SOCIEDAD CONCESIONARIA RUTA 5

TALCA -CHILLÁN S.A. (SURVÍAS)

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS PUENTES EN LOS SUBSECTORES C Y D DEL SECTOR 1 – RUTA 5 SUR, CONCESIÓN RUTA 5 TRAMO TALCA – CHILLÁN

CAPÍTULO 3 LÍNEA BASE (TOMO I)

0	12.07.2024	REVISIÓN CLIENTE	MFG	CMV	PQR	
Rev.	Fecha	EMITIDO PARA	PREPARÓ	REVISÓ	APROBÓ	SURVÍAS
			P-103050			RECIBIDO
N° Documento		103050-INF-AMB-003-R0				0

ÍNDICE DE CONTENIDOS

3 LÍNEA BASE....31

INTRODUCCIÓN 31

3.1 LÍNEA BASE CLIMA Y METEOROLOGÍA 33

3.1.1 OBJETIVOS....33

3.1.2 METODOLOGÍA....33

3.1.3 RESULTADOS....35

3.1.4 CONCLUSIONES....100

3.1.5 BIBLIOGRAFÍA....103

3.2 LÍNEA BASE CALIDAD DEL AIRE 104

3.2.1 OBJETIVOS....104

3.2.2 METODOLOGÍA....104

3.2.3 RESULTADOS....108

3.2.4 CONCLUSIONES....170

3.2.5 BIBLIOGRAFÍA....173

3.3 LÍNEA BASE RUIDO Y VIBRACIONES 174

3.3.1 OBJETIVOS....174

3.3.2 DEFINICIÓN DE RECEPTORES SENSIBLES EN GRUPOS HUMANOS Y EN FAUNA NATIVA....174

3.3.3 NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO. 181

3.3.4 RESULTADOS....192

3.3.5 CONCLUSIONES....210

3.4 LÍNEA BASE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 212

3.4.1 OBJETIVOS....212
3.4.2 METODOLOGÍA....213
3.4.3 RESULTADOS....219
3.4.4 CONCLUSIONES....246
3.4.5 BIBLIOGRAFÍA....249
3.5 LÍNEA BASE HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA 251
3.5.1 OBJETIVOS....255
3.5.2 METODOLOGÍA....256
3.5.3 RESULTADOS....264
3.5.4 CONCLUSIONES....342
3.5.5 BIBLIOGRAFÍA....346
3.6 LÍNEA BASE CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS 348
3.6.1 OBJETIVOS....348
3.6.2 METODOLOGÍA....348
3.6.3 RESULTADOS....361
3.6.4 CONCLUSIONES....461
3.6.5 BIBLIOGRAFÍA....475
3.7 LÍNEA BASE RIESGOS NATURALES 478
3.7.1 OBJETIVOS....478
3.7.2 METODOLOGÍA....478
3.7.3 RESULTADOS....498
3.7.4 SÍNTESIS DEL PELIGRO EN EL AI....586
3.7.5 CONCLUSIONES....590
3.7.6 BIBLIOGRAFÍA....594
3.8 LÍNEA BASE SUELO 596

3.8.1 OBJETIVOS....596
3.8.2 METODOLOGÍA....597
3.8.3 RESULTADOS....627
3.8.4 CONCLUSIONES....697
3.8.5 BIBLIOGRAFÍA....700

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3- 1: Características generales de las estaciones meteorológicas consideradas....39
Tabla 3- 2: Temperatura promedio, mínima y máxima registrada por cada estación meteorológica en el periodo 2018-2023. 43
Tabla 3- 3: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Miraflores, año 2023....52
Tabla 3- 4: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023....53
Tabla 3- 5: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023....53
Tabla 3- 6: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Retiro Copihue, año 2023....53
Tabla 3- 7: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023. 65
Tabla 3- 8: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023. 65
Tabla 3- 9: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Retiro Copihue, año 2023. 65
Tabla 3- 10: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Miraflores, año 2023....82
Tabla 3- 11: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023. 83
Tabla 3- 12: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023. 83

Tabla 3- 13: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Retiro Copihue, año 2023. 83

Tabla 3- 14: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Miraflores, año 2023. 96

Tabla 3- 15: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023. 96

Tabla 3- 16: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023. 96

Tabla 3- 17: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Retiro Copihue, año 2023. 97

Tabla 3- 18: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Linares, año 2023. 97

Tabla 3- 19: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Parral, año 2023. 97

Tabla 3- 20: Marco normativo aplicable (normas primarias y secundarias) 108

Tabla 3- 21: Características generales de las Estaciones de Monitoreo consideradas.....116

Tabla 3- 22: Contaminantes disponibles en cada estación de monitoreo 117

Tabla 3- 23: Disponibilidad de datos anuales en estación de monitoreo Purén (2020-2022)...118

Tabla 3- 24: Tipos de datos anuales disponibles en estación de monitoreo Purén (2020-2022). 119

Tabla 3- 25: Disponibilidad de datos anuales en estación de monitoreo INIA, Chillán (2020-2022). 124

Tabla 3- 26: Tipos de datos anuales disponibles en estación de monitoreo INIA, Chillán (2020-2022). 124

Tabla 3- 27: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo Linares (2020-2022). 130

Tabla 3- 28: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo Linares (2020-2022). 130

Tabla 3- 29: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo La Florida (2020-2022). 133

Tabla 3- 30: Disponibilidad de datos anuales en Estación de monitoreo La Florida (2020-2022). 134

Tabla 3- 31: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo U.C. Maule (2020-2022). 146

Tabla 3- 32: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo U.C. Maule (2020-2022). 147

Tabla 3- 33: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo Universidad de Talca (2020-2022). 153

Tabla 3- 34: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo Universidad de Talca (2020-2022). 154

Tabla 3- 35: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo San Carlos (2020-2022). 158

Tabla 3- 36: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo San Carlos (2020-2022). 159

Tabla 3- 37: Resumen de estadísticos asociados a registros monitoreados (2020-2022). 162

Tabla 3- 38: Comportamiento de cada puente respecto a la calidad del aire 171

Tabla 3- 39: Receptores (Grupos Humanos) identificados en el área de influencia del Proyecto 175

Tabla 3- 40: Niveles máximos de Presión Sonora permisibles según el D.S. N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente 182

Tabla 3- 41: Extracto de Resolución Exenta 491 del MMA publicada en Diario Oficial, miércoles 8 de junio de 2016, Criterios Para Homologación de Zonas Norma De Emisión De Ruidos DS Nº38, de 2011 Del MMA.....183

Tabla 3- 42: Descripción de los puntos de evaluación con su respectiva homologación según zona establecida en el D.S. N°38/11 del MMA.....185

Tabla 3- 43: Listado de fuentes de construcción y nivel de vibración de referencia a 25 pies. 190

Tabla 3- 44: Límites para criterio de daño, norma FTA. 191

Tabla 3- 45: Límites para criterio de molestia, norma FTA. 191

Tabla 3- 46 Nivel de Línea base de ruido horario diurno 193

Tabla 3- 47 Nivel de línea base de ruido horario nocturno 199

Tabla 3- 48 Nivel de línea base de vibraciones horario diurno 205

Tabla 3- 49 Nivel de línea base de vibraciones horario nocturno 208

Tabla 3- 50: Categorías de análisis. 215

Tabla 3- 51: Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Geología y Geomorfología. 248

Tabla 3- 52: Puentes del Proyecto y sus características. 251

Tabla 3- 53: Coordenadas de los puntos de muestreo. Campaña de primavera 2022. 262

Tabla 3- 54: Ubicación del Proyecto en relación con las cuencas, subcuencas y subsubcuencas del catálogo DARH. 266

Tabla 3- 55: Cauces naturales y obras hidráulicas relacionadas al AI del Proyecto. 270

Tabla 3- 56: Otras formas del recurso hídrico superficial y su distancia al AI. 272

Tabla 3- 57: Información de estaciones meteorológicas consideradas en el análisis. 277

Tabla 3- 58: Coeficientes de ajuste lineal por mes, de estaciones seleccionadas. 279

Tabla 3- 59: Estaciones meteorológicas representativas según ubicación de puentes.....283

Tabla 3- 60: Situación de recarga neta y demanda comprometida para cada sector hidrogeológico.....317

Tabla 3- 61: Parámetros hidráulicos acuífero Maule Medio.....317

Tabla 3- 62: Nivel freático en AI de cada puente.....319

Tabla 3- 63: Descripción de cada categoría de vulnerabilidad. 322

Tabla 3- 64: Vulnerabilidad de acuíferos. 326

Tabla 3- 65: Relación entre clases de calidad y valores de corte. 332

Tabla 3- 66: Calidad de las aguas subterráneas en relación con la distancia del Puente. 334

Tabla 3- 67: Derechos de aguas más cercanos a los Puentes y sus características. 335

Tabla 3- 68:Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Hidrología e Hidrogeología.....343

Tabla 3- 69: Parámetros registrados *in situ* en cada punto de muestreo. 350

Tabla 3- 70: Clasificación según rango de unidad de pH. 350

Tabla 3- 71: Metodología variables NCh1333, Of. 78: Uso riego, vida acuática y contacto directo. 352
Tabla 3- 72: Clasificación de trofía. 354
Tabla 3- 73: Análisis fisicoquímico de sedimentos 355
Tabla 3- 74: Análisis granulométrico 357
Tabla 3- 75: Métricas para valorar el índice de hábitat fluvial IHF. 360
Tabla 3- 76: Niveles y rangos de calidad, de índice de hábitat fluvial, IHF. 360
Tabla 3- 77: Clasificación según tipo de sustrato. 361
Tabla 3- 78: Coordenadas de puntos de muestreo (WGS84, Huso 18 y 19 Sur).....362
Tabla 3- 79: Metales bajo el límite de detección (LD), primavera 2022. 421
Tabla 3- 80: Metales bajo el límite de detección (LD), otoño 2023. 423
Tabla 3- 81: Metales (mg/kg) sin normativa referencial 446
Tabla 3- 82: Metales bajo el límite de detección, sin normativa referencial 448
Tabla 3- 83: Granulometría (%) por punto de muestreo 451
Tabla 3- 84: Proyectos cercanos aprobados por SEIA, relacionados con el Área de Influencia del Proyecto.....459
Tabla 3- 85: Comportamiento de calidad del agua según cada Puente del proyecto 470
Tabla 3- 86: Comportamiento de calidad de sedimentos según cada Puente del proyecto 474
Tabla 3- 87: Clasificación de peligros o amenazas según origen. 481
Tabla 3- 88: Esquema factores que integran los peligros naturales analizados.....483
Tabla 3- 89: Categorías cualitativas ordinales de susceptibilidad/peligro. 485
Tabla 3- 90: Esquema de ponderación e integración de partes (ejemplo). 486
Tabla 3- 91: Peligrosidad de flujos de barro y detrito para la geología (estabilidad unidades). 490
Tabla 3- 92: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada nivel de erosión. 490
Tabla 3- 93: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada unidad geomorfológica. 491
Tabla 3- 94: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada rango de pendiente.....492

