DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

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

Decreto Exento N°257/2022

CAPITULO 2 /ANEXO 2.3

Caracterización de Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales

2026

Contenidos

1. INTRODUCCIÓN 4
2. OBJETIVOS 6
2.1. Objetivo General 6
2.2. Objetivos Específicos 6
3. FACTORES GENERADORES DE IMPACTOS 7
3.1. Definición 7
3.2. FGI asociados al componente Geología, Geomorfología y Riesgos Geológicos y Geomorfológicos 7
4. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO 9
4.1. Área de estudio 9
5. METODOLOGÍA 11
5.1. Antecedentes bibliográficos 11
5.3. Geología Regional 12
5.4. Geología Local 13
5.5. Geomorfología 13
5.6. Riesgos Geológicos, Geomorfológicos y Naturales 14
5.6.1. Riesgos Sísmico 15
5.6.2. Riesgos Volcánico 16
5.6.3. Riesgos de Remoción de Masas 16
5.6.4. Riesgos de Inundación 17
5.6.5. Riesgos Climático 17
5.6.6. Riesgos de Incendio Forestales. 18
5.7. Visita a terreno 18
6. RESULTADOS 19
6.1. Geología Regional 19
6.1.1. Geología Estructural 23
6.2. Geología Local 24
6.3. Geomorfología Regional 28
6.4. Geomorfología Local 30
6.4.1. Perfil Topográfico de la LT 32
6.4.2. Análisis de pendiente 33
6.5. Riesgos Geológicos, Geomorfológicos y Naturales 38
6.5.1. Riesgos Sísmico 38
6.5.2. Riesgos Volcánicos 43
6.5.3. Riesgos de Remoción de Masas 45
6.5.4. Riesgos de Inundación 49
6.5.5. Riesgos Climáticos 53
6.5.6. Riesgos de Incendio Forestales. 55
7. DISCUSIÓN 59
8. CONCLUSIÓN 62
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto. 5
Figura 2. Esquema del enfoque de los FGI en SEA. 7
Figura 3. Área de Estudio del Proyecto para el componente GGR. 10
Figura 4. Mapa geológico de la Región de Ñuble.Fuente: Elaboración propia con datos de SERNAGEOMIN (Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, GeoPortal Chile, 2023). 22
Figura 5. Fallas geológicas en la Región del Ñuble. 24
Figura 6. Geología Local del Proyecto 25
Figura 7. Geomorfología en el lugar de emplazamiento del Proyecto 30
Figura 8. Geomorfología Local 32
Figura 9. Perfil topográfico de la LT 33
Figura 10. Mapa de Pendientes 34
Figura 11. Imagen aérea – Zonas de erosión Fuente: Elaboración propia 36
Figura 12 . Esquena de la Geomorfología Local del Proyecto 37
Figura 13. Sismos ocurridos en las inmediaciones del Proyecto 42
Figura 14. Volcanes cercanos al Proyecto y peligro volcánico Complejo nevados de chillan. 45
Figura 15. Riesgo de remoción de masas según pendiente 47
Figura 16. Redes Hidrológicas presentes en el Proyecto 50
Figura 17. Gráfica de precipitación y lluvia acumulada para Quirihue. 53
Figura 18. Gráfica de precipitación y lluvia máxima diaria para Quirihue. 53
Figura 19. Gráfica de temperatura media y la temperatura máxima diaria para Quirihue. 54
Figura 20. Gráfica de Frecuencia de Sequía y olas de calor >30°C para Quirihue 55
Figura 21. Susceptibilidad de riesgo de incendios, según CONAF Fuente: Elaboración propia .. 58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Pendientes. 14
Tabla 2. Escala de Magnitud de Momento (Mw) modificado de Richter (1935) 15
Tabla 3. Ranking de riesgo específico de volcanes activos de Chile. 16
Tabla 4. Unidades Geológicas presentes a nivel local. 28
Tabla 5. Pendientes representativas en los tramos de mayor relevancia geomorfológica de la LT. 34
Tabla 6. Registros históricos de terremotos ocurridos en Chile a partir de 1570 39
Tabla 7. Evaluación de factores de riesgo sísmico 42
Tabla 8. Evaluación de factores de riesgos remoción de masas 48
Tabla 9. Matriz de Evaluación de Riesgo de Inundación 52
Tabla 10. Matriz de Evaluación de Incendios Forestales 56
Tabla 11. Matriz de riesgos GGR 60

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva SE Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias – Coiquén”, en adelante el Proyecto, corresponde a una iniciativa de infraestructura de transmisión eléctrica zonal contemplada en el Decreto Exento N°257/2022 del Ministerio de Energía, mediante el cual se aprueba el Plan de Expansión del Sistema de Transmisión correspondiente al año 2021.

El objetivo del Proyecto es fortalecer la capacidad, seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico en la zona, mediante la incorporación de nuevas instalaciones de transmisión destinadas a mejorar la continuidad operacional y la capacidad de suministro eléctrico regional.

En términos generales, el Proyecto considera la construcción y operación de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, la Nueva Subestación Coiquén, una nueva Línea de Transmisión aérea 2x66 kV Las Delicias - Coiquén, con una longitud aproximada de 9,1 km, además del seccionamiento de una línea de transmisión existente en 220 kV. Las obras se emplazan en la Región de Ñuble, provincia del Itata, comuna de Quirihue (Figura 1), y serán sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), conforme a lo establecido en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

El presente documento corresponde a la Caracterización Ambiental del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales (GGR) del Proyecto, cuyo objetivo es caracterizar las condiciones actuales del territorio en el área de estudio definida, proporcionando los antecedentes técnicos necesarios para evaluar posteriormente los potenciales impactos asociados a la ejecución del Proyecto.

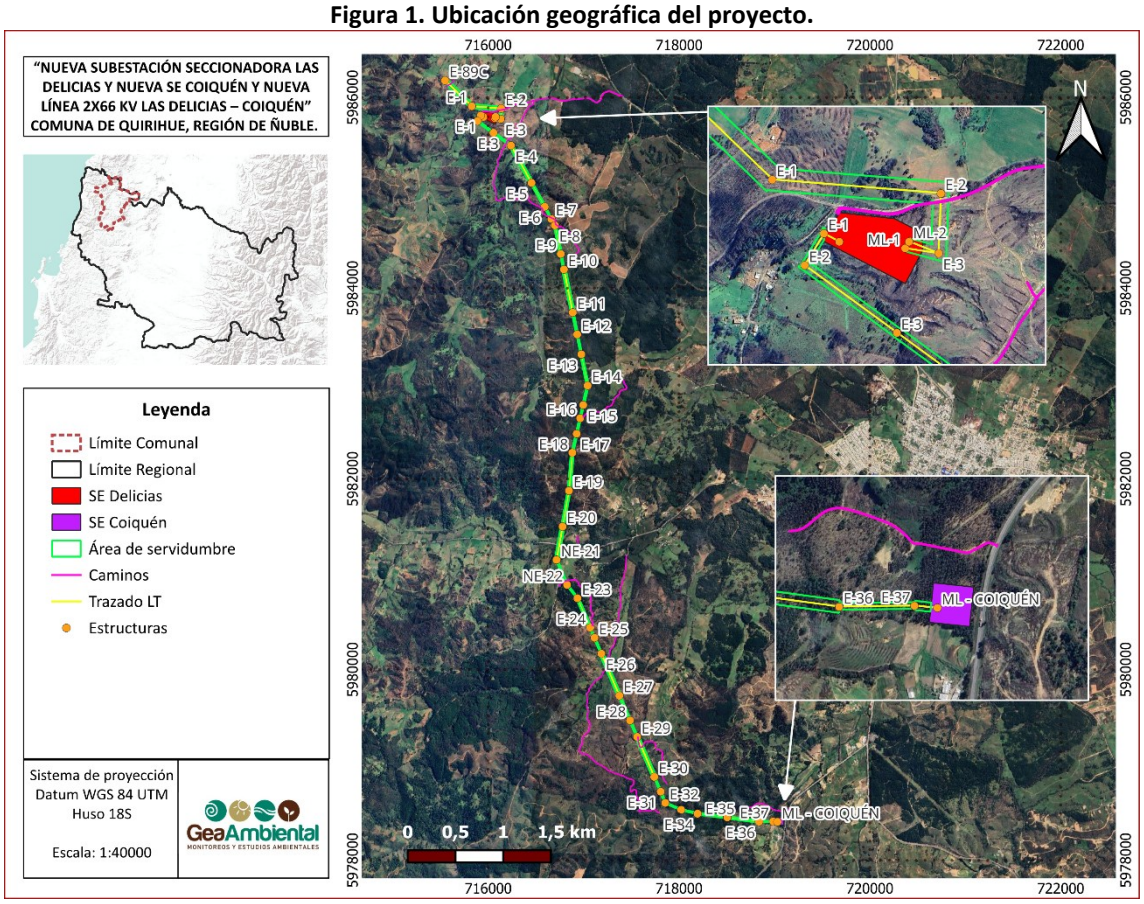
La caracterización del componente GGR se desarrolla conforme a lo establecido en el artículo 18 literal e.1 del Decreto Supremo N°40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (Reglamento del SEIA), considerando sus modificaciones vigentes, incluyendo el D.S. N°17/2026. De acuerdo con dicho marco normativo, la Línea Base debe describir detalladamente el área de estudio del Proyecto, con el propósito de identificar y caracterizar los elementos del medio ambiente susceptibles de ser afectados y entregar los antecedentes necesarios para la evaluación ambiental del Proyecto.

El área de estudio se encuentra inserta en la Cordillera de la Costa interior de la Región de Ñuble, específicamente en la comuna de Quirihue, donde el trazado de la Línea de Transmisión se desarrolla sobre un relieve caracterizado por lomajes, interfluvios y quebradas locales, asociados principalmente a unidades geológicas intrusivas paleozoicas y procesos de modelación geomorfológica propios del sector. En este contexto, la evaluación del componente considera la interacción entre las características geológicas, condiciones del relieve, procesos superficiales y amenazas naturales presentes en el territorio.

La metodología aplicada para la descripción y análisis del componente GGR considera la revisión de antecedentes bibliográficos, cartografía geológica oficial, información territorial disponible, estudios técnicos asociados al Proyecto y levantamiento de información complementaria, siguiendo los lineamientos establecidos por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y los organismos sectoriales competentes.

En particular, se consideraron las directrices establecidas en la "Guía para la Descripción del Área de Influencia en el SEIA" (SEA, 2026) y, de manera complementaria, los criterios establecidos en la "Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA" (SEA, 2024), incorporando la revisión de antecedentes climáticos y su posible relación con factores detonantes de amenazas naturales dentro del área de emplazamiento del Proyecto.

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Caracterizar y describir el componente geológico, geomorfológico y riesgos naturales del Área de estudio del Proyecto, mediante la recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos, cartográficos y normativos disponibles, con el fin de establecer el estado basal del área donde se emplazarán las obras vinculadas al Proyecto.

2.2. Objetivos Específicos

- Describir las principales características geológicas del Área de estudio del Proyecto, a escala regional y local, en relación con el emplazamiento de las obras.
- Describir las características geomorfológicas del Área de estudio del Proyecto, considerando las unidades geomorfológicas presentes y los procesos generales asociados a su configuración.
- Identificar y evaluar los principales riesgos geológicos y geomorfológicos relevantes para el Proyecto, en el área de emplazamiento de las obras y su Área de estudio.
- Identificar áreas potencialmente expuestas a fenómenos naturales de origen geológico, geomorfológico y climatológico que pudieran afectar el desarrollo del Proyecto.
- Analizar antecedentes disponibles respecto de la posible influencia del cambio climático en la zona de estudio, en relación con procesos geológicos y geomorfológicos de interés para el Proyecto.

3. FACTORES GENERADORES DE IMPACTOS

3.1. Definición

Conforme a lo señalado por el Servicio de Evaluación Ambiental "Los impactos ambientales son causados por los factores generadores de impacto (FGI), entendiéndose por aquellos a los elementos del proyecto o actividad, en consideración a su localización y temporalidad, así como por sus emisiones, efluentes, residuos, explotación, extracción, uso o intervención de recursos naturales, mano de obra, suministros o insumos básicos y productos o servicios generados, según correspondan, que por sí mismos, generan alteración en el medio ambiente y que son identificables en cada una de las fases del proyecto."

"Como es reconocido, un mismo factor puede generar más de un impacto ambiental", lo que refuerza el carácter multidimensional del FGI. Los factores deben además ser detallados por los titulares en el capítulo de Descripción del Proyecto, conforme al artículo 18 literal c) y artículo 19 literal a) del Reglamento del SEIA (D.S. N°40/2012).

En la siguiente figura se resume este enfoque:

Figura 2. Esquema del enfoque de los FGI en SEA.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. FGI asociados al componente Geología, Geomorfología y Riesgos Geológicos y Geomorfológicos

De acuerdo con los Factores Generadores de Impacto (FGI) identificados para el Proyecto, y considerando las características del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales (GGR), se reconocen como principales factores aquellos asociados a actividades que impliquen intervención directa sobre el terreno.

Durante la fase de construcción, los FGI de mayor relevancia corresponden al emplazamiento de obras temporales y permanentes, incluyendo movimientos de tierra, excavaciones, habilitación de accesos, preparación de plataformas, construcción de fundaciones y montaje de estructuras asociadas a la línea de transmisión y subestaciones. Estas actividades podrían generar modificaciones locales de la morfología superficial, exposición de materiales geológicos, alteración puntual de condiciones de drenaje y aumento de susceptibilidad a procesos erosivos.

Durante la fase de operación, los factores asociados al componente corresponden principalmente a la presencia de obras permanentes y actividades de mantenimiento de la infraestructura, sin considerar intervenciones relevantes sobre las condiciones geomorfológicas existentes.

Finalmente, durante la eventual fase de cierre del Proyecto, los FGI corresponden al desmantelamiento de instalaciones y restauración de las áreas intervenidas, actividades que podrían generar modificaciones temporales del terreno hasta la recuperación de las condiciones superficiales.

En función de lo anterior, los FGI identificados permiten orientar la caracterización del componente GGR hacia aquellos elementos del territorio potencialmente susceptibles de modificación por las actividades del Proyecto. En los capítulos siguientes se presenta la delimitación del área de estudio y la metodología aplicada para la caracterización geológica, geomorfológica y de riesgos naturales del área de emplazamiento.

4. DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL PROYECTO

4.1. Área de estudio

Para la caracterización del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales (GGR), se definió un área de estudio considerando el espacio territorial donde se desarrollan las unidades geológicas, geomorfológicas y procesos naturales asociados que podrían presentar relación con las obras y actividades del Proyecto.

La definición del área de estudio se realizó considerando los criterios establecidos en el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N°40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente) y la "Guía para la Descripción del Área de Influencia en el SEIA" del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2026), entendiendo que la caracterización del medio físico debe considerar aquellos elementos territoriales necesarios para evaluar potenciales interacciones entre el Proyecto y los procesos naturales presentes.

Para efectos del análisis, se consideró como referencia el emplazamiento de las obras del Proyecto, correspondiente a la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y Nueva SE Coiquén y Nueva Línea 2x66 kV Las Delicias - Coiquén, incluyendo todas sus obras permanentes y auxiliares, tales como los caminos de acceso nuevos y aquellos sujetos a mejoramiento.

Con el objeto de caracterizar en detalle las condiciones locales del medio físico, se definió un área de estudio complementaria mediante la aplicación de un buffer de 100 m en torno a las obras proyectadas (Figura 3). Esta área se utilizó para la descripción de las unidades geológicas, formas del relieve, condiciones de pendiente, drenaje superficial y demás características del entorno inmediato.

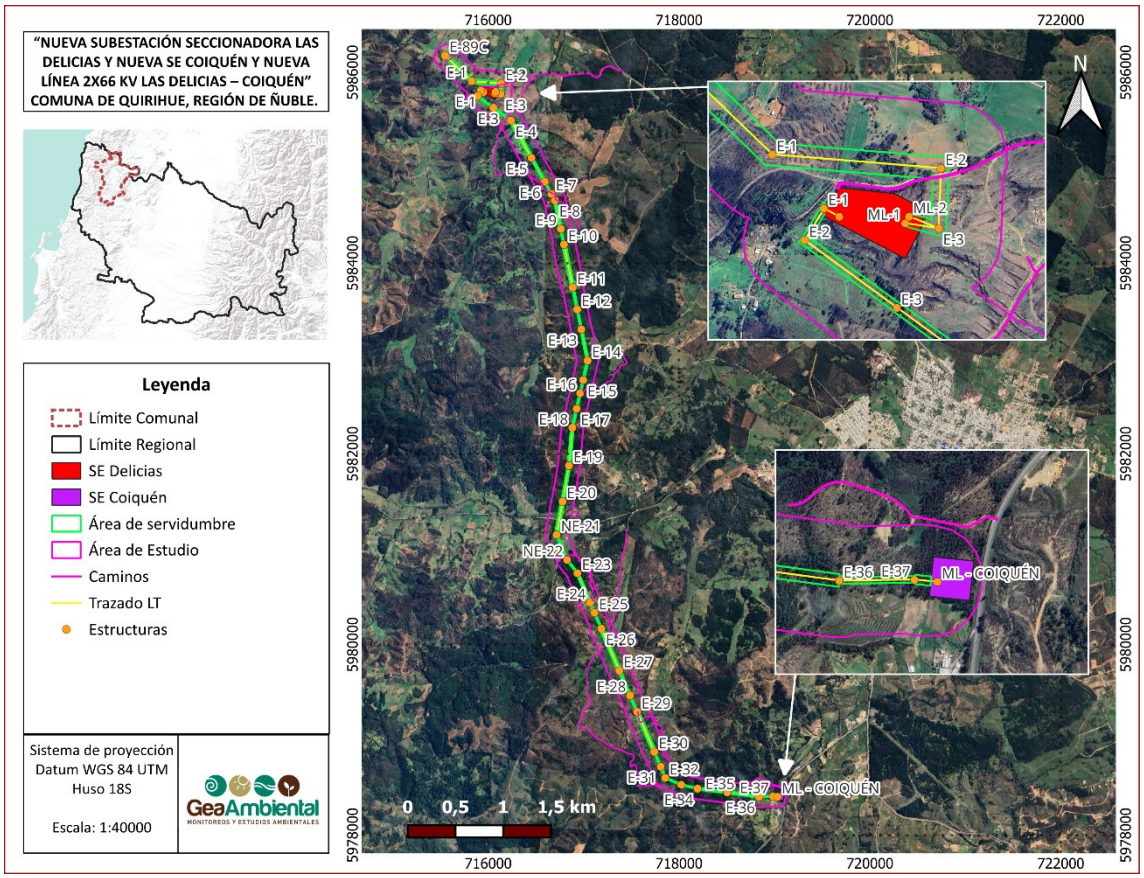
La evaluación de amenazas geológicas, geomorfológicas y riesgos naturales no se restringe a dicho buffer, sino que considera todos los procesos y unidades del entorno con potencial de generar una afectación sobre el Proyecto, independientemente de su distancia, incluyendo aquellos asociados a cuencas, quebradas, laderas y zonas de remoción en masa cuya dinámica pudiera alcanzar las obras proyectadas.

Esta franja fue definida como una herramienta metodológica para evaluar posibles interacciones locales entre las obras del Proyecto y los procesos naturales presentes en su entorno cercano, considerando que fenómenos como erosión superficial, cambios locales en la escorrentía, estabilidad de taludes o condiciones geomorfológicas puntuales pueden manifestarse más allá del área estrictamente intervenida.

Cabe señalar que este buffer corresponde exclusivamente a un ámbito espacial de apoyo para la caracterización del componente GGR y evaluación de riesgos, y no corresponde a una delimitación formal del Área de Influencia del Proyecto. Su incorporación permite complementar el análisis del área intervenida directamente, sin implicar una ampliación del alcance espacial de los impactos evaluados. Las amenazas de escala regional (sismicidad,

volcanismo e inundaciones) se analizan a la escala que corresponde a cada una de ellas, según se describe en la metodología.

Figura 3. Área de Estudio del Proyecto para el componente GGR.



Fuente: Elaboración propia con base satelital y layout del Proyecto

5. METODOLOGÍA

La caracterización del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales, se desarrolló mediante la recopilación y análisis de antecedentes bibliográficos especializados, la interpretación de imágenes satelitales disponibles y la evaluación de modelos de elevación digital (DEM), ALOS Palsar obtenido de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile).

A partir de estos insumos se identificaron, describieron y analizaron las principales unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el área de emplazamiento del proyecto, así como los riesgos asociados, incluyendo amenaza sísmica, actividad volcánica, susceptibilidad a inundaciones y procesos de remoción en masa.

5.1. Antecedentes bibliográficos

Se realizó la recopilación, revisión, análisis e integración de información secundaria proveniente de fuentes oficiales y antecedentes técnicos disponibles para el área de estudio y su entorno, de conformidad con los lineamientos establecidos en la Guía de Área de Influencia y los criterios metodológicos aplicables a la caracterización del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Entre las principales fuentes consultadas se consideraron la cartografía geológica, geomorfológica y de peligros geológicos elaborada por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), incluyendo el Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000; información geoespacial disponible en GeoPortal Chile (2023); registros y catálogos sísmicos del Centro Sismológico Nacional (CSN); cartografía topográfica, modelos digitales de elevación e imágenes satelitales; bases de datos geoespaciales de organismos públicos; estudios ambientales desarrollados previamente en el área; e información técnica oficial relacionada con los componentes geológicos, geomorfológicos y de riesgos naturales.

La revisión e integración de antecedentes permitió caracterizar el contexto geológico regional y local, identificar las principales unidades litológicas, estructuras geológicas y unidades geomorfológicas presentes, reconocer procesos geodinámicos y morfodinámicos relevantes, así como recopilar antecedentes asociados a amenazas naturales tales como remociones en masa, actividad sísmica, erosión, inundaciones y otros fenómenos potencialmente relevantes para el proyecto.

La información recopilada fue posteriormente incorporada y analizada mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiendo la elaboración de cartografía temática, la delimitación de unidades de análisis, la identificación de áreas con susceptibilidad a amenazas naturales y la definición de sectores prioritarios para la verificación en terreno. Estos antecedentes constituyeron la base para la planificación de las campañas de terreno, la

validación de información secundaria y la caracterización de las condiciones geológicas, geomorfológicas y de riesgos naturales del área de estudio del proyecto.

5.2. Trabajo de Gabinete

Durante esta etapa se realizó la recopilación, revisión y análisis de información bibliográfica, cartográfica y geoespacial asociada a los componentes de geología, geomorfología y peligros geológicos y geomorfológicos, tanto a escala regional como local. Asimismo, se revisaron antecedentes disponibles para el área de emplazamiento del Proyecto y su Área de estudio, entendida como el espacio geográfico analizado de manera preventiva para evaluar la interacción de las amenazas naturales con las obras, o donde las características físicas del terreno sustentan la línea base del sector.

