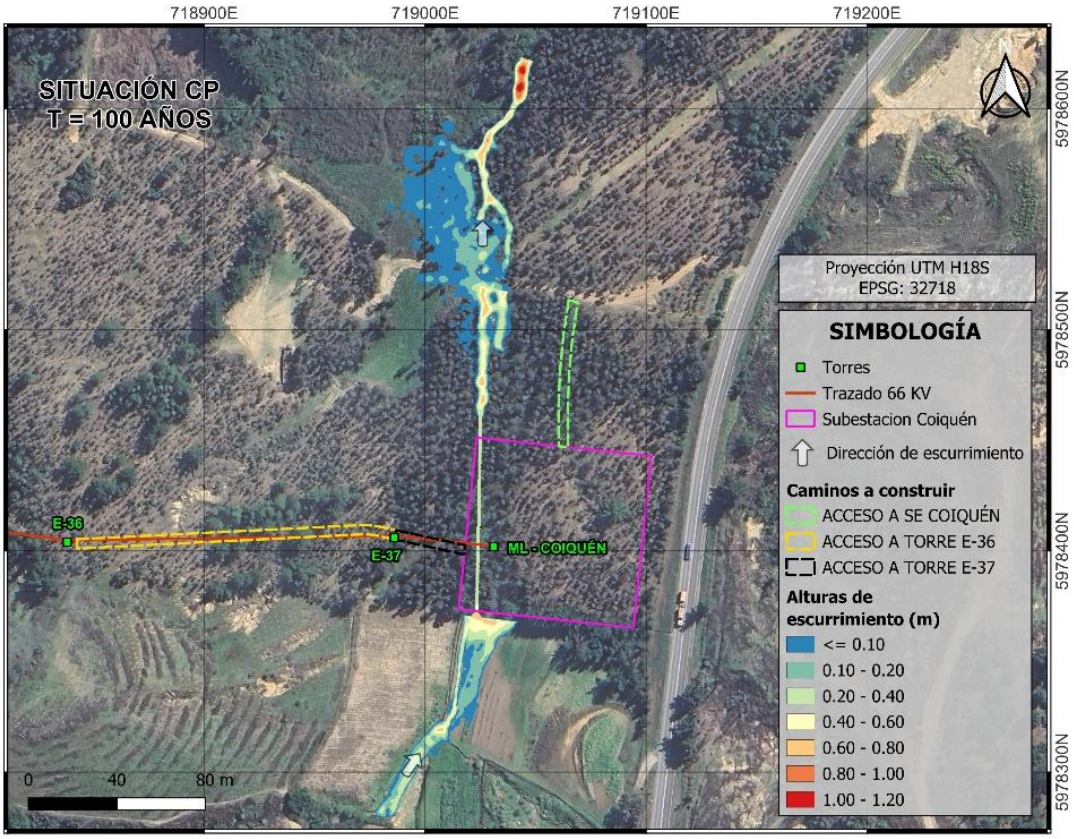
Tabla 5-7: Obras dentro del área de inundación asociada a la crecida de 100 años de periodo de retorno en la situación actual.

Obras
AT-1
AT-2
AT-3
AT-4
AT-5
AT-6
AT-7
AT-8
Torre NE 21 LAT 66kV
Torre ML-Coiquén
S/E Coiquén

Cabe señalar que el camino de acceso a la torre E-37 (AT-8), la torre ML-Coiquén y la S/E Coiquén se encuentran dentro del área de inundación para la situación actual. Sin embargo, se proyecta la construcción de un acueducto que atravesará el terraplén de la subestación, modificando las condiciones de escurrimiento de manera que dichas instalaciones queden fuera del área de inundación. Esta condición se presenta en la Figura 5-4, correspondiente a la situación con Proyecto.

En consecuencia, considerando la condición proyectada que se expone en la Figura 5-4, no se requerirá la aplicación del PAS 156 para la obra AT-8 ni para la torre ML-Coiquén y la S/E Coiquén. Por su parte, el acueducto deberá contar con la tramitación del PAS 155, ya que porteará un caudal mayor a 2 m^3/s (Caudal de porteo igual a 2,1 m^3/s), mientras que las restantes obras identificadas deberán considerar la tramitación del PAS 156.

Figura 5-4: Resultado profundidad de escurrimiento Con Proyecto para T=100 años Subestación Coiquén. *Fuente: ANX 3.7-C3-PAS 155*.



6. CONCLUSIONES

Se llevó a cabo el análisis de aplicabilidad de Permisos Ambientales Sectoriales (PAS), para 2 subestaciones, 45 torres y 42 caminos asociados al Proyecto, con el objetivo de identificar las obras que podrían encontrarse dentro del área de inundación para la crecida centenaria.

Para las torres y subestaciones se aplicaron cuatro etapas de evaluación sucesivas, orientadas a descartar aquellas estructuras que no presentan riesgo de inundación frente a las crecidas de 100 años de periodo de retorno. En el caso de los caminos, se verificó su interacción con los cauces naturales cercanos.

Este análisis permitió determinar que 7 caminos, 1 torre y el acueducto de la S/E Coiquén presentan interacción directa con cauces. Por lo tanto, los caminos y la torre deberán tramitar el PAS 156, mientras que el acueducto de la S/E requerirá un PAS 155 ya que portea un caudal mayor a 2 m^3/s.

Por otro lado, en base al análisis realizado, se concluye que no existen obras proyectadas a las que les sea aplicable el PAS 157.

El resumen de las obras y los permisos que requieren se presentan en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Estructuras que les aplica PAS.

Obras de atravieso	Permiso que le aplica
AT-1	PAS 156
AT-2	PAS 156
AT-3	PAS 156
AT-4	PAS 156
AT-5	PAS 156
AT-6	PAS 156
AT-7	PAS 156
Torre NE-21 LAT 66kV	PAS 156
Acueducto S/E Coiquén	PAS 155

7. BIBLIOGRAFÍA

DGA. Guías metodológicas para la presentación y revisión técnica de Proyectos de modificación de cauces naturales y artificiales. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas (MOP), Chile, 2016.

Dirección de vialidad. Manual de carreteras. Ministerio de Obras Públicas (MOP), Chile, 2025

Glasner L.; Moreno J.; Montserrat G.; Negrete F. Hidrología aplicada al diseño de Proyectos de infraestructura en el marco de la tramitación de permisos ambientales sectoriales. *XXVII Congreso Chileno de Hidráulica, SOCHID*, 2025.

Ven Te Chow, David R. Maidment, and Larry W. Mays. Hidrología Aplicada. McGraw-Hill, 1ra edición, 1994. ISBN 978-958-600-171-7.

8. APÉNDICES

APÉNDICE 1 – SIG

- Proyecto
- Cauces
- Perfiles Transversales

APÉNDICE 2 – TOPOGRAFÍA

APÉNDICE 3 - HIDROLOGÍA

APÉNDICE 4 – FICHAS

- Torres
- Subestaciones
- Caminos

APÉNDICE 5 – ESTUDIO DE INUNDACIÓN