Tabla 3- 95: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para densidad vegetacional. 492

Tabla 3- 96: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para los distintos usos de suelo. 493

Tabla 3- 97: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para jerarquía según Strahler. 494

Tabla 3- 98: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada rango de densidad de drenaje. 494

Tabla 3- 99: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para las distintas clases de compacidad. 495

Tabla 3- 100 Valores de cambio porcentual esperado de precipitación según sectorización con respecto al periodo “Histórico”. 504

Tabla 3- 101 Valores de proyección de precipitación y temperatura estimados según el nuevo Criterio de evaluación en el SEIA. 505

Tabla 3- 102: Estadísticas de incendios forestales y superficie afectada. 506

Tabla 3- 103: Peligrosidad de incendio forestal para densidad vegetacional. 508

Tabla 3- 104: Áreas pobladas cercanas a puentes por riesgo de inundaciones. 514

Tabla 3- 105: Amenaza volcánica cercana al emplazamiento del Proyecto. 527

Tabla 3- 106: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada unidad geológica en el AI. 534

Tabla 3- 107: Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Riesgos Naturales. 593

Tabla 3- 108: Nivel de detalle según número de observaciones y escala cartográfica. 598

Tabla 3- 109: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo (calicatas) (C0) dentro del Área de Influencia del Proyecto. 600

Tabla 3- 110: Coordenadas geográficas de los puntos de observación de suelo (PO0) en el Área de Influencia del Proyecto. 600

Tabla 3- 111: Clases de Capacidad de Uso de Suelos en función de los Criterios de Clasificación. 610

Tabla 3- 112: Resumen de indicadores a considerar por clases de erosión actual. 614

Tabla 3- 113: Nivel de Riesgo de Erosión. 616

Tabla 3- 114: Nivel de Erodabilidad 616

Tabla 3- 115: Riesgo según rangos de pendiente. 617

Tabla 3- 116: Definición de la clase de desprotección según tipos de cobertura vegetacional. 618

Tabla 3- 117: Nivel de Agresividad Climática. 619

Tabla 3- 118: Niveles para estimación de riesgo de erosión actual. 619

Tabla 3- 119: Rasgos característicos asociados a la delimitación de suelo hídrico. 623

Tabla 3- 120: Rasgos característicos asociados a la delimitación de suelo hídrico. 623

Tabla 3- 121: Ejemplos de singularidades ambientales del componente edafología definidas en la Guía (SEA, 2015). 626

Tabla 3- 122: Singularidades ambientales adicionales del componente edafología. 627

Tabla 3- 123: Singularidades ambientales vista como objetos de protección del componente edafología 627

Tabla 3- 124: pH del suelo y efectos esperables en las plantas 637

Tabla 3- 125: Rangos y categorías de contenido de materia orgánica de suelos 638

Tabla 3- 126: Clases de Salinidad. 639

Tabla 3- 127: Densidad aparente por el método del terrón en diferentes clases texturales. 639

Tabla 3- 128: Clases de agua aprovechable. 640

Tabla 3- 129: UHS del AI consolidada del proyecto. 640

Tabla 3- 130: Superficies de suelos categorizadas según su CCUS en el área de influencia del Proyecto (Calicatas C01 a C07). 651

Tabla 3- 131: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO013 al PO025. 652

Tabla 3- 132: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO026 al PO037. 652

Tabla 3- 133: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO038 al PO048. 652

Tabla 3- 134: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO049 al PO060. 653

Tabla 3- 135: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO061 al PO072. 653

Tabla 3- 136: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO073 al PO084. 653

Tabla 3- 137: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO085 al PO096. 654

Tabla 3- 138: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO097 al PO0108. 654

Tabla 3- 139: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO0109 al PO0121. 654

Tabla 3- 140: Superficies de suelos categorizadas según su CCUS en el área de influencia del Proyecto.....655

Tabla 3- 141: Erosión Actual en el área de influencia del Proyecto por cada puente evaluado. 661

Tabla 3- 142: Riesgo de erosión actual y potencial en las UHS del AI consolidada del proyecto. 667

Tabla 3- 143: Riesgo de Erosión Actual y Riesgo de Erosión Potencial en el área de influencia del Proyecto por cada puente evaluado. 668

Tabla 3- 144: Resumen del Riesgo de Erosión Actual y Potencial en el área de influencia del Proyecto.....670

Tabla 3- 145: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos....679

Tabla 3- 146: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos 679

Tabla 3- 147: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales 679

Tabla 3- 148: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales 679

Tabla 3- 149: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos....680

Tabla 3- 150: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos 680

Tabla 3- 151: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales 680

Tabla 3- 152: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales 680

Tabla 3- 153: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos....680

Tabla 3- 154: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos 681

Tabla 3- 155: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales 681

Tabla 3- 156: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales 681

Tabla 3- 157: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Inundación por Desbordes de Río en las comunas de Villa alegre, San Carlos y Chillán. 681

Tabla 3- 158: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Sequías hidrológicas en las comunas de Villa alegre, San Carlos y Chillán. 682

Tabla 3- 159: Rasgos de suelos hídricos identificados en el AI consolidada de suelo.....685

Tabla 3- 160: Humedales que pertenecen al Inventario Nacional de Humedales.....685

Tabla 3- 161: Puentes con presencia de Suelos Hídricos. 686

Tabla 3- 162: Descripción física y morfológica del perfil de suelo C05 686

Tabla 3- 163: Punto de observación PO29.....687

Tabla 3- 164: Punto de observación PO62.....688

Tabla 3- 165: Punto de observación PO115.....688

Tabla 3- 166: Atributos identificados de Suelos Hídricos.....690

Tabla 3- 167: Capacidad de Sustentar Biodiversidad (CSB) en el AI de suelo. 691

Tabla 3- 168: Capacidad de Sustentar Biodiversidad por Puente Proyectado.....691

Tabla 3- 169: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de la unidad de suelo UHS-5. 693

Tabla 3- 170: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de suelo (PO0) de la unidad de suelo UHS-4.....694

Tabla 3- 171: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de suelo (PO0) de la unidad de suelo UHS-4.....695

Tabla 3- 172: Conclusiones por Puente proyectado de acuerdo con el AI consolidada de suelo 699

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3- 1: Emplazamiento del proyecto.....32

Figura 3- 2: Clasificación climática de Köppen-Geiger, Región del Maule y Ñuble.....37

Figura 3- 3: Ubicación de las estaciones en relación con el Proyecto. 42

Figura 3- 4: Rosas de viento - Variabilidad anual del viento observado.....69

Figura 3- 5: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Miraflores, 2022. 72

Figura 3- 6: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Centro Experimental Arroz INIA, 2022.....74

Figura 3- 7: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Retiro Copihue, 2022.....76

Figura 3- 8: Zonas saturadas y latentes respecto a la ubicación del Proyecto y su AI preliminar 112

Figura 3- 9: Propuesta para la delimitación de zona saturada.....114

Figura 3- 10: Ubicación de las estaciones en relación con la ubicación del Proyecto.....115

Figura 3- 11: Secuencia metodológica.....214

Figura 3- 12: Mapa Geológico local, Sector Norte.....221

Figura 3- 13: Mapa Geológico local, Sector Sur.....222

Figura 3- 14: Geología estructural.....233

Figura 3- 15: Geomorfología de las regiones del Maule y de Ñuble. 237

Figura 3- 16: Mapa de pendiente, Sector Norte.....238

Figura 3- 17: Mapa de pendiente, Sector Sur.....239

Figura 3- 18: Geomorfología de detalle en el área del Proyecto, Sector Central. 241

Figura 3- 19: Geomorfología de detalle en el área del Proyecto, Sector Sur. 242

Figura 3- 20: Ubicación y obras del proyecto, al norte de Parral. 253

Figura 3- 21: Ubicación y obras del proyecto, al sur de Parral. 254

Figura 3- 22: Secuencia metodológica. 257

Figura 3- 23: Puntos de observación considerados en visita a terreno, al norte de Parral. 260

Figura 3- 24: Puntos de observación considerados en visita a terreno, al sur de Parral. 261

Figura 3- 25: Ubicación hidrográfica del Proyecto 265

Figura 3- 26: Red hidrográfica local definida a partir de visita a terreno, puentes sector Norte. 268

Figura 3- 27: Red hidrográfica local definida a partir de visita a terreno, puentes sector Sur...269

Figura 3- 28: Ubicación de estaciones meteorológicas en relación con el Proyecto. 276

Figura 3- 29: Temperatura media para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 292

Figura 3- 30: Temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 294

Figura 3- 31: Frecuencia de sequía para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 297

Figura 3- 32: Evapotranspiración potencial para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 298

Figura 3- 33: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 299

Figura 3- 34: Días de precipitación muy intensa para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto. 301

Figura 3- 35: Ubicación hidrogeológica del Proyecto. 303

Figura 3- 36: Unidades geológicas de acuíferos Río Maule y Río Itata. 306

Figura 3- 37: Niveles freáticos a lo largo de la Ruta 5 Tramo Talca – Chillán. 321

Figura 3- 38: Vulnerabilidad en la Región del Maule. 324

Figura 3- 39: Vulnerabilidad en la Región del Bío-Bío. 325

Figura 3- 40: Diagrama de Piper acuífero del Maule medio....328

Figura 3- 41: Diagrama de Piper acuífero Itata....330

Figura 3- 42: Puntos con información respecto a la calidad de las aguas. 333

Figura 3- 43: Derechos de agua existentes en el AI, Sector Norte de los puentes. 337