La información recopilada fue integrada y analizada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando el software QGIS versión 3.44, lo que permitió apoyar la caracterización del área de estudio, la identificación y delimitación de unidades geológicas, unidades geomorfológicas, red de drenaje, pendientes y sectores asociados a amenazas naturales, así como la elaboración de las cartografías temáticas.

5.3. Geología Regional

La caracterización geológica regional se realizó mediante el análisis e interpretación del Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003), complementado con antecedentes bibliográficos y cartográficos disponibles para contextualizar el marco geológico regional del área de estudio. El análisis estuvo orientado a identificar la distribución espacial de las unidades geológicas presentes en el área de estudio del Proyecto, estableciendo sus relaciones estratigráficas, litológicas y cronológicas, con el propósito de comprender el contexto geológico regional en que se emplaza la iniciativa.

Adicionalmente, se efectuó la revisión e interpretación de antecedentes estructurales regionales, considerando la presencia de fallas geológicas, lineamientos tectónicos y otras estructuras de relevancia, con el fin de reconocer los principales controles geológicos que han condicionado la evolución del territorio y que pudiesen tener incidencia en la configuración geomorfológica y en la ocurrencia de procesos geodinámicos.

La interpretación geológica se realizó a una escala acorde con el nivel de detalle de la información disponible, privilegiando la coherencia geológica y estructural entre las distintas unidades cartografiadas y las estructuras regionales identificadas.

5.4. Geología Local

El análisis de la geología local se centró en el área de estudio del Proyecto, con el objetivo de identificar, describir y caracterizar las unidades geológicas presentes y su relación con las obras proyectadas. Para ello, se utilizó como referencia principal la Hoja Concepción–Chillán, Mapa Geológico de Chile, escala 1:250.000 (Gajardo, 1981), complementada con el Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003).

De manera complementaria al análisis de gabinete, se realizó una inspección de terreno orientada a verificar las condiciones geológicas observables en superficie, reconocer afloramientos rocosos, depósitos superficiales y evidencias de procesos geológicos relevantes para el área de estudio. Asimismo, se consideraron los antecedentes disponibles provenientes de los estudios de suelos desarrollados para el Proyecto.

La integración de la información de terreno y los antecedentes técnicos disponibles permitió caracterizar las unidades geológicas presentes en el área de estudio y establecer una base técnica para la evaluación de la interacción entre las condiciones geológicas del entorno y las obras asociadas al Proyecto.

5.5. Geomorfología

La geomorfología regional se definió sobre la base de la clasificación de unidades geomorfológicas de Chile propuesta por Börgel (1983), complementada con antecedentes del Atlas de las Regiones y Provincias de Chile y literatura técnica especializada. Este análisis permitió identificar las macroformas dominantes del relieve en el contexto regional donde se inserta el Área de Estudio, su origen morfogenético y su relación con el marco geológico-estructural. Asimismo, se analizaron variables morfométricas tales como pendiente, grado de disección del relieve y delimitación de cuencas hidrográficas, con el propósito de contextualizar los procesos geomorfológicos predominantes en el sector.

A nivel local, la caracterización se efectuó mediante fotointerpretación sistemática y análisis geomorfológico detallado del Área de Estudio, aplicando los criterios geomorfológicos de Börgel (1983) y De Pedraza (1996), junto con la revisión de cartografía geológica oficial disponible para el sector de emplazamiento del Proyecto, particularmente la Hoja Concepción-Chillán, Mapa Geológico escala 1:250.000 (Gajardo, 1981), complementada con el Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003). Para el análisis se empleó un Modelo Digital de Elevación (DEM) ALOS PALSAR con resolución espacial de 12,5 m/px, complementado con imágenes satelitales Sentinel-2[1] y visualización en Google Earth.

[1] Las imágenes Sentinel-2 fueron incorporadas como apoyo a la fotointerpretación, privilegiando imágenes recientes que representaran las condiciones actuales del área de estudio y evitando el uso de

El procesamiento, análisis espacial y elaboración cartográfica se desarrollaron en entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando el software QGIS 3.44, mediante el cual se generaron modelos derivados del terreno, incluyendo mapa de pendientes, sombreado de relieve y red de drenaje, además de la delimitación y digitalización de unidades geomorfológicas.

Para el análisis de pendientes elaborado a partir del modelo ráster se utilizó la clasificación de pendientes Araya, Vergara y Börgel 1972. (Tabla 1)

Tabla 1. Clasificación de Pendientes.

Pendiente (grados)	Pendiente (%)	Concepto	Umbral Geomorfológico	Erodabilidad
0-2	0-3.5	Levemente Horizontal	Erosión nula a leve	Baja
2.1-5	3.6-8.7	Suave	Suave erosión leve, difusa, Sheetwash. Inicio de regueras. Solifluxión fría.	Baja
5.1-10	8.8-17.6	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. Rillwash o desarrollos de regueras.	Media
10.1-20	17.7-36.4	Fuerte	Fuerte erosión a intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes.	Alta
20.1-30	36.5-57.7	Moderadamente Escarpada	Moderadamente escarpada, cárcavas frecuentes. Movimientos en masa, reptación.	Alta
30.1-45	57.8-100	Muy Escarpada	Coluvionamiento, solifluxión intensa.	Muy Alta
>de 45	>de 100	Acantilado	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.	Muy Alta

Fuente: Clasificación de Pendientes. Araya, Vergara y Börgel 1972.

La elaboración de la Carta Geomorfológica Local se realizó mediante interpretación integrada del relieve, morfometría, patrón de drenaje y relación litológica, efectuando la digitalización a una escala de trabajo 1:10.000, lo que permitió identificar con adecuado nivel de detalle las unidades geomorfológicas presentes en el Área de Estudio. La cartografía final se presenta a la escala 1:40.000 para dar una mejor perspectiva general del proyecto.

5.6. Riesgos Geológicos, Geomorfológicos y Naturales

La identificación de riesgos asociados al medio físico se desarrolló mediante un análisis territorial integrado, orientado a reconocer amenazas geológicas y geomorfológicas potencialmente

imágenes históricas que pudieran no reflejar el estado actual del terreno. La selección correspondió a imágenes adquiridas durante la temporada estival, debido a la menor cobertura nubosa característica de dicho período, lo que permitió mejorar la calidad de la interpretación visual de elementos geomorfológicos, drenajes, cobertura superficial y otros rasgos relevantes para la caracterización del área de estudio.

presentes en el área de estudio del Proyecto. El análisis consideró tanto procesos de origen endógeno, principalmente asociados a la actividad sísmica y volcánica, como procesos de origen exógeno, tales como remociones en masa, erosión e inundaciones.

Para ello, se efectuó una revisión de cartografía oficial, antecedentes técnicos disponibles, estudios previos, información bibliográfica pertinente y registros de terreno, complementada con fotointerpretación de imágenes satelitales y modelamiento espacial en entorno de Sistemas de Información Geográfica (QGIS). Adicionalmente, se utilizó un Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR de 12,5 m/px de resolución para el análisis de variables topográficas y geomorfológicas relevantes. La integración de estos antecedentes permitió identificar las principales amenazas naturales y evaluar la susceptibilidad del territorio frente a la ocurrencia de procesos geológicos y geomorfológicos de interés para el Proyecto.

5.6.1. Riesgo Sísmico

La amenaza sísmica del área de estudio fue evaluada mediante la revisión de antecedentes oficiales, registros instrumentales y literatura técnica especializada, considerando el contexto sismotectónico asociado a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Para ello, se analizaron registros históricos e instrumentales disponibles en las bases de datos del Centro Sismológico Nacional (CSN) y del United States Geological Survey (USGS), complementados con antecedentes publicados por SERNAGEOMIN, SENAPRED y estudios desarrollados para la zona centro-sur del país.

El análisis consideró los principales eventos sísmicos históricos registrados en Chile desde 1570, con énfasis en aquellos de magnitud igual o superior a 7 (Mw) ocurridos en la zona centro-sur del país. Esta información permitió caracterizar la actividad sísmica regional y evaluar la amenaza sísmica existente en el área de estudio del Proyecto.

Considerando que los eventos sísmicos constituyen uno de los principales factores detonantes de procesos de remoción en masa, la evaluación del riesgo sísmico se integró con el análisis de susceptibilidad geomorfológica desarrollado para el componente de remoción en masa. De este modo, la caracterización no sólo consideró la ocurrencia potencial de sismos, sino también la respuesta del terreno frente a estas solicitaciones, evaluando la posible generación de deslizamientos, caídas de rocas u otros movimientos gravitacionales que pudieran afectar las obras del Proyecto.

Tabla 2. Escala de Magnitud de Momento (Mw) modificado de Richter (1935)

Escala de Magnitud de Momento	
Mw	**Efectos**
< 3.5	No es perceptible
3.5 a 5.4	Causa daños menores
5.5 a 6.0	Daños menores visibles en edificios
6.1 a 6.9	Daños severos especialmente en las áreas más pobladas

Escala de Magnitud de Momento	
Mw	**Efectos**
7.0 a 7.9	Se considera un terremoto mayor con daños graves
> 8	Gran terremoto que considera la localidad en estado de emergencia. Destrucción total

Fuente: Sernageomin[2]

5.6.2. Riesgo Volcánico

La evaluación del riesgo volcánico se efectuó mediante la revisión de cartografía oficial de peligros volcánicos y antecedentes técnicos disponibles sobre volcanes activos presentes en el contexto regional. Para ello, se analizaron los antecedentes publicados por la Red Nacional de Vigilancia Volcánica de SERNAGEOMIN, considerando la ubicación de los principales centros volcánicos de las regiones del Maule, Ñuble y Biobío, así como su relación espacial con el área de estudio del Proyecto.

Adicionalmente, se revisó la clasificación de riesgo específico de volcanes activos elaborada por SERNAGEOMIN, la cual integra variables asociadas al peligro volcánico y a la exposición de elementos vulnerables. Este análisis permitió evaluar la potencial incidencia de amenazas volcánicas sobre el área del Proyecto y determinar su nivel de exposición frente a este tipo de eventos.

Tabla 3. Ranking de riesgo específico de volcanes activos de Chile.

Tipo	Nivel de Riesgo Específico	Descripción
Categoría 1	**Muy Alto**	Sistema volcánico con muy alto nivel de riesgo específico.
		Sistemas volcánicos con actividad eruptiva reciente mayor o igual IEV 4
Categoría 2	**Alto**	Sistemas volcánicos con nivel alto de riesgo específico.
		Sistemas volcánicos con actividad anómala reciente
Categoría 3	**Moderado**	Sistemas volcánicos con nivel moderado de riesgo específico
		Sistemas volcánicos que han presentado episodios eruptivos de baja magnitud, pero recurrentes en tiempos históricos
		Sistemas volcánicos con condiciones de aislamiento significativas
Categoría 4	**Bajo**	Sistemas volcánicos con nivel bajo de riesgo específico.
Categoría 5	**Muy Bajo**	Sistemas volcánicos con nivel muy bajo de riesgo específico

Fuente: Sernageomin (2023)

5.6.3. Riesgo de Remoción en Masa

[2] https://www.sernageomin.cl/Museo_Geologico/terremotos/losTerremotos5.html

La susceptibilidad a procesos de remoción en masa se determinó mediante un análisis integrado de las condiciones geomorfológicas y topográficas del área de estudio. Las remociones en masa corresponden a movimientos gravitacionales de material, tales como deslizamientos, caídas de rocas y flujos de detritos, que pueden involucrar suelo, roca u otros materiales no consolidados (SERNAGEOMIN, 2018).

La evaluación consideró variables morfométricas del terreno, incluyendo pendiente, morfología de laderas, patrón de drenaje y configuración del relieve, a partir del procesamiento de un Modelo Digital de Elevación ALOS PALSAR de 12,5m de resolución. Mediante herramientas SIG se generaron mapas de pendiente y sombreado de relieve, los cuales fueron interpretados conjuntamente con la cartografía geológica y geomorfológica, la fotointerpretación de imágenes satelitales y las observaciones de terreno, con el objetivo de identificar sectores con mayor predisposición a presentar inestabilidad de laderas.

Adicionalmente, se consideraron antecedentes relacionados con las unidades geológicas, formas del relieve, procesos erosivos observados y clasificación de pendientes propuesta por Araya, Vergara y Börgel (1972), permitiendo establecer categorías de susceptibilidad a remociones en masa para el área de estudio del Proyecto.

Asimismo, se consideró la actividad sísmica regional como un potencial factor detonante de inestabilidades de ladera, integrando esta condición al análisis de susceptibilidad de remoción en masa desarrollado para el área de estudio.

5.6.4. Riesgo de Inundación

La susceptibilidad a inundación se evaluó mediante el análisis geomorfológico de planicies aluviales, terrazas fluviales y la proximidad a cauces naturales, complementado con la delimitación de la red de drenaje derivada de modelos digitales de elevación (DEM). Asimismo, se consideró información proveniente de fuentes bibliográficas relacionadas con la ocurrencia de eventos de crecida o inundación en sectores aledaños al área del proyecto. Este análisis permitió reconocer unidades del relieve con condiciones potenciales para la acumulación de escorrentía superficial o eventuales desbordes asociados a aumentos de caudal.

De manera complementaria, y con el fin de fortalecer la coherencia entre componentes del medio físico, se consideraron antecedentes generales provenientes de los estudios de hidrología e hidrogeología del proyecto, particularmente aquellos relacionados con patrones de escurrimiento superficial, comportamiento del drenaje y condiciones de saturación del terreno, los cuales constituyen información de apoyo para la interpretación geomorfológica de la susceptibilidad a inundación dentro del área de estudio.

5.6.5. Riesgo Climático

El riesgo climático se abordó considerando eventos de precipitación intensa como factor detonante de procesos geomorfológicos, particularmente remociones en masa e inundaciones. El análisis se sustentó en antecedentes climatológicos regionales disponibles, incluyendo la revisión de información del Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim), y su relación con las características morfológicas y geomorfológicas del Área de Estudio.

5.6.6. Riesgo de Incendios Forestales

La amenaza por incendios forestales se analizó considerando la localización del Proyecto, las características de cobertura y uso del suelo presentes en su entorno, así como los antecedentes oficiales de ocurrencia de incendios para la zona. La evaluación tuvo por objeto determinar la potencial exposición de las obras proyectadas y analizar los efectos indirectos que un incendio podría generar sobre la estabilidad del terreno, particularmente mediante la pérdida de cobertura vegetal, el incremento de la escorrentía superficial, el aumento de los procesos erosivos y la eventual susceptibilidad a remociones en masa en sectores de pendiente.

5.7. Visita a terreno

Con el objeto de validar y complementar la información recopilada mediante revisión bibliográfica, cartografía oficial e interpretación de imágenes satelitales, se efectuó una visita de reconocimiento al área del Proyecto los días 11 y 12 de mayo de 2026. Durante esta actividad se verificaron en terreno las principales características geológicas y geomorfológicas identificadas en la etapa de gabinete, así como las condiciones generales del relieve y la presencia de rasgos relevantes para la evaluación de amenazas naturales y riesgos del medio físico.

6. RESULTADOS

6.1. Geología Regional

De acuerdo a Charrier et al. (2007) y Umaña (2015), la evolución geológica de la Región de Ñuble se vincula al desarrollo del margen convergente andino y a la sucesión de procesos tectónicos, magmáticos, volcánicos y sedimentarios que han actuado desde el Paleozoico hasta la actualidad, determinando la configuración geológica actual del territorio.

Durante el Paleozoico Superior se estableció el basamento geológico regional como resultado del desarrollo de un sistema arco magmático, cuenca de antearco, complejo acrecionario. En este contexto se generaron las unidades más antiguas reconocidas en la región y se produjo el emplazamiento del Batolito de la Costa, marcando una etapa temprana de crecimiento cortical y consolidación del margen continental activo (Umaña, 2015; Charrier et al., 2007; Deckart et al., 2014).

En el Triásico Superior, la evolución del margen estuvo dominada por un régimen tectónico extensional, asociado a una disminución de la convergencia y al desarrollo de procesos de rifting intracontinental. Este escenario favoreció la formación de cuencas continentales y la acumulación de rellenos sedimentarios y volcánicos, junto con el emplazamiento de cuerpos intrusivos, reflejando una reorganización significativa del margen durante esta etapa (Umaña, 2015; Charrier et al., 2007).

Durante el Paleógeno tardío y el Mioceno medio, el margen continental se caracterizó por el desarrollo de una cuenca andina de intraarco y retroarco, la cual constituye uno de los rasgos geológicos más relevantes de la Región de Ñuble. En esta cuenca se acumuló una potente sucesión de depósitos volcánicos, volcanoclásticos y sedimentarios continentales, asociados a la actividad de un arco magmático emplazado al oeste de la actual Cordillera Andina. Este sistema de cuencas controló en gran medida la distribución y disposición de las principales unidades cenozoicas andinas de la región (Umaña, 2015; Charrier et al., 2007; Charrier et al., 2009).

A partir del Mioceno medio a superior, la evolución tectónica de la región estuvo marcada por un cambio progresivo hacia condiciones compresivas, lo que provocó la inversión tectónica de las cuencas cenozoicas, la deformación de sus rellenos y un levantamiento regional significativo. Este proceso contribuyó a la configuración estructural de la Cordillera Andina y al emplazamiento de cuerpos intrusivos neógenos, consolidando progresivamente el relieve andino actual en la Región de Ñuble (Umaña, 2015; Charrier et al., 2009).

Durante el Plioceno Superior y el Pleistoceno Inferior, la actividad volcánica adquirió un rol dominante, asociada a la migración del arco volcánico hacia el este. En este contexto se desarrollaron extensas secuencias volcánicas que constituyen el basamento del volcanismo cuaternario andino, destacando el establecimiento del Complejo Volcánico Nevados de Chillán,

el cual representa el principal centro volcánico activo de la región y un elemento clave en su evolución geológica reciente (Umaña, 2015; Stern, 2004; Naranjo et al., 2008).

Finalmente, desde el Pleistoceno hasta la actualidad, la evolución geológica regional ha estado controlada por la subducción activa, el levantamiento progresivo del margen continental y la persistente actividad volcánica cuaternaria. Estos procesos han dado lugar a la generación de lavas, depósitos piroclásticos y de avalancha volcánica, así como a la acumulación de sedimentos fluviales, aluviales y glaciares en los principales valles y sectores precordilleranos, configurando el registro geológico más reciente de la Región de Ñuble (Umaña, 2015; Charrier et al., 2009; Stern, 2004).

A continuación, se describen las unidades geológicas desarrolladas durante esta evolución, desde las más antiguas a las más jóvenes, junto con su distribución espacial, la cual se presenta en la Figura 4.

Paleozoico

Pz4b: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a una secuencia metamórfica integrada por pizarras, filitas y metaareniscas, afectada por metamorfismo de bajo gradiente P/T y asociada a la Serie Oriental. En el área de estudio los afloramientos de esta unidad se encuentran distribuidos en el sector occidental de la Cordillera de la Costa.

CPg: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad Carbonífera-Pérmica corresponde a cuerpos intrusivos de composición granítica a diorítica, que incluyen granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se distribuyen en la Cordillera de la Costa.

Triásico

Tr1m: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a secuencias sedimentarias marinas y transicionales del Triásico Superior, compuestas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se presentan en las comunas de San Carlos, Ninhue y Quirihue, siendo asociadas por Umaña (2015) y la Dirección General de Aguas [DGA] (2011) a los Estratos de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue, correspondientes a una secuencia sedimentaria continental del Triásico Superior compuesta por lutitas pizarrosas, areniscas, lavas y brechas andesíticas, junto con conglomerados de cuarzo.

Jurásico

Jig: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a cuerpos plutónicos dioríticos, gabroicos, monzodioríticos, dioríticos cuarcíferos, granodioríticos y tonalíticos, aflorantes en la Cordillera de la Costa.

Cretácico

OM2c: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a secuencias volcanosedimentarias del Oligoceno-Mioceno, compuestas por lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas. En el área de estudio los afloramientos de esta unidad se distribuyen en la Cordillera Principal, siendo asociados por Suárez y Emparan (1997) y Naranjo et al. (2008) a la Formación Cura Mallín.

Neógeno

M3i: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas del Mioceno Inferior-Medio, compuestas por lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítica-basálticas a dacíticas. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se ubican en el sector cordillera oriental de la comuna de San Fabián.

Mimg: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, monzonitas y dioritas del Mioceno Inferior-Medio. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se encuentran en la Cordillera Principal.

Mg: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a plutones de granodioritas, dioritas y tonalitas del Mioceno. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se emplazan en la Cordillera Principal, abarcando las comunas de San Fabián, Coihueco y Pinto, siendo asociados por Umaña (2015) y Naranjo et al. (2008) al Batolito Santa Gertrudis.

PPl3: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a secuencias y centros volcánicos parcialmente erodados del Plioceno-Pleistoceno, compuestas por lavas principalmente basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados. En el área de estudio, los afloramientos de esta unidad se distribuyen en la Cordillera Principal, siendo asociada por Gajardo (1981), Umaña (2015) y Naranjo et al. (2008) a la Formación Cola de Zorro.

Cuaternario

Pl3t: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos piroclásticos riolíticos del Pleistoceno, asociados a calderas de colapso. En el área de estudio, esta unidad se distribuye en las comunas de Yungay, Pemuco y Ñiquén.

Q1g: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glaciolacustres del Pleistoceno-Holoceno, compuestos por diamictos con bloques en matriz limo-arcillosa, además de gravas, arenas y limos. En el sector de estudio, los depósitos de esta unidad se encuentran distribuidos principalmente en la comuna de Yungay.

Qm: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos litorales del Pleistoceno-Holoceno, compuestos por arenas y gravas de playas actuales.