Figura 3- 44: Derechos de agua existentes en el AI, Sector Sur de los puentes 338

Figura 3- 45: Diseño de muestreo, Sector Norte de los puentes. 364

Figura 3- 46: Diseño de muestreo, Sector Sur de los puentes. 365

Figura 3- 47: Secuencia metodológica. 480

Figura 3- 48: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en el área de emplazamiento del Proyecto, para la cadena de impacto de sequía hidrológica. 500

Figura 3- 49: Cambio del índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Longaví para la cadena de impacto de seguridad hídrica doméstica urbana....501

Figura 3- 50: Cambio del índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Longaví para la cadena de impacto de seguridad hídrica doméstica rural....502

Figura 3- 51 Sectorización según proyecciones de precipitación. 503

Figura 3- 52: Peligrosidad de incendio forestal en función del NDVI sector norte....509

Figura 3- 53: Peligrosidad de incendio forestal en función del NDVI sector sur. 510

Figura 3- 54: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Chillán Viejo para la cadena de impacto de incendios en bosques forestales. ARClim. 512

Figura 3- 55: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Chillán Viejo para la cadena de impacto de verdor en bosques nativos. 513

Figura 3- 56: Niveles de peligro asociados a un periodo de retorno de 100 años....516

Figura 3- 57: Niveles de riesgo de inundación para el área urbana del río Chillán. 517

Figura 3- 58: Mapas del transporte integrado de vapor de agua (magnitud en kg/m/s) en instantes seleccionados durante la tormenta. Fuente de datos: Modelo GFS inicializado el 20 de junio de 2023....519

Figura 3- 59: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en el área de emplazamiento del Proyecto, para la cadena de impacto de inundaciones por desborde de ríos. 521

Figura 3- 60: Regionalización sísmica dinámica en el AI. 524

Figura 3- 61: Distribución y magnitud de sismos en las regiones del Maule y de Ñuble. 525

Figura 3- 62: Unidades geológicas en el AI. 533

Figura 3- 63: Peligrosidad de unidades geológicas por flujo de barro/detrito en el AI. 535

Figura 3- 64: Niveles de erosión en el sector norte del AI. 537

Figura 3- 65: Niveles de erosión en el sector sur del AI. 538

Figura 3- 66: Peligrosidad de la erosión por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI. 540

Figura 3- 67: Peligrosidad de la erosión por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI. 541

Figura 3- 68: Peligrosidad del sustrato asociada a flujo de barro/detrito en el AI. 543

Figura 3- 69: Unidades geomorfológicas en el sector norte del AI. 545

Figura 3- 70: Unidades geomorfológicas en el sector sur del AI. 546

Figura 3- 71: Peligrosidad de unidades geomorfológicas por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI. 548

Figura 3- 72: Peligrosidad de unidades geomorfológicas por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI. 549

Figura 3- 73: Pendientes (en grados) en el área de influencia. 551

Figura 3- 74: Peligrosidad de pendientes por flujo de barro/detrito en el área de influencia. ...553

Figura 3- 75: Peligrosidad de la forma asociada a flujo de barro/detrito en el área de influencia. 555

Figura 3- 76: Densidad vegetacional en el sector norte del área de influencia. 557

Figura 3- 77: Densidad vegetacional en el sector sur del área de influencia. 558

Figura 3- 78: Peligrosidad de la densidad vegetacional por flujo de barro/detrito en el sector norte del área de influencia. 560

Figura 3- 79: Peligrosidad de la densidad vegetacional por flujo de barro/detrito en el sector sur del área de influencia. 561

Figura 3- 80: Uso de suelo en el sector norte del área de influencia. 563

Figura 3- 81: Uso de suelo en el sector sur del área de influencia. 564

Figura 3- 82: Peligrosidad del uso de suelo por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI. 566

Figura 3- 83: Peligrosidad del uso de suelo por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI. ..567

Figura 3- 84: Peligrosidad de la cubierta asociada a flujo de barro/detrito en el AI.....569

Figura 3- 85: Red hídrica en el sector norte del AI. 571

Figura 3- 86: Red hídrica en el sector sur del AI. 572

Figura 3- 87: Peligrosidad de la red hídrica por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI. 574

Figura 3- 88: Peligrosidad de la red hídrica por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI. ..575

Figura 3- 89: Densidad de drenes en el AI. 577

Figura 3- 90: Peligrosidad de la densidad de drenes por flujo de barro/detrito en el AI. 579

Figura 3- 91: Compacidad de Gravelius en el AI. 581

Figura 3- 92: Peligrosidad de la compacidad de Gravelius por flujo de barro/detrito en el AI. .583

Figura 3- 93: Peligrosidad de la morfometría asociada a flujo de barro/detrito en el AI. 585

Figura 3- 94: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el AI.....587

Figura 3- 95: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI. 588

Figura 3- 96: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.....589

Figura 3- 97: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 603

Figura 3- 98: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....604

Figura 3- 99: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm). 605

Figura 3- 100: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y al Puente Nebuco Poniente (tercera pista y Calle Local) (411.070- 411.303 dm).....606

Figura 3- 101: Diagrama metodológico general para determinación de riego de erosión de suelo en zona IV.....615

Figura 3- 102: Esquema de obtención de riesgo de erosión en zona IV.....616

Figura 3- 103: Factores que constituyen el riesgo climático. 620

Figura 3- 104: (a) Diagrama de flujo. Indicadores de suelos hídricos en suelos no arenosos (b) Diagrama de flujo, indicadores de suelos hídricos en suelos arenosos. 624

Figura 3- 105: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 633

Figura 3- 106: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....634

Figura 3- 107: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm). 635

Figura 3- 108: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y al Puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local (411.070- 411.303 dm). 636

Figura 3- 109: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 646

Figura 3- 110: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....647

Figura 3- 111: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm). 648

Figura 3- 112: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070- 411.303 dm).....649

Figura 3- 113: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 656

Figura 3- 114: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....657

Figura 3- 115: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm). 658

Figura 3- 116: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070- 411.303 dm). 659

Figura 3- 117: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 662

Figura 3- 118: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....663

Figura 3- 119: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm). 664

Figura 3- 120: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070- 411.303 dm).....665

Figura 3- 121: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).....671

Figura 3- 122: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....672

Figura 3- 123: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).....673

Figura 3- 124: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070-411.303 dm).....674

Figura 3- 125: Riesgo de Erosión Potencial para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm). 675

Figura 3- 126: Riesgo de Potencial para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).....676

Figura 3- 127: Riesgo de Potencial para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).....677

Figura 3- 128: Riesgo de Erosión Potencial para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070-411.303 dm).....678

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3- 1: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Miraflores. 46

Gráfico 3- 2: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.....47

Gráfico 3- 3: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Los Colihues Ex Chillán Viejo.....48

Gráfico 3- 4: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue. 49

Gráfico 3- 5: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.....51

Gráfico 3- 6: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo.....51

Gráfico 3- 7: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Retiro Copihue. 51

Gráfico 3- 8: Promedio de la temperatura máxima diaria (°C) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.....54

Gráfico 3- 9: Promedio de la temperatura máxima mensual (°C) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 55

Gráfico 3- 10: Olas de calor con temperaturas superiores a 30°C (días) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 56

Gráfico 3- 11: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA. 58

Gráfico 3- 12: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Los Colihues Ex Chillán Viejo. 59

Gráfico 3- 13: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue. 60

Gráfico 3- 14: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Miraflores. 61

Gráfico 3- 15: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA. 62

Gráfico 3- 16: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo. 63

Gráfico 3- 17: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Retiro Copihue. 64

Gráfico 3- 18: Promedio de la humedad relativa máxima diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 66

Gráfico 3- 19: Promedio de la humedad relativa media diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 67

Gráfico 3- 20: Promedio de la humedad relativa mínima diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 68

Gráfico 3- 21: Promedio del viento medio (m/s) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. ..77

Gráfico 3- 22: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA. 80

Gráfico 3- 23: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo. 81

Gráfico 3- 24: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue. 82

Gráfico 3- 25: Insolación solar máxima diaria (Valor máximo de la irradiación global horizontal diaria (W/m2)) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 85

Gráfico 3- 26: Insolación solar diaria promedio (Valor medio de la irradiación global horizontal (W/m2)) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 86

Gráfico 3- 27: Insolación solar mínima diaria promedio (W/m2) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble 87

Gráfico 3- 28: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA. 89

Gráfico 3- 29: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo. 90

Gráfico 3- 30: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue. 91

Gráfico 3- 31: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Parral. 93

Gráfico 3- 32: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Chillán Viejo. 94

Gráfico 3- 33: Precipitaciones acumuladas mensuales (mm). 95

Gráfico 3- 34: Días secos consecutivos (días) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 98

Gráfico 3- 35: Cambio de precipitación acumulada mensual (mm) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble. 99

Gráfico 3- 36: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Purén. 120

Gráfico 3- 37: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Purén. 121

Gráfico 3- 38: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Purén. 122

Gráfico 3- 39: Promedios anuales de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Purén. 123

Gráfico 3- 40: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo INIA, Chillán. 126

Gráfico 3- 41: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ - Estación de monitoreo INIA, Chillán. 127

Gráfico 3- 42: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo INIA, Chillán. 128

Gráfico 3- 43: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación INIA, Chillán. 129

Gráfico 3- 44: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Linares. 131

Gráfico 3- 45: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Linares. 132

Gráfico 3- 46: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo La Florida (2020-2022). 136

Gráfico 3- 47: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo La Florida. 137

Gráfico 3- 48: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo La Florida. 138

Gráfico 3- 49: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo La Florida. 139

Gráfico 3- 50: Serie de tiempo anual de concentración diaria de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida. 140

Gráfico 3- 51: Serie de tiempo anual de concentraciones horarias de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida. 141

Gráfico 3- 52: Promedios anuales de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida. 142

Gráfico 3- 53: Serie de tiempo anual de concentración horarias de NO_2 – Estación de monitoreo La Florida. 143

Gráfico 3- 54: Serie de tiempo anual de concentración horarias de NO_2 – Estación de monitoreo La Florida. 144