Q3av: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos de avalancha volcánica del Cuaternario, asociados a colapsos parciales de edificios volcánicos. En el área de estudio, los

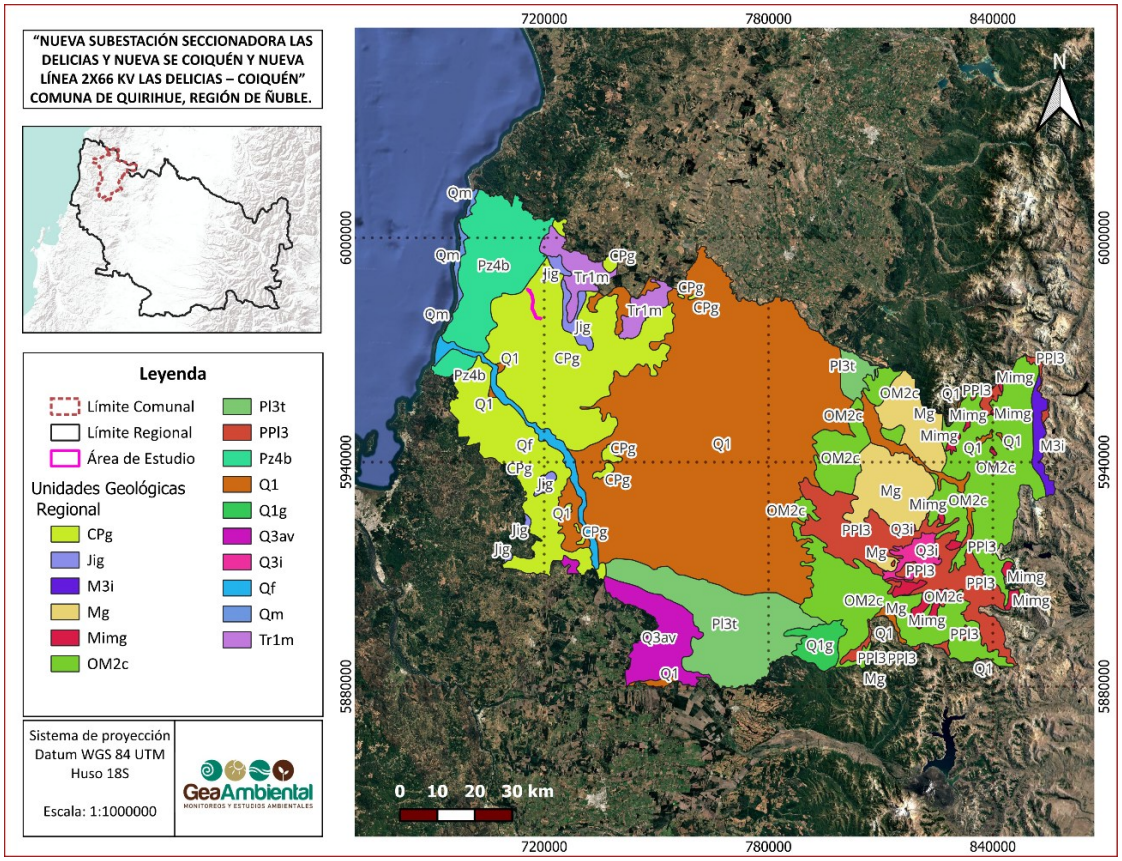
depósitos de esta unidad se encuentran distribuidos en las comunas de Yungay, Pemuco y Quillón, siendo asociados por la DGA (2011) a depósitos de composición riolítica a andesítica.

Qf: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos fluviales del Pleistoceno-Holoceno, compuestos por gravas, arenas y limos asociados al curso actual de los ríos principales, así como a sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.

Q1: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa, con participación subordinada de depósitos fluvioglaciales, deltaicos, litorales e indiferenciados, del Pleistoceno-Holoceno.

Q3i: Según SERNAGEOMIN (2003), la unidad corresponde a estratovolcanes y complejos volcánicos del Cuaternario, compuestos por lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos de composición andesítico-basáltica a dacítica. En el área de estudio, esta unidad es asociada por Umaña (2015) y la DGA (2011) al Complejo Volcánico Nevados de Chillán, compuesto por los volcanes Chillán Nuevo, Chillán Viejo, Cerro Blanco y los tres conos del Portezuelo.

Figura 4. Mapa geológico de la Región de Ñuble.



Fuente: Elaboración propia con datos de SERNAGEOMIN (Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, GeoPortal Chile, 2023).

6.1.1. Geología Estructural

La geología estructural de la Región de Ñuble se encuentra directamente condicionada por la evolución tectónica del margen convergente andino y por la superposición de eventos extensionales y compresivos que han afectado al territorio desde el Mesozoico tardío hasta la actualidad (Charrier et al., 2007). De acuerdo con Umaña (2015), el marco estructural regional responde a la interacción entre estructuras heredadas del basamento, la deformación asociada al levantamiento andino y la actividad tectónica más reciente vinculada a la subducción activa.

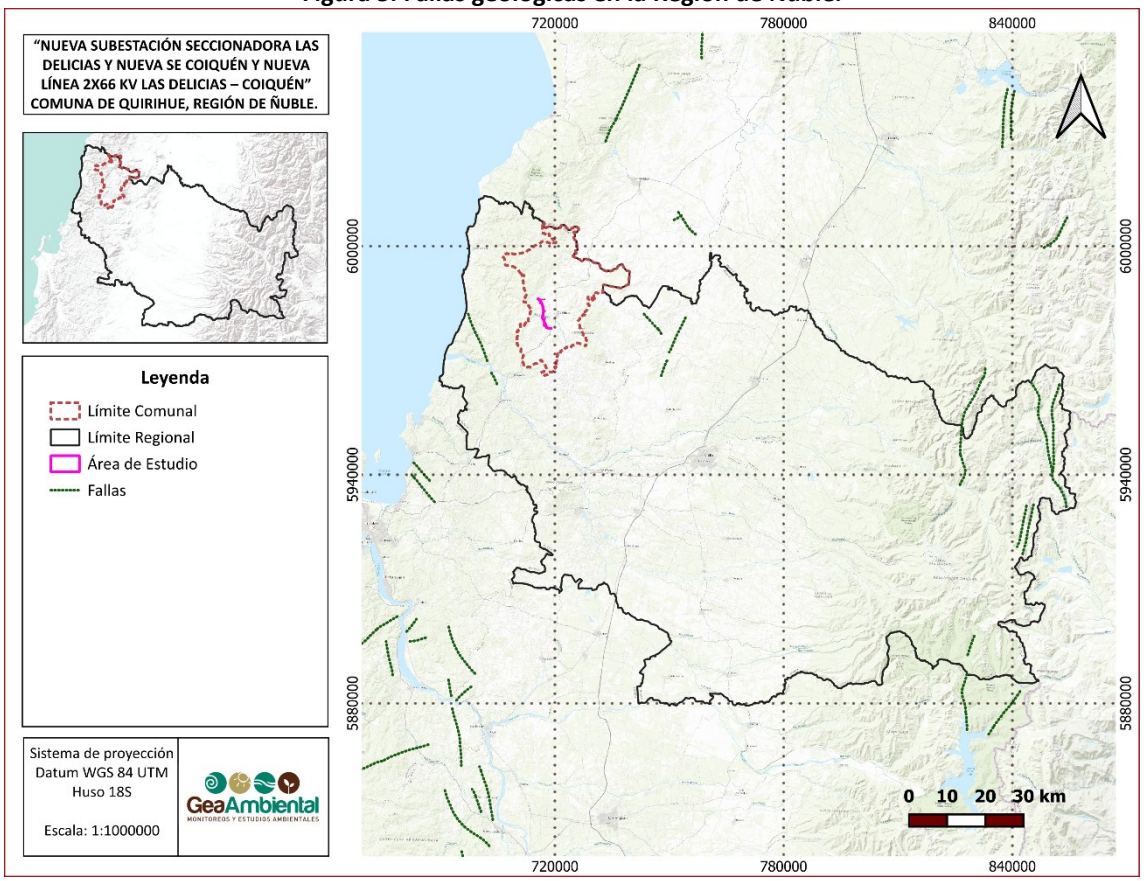
A escala regional, la estructura de la Región de Ñuble está dominada por un conjunto de fallas de orientación preferente norte - sur y nororiente - sur poniente, las cuales controlan tanto la disposición de las principales unidades geológicas como la morfología actual del relieve. Estas estructuras se desarrollan principalmente en el dominio andino y precordillerano, afectando a las unidades volcánicas, volcano-sedimentarias e intrusivas cenozoicas descritas para la región (Umaña, 2015).

Durante el Cenozoico, la región fue afectada por un régimen tectónico extensional que favoreció el desarrollo de cuencas continentales asociadas al arco andino, cuyas estructuras limitantes quedaron registradas en el arreglo estructural actual. Posteriormente, a partir del Mioceno medio a superior, estas estructuras fueron parcial o totalmente reactivadas bajo un régimen compresivo, dando lugar a procesos de inversión tectónica, plegamiento y levantamiento regional. Este evento fue determinante en la configuración estructural de la Cordillera Andina en la Región de Ñuble y en la deformación de los rellenos volcánicos y sedimentarios asociados (Umaña, 2015).

En el sector andino oriental, la geología estructural está estrechamente relacionada con el desarrollo del volcanismo neógeno y cuaternario, particularmente con el Complejo Volcánico Nevados de Chillán. En este contexto, las estructuras preexistentes del basamento y de las cuencas cenozoicas han condicionado la localización y el emplazamiento de los centros volcánicos, así como la distribución de los depósitos volcánicos asociados, evidenciando un control estructural persistente en la evolución geológica reciente de la región (Umaña, 2015).

La tectónica cuaternaria se expresa mediante la reactivación local de estructuras heredadas y el desarrollo de fallas potencialmente activas, las cuales, junto con el volcanismo activo, constituyen los principales elementos estructurales relevantes desde el punto de vista geológico y ambiental. La distribución espacial de las principales estructuras reconocidas en la Región de Ñuble, incluyendo fallas activas o potencialmente activas y aquellas identificadas en la cartografía geológica oficial, se presenta en la Figura 5 (Umaña, 2015).

Figura 5. Fallas geológicas en la Región de Ñuble.



Fuente: Elaboración propia con datos de FallasActivas.cl (Chilean Active Faults – SHP, 2023) y SERNAGEOMIN (Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000, GeoPortal Chile, 2023).

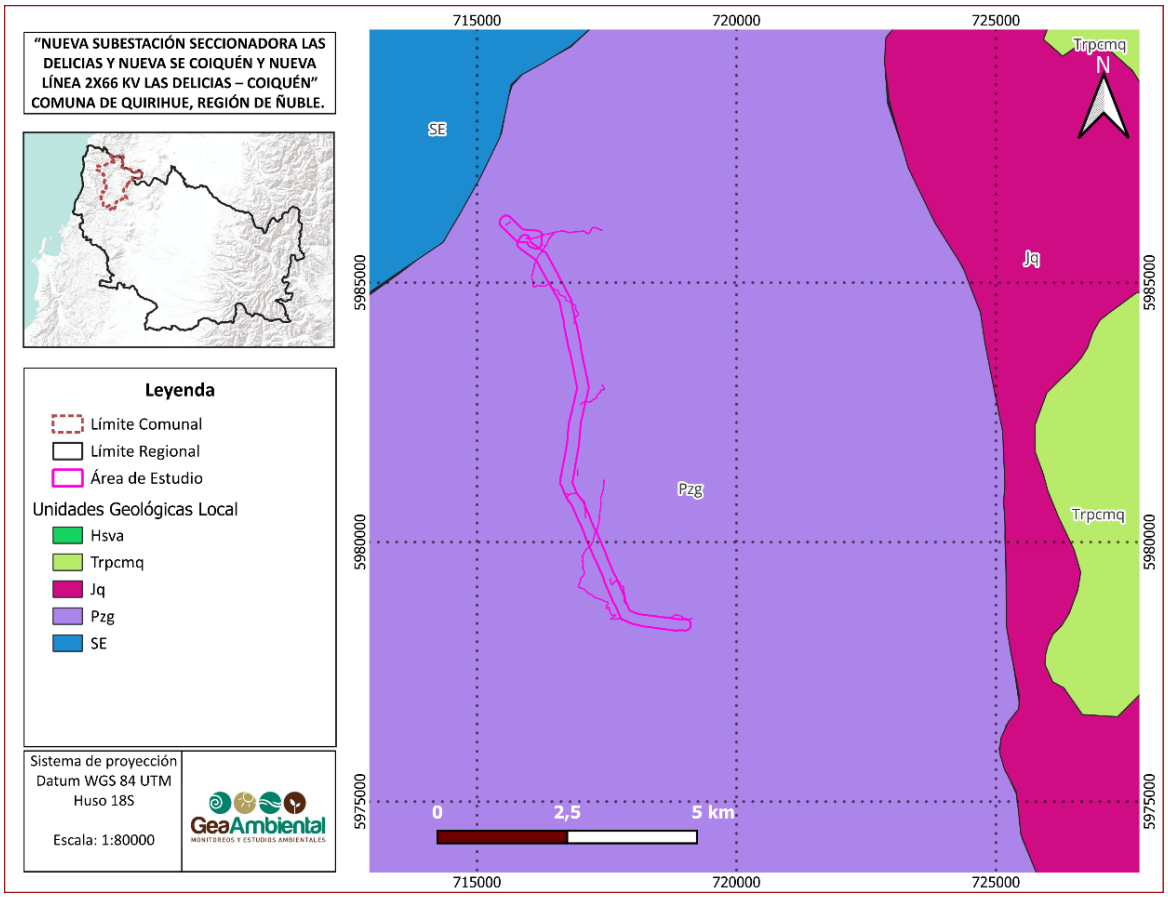
En relación con el Proyecto, el análisis de la cartografía estructural regional indica que el área de estudio no intersecta fallas geológicas cartografiadas ni fallas activas o potencialmente activas reconocidas por la cartografía oficial disponible. Las estructuras identificadas se localizan a distancia del emplazamiento de las obras proyectadas y constituyen elementos del contexto geológico regional, sin evidenciar un control estructural directo sobre la localización de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, la Nueva SE Coiquén ni la Línea 2x66 kV Las Delicias - Coiquén. En consecuencia, estas estructuras fueron consideradas para caracterizar el contexto tectónico regional y la amenaza sísmica del área, sin identificarse condicionantes estructurales que representen una restricción geológica directa para el emplazamiento del Proyecto.

6.2. Geología Local

La caracterización geológica de detalle del área del proyecto se realizó en base a la cartografía geológica oficial de mayor resolución disponible para el sector, correspondiente a la Hoja Concepción-Chillán, Mapa Geológico de Chile, escala 1:250.000 (Gajardo, 1981).

En el área del Proyecto y sus alrededores, la unidad geológica más antigua que aflora en la zona es la Serie Oriental del Basamento Metamórfico (SE), seguida por la unidad intrusiva de Tonalita y granodiorita indiferenciada (Pzg)[3], sobre la cual se emplaza directamente el área del proyecto. Posteriormente se reconoce el Triásico, representado por los Estratos de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue (Trpcmq), y el Jurásico, por la unidad intrusiva correspondiente a los Intrusivos de la Cordillera de la Costa (Jg). Finalmente, las unidades cuaternarias corresponden a los Sedimentos de Valles Actuales (Hsva).

Figura 6. Geología Local del Proyecto



Fuente: extraído de la Hoja Concepción-Chillán, Mapa Geológico de Chile, escala 1:250.000 (Gajardo, 1981).

[3] La unidad Pzg corresponde a la misma unidad cartografiada como CPg por SERNAGEOMIN (2003) en el Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000. Ambas denominaciones identifican los intrusivos graníticos a dioríticos del Carbonífero-Pérmico (Batolito de la Costa), descritos con mayor detalle en la sección 6.2 (Geología Local) en base a la Hoja Concepción-Chillán, escala 1:250.000 (Gajardo, 1981). La diferencia de nomenclatura responde exclusivamente a la escala y fuente cartográfica utilizada en cada nivel de análisis (regional vs. local), no a unidades geológicas distintas.

A continuación, se describen las unidades geológicas aflorantes en el Área de Estudio preliminar del Proyecto y alrededores cercanos, de la más antigua a la más reciente.

Serie Oriental del Basamento Metamórfico (SE)

Corresponde a una de las dos series metamórficas definidas por Aguirre et al. (1972) para el Basamento Metamórfico de la región costera de Chile central, en base a criterios estructurales y litológicos. Su reconocimiento como unidad diferenciada se remonta a González-Bonorino (1970), quien agrupó las rocas metamórficas aflorantes en la zona costera según sus condiciones particulares de presión y temperatura durante el metamorfismo. Se caracteriza por un metamorfismo de baja presión y alta temperatura que la distingue de la Serie Occidental, desarrollada bajo condiciones inversas de alta presión y baja temperatura.

Se distribuye en el sector más occidental del área de estudio como una franja prácticamente continua de orientación NNE-SSW. Su base es desconocida, mientras que su techo está constituido parcialmente por unidades sedimentarias del Cretácico y del Terciario que la sobreyacen en discordancia angular y de erosión. Litológicamente está compuesta principalmente por esquistos, filitas, gneises y metareniscas, con grado de metamorfismo variable que aumenta sistemáticamente de oeste a este, evidenciado por la aparición sucesiva de biotita, andalucita y sillimanita como minerales índices, abarcando desde la facies de esquistos verdes hasta la facies de granulita.

Tonalita y granodiorita indiferenciada (Pzg)

Esta unidad, perteneciente al Batolito de la Costa, se distribuye en el sector occidental y centro-occidental del área como una franja continua de orientación NNE-SSW, conformando gran parte de la Cordillera de la Costa. Está constituida por un complejo plutónico de composición variable entre tonalita y granodiorita, con sectores menores de diorita cuarcífera y granito. Sus rocas presentan evidencias de intensa deformación cataclástica, manifestada en el fracturamiento de cristales de cuarzo y feldespato, y se caracterizan por la presencia de grandes cristales de microclina (González-Bonorino, 1970; Escobar et al., 1977; Hervé et al., 1979, en Gajardo, 1981).

Presenta un contacto intrusivo con las rocas del Basamento Metamórfico y subyace, en discordancia de erosión, a las series sedimentarias y sedimentario-volcánicas del Triásico. Las dataciones mediante los métodos Rb-Sr y K-Ar arrojan edades de 320 Ma, interpretadas como la edad de cristalización del magma, y edades entre 208 y 218 Ma, interpretadas como el momento de enfriamiento por alzamiento cortical (Hervé et al., 1979; Dávila et al., 1979, en Gajardo, 1981). Edades adicionales entre 250 y 270 Ma han sido interpretadas como rejuvenecimiento parcial del sistema isotópico (Dávila et al., 1979, en Gajardo, 1981), en concordancia con los eventos ígneo-metamórficos paleozoicos superiores reconocidos en la Cordillera de la Costa de Chile central y sur (Munizaga et al., 1973). Al noreste de Quirihue se

han identificado cuerpos graníticos con edades de 416 ± 20 Ma (Hervé y Munizaga, 1979, en Gajardo, 1981), lo que sugiere la posible existencia de intrusivos precarboníferos en el área.

Estratos de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue (Trpcmq)

Unidad informal que agrupa un conjunto de rocas sedimentarias y volcánicas aflorantes en el sector centro-norte del área, estudiadas originalmente por Muñoz Cristi y González Pacheco (1953, en Gajardo, 1981) como Formación La Patagua, y ampliadas posteriormente por Moreno et al. (1976, en Gajardo, 1981) a Estratos de Pocillas. Se distribuye en el sector noroccidental de la Cordillera de la Costa, entre los 36°05' y los 36°22' de latitud sur, en discordancia sobre rocas metamórficas y graníticas paleozoicas.

Litológicamente está compuesta por lutitas pizarrosas, areniscas, lavas y brechas andesíticas, pedernal y conglomerados de cuarzo, sin que sea posible establecer una columna estratigráfica ordenada debido a complicaciones tectónicas (Moreno et al., 1976, en Gajardo, 1981). La edad de la unidad ha sido asignada al Rético en base a flora fósil hallada por Moreno et al. (1976) cerca del cerro Quilvo (Taeniopteris mareyesiaca, Taeniopteris sp. y Thinnfeldia sp.). El ambiente de depositación correspondería a un ambiente marino de acuerdo con bivalvos encontrados en las lutitas (Charrier, 1979).

Intrusivos de la Cordillera de la Costa (Jg)

Unidad informal que agrupa un conjunto de cuerpos graníticos reconocidos en el sector oriental de la Cordillera de la Costa, de composición general semejante a los granitoides paleozoicos, aunque de textura más fina, dispuestos en franja discontinua NNE-SSW. En el sector norte del área intruyen las sucesiones sedimentario-volcánicas del Triásico, generando alteración hidrotermal con desarrollo de caolinita y pirofilita (Muñoz Cristi y González Pacheco, 1953; Lagno et al., 1978, en Gajardo, 1981).

Las dataciones K-Ar arrojan edades entre 207 y 172 Ma, interpretadas por Hervé y Munizaga (1979, en Gajardo, 1981) como expresión de un magmatismo intrusivo de edad Triásico superior a Jurásico. Se ha asignado tentativamente una edad jurásica al conjunto de estos cuerpos graníticos.

Sedimentos de Valles Actuales (Hsva)

Unidad informal constituida por depósitos detríticos no consolidados, principalmente gravas, ripios y arenas, asociados al relleno reciente de los cauces fluviales. Estos depósitos se distribuyen ampliamente a lo largo de las principales vías de drenaje del área de estudio, alcanzando su mayor desarrollo en los sectores donde los cursos fluviales atraviesan la Depresión Central, donde se disponen sobre unidades geológicas preexistentes. También se reconocen acumulaciones de importancia en los ríos Itata y Biobío, particularmente en los sectores donde estos atraviesan la Cordillera de la Costa.

Tabla 4. Unidades Geológicas presentes a nivel local.

Era	Periodo/Época	Unidad Geológica	Descripción Litológica
Cenozoico	Pleistoceno–Holoceno	Hsva	Sedimentos de Valles Actuales: materiales detríticos no consolidados (gravas, ripios y arenas) que constituyen el relleno actual de los cauces fluviales. Mejor expresión en los sectores donde los ríos atraviesan la Depresión Central, y acumulaciones importantes en los ríos Itata y Biobío al cruzar la Cordillera de la Costa.
Mesozoico	Triásico superior–Jurásico (207–172 Ma)	Jg	Intrusivos de la Cordillera de la Costa: cuerpos graníticos de composición similar a los granitoides paleozoicos pero de textura más fina, dispuestos en franja discontinua NNE-SSW. Instruyen las sucesiones sedimentario-volcánicas del Triásico generando alteración hidrotermal (caolinita, pirofilita). Edad asignada tentativamente al Jurásico (Hervé y Munizaga, 1979, en Gajardo, 1981).
Mesozoico	Triásico superior (Rético)	Trpcmq	Estratos de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue: lutitas pizarrosas, areniscas, lavas y brechas andesíticas, pedernal y conglomerados de cuarzo. En discordancia sobre el basamento metamórfico y granítico paleozoico. Edad Rético según flora fósil (*Taeniopteris mareyesiaca, Thinnfeldia sp.*); ambiente de depósito marino.
Paleozoico	Paleozoico superior (~320 Ma; enfriamiento 208–218 Ma)	Pzg	Tonalita y granodiorita indiferenciada - Batolito de la Costa. Unidad predominante en el área del proyecto. Composición variable entre tonalita y granodiorita, con sectores menores de diorita cuarcífera y granito; evidencias de deformación cataclástica y grandes cristales de microclina. Contacto intrusivo con el Basamento Metamórfico; subyace en discordancia de erosión a las series triásicas.
Paleozoico	Paleozoico superior (~320 Ma; enfriamiento 208–218 Ma)	SE	Serie Oriental del Basamento Metamórfico: esquistos, filitas, gneises y metareniscas, con metamorfismo de baja presión y alta temperatura. Grado metamórfico creciente de oeste a este (biotita → andalucita → sillimanita), desde facies de esquistos verdes hasta facies de granulita. Base desconocida; techo cubierto en discordancia por unidades sedimentarias del Cretácico-Terciario.