Gráfico 3- 55: Serie de tiempo anual de máximas concentraciones diarias CO – Estación de monitoreo La Florida. 145

Gráfico 3- 56: Serie de tiempo anual de promedios móviles de 8 horas de concentraciones horarias CO – Estación de monitoreo La Florida. 146

Gráfico 3- 57: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación U.C. Maule (2020-2022). 149

Gráfico 3- 58: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo U.C. Maule. 150

Gráfico 3- 59: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo U.C. Maule. 151

Gráfico 3- 60: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo U.C. Maule. 152

Gráfico 3- 61: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Universidad de Talca (2020-2022). 155

Gráfico 3- 62: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Universidad de Talca. 156

Gráfico 3- 63: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Universidad de Talca. 157

Gráfico 3- 64: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo Universidad de Talca. 158

Gráfico 3- 65: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo San Carlos. 160

Gráfico 3- 66: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo San Carlos. 161

Gráfico 3- 67: Precipitaciones medias mensuales en estaciones meteorológicas. 278

Gráfico 3- 68: Ajuste lineal de precipitaciones en estaciones meteorológicas según latitud de ellas. 279

Gráfico 3- 69: Precipitaciones medias mensuales en AI de los 7 puentes ubicados en el Sector Norte del Proyecto. 280

Gráfico 3- 70: Precipitaciones medias mensuales en AI de los 7 puentes ubicados en el Sector Sur del Proyecto. 281

Gráfico 3- 71: Precipitaciones medias anuales y ajuste lineal de estaciones meteorológicas. ..282

Gráfico 3- 72: Precipitaciones medias anuales en AI de Puentes. 282

Gráfico 3- 73: Series anuales de máximas precipitaciones diarias en estaciones seleccionadas. 285

Gráfico 3- 74: Temperaturas medias mensuales mínimas en Puentes. 287

Gráfico 3- 75: Temperaturas medias mensuales medias en Puentes. 287

Gráfico 3- 76: Temperaturas medias mensuales máximas en Puentes. 288

Gráfico 3- 77: Evapotranspiración media mensual en 7 puentes ubicados en sector Norte del Proyecto 289

Gráfico 3- 78: Evapotranspiración media mensual en 7 puentes ubicados en sector Sur del Proyecto 290

Gráfico 3- 79: Temperatura media para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca. 293

Gráfico 3- 80: Temperatura media para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán. 293

Gráfico 3- 81: Promedio temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca. 295

Gráfico 3- 82: Promedio temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán. 296

Gráfico 3- 83: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca. 300

Gráfico 3- 84: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán. 300

Gráfico 3- 85: Temperatura de agua superficial por punto de muestreo, primavera 2022. 367

Gráfico 3- 86: Temperatura de agua superficial por punto de muestreo, otoño 2023 367

Gráfico 3- 87: Oxígeno disuelto, saturación (%), por punto de muestreo, primavera 2022. 368

Gráfico 3- 88: Oxígeno disuelto (mg/L), por punto de muestreo, primavera 2022. 369

Gráfico 3- 89: Oxígeno saturación (%) por punto de muestreo, otoño 2023 369

Gráfico 3- 90: Oxígeno disuelto (mg/L), por punto de muestreo otoño 2023 370

Gráfico 3- 91: Unidad de pH por punto de muestreo, primavera 2022. 371

Gráfico 3- 92: Unidad de pH por punto de muestreo, otoño 2023 372

Gráfico 3- 93: Conductividad eléctrica (µS/cm) por punto de muestreo, primavera 2022. 373

Gráfico 3- 94: Conductividad eléctrica (µS/cm) por punto de muestreo, otoño 2023 374

Gráfico 3- 95: Turbidez (NTU) por punto de muestreo. 375
Gráfico 3- 96: Gráfico 1. Turbidez (NTU) por punto de muestreo, otoño 2023 376
Gráfico 3- 97: Sólidos disueltos (mg/L) por punto de muestreo. 377
Gráfico 3- 98: Sólidos disueltos (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 378
Gráfico 3- 99: Calcio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 379
Gráfico 3- 100: Calcio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 380
Gráfico 3- 101: Magnesio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 381
Gráfico 3- 102: Magnesio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 381
Gráfico 3- 103: Potasio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 382
Gráfico 3- 104: Potasio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 383
Gráfico 3- 105: Sodio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 384
Gráfico 3- 106: Sodio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023. 384
Gráfico 3- 107: Sodio porcentual (%), por punto de muestreo. 385
Gráfico 3- 108: Sodio porcentual (%), por punto de muestreo, otoño 2023 385
Gráfico 3- 109: Alcalinidad (mg/L) por punto de muestreo. 387
Gráfico 3- 110: Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$) por punto de muestreo, otoño 2023 388
Gráfico 3- 111: Fluoruro (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 389
Gráfico 3- 112: Cloruro (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022 390
Gráfico 3- 113: Cloruro (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 390
Gráfico 3- 114: Sulfato (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 391
Gráfico 3- 115: Sulfato (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 392
Gráfico 3- 116: Coliformes fecales (NMP/100 ml) por punto de muestreo, primavera 2022 393
Gráfico 3- 117: Coliformes fecales (NMP/100 ml) por punto de muestreo, otoño 2023 394
Gráfico 3- 118: Aluminio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 395
Gráfico 3- 119: Aluminio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 396
Gráfico 3- 120: Arsénico total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 397

Gráfico 3- 121: Arsénico total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....398
Gráfico 3- 122: Bario total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 399
Gráfico 3- 123: Bario total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 400
Gráfico 3- 124: Boro total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 401
Gráfico 3- 125: Boro total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023. 402
Gráfico 3- 126: Cinc total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 403
Gráfico 3- 127: Cinc total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 404
Gráfico 3- 128: Cobre total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 405
Gráfico 3- 129: Cobre total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....406
Gráfico 3- 130: Hierro total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 407
Gráfico 3- 131: Hierro total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....407
Gráfico 3- 132: Litio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 408
Gráfico 3- 133: Litio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....409
Gráfico 3- 134: Manganeso total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 410
Gráfico 3- 135: Manganeso total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....411
Gráfico 3- 136: Plomo total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 412
Gráfico 3- 137: Plomo total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 413
Gráfico 3- 138: Vanadio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.....413
Gráfico 3- 139: Vanadio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 414
Gráfico 3- 140: Litio cítrico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 415
Gráfico 3- 141: Litio cítrico total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 416
Gráfico 3- 142: Cobalto total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 416
Gráfico 3- 143: Cromo total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.....417
Gráfico 3- 144: Molibdeno total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023. 418
Gráfico 3- 145: Níquel total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 419
Gráfico 3- 146: Plata total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 420

Gráfico 3- 147: Nitrato (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022. 425
Gráfico 3- 148: Nitrato total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023. 425
Gráfico 3- 149: Nitrito (mg/L) por punto de muestreo. 426
Gráfico 3- 150: Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) por punto de muestreo. 427
Gráfico 3- 151: Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023 428
Gráfico 3- 152: Nitrógeno total (mg/m^3) por punto de muestreo, primavera 2022. 429
Gráfico 3- 153: Nitrógeno total (mg/m3) por punto de muestreo, otoño, 2023 430
Gráfico 3- 154: Fósforo total (mg/m^3) por punto de muestreo, primavera 2022. 431
Gráfico 3- 155: Fósforo total (mg/m3) por punto de muestreo, otoño 2023. 432
Gráfico 3- 156: Potencial redox (mv) de sedimentos por punto de muestreo, otoño 2023 433
Gráfico 3- 157: Macroelementos (mg/kg) por estación de muestreo, otoño 2023 434
Gráfico 3- 158: Aceites y grasas (mg/kg) por estación de muestreo, otoño 2023 436
Gráfico 3- 159: Hidrocarburos (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 437
Gráfico 3- 160: Arsénico, As (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 439
Gráfico 3- 161: Cadmio, Cd (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 440
Gráfico 3- 162: Cromo, Cr (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 441
Gráfico 3- 163: Cobre, Cu (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 442
Gráfico 3- 164: Mercurio, Hg (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 443
Gráfico 3- 165: Plomo, Pb (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 444
Gráfico 3- 166: Zinc, Zn (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023 445
Gráfico 3- 167: Abundancia relativa metales totales (> 1 %), otoño 2023 447
Gráfico 3- 168: Materia orgánica (%) por punto de muestreo, otoño 2023 450
Gráfico 3- 169: Humedad relativa por punto de muestreo, otoño 2023 450
Gráfico 3- 170: Granulometría (%) por punto de muestreo, otoño 2023 453
Gráfico 3- 171: Índice de hábitat fluvial, IHF, por punto de muestreo, primavera 2022. 455
Gráfico 3- 172: Índice de hábitat fluvial, IHF, por punto de muestreo, otoño 2023 456

Gráfico 3- 173: Actividades antrópicas por punto de muestreo, primavera 2022 457

Gráfico 3- 174: Actividades antrópicas por punto de muestreo, otoño 2023.....458

Gráfico 3- 175: Número de incendios forestales para el periodo 2021-2022 y 2022-2023.....507

Gráfico 3- 176: Superficie afectada por incendios forestales para el periodo 2021-2022 y 2022-2023.....507

Gráfico 3- 177: Precipitaciones y temperaturas mensuales promedio para la zona del Proyecto. 530

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Depósito fluvial del cauce actual del río Longaví. 230

Fotografía 2: Depósito fluvial del cauce actual del río Longaví. 231

Fotografía 3: Depósito fluvial del cauce actual del río Chillán. 231

Fotografía 4: Sectores llanos. 243

Fotografía 5: Río Longaví 244

Fotografía 6: Río Chillán. 245

Fotografía 7: Estero Navotavo. 246

Fotografía 8: Fotografías de la unidad: UH1 – Zona Intervenida. 641

Fotografía 9: Fotografías de la unidad: UH2 – Zona Urbana/ Industrial. 642

Fotografía 10: Fotografías de la unidad: UH3 – Caja de Río/ Curso de Agua.....643

Fotografía 11: Fotografías de la unidad: UH4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral. 644

Fotografía 12: Fotografías de la unidad: UH5 – Terraza Aluvial/ Agrícola. 645

Fotografía 13: Fotografía general del perfil de suelo y del entorno-paisaje, calicata C05. 687