Fuente: Elaboración propia, en base a Hoja Concepción-Chillán, Mapa Geológico de Chile, escala 1:250.000 (Gajardo, 1981).

6.3. Geomorfología Regional

El área de emplazamiento del Proyecto se encuentra ubicada en la comuna de Quirihue, Región de Ñuble, dentro de la unidad geomorfológica correspondiente a la Cordillera de la Costa, una de las principales unidades fisiográficas que caracterizan el territorio centro-sur de Chile. Esta unidad se desarrolla paralela al margen costero del país y corresponde a un relieve antiguo asociado principalmente a la evolución tectónica y erosiva del basamento continental (Börgel, 1983).

Desde una perspectiva regional, el territorio de la Región de Ñuble presenta una configuración geomorfológica compuesta por cinco grandes unidades: Cordillera de los Andes, Precordillera, Depresión Intermedia, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales. Estas unidades reflejan la interacción entre procesos tectónicos, actividad magmática, sedimentación y agentes externos de modelado del relieve que han actuado durante la evolución geológica del territorio (Börgel, 1983; Araya-Vergara, 1982).

Para el área donde se desarrolla el Proyecto, la unidad dominante corresponde a la Cordillera de la Costa, caracterizada por un relieve de baja a moderada altura, compuesto principalmente por cordones montañosos, lomajes y superficies onduladas que han sido modeladas por procesos erosivos prolongados. En el sector de Quirihue, esta unidad presenta una disminución progresiva de altitud respecto a sectores septentrionales de la Cordillera de la Costa, configurando un paisaje dominado por cerros aislados, pequeñas cuencas interiores y quebradas asociadas a la red de drenaje local (Börgel, 1983).

La morfología actual de la Cordillera de la Costa corresponde al resultado de una evolución geológica prolongada, donde han intervenido procesos de levantamiento tectónico, meteorización y erosión diferencial. Debido a la antigüedad de sus materiales geológicos, esta unidad presenta superficies altamente modificadas por agentes exógenos, generando relieves suavizados con pendientes variables y sistemas de drenaje desarrollados sobre materiales resistentes y zonas de mayor alteración superficial (Charrier et al., 2007).

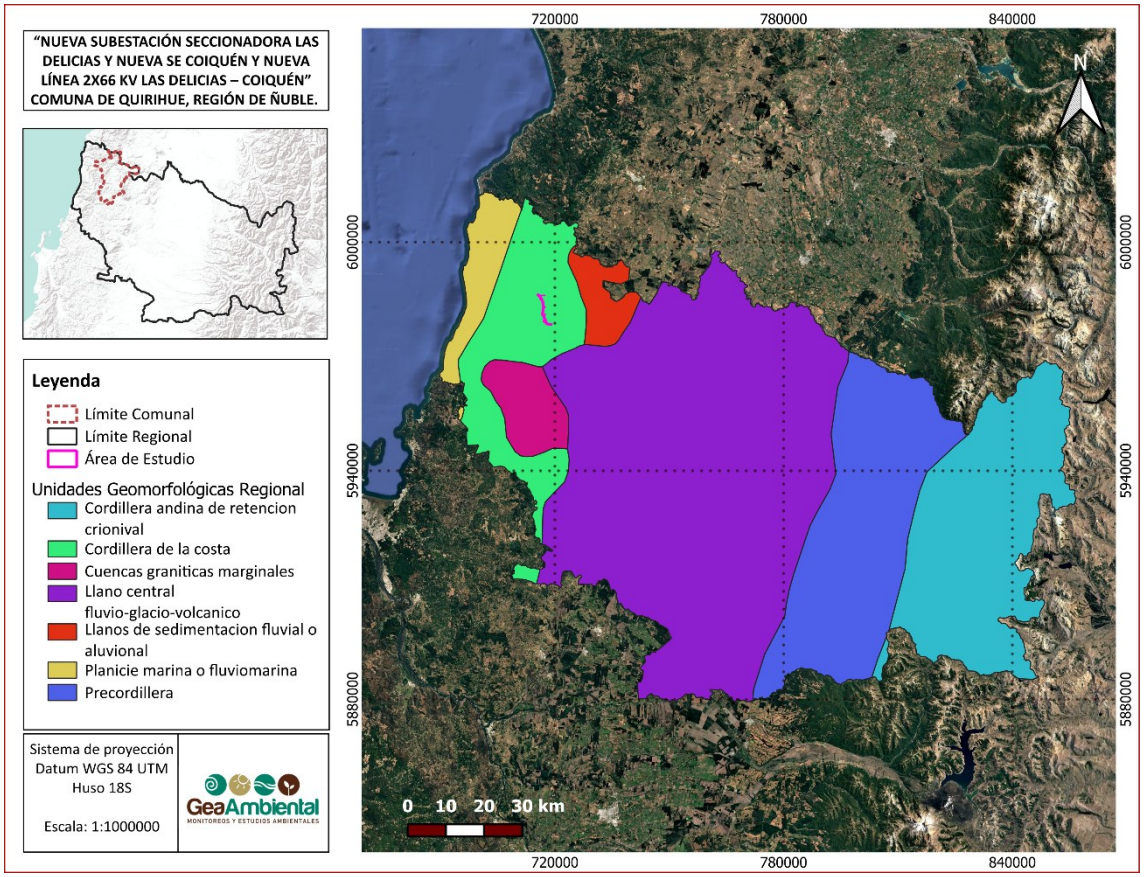
Desde el punto de vista geológico, el relieve asociado a la Cordillera de la Costa en la comuna de Quirihue está vinculado principalmente a la presencia de rocas intrusivas paleozoicas correspondientes a cuerpos granitoides. De acuerdo con la cartografía geológica del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), el sector presenta predominio de la unidad CPg (Pzg a escala local), correspondiente a intrusivos del Carbonífero - Pérmico, constituidos principalmente por granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas con minerales como hornblenda y biotita (SERNAGEOMIN, 2003).

La presencia de estas rocas plutónicas condiciona las características geomorfológicas locales, debido a que corresponden a materiales de alta competencia mecánica que conforman el basamento del relieve. Sin embargo, la acción prolongada de procesos de meteorización química y física ha favorecido la generación de regolitos y depósitos superficiales derivados de la alteración de los granitoides, los cuales pueden observarse asociados a laderas, lomajes y sectores deprimidos del relieve local (SERNAGEOMIN, 2003).

En términos morfodinámicos, el área presenta procesos asociados principalmente a erosión hídrica superficial, formación de quebradas y transporte de materiales desde sectores elevados hacia zonas de menor pendiente. Estos procesos han contribuido al desarrollo de la configuración actual del paisaje, caracterizado por una topografía ondulada propia de sectores interiores de la Cordillera de la Costa.

En consecuencia, el Proyecto se inserta dentro de un ambiente geomorfológico dominado por la Cordillera de la Costa de Quirihue, donde el relieve actual está estrechamente relacionado con la presencia del basamento intrusivo paleozoico de la unidad CPg y con la acción combinada de procesos tectónicos antiguos y modelado erosivo reciente.

Figura 7. Geomorfología en el lugar de emplazamiento del Proyecto



Fuente: Unidades geomorfológicas descritas por Börgel (1983).

6.4. Geomorfología Local

El área de emplazamiento de las obras del Proyecto correspondientes a la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, la Nueva Subestación Coiquén, la Línea de Transmisión aérea 2x66 kV Las Delicias - Coiquén y los caminos de acceso a construir y modificar, se inserta íntegramente en la unidad geomorfológica correspondiente a la Cordillera de la Costa de la Región de Ñuble, específicamente en el sector interior de la comuna de Quirihue.

A escala local, el paisaje se caracteriza por un relieve dominado por lomajes y cordones montañosos de baja a moderada elevación, asociados a procesos de modelación prolongados sobre un basamento intrusivo paleozoico correspondiente a la unidad Pzg, compuesta principalmente por granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas.

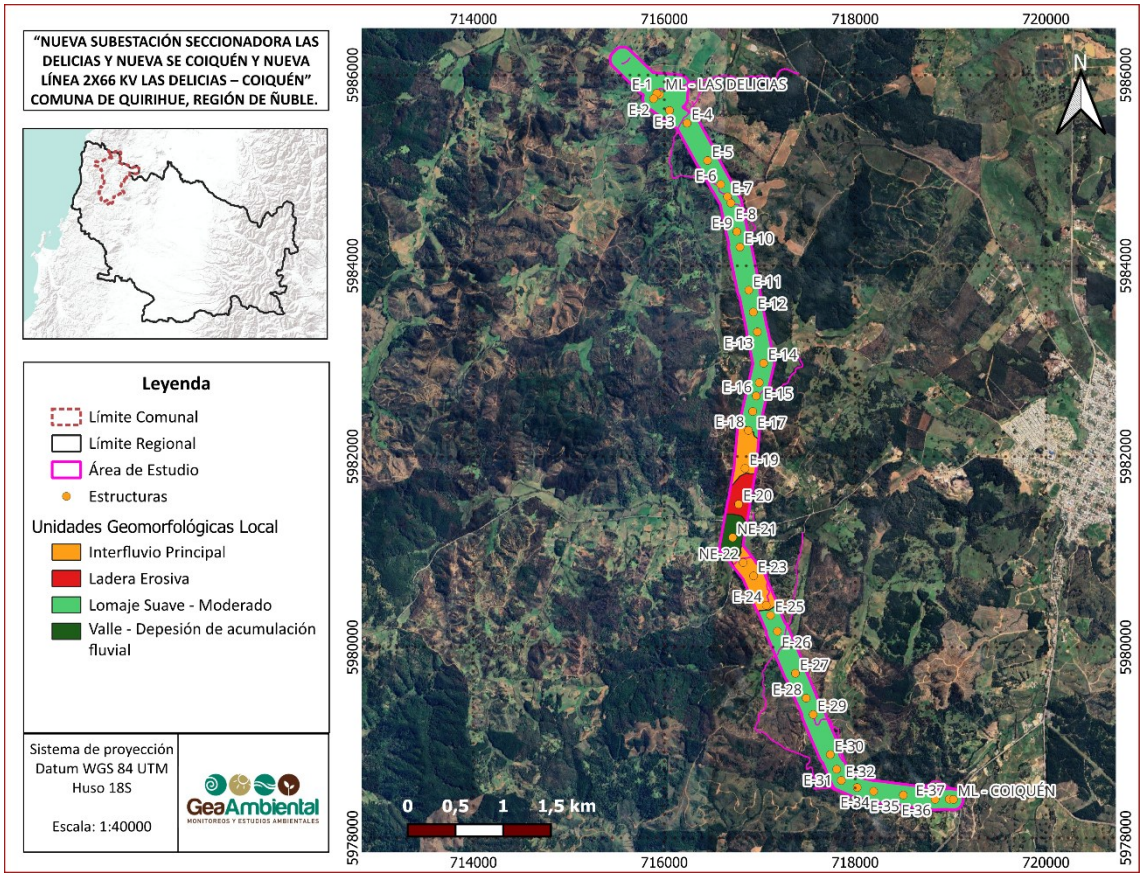
La evolución geomorfológica del sector se encuentra condicionada por la respuesta diferencial de estas unidades litológicas frente a los procesos de meteorización y erosión, generando un relieve de carácter ondulado, con presencia de interfluvios, quebradas y depresiones locales asociadas al desarrollo de redes de drenaje (Figura 8). Estas formas del terreno reflejan la acción

combinada de procesos erosivos antiguos y actuales, responsables de la configuración del paisaje característico de la Cordillera de la Costa interior de Ñuble.

Caracterización Específica por Componentes del Proyecto:

- Nuevas Subestaciones (Las Delicias y Coiquén): Los polígonos destinados a la construcción y operación de la Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias y la Nueva Subestación Coiquén se emplazan sobre unidades de lomajes moderados, con pendientes entre 6° y 13° (Tabla 5), constituidas sobre el mismo basamento granítico característico de la zona interior de Quirihue.
- Línea de Transmisión (LT 2x66 kV): El trazado de la línea, que conecta ambas subestaciones en una extensión aproximada de 9,1 km, se desarrolla sobre una sucesión de lomajes, divisorias locales y pequeñas cuencas hidrográficas. El perfil longitudinal de la LT presenta variaciones altitudinales que fluctúan entre los 254 m s.n.m. (asociada a la estructura E-21, emplazada en una unidad de Ladera Erosiva) y los 367 m s.n.m. (alcanzados en la estructura E-18), reflejando sectores de mayor elevación vinculados a interfluvios y zonas deprimidas asociadas a cursos de drenaje local.
- Respecto a los caminos de acceso proyectados para la fase de construcción y operación, estos se sitúan en sectores inmediatamente aledaños a las infraestructuras principales (subestaciones y trazado de la LT). En consecuencia, la clasificación ambiental de las vías de acceso adopta la misma categorización geomorfológica de la unidad más cercana o adyacente a cada tramo.

Figura 8. Geomorfología Local



Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de vista edafológico, esta configuración geomorfológica presenta relación directa con las características de los suelos desarrollados en el área de estudio del proyecto. De acuerdo con lo indicado en el Informe de Línea Base del componente Suelo (ITLB-SUE-567.2218-1, junio 2026), predominan suelos pertenecientes a la Asociación Cauquenes, desarrollados sobre materiales derivados de rocas graníticas de la Cordillera de la Costa. Estos presentan condiciones de relieve ondulado a fuertemente ondulado, con limitaciones asociadas principalmente a la pendiente y susceptibilidad a procesos erosivos, clasificándose mayoritariamente en Clases de Capacidad de Uso VI y VII.

En consecuencia, la geomorfología local constituye un factor determinante en la distribución de las unidades de suelo, condicionando tanto la dinámica superficial del terreno como la presencia de sectores con mayor sensibilidad frente a procesos erosivos dentro del área de emplazamiento del proyecto.

6.4.1. Perfil Topográfico de la LT

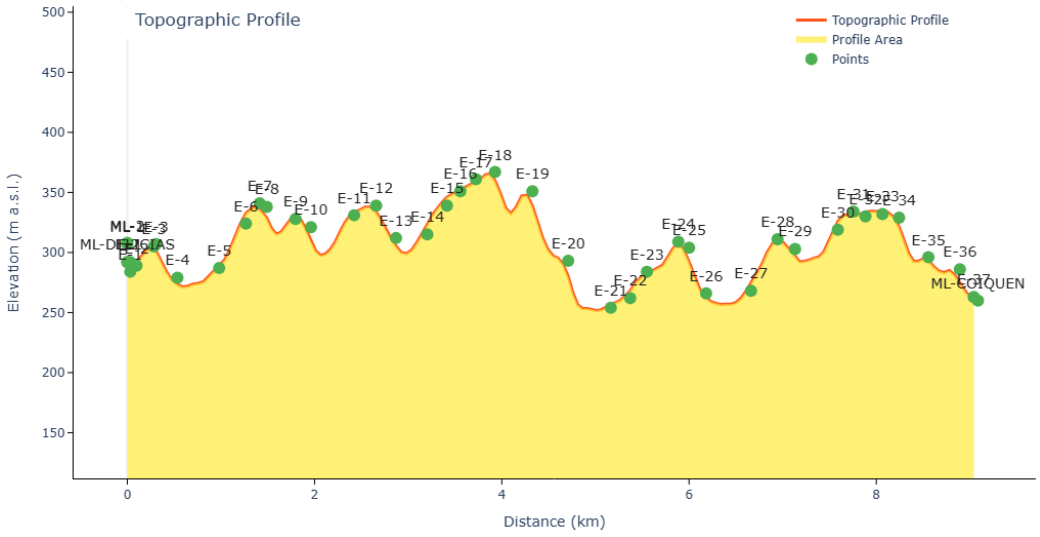
El análisis del perfil topográfico longitudinal de la LT permite caracterizar la morfología del terreno en el eje de emplazamiento de las estructuras y así identificar los sectores de mayor

pendiente, zonas de acumulación topográfica y sectores de transición morfológica. El perfil fue elaborado a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) y validado con los puntos de posicionamiento de cada estructura (ML y E), registrando la cota de emplazamiento de cada una de ellas.

Desde la SE Las Delicias (cota ~308 m s.n.m.) hacia la SE Coiquén (cota ~260 m s.n.m.), el perfil evidencia una sucesión de crestas y valles intercalados, con diferencias de cota de hasta 113 metros entre sectores adyacentes (tramo E-18 a E-21). El sector de mayor elevación absoluta corresponde al interfluvio localizado entre las estructuras E-15 y E-19, donde el relieve supera los 350 m s.n.m., antes de descender abruptamente hacia la zona más baja del trazado en la estructura E-21 (~254 m s.n.m.).

Figura 9 La Figura 9 presenta el perfil topográfico de la LT con la ubicación de cada estructura.

Figura 9. Perfil topográfico de la LT

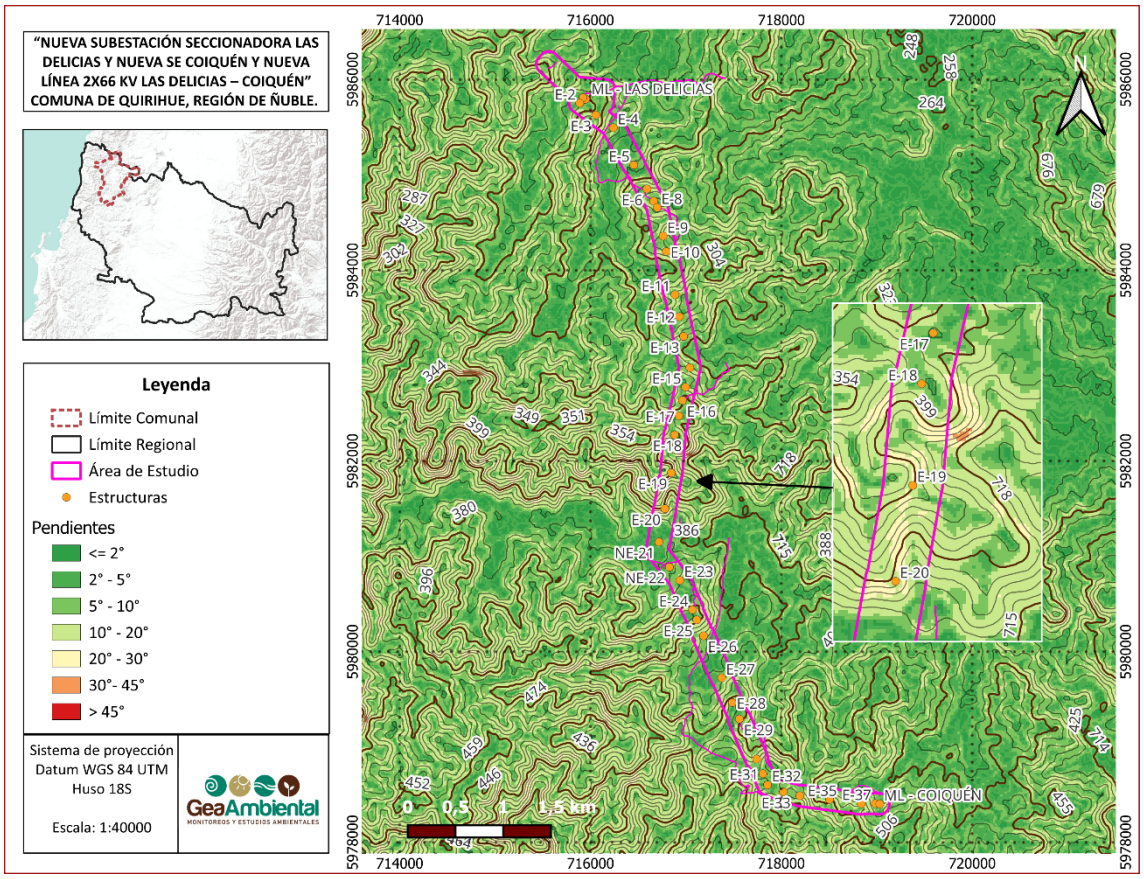


Fuente: Elaboración propia

6.4.2. Análisis de pendiente

El análisis de pendientes del área de estudio fue realizado a partir del DEM, clasificando las pendientes según la propuesta metodológica de Araya, Vergara y Börgel (1972), que establece siete categorías en función de su expresión geomorfológica, umbral de erosión y erodabilidad asociada. La Figura 10 muestra la cartografía de pendientes del área, y Tabla 1 sintetiza la clasificación utilizada.

Figura 10. Mapa de Pendientes



Fuente: Elaboración propia en base al layout del Proyecto

El análisis espacial de las pendientes en el área de estudio de la LT revela un predominio de pendientes entre 2° y 10° (categorías Suave y Moderada, Tabla 1), lo que resulta consistente con la morfología ondulada y de lomaje característica de la Cordillera de la Costa en el sector de Quirihue. Por su parte, el Informe de Suelo (ITLB-SUE-567.2218-1) identifica, a escala local, pendientes de lomajes entre 30 y 45%, equivalentes aproximadamente a 17 - 24°, en las nueve calicatas evaluadas. Estas diferencias responden a la escala de representación de ambos análisis, dado que el análisis espacial permite caracterizar la distribución general de las pendientes en el área de estudio, mientras que las calicatas representan condiciones locales del terreno. En este contexto, se identifican sectores puntuales con pendientes mayores, destacando el tramo E-25 a E-26, mientras que el tramo E-18 a E-21 concentra el mayor desnivel acumulado del trazado, según se detalla en la Tabla 5.

Tabla 5. Pendientes representativas en los tramos de mayor relevancia geomorfológica de la LT.