Fotografía 14: Fotografía general del entorno-paisaje, del punto de observación PO29. 688

Fotografía 15: Fotografía general del entorno-paisaje, del punto de observación PO62. 688

Fotografía 16: Fotografía general del perfil de suelo y del entorno-paisaje, del punto de observación PO115. 689

ANEXOS

Anexo 3 – 1 Ruido y Vibraciones

Anexo 3 – 2 Hidrología e Hidrogeología

Anexo 3 – 3 Calidad de Agua

Anexo 3 – 4 Riesgos Naturales

Anexo 3 – 5 Suelo

3 LÍNEA BASE

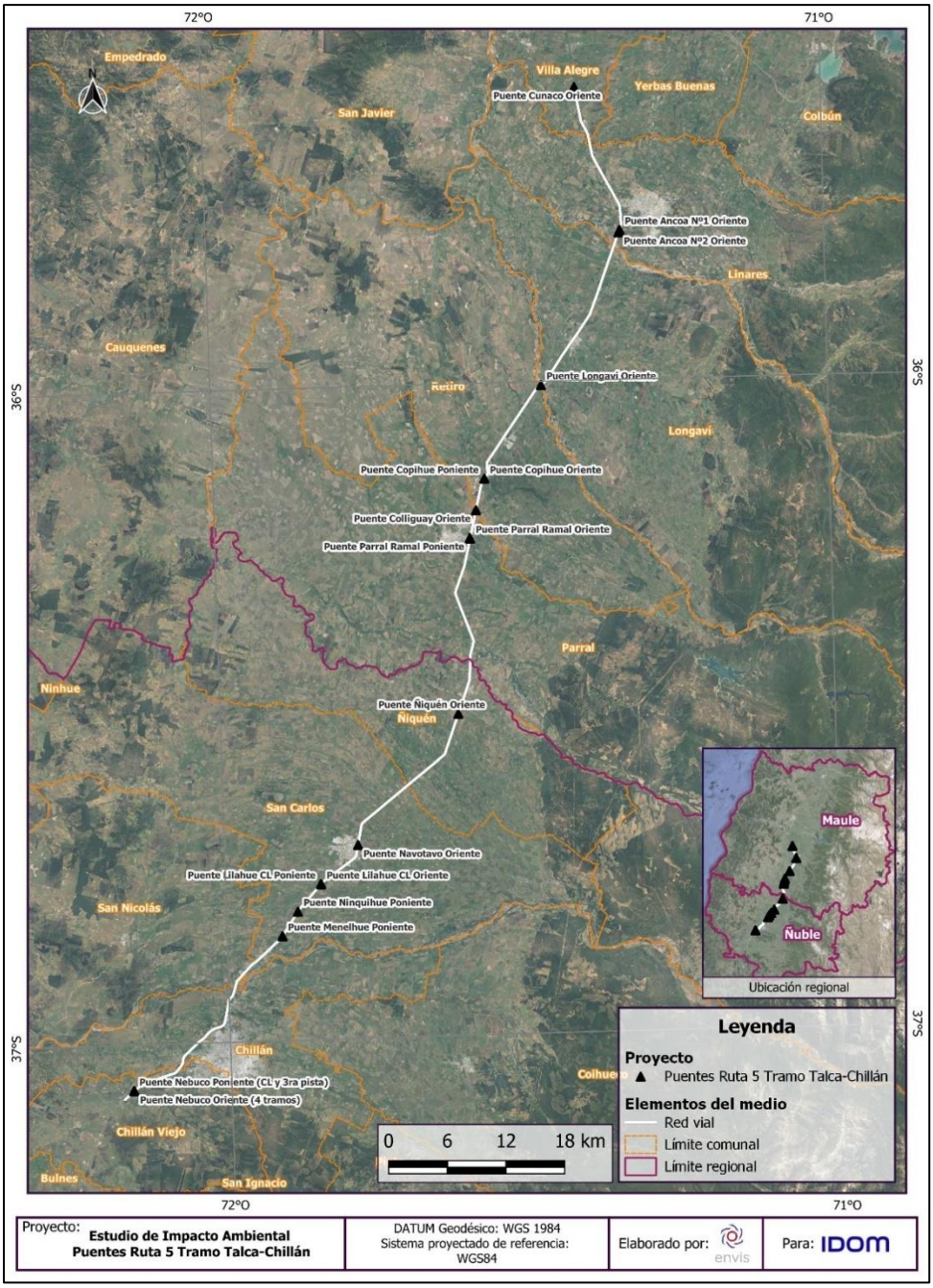
INTRODUCCIÓN

Considerando los contenidos mínimos para los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) exigidos en el artículo 12 de la Ley Nº19.300 (de Bases Generales del Medio Ambiente o LBGMA) y en el literal e) Artículo 18 del Decreto Supremo Nº40/2012 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental o RSEIA del MMA, modificado por el D.S. N°30/2023, el presente documento presenta la descripción y caracterización de los componentes ambientales analizados en el marco del Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”(en adelante “el Proyecto”).

El Proyecto considera la construcción de 13 puentes de reemplazo y 5 puentes nuevos (ver Figura 3-1), los que se ubican en las comunas de Villa Alegre, Longaví, Linares, Retiro y Parral, en la provincia de Linares; Ñiquén y San Carlos, en la provincia de Punilla; y Chillán Viejo, en la provincia de Diguillín.

El detalle de partes, obras y acciones del Proyecto puede ser consultado en el Capítulo N°1 Descripción del Proyecto.

Figura 3- 1: Emplazamiento del proyecto.



Fuente: ENVIS, 2024.

3.1 LÍNEA BASE CLIMA Y METEOROLOGÍA

3.1.1 OBJETIVOS

3.1.1.1 Objetivo General

Describir y caracterizar el componente Clima y Meteorología en el Área de Influencia (AI) del Proyecto.

3.1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las condiciones climáticas a escala regional y local.
- Identificar y caracterizar las condiciones meteorológicas a escala regional y local por medio de la identificación de las estaciones meteorológicas existentes más cercanas al área de emplazamiento del Proyecto.

3.1.2 METODOLOGÍA

3.1.2.1 Levantamiento de Información

3.1.2.1.1 Recopilación de Información Bibliográfica

Para caracterizar el clima y la meteorología del AI, se recopiló información proveniente de diversas fuentes secundarias, basadas principalmente en entidades gubernamentales, datos estadísticos de las estaciones meteorológicas, información espacial, proyectos ingresados al SEIA, Línea de Base de hidrología e hidrogeología, entre otros.

En particular, la descripción de las condiciones climáticas se realizó por medio de la recopilación de información regional y comunal proveniente de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y bibliografía de la zona, proyectos cercanos ingresados al SEIA y la cobertura nacional de zonas climáticas según Clasificación Climática de Köppen-Geiger.

En relación con las condiciones meteorológicas, tras la identificación de las estaciones de monitoreo más cercanas, se realizó la recopilación de información de las siguientes variables meteorológicas: Temperatura del aire, Humedad relativa, Radiación solar, Velocidad del viento, Dirección del viento y Precipitaciones (24 horas), por medio de registros públicos históricos de la

Red Agroclimática Nacional (AGROMET) del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Se estableció, adicionalmente, que los datos a considerar deben cumplir con las siguientes características:

- Proximidad al área de emplazamiento del Proyecto: Mientras más cerca esté la estación al Proyecto, más representativa será del entorno de éste.
- Temporalidad de los datos: Los datos deben ser suficientes para cumplir un año calendario (12 meses).
- Actualización de los datos: Tendrán prioridad aquellas estaciones meteorológicas que dispongan de datos actualizados al último mes efectivo (noviembre de 2023).

3.2.2.1 Sistematización de la Información

3.2.2.1.1 Identificar y Caracterizar las Condiciones Climáticas a Escala Regional y Local

Para la presentación de los resultados, se describieron y caracterizaron las condiciones climáticas predominantes en el AI, considerando una descripción de las variables meteorológicas para cada una de las estaciones identificadas, dicho procedimiento contempló la generación de mapas temáticos, con el objetivo de visualizar la clasificación climática en la que se inserta el Proyecto.

3.2.2.1.2 Identificar y Caracterizar las Condiciones Meteorológicas a Escala Regional y Local

Los resultados del presente informe son presentados en la sección de Resultados particularmente en la subsección “Condiciones meteorológicas” (ver subsección de Condiciones Meteorológicas 3.1.3.3), donde se realiza una descripción y caracterización de las variables meteorológicas para cada una de las estaciones identificadas, contemplando el desarrollo y análisis de lo siguiente:

- Generación de gráficos**:** Para la caracterización meteorológica se realizaron gráficos de series de tiempo con el objetivo de visualizar la información estadística relacionada a las distintas variables analizadas mediante el *software* Excel.
- Generación de rosas de viento: Para la caracterización y visualización de las rosas de viento, cuyo objetivo es indicar la dirección y velocidad del viento en el sector de las estaciones de monitoreo, se utilizó el *software* WRPPlot View.
- Generación de tablas estadísticas: Para la caracterización meteorológica trimestral se realizó una tabla resumen con la estadística descriptiva de las variables indicadas

precedentemente, obteniendo, el promedio, registro con valor máximo, registro con valor mínimo, desviación estándar y moda de cada variable medida, para cada trimestre.

Cabe señalar que de acuerdo a lo indicado por el SEA, se debe incorporar a los distintos análisis la variable del cambio climático, por lo tanto y de acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA), se describirán por medio de gráficos posibles amenazas relacionadas a las variables descritas (temperatura, humedad relativa, precipitaciones, radiación solar, velocidad y dirección del viento).

3.1.3 RESULTADOS

3.1.3.1 Condiciones Climáticas Regionales y Locales

- Región del Maule

La Región del Maule presenta los cinco (5) relieves tradicionales del país y se caracteriza por poseer un clima cálido y subhúmedo el que permite la existencia de vegetación nativa y el desarrollo de plantaciones forestales (Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), 2022).

El clima templado de tipo mediterráneo con variaciones latitudinales (norte-sur), se caracteriza por presentar una estación seca de seis meses en el norte, disminuyendo a cuatro meses en el sur. La temperatura media es de 19°C con temperaturas extremas de 30°C en los meses de verano, a diferencia de los meses de invierno, en donde las temperaturas medias son de 7°C.