Tramo	Dist. (km)	Cota (m s.n.m.)	Desnivel (m)	Pend. media (°)	Pend. media (%)	Clasificación	Erodabilidad
SE Las Delicias	0,00	308 – 284	24	6° – 11°	10,5 – 19,4	Moderada a Fuerte	Media a Alta

Tramo	Dist. (km)	Cota (m s.n.m.)	Desnivel (m)	Pend. media (°)	Pend. media (%)	Clasificación	Erodabilidad
ML-Delicias – E-1	0,0000 – 0,0025	308 – 284	24	6° – 11°	10,5 – 19,4	Moderada a Fuerte	Media a Alta
E-5 – E-6	0,98 – 1,27	287 – 324	37	7,4°	12,9	Moderada	Media
E-12 – E-13	2,66 – 2,87	339 – 312	27	7,2°	12,7	Moderada	Media
E-14 – E-15	3,20 – 3,41	315 – 339	24	6,6°	11,5	Moderada	Media
E-18 – E-20	**3,93 – 4,71**	**367 – 293**	**74**	**5,4°**	**9,5**	**Moderada**	**Media**
E-20 – E-21	**4,71 – 5,16**	**293 – 254**	**39**	**4,9°**	**8,6**	**Suave**	**Baja**
E-25 – E-26	6,00 – 6,18	304 – 266	38	11,8°	20,9	Fuerte	Alta
E-27 – E-28	6,66 – 6,95	268 – 311	43	8,6°	15,1	Moderada	Media
E-36 – E-37	8,89 – 9,04	286 – 263	23	8,8°	15,5	Moderada	Media
SE Coiquén	~9,10	~260	–	6° – 13°	10,5 – 23,1	Moderada a Fuerte	Media a Alta

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 5 presenta la pendiente media entre estructuras, calculada a partir del desnivel y la distancia horizontal de cada tramo, mientras que para las subestaciones se indica el rango de pendientes de su área de emplazamiento. En el tramo ML-Delicias – E-1 no se estima pendiente, dado que su separación horizontal (2,5 m) es inferior a la resolución del DEM utilizado (12,5 m). Las pendientes medias entre estructuras se clasifican mayoritariamente en la categoría Moderada (5,1°–10°), con erodabilidad Media según Araya, Vergara y Börgel (1972). La mayor pendiente media se registra en el tramo E-25 a E-26 (11,8°; 20,9%), única sección clasificada como Fuerte, con erodabilidad Alta y condiciones propicias para el desarrollo de erosión lineal frecuente y cárcavas incipientes. Por su parte, el tramo comprendido entre las estructuras E-18 y E-21 adquiere relevancia geomorfológica por concentrar el mayor desnivel acumulado del trazado (113 m), desde la cota máxima del perfil (~367 m s.n.m.) hasta la cota mínima en E-21 (~254 m s.n.m.), lo que favorece la concentración de la escorrentía superficial hacia la depresión donde se emplaza la estructura E-21.

La sección entre las estructuras E-18 a E-20 registra el mayor desnivel acumulado en un solo tramo, con una caída de 74 metros en aproximadamente 782 metros de distancia horizontal (pendiente media de 9,5%; 5,4°), ubicándolo en la categoría Moderada, con erodabilidad Media

y condiciones para el inicio de erosión lineal y el desarrollo de regueras. Este sector corresponde al flanco norte del interfluvio principal del trazado, desde la cota máxima del perfil (~367 m s.n.m. en E-18) hacia el fondo del valle.

Figura 11. Imagen aérea - Zonas de erosión



Fuente: Elaboración propia

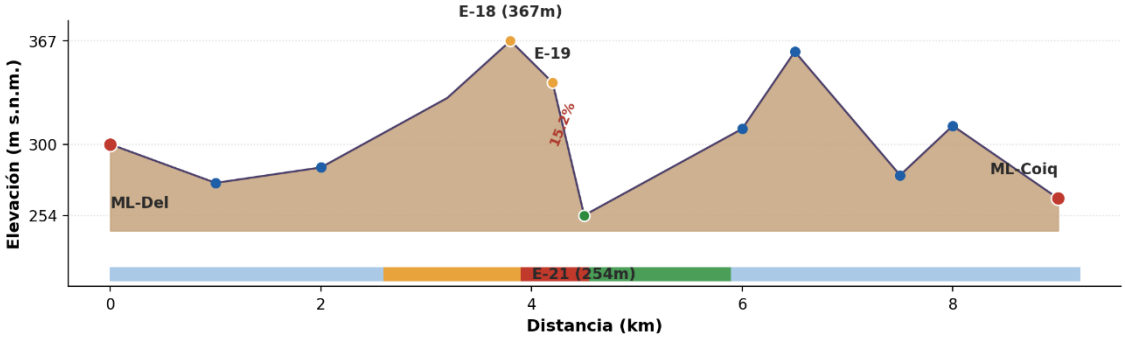
El tramo comprendido entre las estructuras E-20 a E-21 continúa el descenso con una pendiente media de 8,6% (4,9°; categoría Suave, erodabilidad Baja), hasta alcanzar la cota mínima del proyecto en E-21 (~254 m s.n.m.). La continuidad del descenso desde E-18 genera condiciones favorables para la erosión hídrica superficial, el transporte de materiales finos y la concentración de flujos de escorrentía hacia la depresión donde se emplaza la estructura E-21.

En este contexto, la identificación de una zona de acumulación de agua en el sector de la estructura E-21, registrado durante el levantamiento de la Línea de Base de Limnología, es plenamente consistente con las condiciones morfohidrológicas del sector. La depresión topográfica donde se ubica E-21 constituye una zona de recepción y acumulación de agua superficial, favorecida por tres factores geomorfológicos concurrentes: (1) el aporte sostenido de escorrentía superficial proveniente del tramo con mayor desnivel acumulado del perfil (tramo E-18 a E-20, con una caída de 74 m); (2) la posición de fondo de cuenca que reduce la velocidad de los flujos y promueve la retención hídrica; y (3) la probable presencia de horizontes de baja permeabilidad asociados a materiales de alteración granítica (saprolito o regolito con texturas arcillosas), que dificultan el drenaje vertical del agua acumulada.

En síntesis, la geomorfología local del área de emplazamiento de la LT Las Delicias - Coiquén se caracteriza por una morfología de lomajes y cordones de la Cordillera de la Costa, con pendientes predominantemente Suaves a Moderadas (2°-10°, equivalentes a 3,5%-17,6% de

pendiente) a lo largo de la mayor parte del trazado. El sector de mayor relevancia geomorfológica corresponde al tramo E-18 a E-21, donde se concentra el mayor desnivel acumulado del perfil (113 m), con pendientes medias entre 8,6% y 9,5% (Suave a Moderada) y erodabilidad Baja a Media, que favorecen la concentración de flujos de escorrentía superficial hacia la zona más baja, sector donde se ubica la estructura E-21. Por su parte, la mayor pendiente media del trazado se registra en el tramo E-25 a E-26 (11,8°; 20,9%), clasificado como Fuerte, con erodabilidad Alta.

Figura 12 . Esquema de la Geomorfología Local del Proyecto



Unidades geomorfológicas locales

- Lomaje suave-moderado (2°–10°) — sectores de ladera con pendiente Media, erodabilidad Baja–Media
- Interfluvio principal (E-12 a E-18) — cresta de mayor elevación, ~339–367 m s.n.m., erodabilidad Media
- Ladera erosiva fuerte (E-18 a E-21) — pendiente Fuerte 8,6–15,2%, erodabilidad Alta, eje de escorrentía
- Depresión de acumulación (E-21) — zona de acumulación hídrica, cota mínima 254 m, suelos hidromórficos
- Puntos límite del perfil (ML-Del 300 m / ML-Coiq 265 m)
- Estructura de zona de acumulación hídrica identificada (LB Limnología)
- Escorrentía superficial hacia zona de acumulación

Fuente: Elaboración propia

La presencia de la acumulación de agua en el sector de E-21 durante el levantamiento de la LB de Limnología se fundamenta geomorfológicamente en la posición de depresión topográfica que ocupa dicha estructura, y se ve reforzado por las características edafológicas documentadas en el Informe de Suelo (ITLB-SUE-567.2218-1) en el cual se describen suelos de la Asociación Cauquenes con texturas finas (arcillosas a franco arcillo arenosas), que si bien presentan buen drenaje en laderas, favorecen la escorrentía superficial hacia los sectores bajos y la retención hídrica en sus horizontes superiores, condiciones que en conjunto determinan la acumulación de agua en esta zona baja y sustentan el ecosistema hidromórfico registrado.

6.5. Riesgos Geológicos, Geomorfológicos y Naturales

El presente capítulo desarrolla la identificación y caracterización de los principales riesgos geológicos, geomorfológicos y naturales relevantes para el Área de Estudio, considerando su emplazamiento en la Región de Ñuble, zona inserta en el margen activo de subducción Nazca Sudamericana y reconocida por su alta recurrencia sísmica y dinámica geomorfológica asociada.

La evaluación se efectuó mediante revisión de antecedentes técnicos oficiales, cartografía temática y registros instrumentales disponibles, priorizando información generada por el Servicio Nacional de Geología y Minería, el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres y el Centro Sismológico Nacional, junto con bases de datos internacionales del United States Geological Survey. Asimismo, se consideraron antecedentes hidrológicos del Ministerio de Obras Públicas, información climática oficial del Ministerio del Medio Ambiente (ARCLIM) y estadísticas de incendios forestales de la Corporación Nacional Forestal.

En función de lo anterior, se analizan los siguientes componentes: (i) riesgo sísmico, asociado a la actividad interplaca y cortical regional; (ii) riesgo volcánico, en relación con centros activos monitoreados oficialmente; (iii) riesgo de remociones en masa, condicionado por pendiente, litología y régimen de precipitaciones; (iv) riesgo de inundación, vinculado a sistemas de drenaje y eventos hidrometeorológicos extremos; (v) riesgos climáticos, considerando proyecciones de variabilidad y eventos intensos; y (vi) riesgo de incendios forestales, conforme a ocurrencia histórica regional.

La integración de estas fuentes permite establecer un marco fundado de amenazas naturales para el emplazamiento del Proyecto, asegurando su adecuada consideración en la evaluación ambiental, en coherencia con la normativa vigente en materia de gestión del riesgo y reducción de desastres.

6.5.1. Riesgo Sísmico

Los sismos corresponden a liberaciones súbitas de energía en la corteza terrestre, manifestadas como vibraciones de distinta intensidad, que ocurren principalmente en zonas de interacción entre placas tectónicas. En el área de estudio, la actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. Los registros históricos indican que, en promedio, se produce al menos un evento sísmico de magnitud superior a 7 por siglo, con epicentros localizados preferentemente en el borde costero de la Región del Biobío - Ñuble.

Chile ha estado permanentemente afectado por fuertes sismos, cuyos epicentros se han localizado a lo largo de todo el territorio nacional. A lo largo de la historia, conquistadores, colonizadores y habitantes de las primeras etapas de la República dejaron numerosos testimonios escritos que permiten dimensionar los efectos destructivos de estos eventos sísmicos (Cereceda et al., 2011).

Hasta comienzos del siglo XX, la caracterización de los terremotos se basaba principalmente en la percepción del daño ocasionado, ya que no existían instrumentos de medición científica. Recién a partir de 1935 se comenzó a utilizar la escala de Richter, lo que permitió registrar de manera objetiva la magnitud de los sismos. En este mismo período, el desarrollo de medios gráficos y tecnológicos, como la fotografía, el cine y otros registros audiovisuales, contribuyó a una documentación más precisa de los eventos.

Los registros sísmicos históricos en el territorio nacional se remontan aproximadamente al año 1570, cuando se documentó un terremoto ocurrido en la zona de Concepción, actual Región del Biobío, cuya magnitud se estima en aproximadamente 8,3. Posteriormente, existen múltiples antecedentes escritos de terremotos ocurridos durante los siglos XVII, XVIII, XIX y XX, hasta el año 2010 (Tabla 6).

El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente en Chile corresponde al terremoto de 1960, con epicentro en las cercanías de Lumaco (Región de La Araucanía) y efectos devastadores en Valdivia, el cual alcanzó una magnitud de 9,5 Mw y generó impactos a escala nacional, incluyendo la Región del Biobío.

Por su parte, el último gran terremoto registrado en la zona centro-sur del país ocurrió el 27 de febrero de 2010, con epicentro frente a la localidad de Cobquecura, alcanzando una magnitud de 8,8 Mw. Este evento fue percibido desde la Región de Valparaíso hasta la Región de Los Ríos y es considerado el segundo sismo de mayor magnitud registrado en Chile. Afectó una extensa y densamente poblada zona del país, provocando graves daños en ciudades, localidades rurales e infraestructura costera. Asimismo, el tsunami asociado generó inundaciones significativas en sectores litorales y alcanzó incluso la Isla Robinson Crusoe, ocasionando más de 500 víctimas fatales, incluidas las asociadas al tsunami (Cereceda et al., 2011).

Tabla 6. Registros históricos de terremotos ocurridos en Chile a partir de 1570

Año	Lugar(es) afectados	Magnitud estimada	Distancia aprox. al Proyecto (km)*
1570	Concepción y Región del Biobío	8,3	70
1575	Santiago	7,3	370
1575	Valdivia, Los Ríos y Los Lagos	8,5	400
1604	Arica y Parinacota, Tarapacá	8,5	1.990
1615	Arica y Parinacota, Tarapacá	8,8	1.990
1647	Santiago y Chile Central	8,5	370
1657	Biobío a Los Lagos	8	70
1681	Arica y Parinacota, Tarapacá	7,3	1.990
1730	Coquimbo a Metropolitana	8,7	370
1737	Biobío a Los Lagos	7,7	400
1751	Concepción y Biobío	8,5	70
1796	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	7,7	1.010
1819	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	8,3	1.010

Año	Lugar(es) afectados	Magnitud estimada	Distancia aprox. al Proyecto (km)*
1822	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	7,3	370
1831	Arica y Parinacota, Tarapacá	7,8	1.990
1833	Arica y Parinacota, Tarapacá	7,7	1.990
1835	Concepción y Biobío	8,5	70
1837	Biobío a Los Lagos	8	400
1849	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	7,5	720
1850	Santiago y Valparaíso	7,3	320
1851	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	7,5	370
1851	Huasco, Atacama	6,5	870
1859	Atacama y Coquimbo	7,6	1.010
1868	Arica y Parinacota, Tarapacá	8,5	1.990
1871	Los Ríos a Aisén	8,2	470
1873	Valparaíso y Metropolitana	8,9	370
1876	Atacama, Coquimbo y Valparaíso	7,5	720
1877	Arica y Parinacota, Tarapacá	8,5	1.870
1880	Coquimbo y Valparaíso	8,8	490
1893	Punta Arenas, Magallanes	6,6	1.890
1906	Valparaíso	7,9	370
1918	Antofagasta, Atacama y Coquimbo	7,6	930
1922	Vallenar – Atacama	8,4	880
1927	Aisén	7,1	910
1928	Talca – Maule	8,3	150
1939	Chillán, Maule y Biobío	8,3	36
1942	Caldera, Antofagasta y Atacama	7,3	1.030
1943	Ovalle, Coquimbo	8,3	620
1946	Copiapó – Atacama	7,9	1.100
1949	Angol, Biobío y Araucanía	7,3	200
1949	Tierra del Fuego, Magallanes	7,8	1.990
1953	San Carlos, Maule y Biobío	8,3	60
1953	Calama, Tarapacá y Antofagasta	8,3	1.570
1958	Las Melosas, Metropolitana	7,3	350
1960	Biobío a Los Ríos (Valdivia)	9,5	220
1965	Coquimbo a Metropolitana	7,4	450
1966	Taltal, Antofagasta y Atacama	8,1	1.210
1967	Tocopilla, Antofagasta	7,2	1.590
1971	Coquimbo, Valparaíso y Metropolitana	7,4	440
1975	Atacama y Coquimbo	6,9	760
1985	Metropolitana a Maule	7,8	350
1985	Rapel, Metropolitana y O'Higgins	7,3	260
1987	Tarapacá y Antofagasta	7,3	1.600

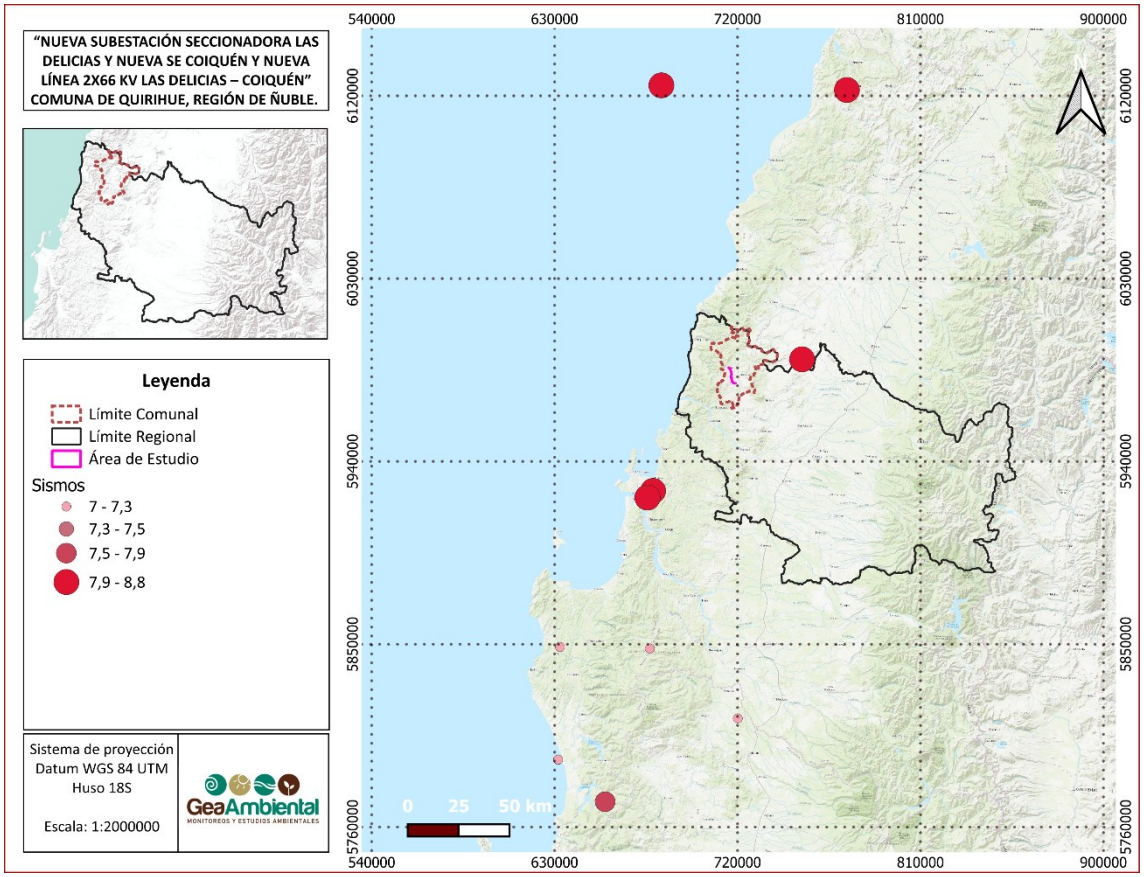
Año	Lugar(es) afectados	Magnitud estimada	Distancia aprox. al Proyecto (km)*
1995	Antofagasta	7,3	1.450
1997	Coquimbo a Metropolitana	7,1	610
2003	Coquimbo y Valparaíso	6,8	640
2005	Tarapacá, Huara	8,2	1.850
2007	Aisén	6,2	1.000
2007	Tocopilla, Tarapacá y Antofagasta	7,7	1.570
2010	Valparaíso a Los Ríos (Cobquecura)	8,8	35
2010	Biobío y Araucanía (Tirúa)	7,1	240

Fuente: Elaboración propia en base a Cereceda (2021). (*) Distancia en línea recta entre el epicentro estimado y el Proyecto.

La respuesta sísmica en superficie no es uniforme, ya que la energía liberada durante un sismo puede verse alterada por condiciones locales que influyen en la amplitud de las vibraciones registradas. En este contexto, la metodología de microzonificación sísmica desarrollada por Bard et al. (1988) y Warlitzky (1979) plantea la evaluación del riesgo sísmico a partir de dos grupos de factores principales: por un lado, la influencia del relieve y de los materiales superficiales en la modificación de la señal sísmica; y por otro, los efectos que la acción sísmica genera sobre los suelos, asociados a condiciones hídricas y morfológicas.

A continuación, se presenta el registro gráfico de la sismicidad histórica ocurrida en las inmediaciones del Proyecto (Figura 13), elaborado a partir de los antecedentes disponibles en el Centro Sismológico Nacional (CSN). En el período analizado, se identifican eventos con magnitudes que oscilan entre 7,0 y 8,8 Mw, evidenciando la ocurrencia de sismos de gran energía en el entorno regional. En particular, el evento más cercano al Proyecto se localiza en las inmediaciones de la localidad de Pocillas, con una magnitud de 8,3 Mw, situado aproximadamente a 36 km al noreste del área de emplazamiento. Por su magnitud y localización, este evento correspondería al terremoto de Chillán de 1939 (Tabla 6).

Figura 13. Sismos ocurridos en las inmediaciones del Proyecto



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la identificación de la peligrosidad asociada a los riesgos sísmicos, se consideraron las características sedimentológicas derivadas del análisis de la geología y geomorfología local del proyecto, así como la presencia o ausencia de fallas y fracturas, la existencia de rellenos artificiales y, por último, el análisis de las condiciones de pendiente en el sector de emplazamiento del proyecto.

Tabla 7. Evaluación de factores de riesgo sísmico

Evaluación / factores de riesgos	Categoría 1 (leve)	Categoría 2 (medio)	Categoría 3 (alto)
Litología	Roca sana, Sedimentos homogéneos/ coherentes	Sedimentos finos, coherentes, rocas sedimentarias	Arcillas, limos, sedimentos heterogéneos/ incoherentes rocas alteradas
Estructuras cercanas a las fallas o fracturas	>200 m	100 a 200 m	<100 m
Pendientes	<20°	20-25°	>25°
Presencia de relleno artificial	Sin relleno	Relleno poco potente y homogéneo	Relleno potente y heterogéneo

Fuente: factores de riesgos de sismos (Mardones, 2021).

De acuerdo con la matriz de evaluación de factores de riesgo sísmico (Tabla 7), el área de emplazamiento del Proyecto, incluyendo el trazado de la línea de transmisión eléctrica, caminos y las nuevas subestaciones, fue evaluada considerando las condiciones litológicas, la proximidad a estructuras geológicas, las pendientes del terreno y la presencia de rellenos artificiales.

Desde el punto de vista litológico, el área se emplaza predominantemente sobre la unidad Pzg, correspondiente a tonalitas y granodioritas indiferenciadas del Batolito de la Costa, con presencia local de diorita cuarcífera y granito. Esta unidad presenta evidencias de deformación cataclástica y constituye la principal unidad geológica reconocida en el área del Proyecto. De acuerdo con la matriz utilizada, el factor litológico se clasifica como Categoría 1 (leve), al corresponder a roca sana de alta competencia mecánica.

Respecto de las estructuras geológicas, las fallas identificadas en el entorno del Proyecto se encuentran a más de 17 km de las obras proyectadas, superando ampliamente el umbral de 200 m, incluyendo las nuevas subestaciones, por lo que este factor se clasifica como Categoría 1 (leve). En cuanto a las pendientes, predominan valores inferiores a 20°, correspondiendo a Categoría 1 (leve). Asimismo, no se identifican rellenos artificiales potentes y heterogéneos en los sectores de emplazamiento de las obras, por lo que este factor se clasifica como Categoría 1 (leve).

Por otra parte, respecto de las actividades de despeje de vegetación y acondicionamiento del terreno requeridas para la construcción de las estructuras, se precisa que la evaluación consideró factores del medio físico relevantes para caracterizar las condiciones de susceptibilidad del terreno, entre ellos la litología, la presencia de estructuras geológicas, las pendientes y la existencia de rellenos artificiales. Estos antecedentes permiten reconocer condiciones que podrían influir en la estabilidad superficial del terreno y en el desarrollo de procesos erosivos. Dichos factores no se ven modificados por el despeje de vegetación, por lo que la categoría de riesgo sísmico se mantiene; sin embargo, la remoción de la cobertura vegetal y las modificaciones del terreno durante la construcción podrían favorecer procesos erosivos locales, por lo que estas actividades deberán ejecutarse considerando las condiciones particulares de cada área intervenida y adoptando, cuando corresponda, medidas para prevenir o minimizar la erosión y la alteración de la estabilidad superficial.

En consecuencia, considerando de manera integrada los factores evaluados, el área de emplazamiento del Proyecto presenta condiciones de riesgo sísmico bajo (Categoría 1, leve), dado que la litología, la distancia respecto de estructuras geológicas, las pendientes predominantes y la ausencia de rellenos artificiales constituyen condiciones favorables.

6.5.2. Riesgo Volcánico

De acuerdo con el Ranking de Riesgo Específico de Volcanes Activos de Chile elaborado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, 2023), el volcán activo más cercano al área de emplazamiento del Proyecto corresponde al Complejo Volcánico Nevados de Chillán,

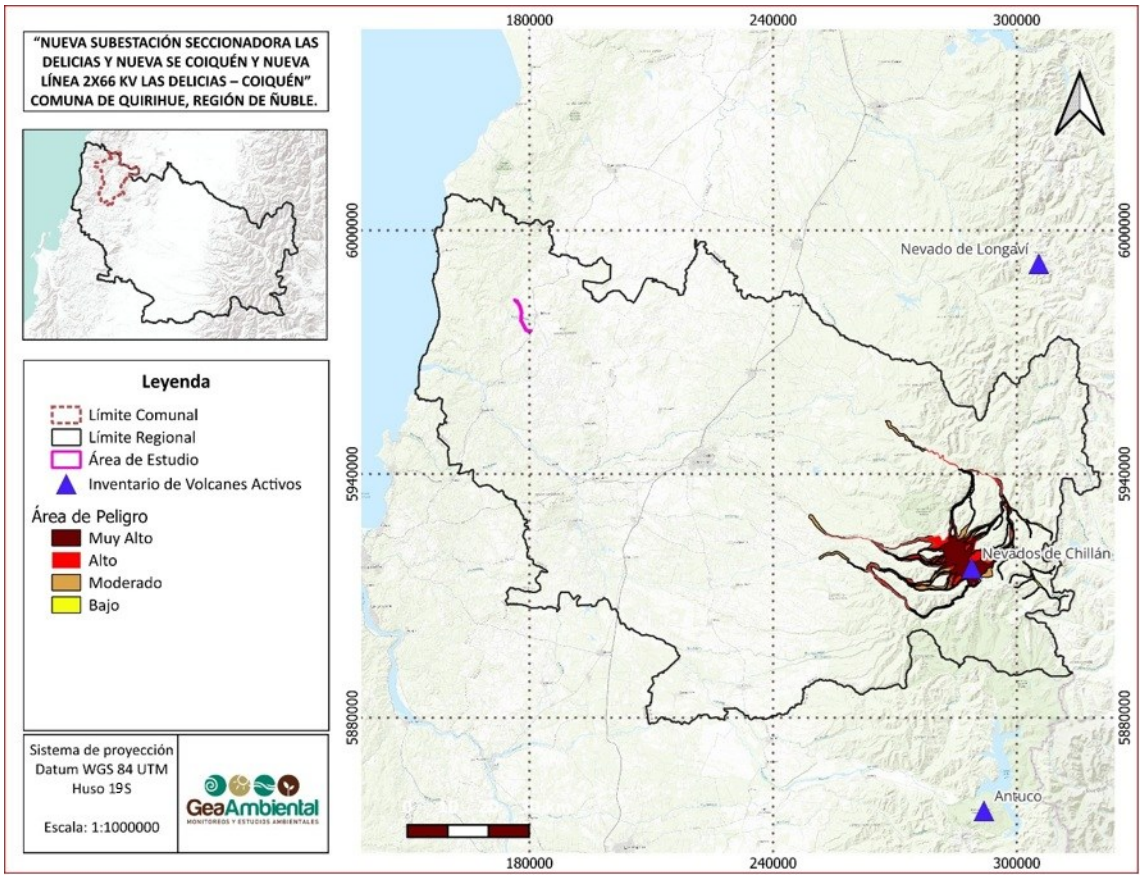
ubicado a aproximadamente 123 km al sureste, el cual se encuentra clasificado en la Categoría 1 (Muy Alto riesgo específico), ocupando la décima posición a nivel nacional dentro de los sistemas volcánicos de mayor riesgo del país (SERNAGEOMIN, 2023). Esta categorización responde a su condición de sistema volcánico con actividad eruptiva recurrente, registrando actividad eruptiva reciente durante el período 2016-2022, caracterizada por explosiones menores, emisión de material piroclástico y formación de domos en el subcomplejo Las Termas. Posteriormente, el complejo ha mantenido monitoreo permanente por parte de SERNAGEOMIN, que en junio de 2026 elevó su nivel de actividad a Alerta Técnica Amarilla (SERNAGEOMIN, 2026a).

No obstante, su elevada categoría de riesgo específico a escala nacional, la distancia de aproximadamente 123 km que separa al Complejo Volcánico Nevados de Chillán del área de emplazamiento del Proyecto permite descartar una afectación directa por procesos de alta energía y corto alcance, tales como flujos piroclásticos, lahares primarios o caída de bloques balísticos, los cuales típicamente se circunscriben a un radio de pocos kilómetros en torno al centro eruptivo. El principal peligro volcánico con potencial de alcanzar el área del Proyecto a dicha distancia corresponde a la caída de ceniza volcánica (tefra), fenómeno que, dependiendo de la magnitud de una eventual erupción y de las condiciones de dirección e intensidad del viento en el momento del evento, podría generar depositación de material piroclástico fino sobre el área de estudio del Proyecto. Este peligro se considera de baja a moderada probabilidad de afectación significativa para la infraestructura de la LT, dada la distancia involucrada y el carácter mayoritariamente moderado de los episodios eruptivos históricos registrados en el complejo (SERNAGEOMIN, 2026b).[4]

En consecuencia, el riesgo volcánico asociado al Proyecto se considera bajo, fundamentado en la distancia significativa respecto del centro volcánico activo más próximo, sin perjuicio de que dicho centro mantenga una clasificación de Muy Alto riesgo específico a nivel nacional por su recurrencia eruptiva y exposición poblacional regional, factores que no resultan determinantes para la escala local del área de emplazamiento del Proyecto.

[4] La eventual depositación de ceniza volcánica sobre el Proyecto dependerá de la dirección y velocidad del viento durante una erupción, así como de la altura de la columna eruptiva y de las condiciones atmosféricas. Para que el material emitido desde el Complejo Volcánico Nevados de Chillán sea transportado hacia el área del Proyecto, se requerirían vientos con una componente predominante hacia el noroeste. En caso de producirse una acumulación de ceniza sobre la infraestructura eléctrica, especialmente en condiciones de humedad, podría aumentar la conductividad superficial y favorecer la generación de corrientes de fuga, con eventuales efectos sobre la continuidad operacional.

Figura 14. Volcanes cercanos al Proyecto y peligro volcánico Complejo Volcánico Nevados de Chillán.



Fuente: Elaboración propia

6.5.3. Riesgo de Remoción en Masa

Los derrumbes y deslizamientos constituyen las manifestaciones morfodinámicas más frecuentes asociadas a procesos de inestabilidad de laderas. Los deslizamientos corresponden al desplazamiento gravitacional en masa de materiales rocosos o suelos a lo largo de una superficie definida de ruptura (plano estructural, contacto litológico, plano estratigráfico o superficie de alteración), mientras que los derrumbes se originan por el desprendimiento y desplome gravitacional de masas rocosas desde sectores escarpados, generando acumulaciones caóticas en el pie de vertiente (Flageollet, 1989; Gueremy, 1987).

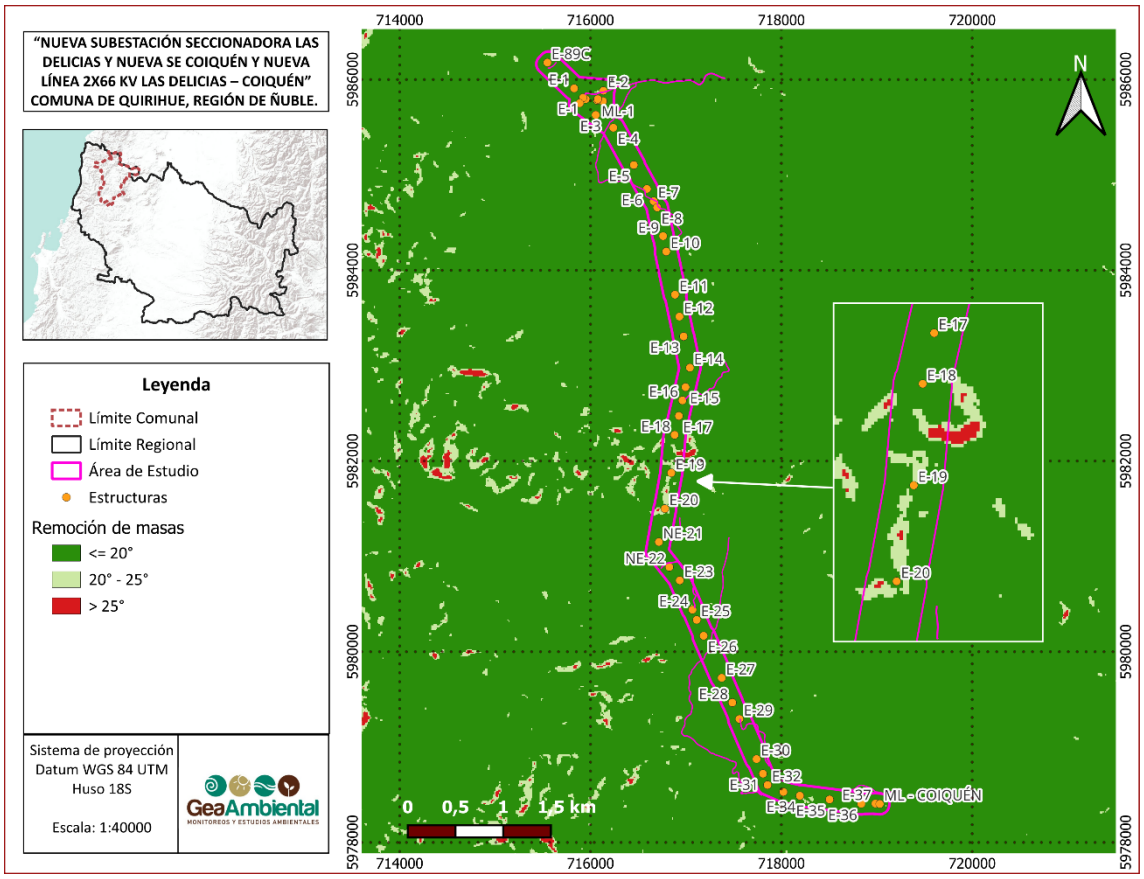
Estos procesos obedecen principalmente a la acción de la gravedad, siendo el agua uno de los factores detonantes más relevantes, debido a que incrementa la presión de poros y disminuye la resistencia al corte del material. La ocurrencia de procesos de remoción en masa depende de la combinación de factores naturales y antrópicos, entre los cuales destacan:

- Climáticos: precipitaciones intensas o prolongadas.
- Litológicos: grado de meteorización, presencia de arcillas expansivas o materiales poco consolidados.
- Geomorfológicos y morfométricos: pendiente, forma de la ladera y presencia de escarpes.
- Hidrológicos: infiltración, escorrentía superficial y drenaje deficiente.
- Cobertura vegetal: su ausencia puede disminuir la estabilidad superficial.
- Intervención antrópica: cortes de talud, sobrecarga, deforestación o modificación del drenaje natural.

Estudios internacionales indican que los umbrales de precipitación para la activación de deslizamientos varían según el tipo de roca y las condiciones del suelo (Flageollet, 1989). En Chile, los procesos de remoción en masa son fenómenos frecuentes en sectores de relieve montañoso y de lomajes de la zona centro-sur del país, encontrándose estrechamente vinculados a la ocurrencia de precipitaciones intensas o prolongadas que generan condiciones de saturación hídrica en el suelo y disminución de la resistencia al corte de los materiales superficiales (Sepúlveda et al., 2010).

La Línea de Transmisión, caminos y subestaciones de Las Delicias - Coiquén se emplaza en la comuna de Quirihue, Región de Ñuble, en un sector caracterizado por relieve de lomajes suaves a moderados de la Cordillera de la Costa, modelado sobre el basamento intrusivo granítico de la unidad Pzg. El análisis del perfil topográfico de la LT indica un predominio de pendientes entre 2° y 10° a lo largo de la mayor parte del trazado, mientras que en la SE Las Delicias entre 6 y 11° y en la SE Coiquén entre 6° y 13° de pendiente respectivamente, con sectores puntuales de mayor inclinación, concentrados principalmente en los tramos comprendidos entre las estructuras E-18 a E-21 y E-25 a E-26 (Figura 15.).

Figura 15. Riesgo de remoción en masa según pendiente



Fuente: Elaboración propia

En términos generales, en el área de emplazamiento del Proyecto no se observan escarpes naturales de gran desarrollo ni cicatrices activas de deslizamientos recientes. Si bien el tramo E-18 a E-21 concentra el mayor desnivel acumulado del perfil topográfico, con pendientes medias entre 4,9° y 5,4°, y el tramo E-25 a E-26 registra la mayor pendiente media del trazado (11,8°), clasificadas entre Suave y Fuerte según Araya et al. (1972), estos valores se mantienen por debajo del rango de 25°-30° señalado como referencia para determinadas condiciones de estabilidad en rocas graníticas. En consecuencia, la susceptibilidad a procesos de remoción en masa se considera limitada, de acuerdo con los antecedentes analizados.

Respecto de las actividades de construcción, el despeje de vegetación no implica por sí mismo un cambio en la categoría de los escarpes identificados, dado que su clasificación se basa principalmente en las características morfológicas, la pendiente y las condiciones geológicas del terreno. No obstante, la eliminación de la cobertura vegetal y las modificaciones superficiales asociadas a la habilitación de plataformas para las estructuras y caminos de acceso a la LT podrían favorecer procesos erosivos y modificar localmente las condiciones de estabilidad, especialmente ante precipitaciones intensas o una concentración de la escorrentía superficial.

Por lo anterior, durante la ejecución de las obras se deberán considerar las condiciones particulares de los sectores intervenidos y adoptar, cuando corresponda, medidas de manejo de aguas lluvias, control de escorrentía y protección de superficies expuestas, con el objeto de prevenir o minimizar la generación de procesos erosivos y eventuales inestabilidades locales.

Tabla 8. Evaluación de factores de riesgo de remoción en masa

Factor Evaluado	Condición en el área del Proyecto	Nivel de Incidencia
Pendiente	Predominantemente Suave a Moderada (2°-10°), con tramo puntual Fuerte en E-25 a E-26 (11,8°) y mayor desnivel acumulado en E-18 a E-21 (113 m)	Baja
Litología	Basamento granítico (unidad Pzg), roca sana con competencia mecánica alta (SERNAGEOMIN, 2003)	Baja
Precipitaciones Intensas	Eventos invernales propios del clima mediterráneo de la Región de Ñuble	Moderada
Evidencia de inestabilidad activa	No observada en el levantamiento de línea de base	Baja
Intervención proyectada	Cortes y plataformas en sectores puntuales de mayor desnivel y pendiente (E-18 a E-21 y E-25 a E-26)	Moderada

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la susceptibilidad a procesos de remoción en masa en el área del Proyecto se realizó a partir del análisis del perfil topográfico, la clasificación de pendientes según Araya et al. (1972) y los antecedentes litológicos disponibles (SERNAGEOMIN, 2003). Los resultados indican que en el área de emplazamiento de la LT predominan pendientes Suaves a Moderadas, principalmente entre 2° y 10°, lo que se traduce en una baja susceptibilidad natural a procesos de remoción en masa a lo largo de la mayor parte del trazado.

El análisis del perfil identifica que la mayor pendiente media se registra de manera puntual y acotada en el tramo E-25 a E-26 (20,9%; ≈11,8°), mientras que el tramo E-18 a E-21, asociado al flanco del interfluvio principal del trazado, concentra el mayor desnivel acumulado (113 m), con pendientes medias de hasta 9,5% (≈5,4°) en el segmento E-18 - E-20. Al superponer esta información con la disposición de las obras del Proyecto, particularmente las plataformas de las estructuras de la LT y los caminos existentes, se observa que la mayor parte de las intervenciones se emplaza en sectores con pendientes bajas a moderadas. No obstante, en los tramos E-18 a E-21 y E-25 a E-26, donde las obras interceptan los sectores de mayor desnivel y pendiente relativa del trazado, la habilitación de plataformas y accesos podría implicar movimientos de tierra y generación de taludes artificiales acotados, configurando condiciones locales que podrían incrementar puntualmente la susceptibilidad a procesos de remoción en masa de carácter menor.

6.5.4 Riesgo de Inundación

La amenaza por inundación corresponde a un fenómeno de origen natural que puede ocasionar pérdidas, daños y trastornos a la población, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente. Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los cursos de agua, provocando el desborde de su cauce e inundación de tierras adyacentes; mientras que los procesos de anegamiento se definen como la acumulación de un volumen de agua-lluvia sobre la superficie del suelo, asociados a sedimentos impermeables que limitan la infiltración y a sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas (I. Municipalidad de Quirihue, 2025).

La comuna de Quirihue se asocia al gran sistema fluvial del río Itata, cuya hoya hidrográfica alcanza 11.293 km². A escala comunal, el principal curso de agua corresponde al río San Juan, destacando además los esteros Pajonal y Pulila en el sector norte de la ciudad, y los esteros Pencahue, Santa Rosa, Manquimiliu, Quilpolemo y El Manzano hacia el sur (PLADECO Quirihue, 2013). Entre los cerros y lomajes de la comuna, el ambiente geomorfológico coincidente con el descrito para el área de emplazamiento del proyecto, donde se desarrollan pequeñas cuencas drenadas por antiguos sistemas fluviales de régimen pluvial.

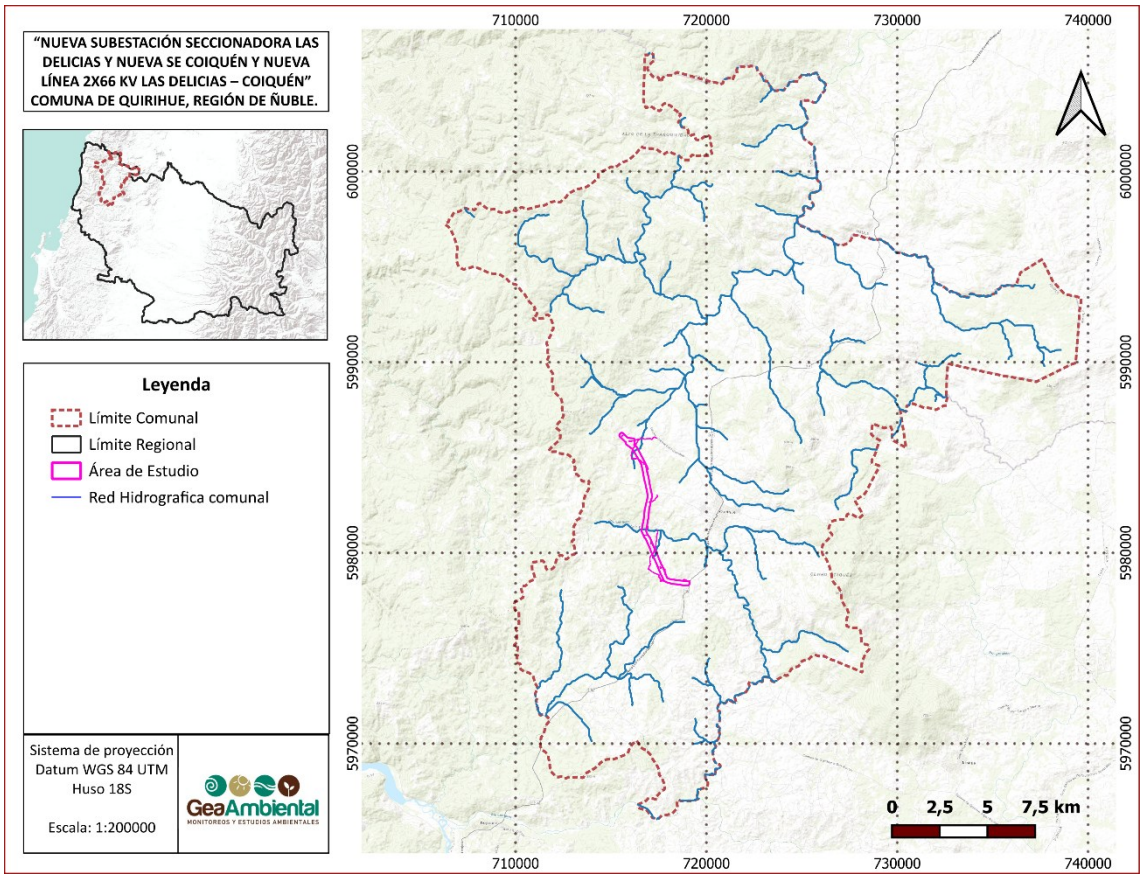
En cuanto a la ubicación del Proyecto respecto de la red hidrográfica, al norte del trazado, en las inmediaciones de la S/E Las Delicias, se identifica el río San Juan, ubicado a aproximadamente 1,7 km de distancia. En la sección media del trazado, entre las torres 20 y 21, el estero Pencahue, curso de agua de orden menor, intersecta el área de emplazamiento de la línea de transmisión eléctrica (LT). Hacia el sector sur del trazado, a la altura de la torre 31, se encuentra el estero San Juan de Dios, ubicado a aproximadamente 772 m de distancia. Finalmente, en las proximidades de la S/E Coiquén, se identifica el estero Manquimiliu, situado a aproximadamente 2,4 km del área de emplazamiento.