Su costa se caracteriza por su clima templado mediterráneo costero, con temperaturas moderadas durante todo el año. En el valle longitudinal se da un clima templado mediterráneo cálido que cambia a un clima templado mediterráneo de altura en la precordillera hasta aproximadamente los 2.000 m de altitud, presentando un descenso en temperaturas y aumento de precipitaciones (Biblioteca del Congreso Nacional (BCN)).

- Región del Ñuble

La Región del Ñuble se caracteriza por presentar un clima mediterráneo con una estación seca prolongada, lo que le confiere un carácter con variaciones extremas.

Esta región, marca la transición entre los climas templados secos de la zona central del país y los climas templados lluviosos que comienzan a desarrollarse desde el borde sur de la cuenca del rio Itata.

En la franja costera, en los sectores altos y laderas occidentales de la Cordillera de la Costa se presenta un clima templado húmedo, con una humedad constante con precipitaciones que fluctúan entre 800 mm y 1.000 mm anuales de norte a sur.

Hacia el interior, el clima templado mediterráneo posee características más fluctuantes, donde las precipitaciones alcanzan entre 1.000 a 1.500 mm anuales con un período seco de cuatro meses. Este contraste es particularmente perceptible en el valle longitudinal, franja en la que las temperaturas presentan un mayor contraste entre día y noche. Su distribución predomina sobre toda la zona intermedia, bordes orientales de la Cordillera de la Costa y los sectores más bajos de la precordillera.

En la Cordillera de los Andes, por sobre los 1.500 metros de altitud, se desarrolla el clima frío de altura con abundantes precipitaciones, superando incluso los 2.000 mm anuales, lo que, sumado a las bajas temperaturas imperantes, permiten la presencia de nieves permanentes en la sección de mayores altitudes (Biblioteca del Congreso Nacional (BCN), 2022).

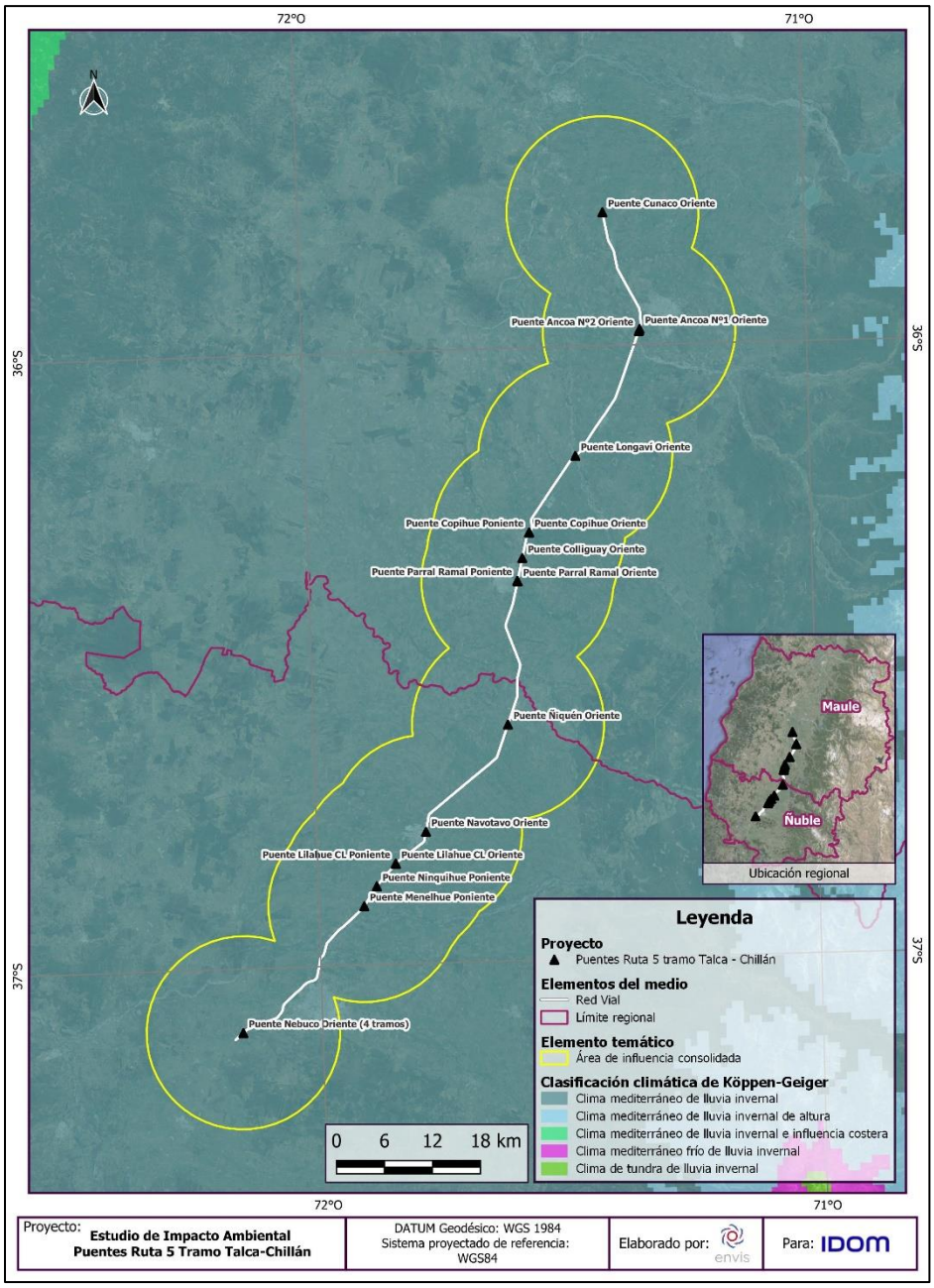
La mayor parte de las lluvias son de origen frontal, vale decir, se forman debido a masas de aire húmedo (frentes) provenientes del Océano Pacífico, y que producto de su interacción con otras masas de aire, se elevan, descendiendo su temperatura y, consecuentemente, precipitando. Un dato interesante -y clave para la agricultura de la región- de los frentes es que después de su paso, se hace presente una masa de aire frío, o inestabilidad post-frontal, que trae consigo una disminución de las temperaturas y riesgo de heladas (INIA, 2015).

3.1.3.2 Clasificación Climática de Köppen-Geiger

La clasificación climática para las regiones del Maule y Ñuble se realiza, principalmente, mediante las categorías del sistema Köppen-Geiger. Esta clasificación consiste en una caracterización climática mundial, basada en la temperatura del aire y la cantidad de agua disponible, en relación con las características fitogeográficas de cada zona.

La siguiente figura presenta la clasificación de zonas climáticas Köppen-Geiger definida por Sarricolea *et al.* (2017) para la región del Maule y Ñuble:

Figura 3- 2: Clasificación climática de Köppen-Geiger, Región del Maule y Ñuble.



Fuente: ENVIS, 2024.

De acuerdo con lo señalado en la figura previa, el AI del Proyecto se encuentra bajo la influencia de un “Clima mediterráneo de lluvia invernal” y en particular, en la clasificación Csb. El grupo climático principal (C) hace referencia a climas templados o de lluvias estacionales, caracterizado por presentar precipitaciones con una alta probabilidad de ocurrencia durante todo el año. Este grupo posee un umbral térmico donde la temperatura media del mes más frío es inferior a los 18ºC y superior a -3ºC. Se caracteriza por poseer una cubierta vegetacional de bosque templado con matorrales.

El subgrupo climático de precipitaciones o particularidades pluviométricas se caracteriza porque la precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso de invierno.

Por su parte, el subgrupo climático de temperaturas (b) de esta zona posee las siguientes características:

- La temperatura promedio del mes más cálido es inferior a los 22°C;
- A lo menos cuatro (4) meses con temperaturas promedios superiores a los 10°C.

3.1.3.3 Condiciones Meteorológicas

Por medio de la revisión de información en las distintas plataformas descritas en la metodología, se detectaron las siguientes estaciones meteorológicas en el área del Proyecto.

Tabla 3- 1: Características generales de las estaciones meteorológicas consideradas.