En los últimos diez años la Región de Ñuble ha registrado numerosas situaciones de emergencia derivadas de factores hidrometeorológicos, decretándose en más de una oportunidad zonas de la región como afectadas por catástrofe (I. Municipalidad de Quirihue, 2025). El régimen pluviométrico de la comuna es predominantemente bimodal, concentrando los máximos montos de pluviosidad entre mayo y julio, siendo este último el mes más lluvioso (Henríquez, 1990). Si bien las proyecciones al año 2050 estiman una disminución paulatina de las precipitaciones totales anuales, las precipitaciones máximas en 24 horas seguirán registrando valores sobre 60 mm, considerados de riesgo para inundación, anegamiento y/o rodados y aluviones (DGA y DOH. 2025).

Esta condición de disminución de las precipitaciones totales, con persistencia de eventos extremos de corta duración, es consistente con lo señalado en la "Línea de Base de Hidrología" del Proyecto. Dicho estudio, a partir de las proyecciones climáticas ARClim bajo el escenario SSP5-8.5 (20 GCM para temperatura y 42 GCM para precipitación), estima una reducción del

12% en la precipitación media anual hacia el período 2035-2065 (de 918 mm a 812 mm anuales), cifra consistente con el rango de disminución de 9,5% a 20,1% proyectado por el SEA para la Zona K. No obstante, esta tendencia a la baja en la precipitación acumulada, el análisis de precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno (estación Coelemu) confirma la persistencia de eventos de riesgo: 108,3 mm para T=10 años, 137,4 mm para T=25 años y hasta 191,1 mm para T=100 años, valores que superan ampliamente el umbral de 60 mm considerado como crítico para procesos de inundación, anegamiento y remoción en masa.

Figura 16. Redes Hidrológicas presentes en el Proyecto



Fuente: Elaboración propia, extraída de la red hídrica disponible en IDE Chile.

Resulta especialmente relevante para el presente análisis que, de acuerdo con el catastro de puntos críticos del Programa Invierno SENAPRED 2024, la localidad de Las Delicias sector donde se emplaza la SE Las Delicias, punto de inicio de la LT, se encuentra asociado a inundación por desborde de cauce del río San Juan ubicado a 1,7 km aproximadamente, con un nivel de riesgo catalogado como Muy Alto (SENAPRED, 2024). Asimismo, la localidad de Coiquén, donde se emplaza la subestación de destino de la LT, registra exposición de población y viviendas según el análisis de exposición territorial de dicho instrumento, aunque sin infraestructura crítica identificada en dicho sector.

En contraste, el resto del trazado de la LT, que se desarrolla a través de los lomajes y cordones interiores de la Cordillera de la Costa entre ambas localidades (estructuras E-1 a E-37), no se encuentra dentro de los puntos críticos identificados en dicho catastro, los cuales se concentran mayoritariamente en el área urbana de Quirihue y en sectores rurales asociados a cauces de mayor entidad (ríos Carlos Campos, El Maje, Llohue, Calquín, San Juan de la Raya, entre otros) (SUBDERE, 2025).

Esta condición de exposición diferenciada es consistente con el análisis geomorfológico desarrollado para el Proyecto. Mientras que las localidades de Las Delicias y Coiquén corresponden a sectores de menor cota y mayor cercanía a cauces o valles aluviales, condición típica de los sectores comunales identificados como críticos por desborde de cauce, la mayor parte del trazado de la LT se desarrolla sobre la unidad geomorfológica de lomajes y cordones de la Cordillera de la Costa, con pendientes predominantemente Suaves a Moderadas (2°-10°) que favorecen el escurrimiento superficial por sobre la acumulación o anegamiento prolongado de aguas.

De igual forma, el escurrimiento superficial se ve reforzado por las características litológicas del sustrato descritas en la "Caracterización Geológica e Hidrogeológica" del Proyecto. Dicho estudio establece que el trazado de la LT se emplaza íntegramente sobre rocas plutónicas del Batolito de la Costa (tonalitas y granodioritas indiferenciadas), clasificadas como una unidad hidrogeológica de permeabilidad muy baja a nula y de muy bajo a nulo potencial de acumulación de agua subterránea, comportándose como un basamento cristalino prácticamente impermeable. Esta baja capacidad de infiltración implica que, ante eventos de precipitación intensa, el agua tiende a escurrir superficialmente antes que infiltrarse, lo cual es coherente con el riesgo bajo de inundación estimado para la generalidad del trazado, pero también constituye un antecedente relevante para la excepción puntual de la estructura E-21, donde la topografía deprimida favorece la concentración de dicho escurrimiento superficial.

No obstante lo anterior, cabe destacar la excepción identificada en la estructura E-21, ubicada en la depresión topográfica de menor cota de todo el trazado (~254 m s.n.m.), donde se identificó una zona de acumulación de agua durante el levantamiento de la Línea de Base de Limnología. Esta condición, ya analizada en el apartado de geomorfología local, representa el único punto del trazado con características morfológicas de zona de acumulación hídrica, aunque a escala muy menor y asociada únicamente al estero Pencahue, de orden menor, sin conexión con cauces de orden superior como los que generan los procesos de anegamiento descritos para el contexto comunal.

En síntesis, el riesgo de inundación asociado al Proyecto presenta una condición diferenciada según el sector del trazado considerado. Los puntos de conexión del Proyecto se emplazan en localidades con antecedentes de exposición a inundación (SENAPRED, 2024): la SE Las Delicias presenta un riesgo Medio, dado que la localidad corresponde a un punto crítico por desborde de cauce, aunque la subestación se ubica a aproximadamente 1,7 km del río San Juan, mientras

que la SE Coiquén presenta un riesgo Bajo, al no registrarse infraestructura crítica expuesta. Por su parte, el trazado de la LT propiamente tal, al desarrollarse sobre relieve de lomajes con pendientes favorables al escurrimiento superficial, presenta un riesgo de inundación bajo en la generalidad de su extensión, con la excepción puntual de la depresión topográfica de la estructura E-21, donde se identificó una zona de acumulación hídrica.

Tabla 9. Matriz de Evaluación de Riesgo de Inundación

Componente Evaluado	Condición observada	Nivel de amenaza	Nivel de vulnerabilidad	Nivel de Riesgo
Emplazamiento general del trazado de la LT	Relieve de lomajes y cordones de la Cordillera de la Costa, fuera de planicies de inundación activas	Baja	Baja	Baja
Proximidad a cauces principales	Sin intervención directa de los ríos San Juan, Carlos Campos, El Maje u otros cursos de mayor entidad de la comuna	Baja	Baja	Baja
Eventos de precipitación intensa	Régimen pluvial bimodal, con precipitaciones máximas en 24 horas que pueden superar los 60 mm en periodo invernal	Media	Baja	Baja
SE Las Delicias (punto de inicio de la LT)	Localidad identificada en el catastro de puntos críticos (SENAPRED, 2024) como punto crítico Nº31, inundación por desborde de cauce, riesgo Muy Alto; la SE se emplaza a ~1,7 km del río San Juan	Media	Media	Media
SE Coiquén (punto de destino de la LT)	Localidad con exposición de población y viviendas registrada, sin infraestructura crítica identificada	Media	Baja	Baja
Depresión topográfica E-21	Zona de acumulación hídrica por escorrentía superficial, asociada al estero Pencahue (orden menor), sin conexión a cauces de orden superior	Media	Baja	Baja
Obras proyectadas en el trazado general	Estructuras de la LT no alteran la dinámica fluvial ni los cauces existentes	Baja	Baja	Baja

Fuente: Elaboración propia

El trazado de la LT, emplazado sobre lomajes con pendientes favorables al escurrimiento superficial, presenta un riesgo bajo en la generalidad de su extensión, salvo por la condición puntual ya descrita de la depresión topográfica en E-21. En el caso de la SE Las Delicias, si bien la localidad de Las Delicias se encuentra identificada como punto crítico de inundación por desborde de cauce con clasificación Muy Alto (SENAPRED, 2024), la subestación se emplaza a aproximadamente 1,7 km del río San Juan, por lo que su riesgo se clasifica como Medio, condición que debe tenerse presente en el diseño de fundaciones y accesos de dicha

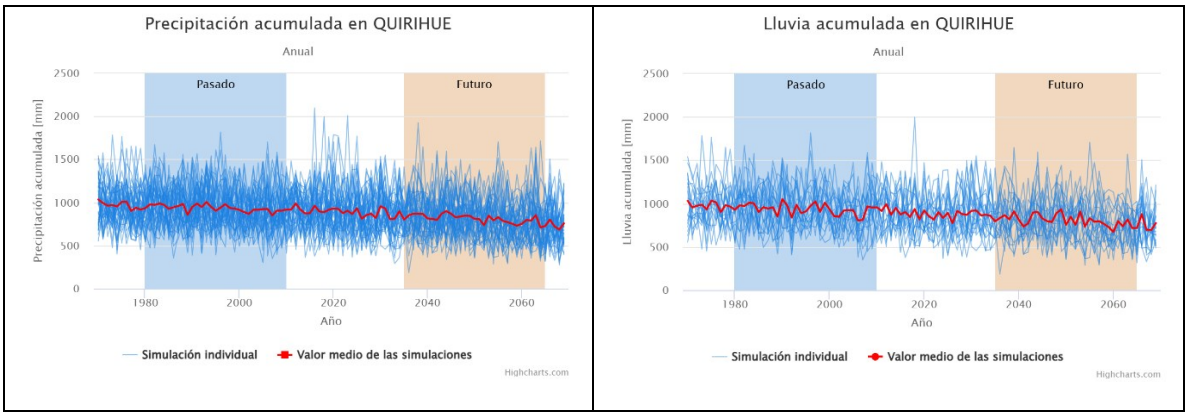
subestación. La SE Coiquén, en tanto, no presenta infraestructura crítica expuesta según los antecedentes disponibles (SENAPRED, 2024), por lo que su riesgo se mantiene bajo.

6.5.5 Riesgo Climático

En el marco de la caracterización de la Línea Base del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales (GGR), se realizó una revisión de los antecedentes disponibles en el Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim), desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente, como herramienta de referencia para la evaluación de tendencias climáticas actuales y proyecciones futuras a escala comunal.

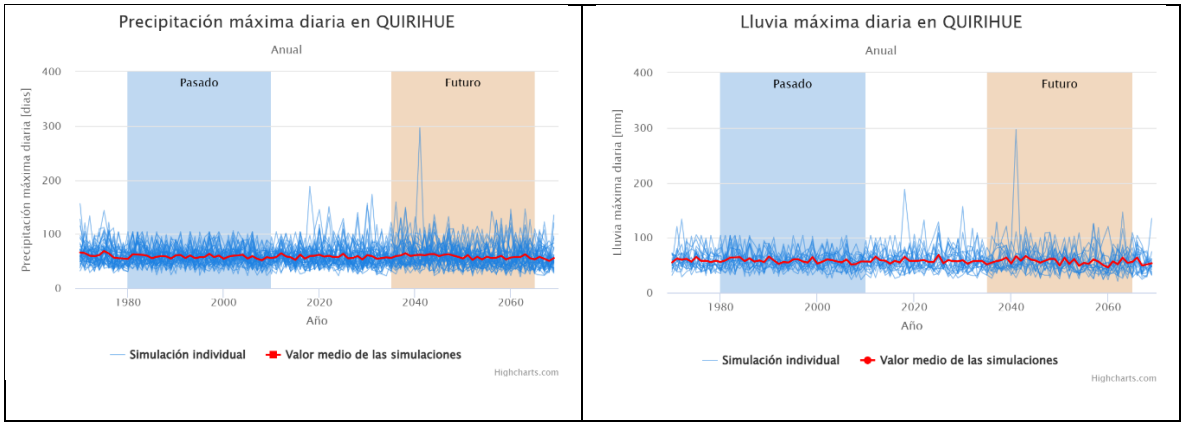
El análisis consideró información climática asociada a la comuna de Quirihue, área donde se emplaza el Proyecto Línea de Transmisión (LT) Las Delicias - Coiquén, con una extensión aproximada de 9,1 km, cuyo trazado conecta las subestaciones Las Delicias y Coiquén. La revisión tuvo como objetivo identificar posibles variaciones en variables meteorológicas que puedan actuar como factores detonantes de amenazas naturales, principalmente aquellas asociadas a precipitaciones intensas, períodos de sequía, aumento de temperatura y ocurrencia de eventos extremos.

Figura 17. Gráfica de precipitación y lluvia acumulada para Quirihue.



Fuente: ARClim - Explorador de Amenazas

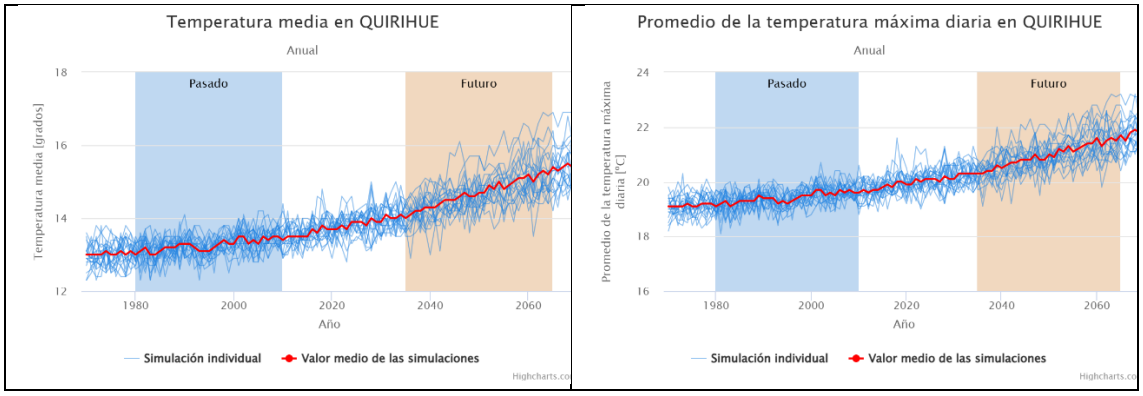
Figura 18. Gráfica de precipitación y lluvia máxima diaria para Quirihue.



Fuente: ARClim - Explorador de Amenazas

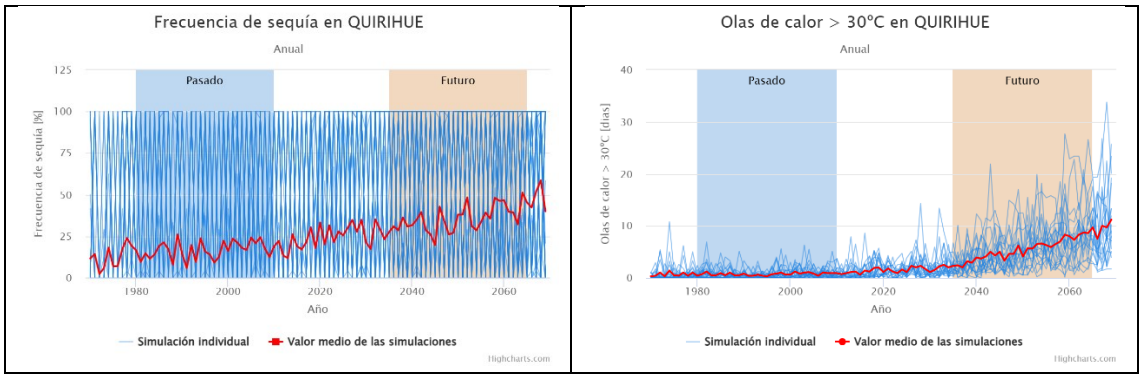
De acuerdo con las proyecciones climáticas disponibles en ARClim para la comuna de Quirihue, se observa una tendencia general hacia la disminución de la precipitación acumulada anual, junto con una posible modificación en la ocurrencia e intensidad de eventos de precipitación extrema. Asimismo, los escenarios futuros proyectan un incremento sostenido de la temperatura media y máxima diaria, además de un aumento en la frecuencia de períodos secos y eventos asociados a olas de calor.

Figura 19. Gráfica de temperatura media y la temperatura máxima diaria para Quirihue.



Fuente: ARClim - Explorador de Amenazas

Figura 20. Gráfica de Frecuencia de Sequía y olas de calor >30°C para Quirihue.



Fuente: ARClim - Explorador de Amenazas

En relación con las condiciones geomorfológicas del área de emplazamiento del Proyecto, el trazado de la LT se desarrolla principalmente sobre unidades de relieve asociadas a lomajes y sectores ondulados característicos de la Cordillera de la Costa interior de Ñuble, con presencia de pendientes variables y drenajes locales. No obstante, la infraestructura proyectada no contempla intervención directa de cauces naturales, modificación significativa de la red de drenaje ni emplazamiento sobre áreas reconocidas como planicies de inundación activas.

Cabe señalar que la información proporcionada por ARClim corresponde a una escala comunal y regional, por lo que su utilización dentro del presente análisis tiene un carácter complementario, orientado a identificar tendencias climáticas generales y posibles modificaciones en factores detonantes de amenazas naturales. Esta información no reemplaza la evaluación geomorfológica local ni modifica las condiciones de susceptibilidad identificadas para el área específica del Proyecto.

En consecuencia, considerando la escala de análisis disponible y las características geomorfológicas del área de emplazamiento de la LT Las Delicias - Coiquén, las proyecciones climáticas evaluadas no permiten establecer una modificación significativa en la condición de riesgo natural determinada para el Proyecto. Sin perjuicio de lo anterior, eventuales aumentos en la intensidad de precipitaciones podrían generar efectos puntuales asociados a erosión superficial, acumulación temporal de escorrentía o saturación localizada de materiales en sectores intervenidos, especialmente durante la etapa de construcción, aspectos que deberán ser considerados mediante medidas de manejo y control correspondientes.

6.5.6 Riesgo de Incendios Forestales

Los incendios forestales corresponden a una amenaza de origen natural-antrópico relevante en la zona centro-sur de Chile, particularmente durante la época estival, cuando confluyen condiciones meteorológicas y territoriales que favorecen la ignición y propagación del fuego, tales como altas temperaturas, déficit de precipitaciones, baja humedad relativa y presencia de material vegetal combustible (CONAF, 2024).

En la comuna de Quirihue, donde se emplaza el Proyecto Línea de Transmisión (LT) Las Delicias - Coiquén, el riesgo asociado a incendios forestales se encuentra condicionado principalmente por las características del paisaje y el uso histórico del territorio. El área de estudio del Proyecto se inserta en un contexto dominado por actividades forestales y agrícolas, donde las formaciones vegetacionales originales han sido modificadas producto del cambio de uso de suelo, generando una matriz territorial compuesta principalmente por plantaciones forestales, sectores de vegetación secundaria, matorrales y remanentes de bosque nativo restringidos principalmente a quebradas y sectores de mayor complejidad topográfica.

De acuerdo con la caracterización vegetacional desarrollada para el área del Proyecto, las plantaciones forestales corresponden a una de las unidades predominantes, con presencia principalmente de especies exóticas como *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, las cuales representan una fuente relevante de material combustible bajo condiciones de sequedad estacional. Asimismo, se identificaron unidades asociadas a bosque nativo y bosque mixto, localizadas principalmente en sectores de quebradas y áreas con menor intervención antrópica, donde la acumulación de biomasa puede constituir un factor adicional de propagación en caso de ocurrencia de incendios.

La evaluación del riesgo de incendios forestales se realizó mediante una matriz cualitativa basada en la relación entre amenaza y vulnerabilidad del Proyecto. La amenaza fue determinada considerando la presencia de cobertura vegetal combustible, características del territorio y condiciones climáticas que favorecen la ocurrencia de incendios durante períodos críticos. Por otra parte, la vulnerabilidad fue evaluada considerando la naturaleza de las obras proyectadas, correspondientes a una línea de transmisión eléctrica, y su nivel de exposición frente a un eventual evento de incendio forestal.

Tabla 10. Matriz de Evaluación de Incendios Forestales

Componente	Clasificación	Justificación
Amenaza	Media-Alta	El área presenta condiciones favorables para la ocurrencia y propagación de incendios forestales debido a la presencia de plantaciones forestales, matorrales y cobertura vegetal susceptible a secarse durante períodos estivales, junto con condiciones climáticas regionales asociadas a altas temperaturas y déficit hídrico.
Vulnerabilidad	Baja-Media	La infraestructura del Proyecto corresponde principalmente a estructuras metálicas y elementos asociados a una línea de transmisión, sin procesos permanentes de combustión ni almacenamiento de materiales combustibles. Sin embargo, existe exposición asociada a sectores donde la vegetación se encuentra próxima al trazado.
Riesgo Resultante	Medio	La condición resulta de una amenaza territorial relevante, asociada principalmente a la cobertura vegetal existente, combinada con una vulnerabilidad limitada de la infraestructura proyectada.