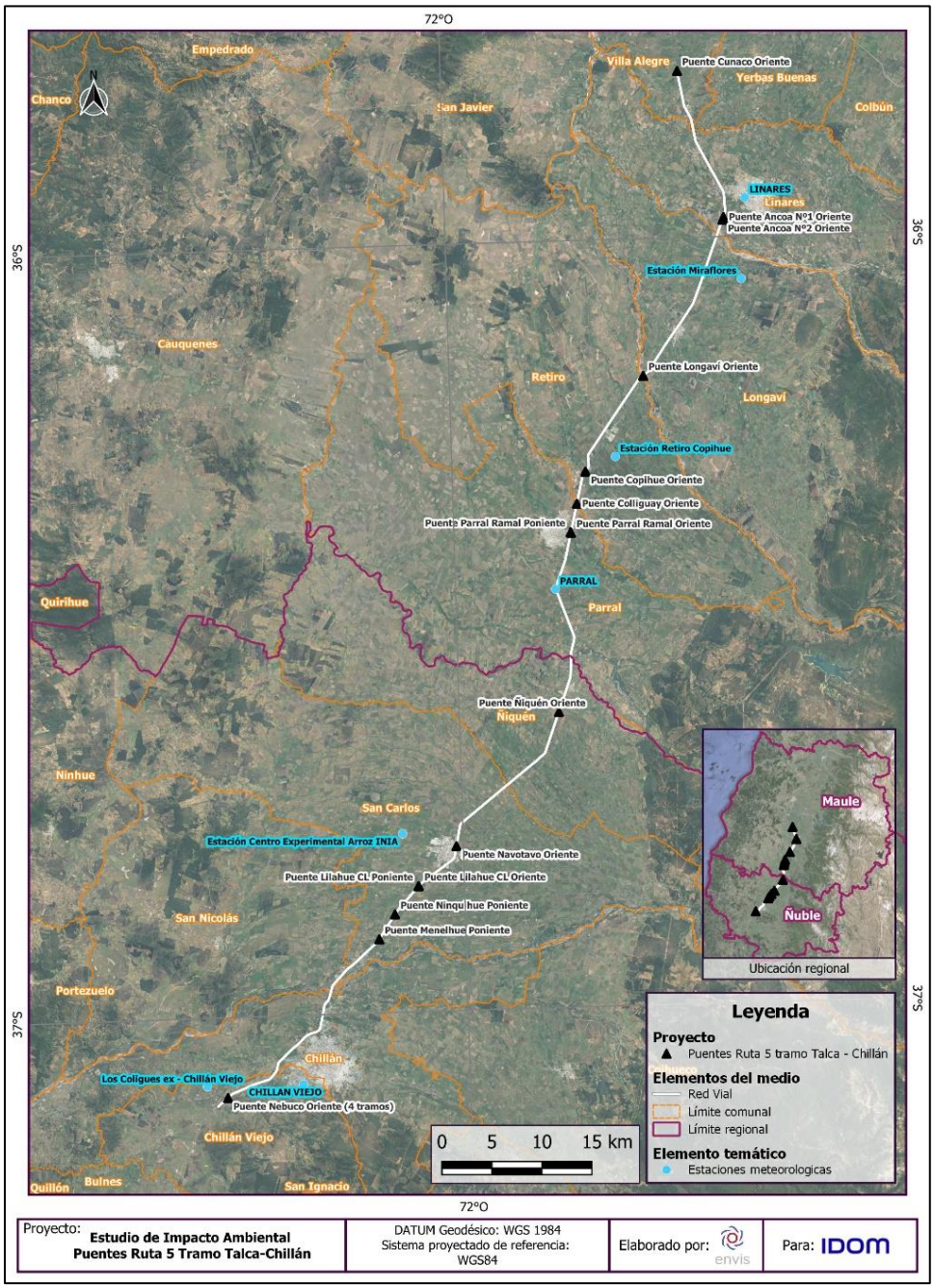
Estación	Coordenadas de referencia UTM Datum WGS84 Huso 19S		Variables Disponibles	Distancia lineal al Proyecto (km)	Periodo	Propietario	Fuente
	Este (m)	Norte (m)					
Miraflores	264.221,00	6.021.978,00	Temperatura del aire Precipitación horaria Humedad relativa Radiación Solar Velocidad y dirección del viento	6,2	2018-2023	Fundación para el Desarrollo Frutícola	Red Agroclimática Nacional (AGROMET) – Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile
Centro Experimental Arroz INIA	768.363,00	5.966.492,00	Temperatura del aire Precipitación horaria Humedad relativa Radiación Solar Velocidad y dirección del viento	5,6	2019-2023	Ministerio de agricultura	
Los Colihues Ex Chillan Viejo	747.315,00	5.942.444,00	Temperatura del aire Precipitación horaria Humedad relativa Radiación Solar	2,4	2018-2023	Fundación para el Desarrollo Frutícola	
Retiro Copihue	251.629,02	6.004.162,39	Temperatura del aire Precipitación horaria	3,3	2018-2023	Dirección Meteorológica	DGAC

Estación	Coordenadas de referencia UTM Datum WGS84 Huso 19S		Variables Disponibles	Distancia lineal al Proyecto (km)	Periodo	Propietario	Fuente
	Este (m)	Norte (m)					
			Humedad relativa			de Chile (DMC)	
			Radiación Solar				
			Velocidad y dirección del viento				
Linares	264.576	6.030.083	Precipitaciones	3,1	2018-2023	DGAC	DGAC
Parral	245.632	5.990.901	Precipitaciones	5,8	2018-2023		
Chillan Viejo	756.906	5.942.096	Precipitaciones	7,0	2018-2023		

Fuente: ENVIS, 2023.

La siguiente figura presenta la ubicación de las estaciones respecto al emplazamiento del Proyecto.

Figura 3- 3: Ubicación de las estaciones en relación con el Proyecto.



Fuente: ENVIS, 2024.

Sobre lo anterior, en los siguientes puntos se detalla cada una de variables meteorológicas consideradas.

3.1.3.3.1 Temperatura

En la siguiente tabla se presenta la temperatura promedio, mínima y máxima de los registros obtenidos de las Estaciones Meteorológicas Centro Experimental Arroz INIA, Miraflores, Los Colihues Ex Chillán Viejo y Retiro Copihue, para el periodo comprendido desde los años 2018 a 2023. Para el caso de la estación meteorológica Centro Experimental Arroz INIA, no se registraron datos dentro del año 2018. Lo anterior aplica para las variables de temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitaciones.

Tabla 3- 2: Temperatura promedio, mínima y máxima registrada por cada estación meteorológica en el periodo 2018-2023.

Estación	Año	Temperatura (°C)		
		Promedio	Mínima	Máxima
Miraflores	**2018**	12,1	-3,0	**33,5**
	2019	13,4	-2,4	**37,6**
	2020	14,9	-1,9	**36,4**
	2021	14,2	-3,3	**36,9**
	2022	14,0	-3,9	**37,7**
	2023	12,3	-4,1	**36,0**
	Promedio	**13,5**	**-3,1**	**36,4**
Centro Experimental Arroz INIA	**2018**	-	-	**-**
	2019	13,5	-1,7	**36,4**
	2020	14,4	-2,1	**35,4**
	2021	12,6	-3,3	**35,4**
	2022	12,6	-4,8	**35,4**
	2023	13,0	-0,9	**36,1**
	Promedio	**13,2**	**-2,6**	**35,7**

Estación	Año	Temperatura (°C)		
		Promedio	Mínima	Máxima
Los Colihues Ex Chillan Viejo	**2018**	12,6	-4,1	**45,1**
	2019	14,3	-3,1	**40,2**
	2020	14,0	-3,3	**37,5**
	2021	13,9	-5,4	**39,9**
	2022	13,6	-6,1	**39,9**
	2023	12,5	-4,6	**36,8**
	Promedio	**13,5**	**-4,4**	**39,9**
Retiro Copihue	**2018**	-	-	**-**
	2019	14,4	-3,3	**35,0**
	2020	13,7	-2,7	**35,6**
	2021	12,8	-4,2	**34,2**
	2022	11,7	-6,4	**34,0**
	2023	12,6	-4,8	**32,9**
	Promedio	**13,0**	**-4,3**	**34,3**

Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo señalado en la tabla previa, se registró lo siguiente:

Estación Miraflores: Un promedio de temperatura del aire de 13,5°C para el periodo comprendido entre los años 2018 – 2023, donde el registro de mayor temperatura fue para el mes de febrero del año 2022, con una temperatura máxima de 37,7°C. El registro de menor temperatura se presentó en el mes de junio del año 2023, con una temperatura mínima registrada de -4,1°C.

Estación Centro Experimental Arroz INIA: Un promedio de temperatura del aire de 13,5°C para el periodo comprendido entre los años 2019 – 2022, donde el registro de mayor temperatura fue para el mes de febrero del año 2019, con una temperatura máxima de 36,4°C. El registro de menor temperatura se presentó en el mes de mayo del año 2022, con una temperatura mínima registrada de -4,8°C.

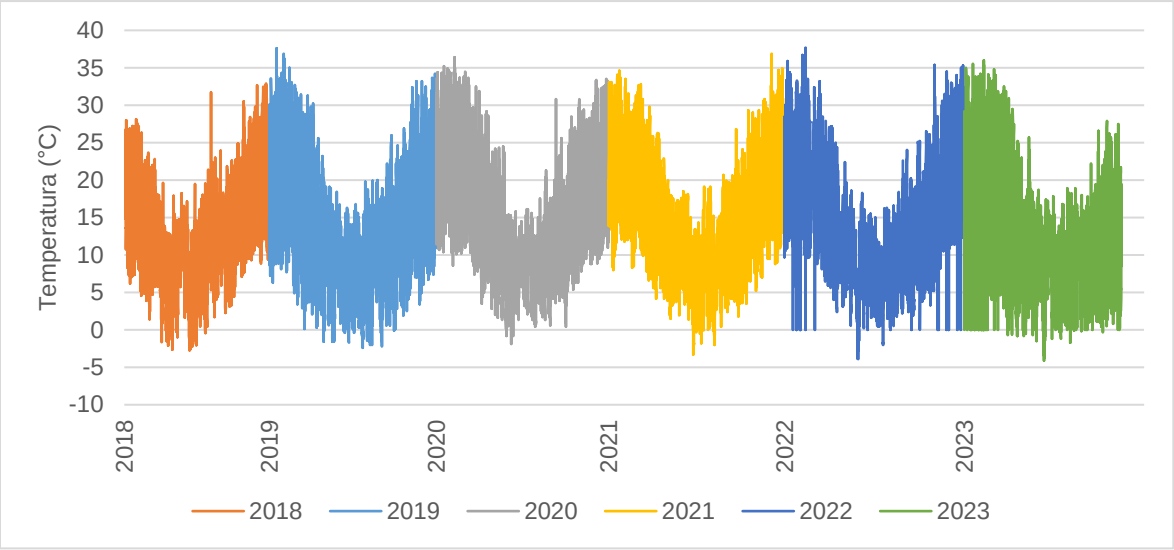
Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo: Un promedio de temperatura del aire de 13,5°C para el periodo comprendido entre los años 2018 – 2022, donde el registro de mayor temperatura fue para el mes de mayo del año 2018, con una temperatura máxima de 45,1°C. El registro de menor temperatura se presentó en el mes de mayo del año 2022, con una temperatura mínima registrada de -6,1°C.

Estación Retiro Copihue: Un promedio de temperatura del aire de 13,0°C para el periodo comprendido entre los años 2019 – 2022, donde el registro de mayor temperatura fue para el mes de febrero del año 2020, con una temperatura máxima de 35,6°C. El registro de menor temperatura se presentó en el mes de mayo del año 2022, con una temperatura mínima registrada de -6,4°C.

La temperatura promedio es de 13,3°C, con una temperatura mínima promedio de -3,6 °C y una temperatura máxima promedio de 36,6°C.

En los siguientes gráficos, se presentan los registros de temperatura horarios anuales del aire (°C) para cada estación durante el periodo entre 2018 y 2023.