Fuente: Elaboración propia

Desde una perspectiva geomorfológica, el emplazamiento del Proyecto se desarrolla sobre un relieve característico de la Cordillera de la Costa interior de Ñuble, conformado por lomajes,

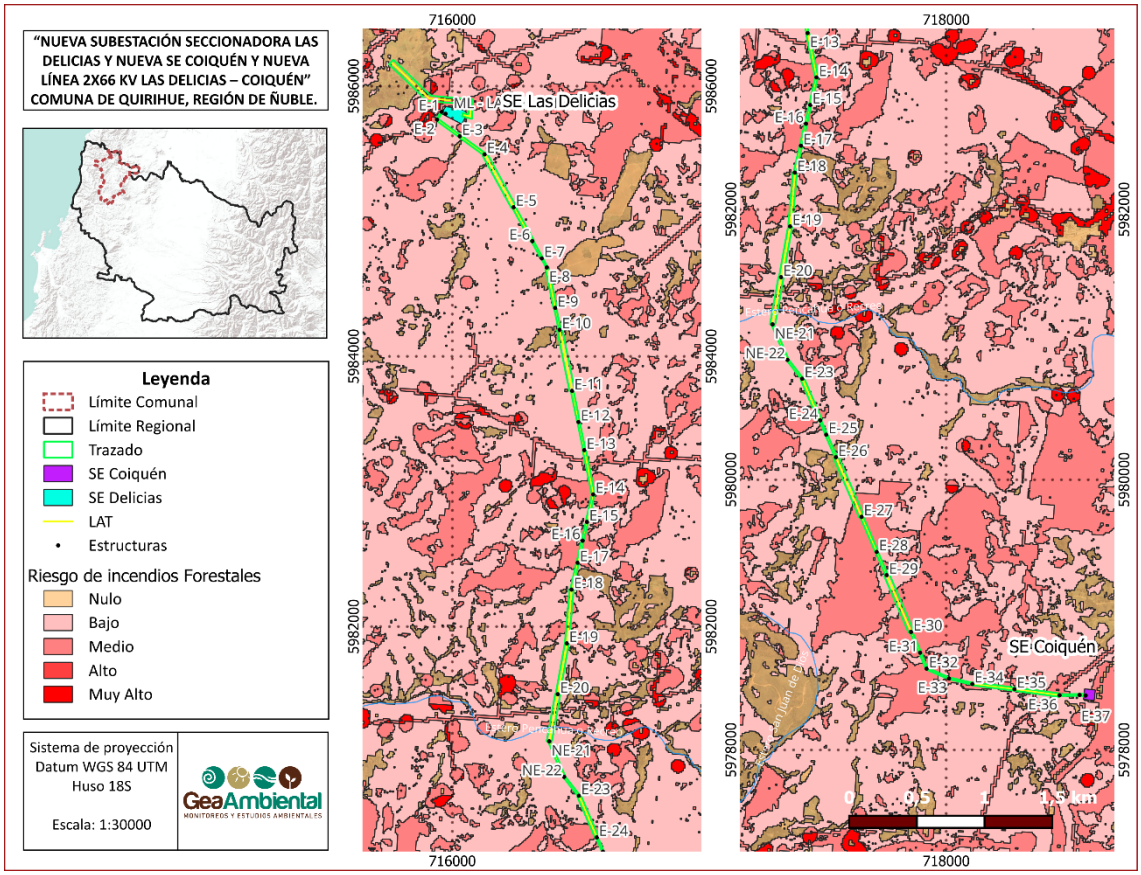
quebradas y sectores con pendientes variables. Estas condiciones pueden influir en la dinámica de propagación de incendios, debido a que sectores con pendientes mayores favorecen el avance del frente de fuego, mientras que quebradas y áreas con acumulación de vegetación pueden actuar como corredores locales de continuidad de combustible.

No obstante, la configuración del Proyecto corresponde a una infraestructura lineal que no contempla instalaciones con alta carga combustible ni actividades que incrementen significativamente la susceptibilidad del territorio frente a incendios forestales. Adicionalmente, la presencia de áreas intervenidas, caminos existentes y cambios en la cobertura vegetal generan una distribución heterogénea del combustible dentro del área de emplazamiento.

Para complementar el análisis, se consideró la información de susceptibilidad y riesgo de incendios forestales elaborada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) para la comuna de Quirihue, Región de Ñuble. De acuerdo con el Plan de Protección contra Incendios Forestales de la comuna, elaborado en 2022 (CONAF, 2022), se identifican sectores clasificados con riesgo medio, alto y muy alto, evidenciando una distribución espacial heterogénea de esta amenaza. Según dicho instrumento, las áreas clasificadas en riesgo medio abarcan aproximadamente 33.496,8 ha (56,9 % de la superficie comunal), mientras que aquellas con riesgo alto y muy alto corresponden a 7.378,36 ha (12,5 %) y 1.644,57 ha (2,8 %), respectivamente.

Asimismo, los antecedentes históricos recopilados por CONAF dan cuenta de la ocurrencia recurrente de incendios forestales en la comuna. Durante la temporada 2016-2017 se registraron 26 incendios que afectaron aproximadamente 11.488 ha, lo que evidencia la relevancia de esta amenaza en el contexto territorial comunal.

Figura 21. Susceptibilidad de riesgo de incendios, según CONAF



Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, considerando las características vegetacionales, condiciones territoriales y naturaleza de las obras proyectadas, se establece que el riesgo asociado a incendios forestales para la LT Las Delicias - Coiquén corresponde a una categoría media, debido principalmente a la presencia de coberturas vegetales combustibles y condiciones climáticas estacionales favorables. Sin perjuicio de lo anterior, durante las etapas de construcción y operación deberán mantenerse medidas preventivas orientadas al control de fuentes de ignición, manejo de vegetación en sectores intervenidos y cumplimiento de protocolos establecidos por los organismos competentes (CONAF, 2024; SENAPRED, 2023).

7 DISCUSIÓN

El Proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea de Transmisión 2x66 kV Las Delicias - Coiquén" se emplaza íntegramente sobre el basamento intrusivo paleozoico Pzg, equivalente a la unidad CPg de SERNAGEOMIN (2003) (granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas del Carbonífero-Pérmico), que constituye un sustrato de alta competencia mecánica dentro del dominio geomorfológico de la Cordillera de la Costa interior de Ñuble (SERNAGEOMIN, 2003; Umaña, 2015). Esta condición litológica es un factor determinante y transversal en la baja susceptibilidad observada para la mayoría de los componentes de riesgo evaluados.

En materia sísmica, si bien la zona se inserta en un margen de subducción activo con una recurrencia histórica de eventos de magnitud igual o superior a 7 Mw del orden de uno por siglo (Cereceda et al., 2011; Cereceda, 2021), la aplicación de la matriz de Mardones (2021) sobre los factores de litología, distancia a fallas (>17 km) y pendiente (predominio bajo 20°) sitúa al Proyecto en Categoría 1 (riesgo leve). Esto es consistente con los principios de microzonificación de (Bard et al., 1988) y (Warlitzky, 1979), que vinculan la amplificación de la señal sísmica a condiciones de suelos blandos o saturados, ausentes en el área de estudio.

El riesgo volcánico, asociado al Complejo Volcánico Nevados de Chillán, el sistema activo más próximo, clasificado en Categoría 1 (Muy Alto riesgo específico) a escala nacional (SERNAGEOMIN, 2023), se atenúa significativamente por la distancia de aproximadamente 123 km que lo separa del trazado. A esa distancia se descartan procesos de alta energía y corto alcance (flujos piroclásticos, lahares, balísticos), quedando como único peligro posible, la caída de ceniza, de probabilidad baja a moderada según el registro eruptivo reciente del complejo (SERNAGEOMIN, 2026a, 2026b).

Respecto a remociones en masa, el análisis morfométrico del perfil de la LT (Araya, Vergara y Börgel, 1972) confirma que la susceptibilidad natural es baja en la generalidad del trazado, concentrándose la única pendiente media Fuerte (20,9%) en el segmento puntual E-25 a E-26 y el mayor desnivel acumulado (113 m) en el tramo E-18 a E-21. Conforme a lo señalado por (Flageollet, 1989) y (Gueremy, 1987), la activación de estos procesos depende fundamentalmente de la combinación entre pendiente, litología y precipitaciones intensas o prolongadas; en este caso, al tratarse de roca sana y pendientes bajo los umbrales críticos reportados para litologías graníticas, el riesgo natural es bajo, pero la intervención antrópica (cortes y plataformas) en dichos sectores puntuales constituye el principal factor de incremento de la susceptibilidad, en línea con lo observado por (Sepúlveda et al., 2010) para taludes intervenidos en la zona centro-sur de Chile.

El componente de inundación presenta condiciones diferenciadas a lo largo del Proyecto. El trazado de la LT se desarrolla predominantemente sobre relieves de lomajes, con condiciones favorables para el escurrimiento superficial y sin intervención directa de cauces principales. En

el sector de Las Delicias, donde se emplaza la SE Las Delicias, se reconoce como antecedente territorial la existencia de un punto crítico asociado a inundación por desborde de cauce, identificado por la autoridad competente (SENAPRED, 2024; I. Municipalidad de Quirihue, 2025). No obstante, este antecedente no permite, por sí solo, establecer que el área de emplazamiento de la subestación constituya un área de riesgo de inundación, más aún considerando que la subestación se ubica a aproximadamente 1,7 km del río San Juan; por ello, su riesgo se clasifica como medio y se considera un elemento a tener presente en el diseño de las obras y sus accesos.

Las proyecciones del Atlas de Riesgos Climáticos para Chile (ARClim, Ministerio del Medio Ambiente) para la comuna de Quirihue indican una disminución de la precipitación acumulada anual junto con un posible aumento en la intensidad de eventos extremos puntuales, además de incremento sostenido de temperatura y mayor frecuencia de sequías y olas de calor. Estos antecedentes no modifican la clasificación de riesgo natural determinada a escala local, pero actúan como factor modulador transversal: por un lado, pueden intensificar puntualmente la erosión y la escorrentía durante eventos de precipitación concentrada (relevante para los tramos E-18 a E-21 y E-25 a E-26 y para la SE Las Delicias); por otro, el incremento de temperaturas y sequía hídrica estival es coherente con el riesgo medio de incendio forestal determinado para el área, dada la presencia de plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* combinadas con remanentes de vegetación nativa en quebradas (CONAF, 2024).

En conjunto, la aplicación del enfoque cualitativo Riesgo = Amenaza × Vulnerabilidad × Exposición, coherente con los lineamientos de SENAPRED y con el artículo 18 letra e.1 del Reglamento del SEIA (D.S. N°40/2012), permite caracterizar un perfil de riesgo natural predominantemente bajo para el Proyecto, con dos excepciones acotadas y gestionables mediante medidas de diseño e ingeniería: (i) la condición de inundación por desborde de cauce en el entorno de la SE Las Delicias, y (ii) la mayor susceptibilidad a erosión y remoción en masa de carácter menor en los tramos E-18 a E-21 y E-25 a E-26, asociada a la intervención de plataformas y accesos en los sectores de mayor desnivel y pendiente del trazado.

Tabla 11. Matriz de riesgos GGR

Componente / Peligro	Amenaza	Vulnerabilidad	Exposición	Nivel de Riesgo	Comentarios
Remociones en masa	Media (precipitaciones intensas y taludes intervenidos en tramos E-18 a E-21 y E-25 a E-26)	Baja a Media (pendientes predominantemente bajo umbral crítico granítico; tramo E-25 a E-26 con erodabilidad Alta puntual)	Baja (sin desarrollo urbano; exposición limitada a estructuras y accesos de la LT)	Bajo	Riesgo asociado principalmente a la fase de construcción, concentrado en la habilitación de plataformas y accesos de los tramos E-18 a E-21 y E-25 a E-26.
Inundaciones	Baja en la generalidad del trazado de la LT; Media en el entorno	Baja en la LT; Media en SE Las Delicias	Baja en la LT; Media en SE Las Delicias	Bajo en la LT / Medio en SE Las Delicias	Riesgo diferenciado: el trazado de la LT presenta

Componente / Peligro	Amenaza	Vulnerabilidad	Exposición	Nivel de Riesgo	Comentarios
	de la SE Las Delicias (punto crítico SENAPRED, desborde de cauce)				escurrimiento favorable salvo en la depresión de E-21 (zona de acumulación de agua); en la SE Las Delicias, emplazada a ~1,7 km del río San Juan, esta condición debe considerarse en el diseño de fundación y acceso.
Incendios forestales	Media-Alta (plantaciones de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata*, cobertura heterogénea)	Baja a Media (infraestructura sin carga combustible permanente; exposición puntual donde la vegetación se acerca al trazado)	Baja	Medio	Riesgo limitado por la naturaleza lineal del Proyecto, pero condicionado por presencia de combustible vegetal y proyecciones climáticas de mayor sequía estival (ARClim).
Riesgo volcánico	Baja (Complejo Volcánico Nevados de Chillán a ~123 km, fuera de zonas de peligro proximal)	Baja	Baja	Bajo	Principal exposición a caída de ceniza ante erupción de gran magnitud; sin afectación directa de flujos piroclásticos o lahares por la distancia involucrada.
Riesgo sísmico	Media (histórico sísmico regional con magnitudes 7,0–8,8 Mw)	Baja (basamento granítico competente unidad Pzg; distancias >17 km a fallas mapeadas)	Baja	Bajo	Riesgo limitado por la naturaleza competente del sustrato rocoso y la distancia a estructuras de falla, según Tabla 7 (Categoría 1, leve).

Fuente: Elaboración propia

8 CONCLUSIÓN

La caracterización del componente Geología, Geomorfología y Riesgos Naturales (GGR) para el Proyecto "Nueva Subestación Seccionadora Las Delicias, Nueva Subestación Coiquén y Nueva Línea de Transmisión 2x66 kV Las Delicias - Coiquén", comuna de Quirihue, Región de Ñuble, permite establecer las siguientes conclusiones:

El área de emplazamiento se desarrolla sobre un basamento intrusivo paleozoico (unidad Pzg) de alta competencia mecánica, inserto en la unidad geomorfológica de la Cordillera de la Costa interior de Ñuble, caracterizada por un relieve de lomajes y cordones con pendientes predominantemente Suaves a Moderadas (SERNAGEOMIN, 2003; Börgel, 1983).

Los riesgos de origen endógeno, sísmico y volcánico se clasifican como bajos para el área de emplazamiento. El riesgo sísmico se sustenta en la naturaleza competente del sustrato rocoso y en la distancia significativa respecto de estructuras de falla mapeadas (Mardones, 2021); el riesgo volcánico se sustenta en la distancia de 123 km respecto del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, lo que descarta procesos de alta energía y corto alcance, quedando circunscrito a un peligro residual de caída de ceniza (SERNAGEOMIN, 2023, 2026a).

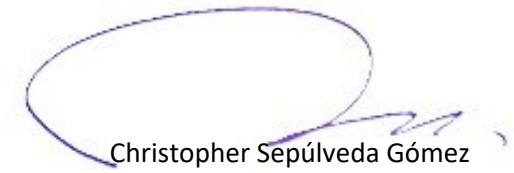
Los riesgos de origen exógeno presentan, en general, un nivel bajo, con dos condiciones puntuales que requieren atención específica en el diseño de ingeniería del Proyecto:

- Los tramos comprendidos entre las estructuras E-18 y E-21, que concentra el mayor desnivel acumulado del trazado (113 m), y E-25 a E-26, que registra la mayor pendiente media (11,8°), presentan la mayor susceptibilidad relativa a procesos erosivos y de remoción en masa de carácter menor, particularmente durante la fase de construcción asociada a la habilitación de plataformas y accesos.
- La localidad de Las Delicias se encuentra identificada como punto crítico de inundación por desborde de cauce con clasificación Muy Alto (SENAPRED, 2024); no obstante, dado que la SE Las Delicias se emplaza a aproximadamente 1,7 km del río San Juan, el riesgo para la subestación se clasifica como medio, condición que debe ser considerada en el diseño de fundaciones y obras de acceso.

El riesgo de incendio forestal se clasifica como medio, condicionado por la presencia de plantaciones forestales exóticas combinadas con vegetación nativa de quebrada, en un contexto climático regional que, según las proyecciones de ARClim, tenderá a intensificar los períodos de déficit hídrico estival.

Las proyecciones climáticas disponibles a escala comunal no modifican sustantivamente la clasificación de riesgo natural determinada para el Proyecto, actuando principalmente como factor modulador de la intensidad de procesos ya identificados (erosión, escorrentía concentrada), sin alterar la condición general de baja susceptibilidad del área de estudio.

En síntesis, los antecedentes geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y de riesgos naturales recopilados y analizados conforme al artículo 18 letra e.1 del D.S. N°40/2012 (Reglamento del SEIA) permiten concluir que el Proyecto se emplaza en un área de condiciones geológico - geomorfológicas estables, sin la presencia de procesos activos de escala regional que comprometan su viabilidad. Las condiciones de riesgo identificadas son de carácter local y acotado, susceptibles de ser abordadas mediante medidas de diseño, manejo de drenaje y control de taludes durante las fases de construcción y operación. Por otra parte, cualquier modificación local de la morfología superficial generada en las laderas será subsanada en la fase de cierre mediante la acción de restauración de la geoforma o morfología contemplada por el Proyecto, asegurando la estabilidad dinámica final del terreno.



Christopher Sepúlveda Gómez
Geógrafo, Mg en Ciencias,
mención recursos Hídricos

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARClim. (s.f.). *Explorador de Amenazas, comuna de Quirihue*. Atlas de Riesgos Climáticos para Chile, Ministerio del Medio Ambiente. https://arclim.mma.gob.cl

Aguirre, L.; Hervé, F.; Godoy, E. (1972). *Distribution of metamorphic facies in Chile, an outline.* Krystalinikum, Vol. 9, p. 7-19.

Araya-Vergara, J. F. (1982). Geomorfología regional de Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*.

Araya-Vergara, J. F., Vergara, J., & Börgel, R. (1972). *Clasificación de pendientes*. Universidad de Chile.

Bard, P. Y., et al. (1988). Microzonación sísmica: principios y metodología.

Börgel, R. (1983). *Geomorfología*. Colección Geografía de Chile. Instituto Geográfico Militar.

Cereceda, P., et al. (2011). Terremotos y tsunamis en Chile.

Cereceda, P. (2021). Registro histórico de terremotos en Chile a partir de 1570.

Charrier, R. (1979). El Triásico en Chile y regiones adyacentes de Argentina: una reconstrucción paleogeográfica y paleoclimática. Comunicaciones, 26. Universidad de Chile, Santiago.

Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile. En T. Moreno & W. Gibbons (Eds.), *The Geology of Chile* (pp. 21-114). The Geological Society of London.

Charrier, R., Farías, M., & Maksaev, V. (2009). Evolución tectónica, paleogeográfica y metalogénica durante el Cenozoico en los Andes de Chile Norte y Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65(1), 5–35.

Chile, Ministerio del Medio Ambiente. (2013). Decreto Supremo N.º 40, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. *Diario Oficial*.

CONAF. (2022). Plan de Protección contra Incendios Forestales, comuna de Quirihue. Corporación Nacional Forestal, Región de Ñuble.

CONAF. (2024). *Estadísticas de incendios forestales en Chile*. Ministerio de Agricultura. https://www.conaf.cl

De Pedraza, J. (1996). *Geomorfología: principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda.

Deckart, K., Hervé, F., Mark, C., Ramírez, V., Calderón, M., & Godoy, E. (2014). U–Pb geochronology and Hf–O isotopes of zircons from the Pennsylvanian Coastal Batholith, south-central Chile. *Andean Geology*, 41(1), 49–82.

DGA. (2011). Antecedentes hidrogeológicos Región de Ñuble. Dirección General de Aguas.

DGA y DOH. (2025). Mapa de anegamientos comuna de Quirihue [Cartografía]. Dirección General de Aguas y Dirección de Obras Hidráulicas.

Escobar T., Fernando; Guzmán S., Ricardo; Vieira G., Camilo (1977). Avance geológico de las hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares, Chanco, Concepción-Chillán. Instituto de Investigaciones Geológicas (Chile).

FallasActivas.cl. (2023). *Chilean Active Faults (CHAF) – fallas activas y potencialmente activas de Chile* (shapefile). https://fallasactivas.cl

Flageollet, J. C. (*1989*). *Les mouvements de terrain et leur prévention*. Masson.

Gajardo, A. (1981). Hoja Concepción-Chillán. *Mapa Geológico de Chile, escala 1:250.000*. Instituto de *Investigaciones* Geológicas.

GeoPortal Chile. (2023). *Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000* (shapefile). https://geoportal.cl

Gueremy, P. (1987). *Géomorphologie dynamique appliquée*. Université de Strasbourg.

González-Bonorino, F. (1970). Series Metamórficas del Basamento Cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Universidad de Chile, Depto. de Geología, *Publicación* N°37, 80 p.

Henríquez, R. (1990). Régimen pluviométrico de la cuenca del río Itata.

I. *Municipalidad* de Quirihue. (2025). *Anexo - Plan por amenaza: Inundación-anegamiento, comuna de Quirihue*. Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres.

Lobos, P. (2026). *Informe de Línea de Base Edafológica*. ITLB-SUE-567.2218-1, Versión 1.

Mardones, M. (2021). Factores de evaluación de riesgo sísmico en zonificación geomorfológica.

Munizaga, F., Aguirre, L., & Hervé, F. (1973). Rb/Sr ages of rocks from the Chilean metamorphic basement. Earth and Planetary Science Letters, 18(1), 87–92. https://doi.org/10.1016/*0012*-821X(73)90038-1

Naranjo, J. A., Moreno, H., & Polanco, E. (2008). Geología del Complejo Volcánico Nevados de Chillán. *Carta Geológica de Chile*, SERNAGEOMIN.

PLADECO Quirihue. (2013). *Plan de Desarrollo Comunal de Quirihue*. Ilustre Municipalidad de Quirihue.

Richter, C. F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. Bulletin of the Seismological Society of *America*, 25(1), 1–32.

SEA. (2024). *Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA* (3ª ed.). Santiago de Chile.

SEA. (2026). *Guía para la Descripción del Área de Influencia en el SEIA* (2ª ed.). Santiago de Chile.

SENAPRED. (2023). *Amenazas y riesgos de origen natural y antrópico*. Gobierno de Chile. https://www.senapred.cl

SENAPRED. (2024). *Programa Invierno 2024*. Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres.

Sepúlveda, S. A., Moreiras, S. M., Lara, M., & Alfaro, A. (2010). Landslides induced by a large earthquake (Mw 8.8), *Maule*, Chile. *Engineering Geology*, 122(1-2), 30-44.

SERNAGEOMIN. (2003). *Mapa Geológico de Chile, versión digital* (Escala 1:1.000.000). Servicio Nacional de Geología y Minería.

SERNAGEOMIN. (2018). Remociones en masa: definiciones y clasificación. Servicio Nacional de Geología y Minería.

SERNAGEOMIN. (2023). *Ranking de Riesgo Específico de Volcanes Activos de Chile*. Red Nacional de Vigilancia Volcánica.

SERNAGEOMIN. (2026a, junio). Sernageomin eleva a Alerta Técnica Amarilla al complejo volcánico Nevados de Chillán. https://www.sernageomin.cl

SERNAGEOMIN. (2026b). *Alertas volcánicas*. https://www.sernageomin.cl/alertas-volcanicas/

Stern, C. R. (2004). Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile*, 31(2), 161–206.
SUBDERE. (2025). *Antecedentes de inundaciones comuna de Quirihue*. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
Suárez, M., & Emparan, C. (1997). *Hoja Curacautín, Regiones de La Araucanía y del Biobío*. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile N°71.
Umaña, J. (2015). Evolución geológica de la Región de Ñuble: marco tectónico y estratigráfico.
Warlitzky, N. (1979). Fundamentos de microzonificación sísmica aplicada.