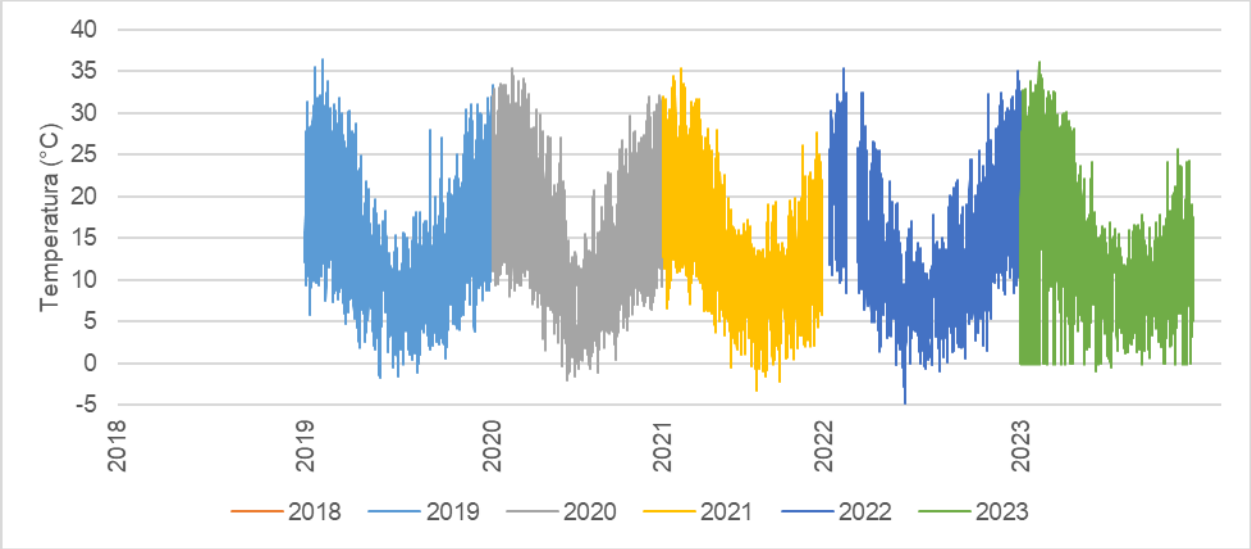
Gráfico 3- 1: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Miraflores.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en gráfico previo, el comportamiento anual de los datos presenta una homogeneidad en los últimos seis (6) años, donde las temperaturas oscilaron aproximadamente entre los 35°C a los -4°C en un año, con temperaturas máximas que superan los 35°C entre el periodo 2019 a 2023. Se evidencia una disminución de las temperaturas durante los meses más centrales y un aumento de las temperaturas durante los meses más extremos.

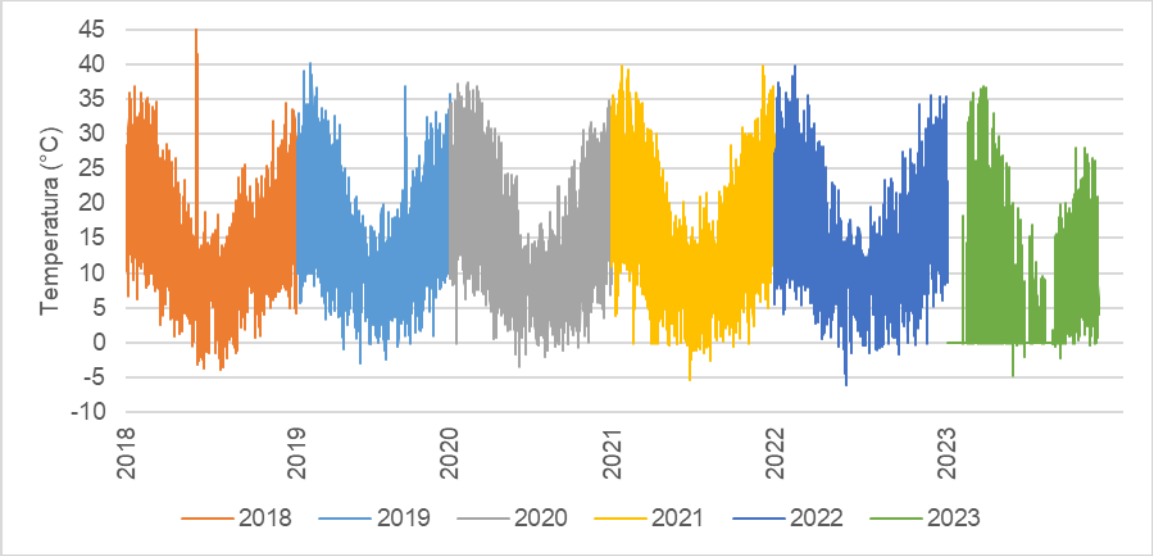
Gráfico 3- 2: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en gráfico previo, el comportamiento anual de los datos presenta una homogeneidad en los últimos seis (6) años, donde las temperaturas oscilaron aproximadamente entre los 35°C a los 0°C en un año, con temperaturas máximas que superan los 35°C durante los cuatro (4) años considerados. Se evidencia una disminución de las temperaturas durante los meses más centrales y un aumento de las temperaturas durante los meses más extremos.

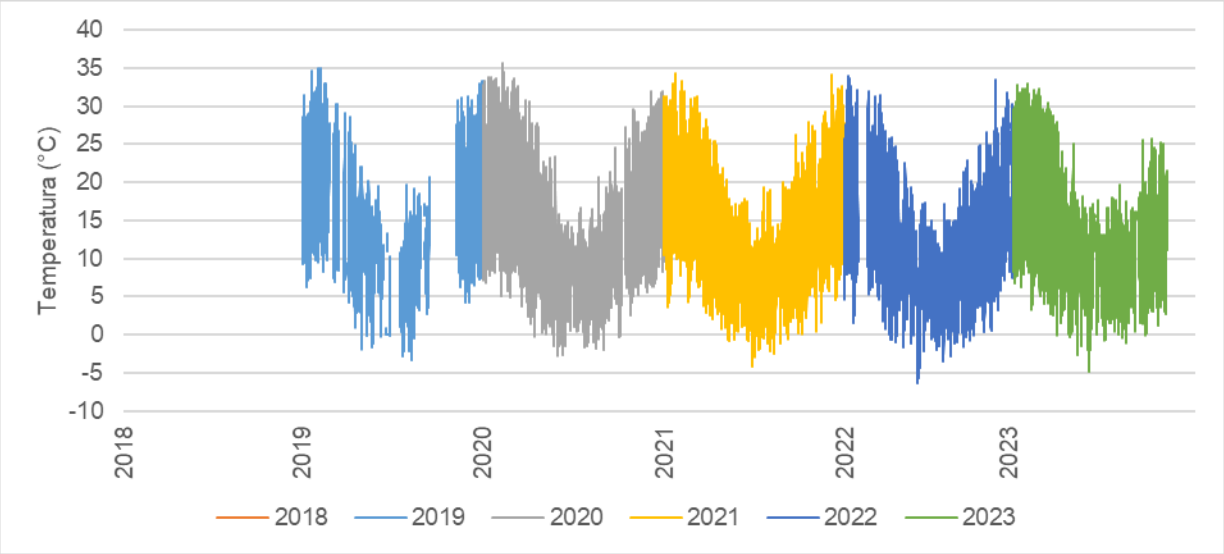
Gráfico 3- 3: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en gráfico previo, el comportamiento anual de los datos presenta una homogeneidad en los últimos seis (6) años, donde las temperaturas oscilaron aproximadamente entre los 36°C a los -5°C en un año, con temperaturas máximas que superan los 35°C durante los cinco (5) años considerados. El punto de mayor temperatura se alcanzó en el año 2018, superando los 45°C. Se evidencia una disminución de las temperaturas durante los meses más centrales y un aumento de las temperaturas durante los meses más extremos.

Gráfico 3- 4: Temperatura del aire (°C) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue.

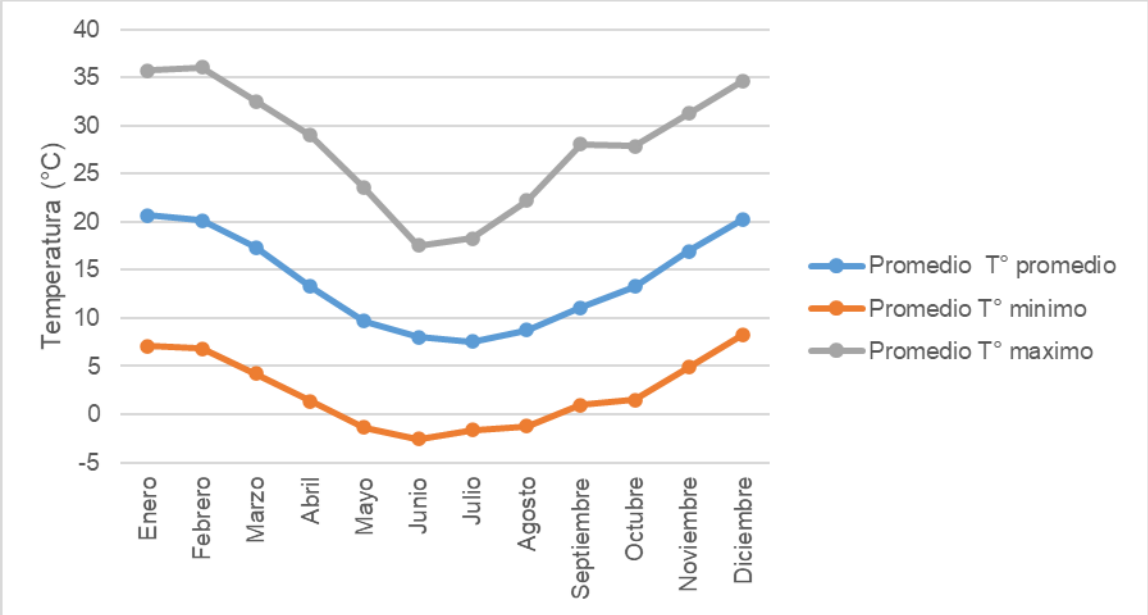


Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en gráfico previo, el comportamiento anual de los datos presenta una homogeneidad en los últimos cinco (5) años, donde las temperaturas oscilaron aproximadamente entre los 35°C a los -5°C en un año, con temperaturas máximas que no superan los 35°C durante los cuatro años considerados. Se evidencia una disminución de las temperaturas durante los meses más centrales y un aumento de las temperaturas durante los meses más extremos.

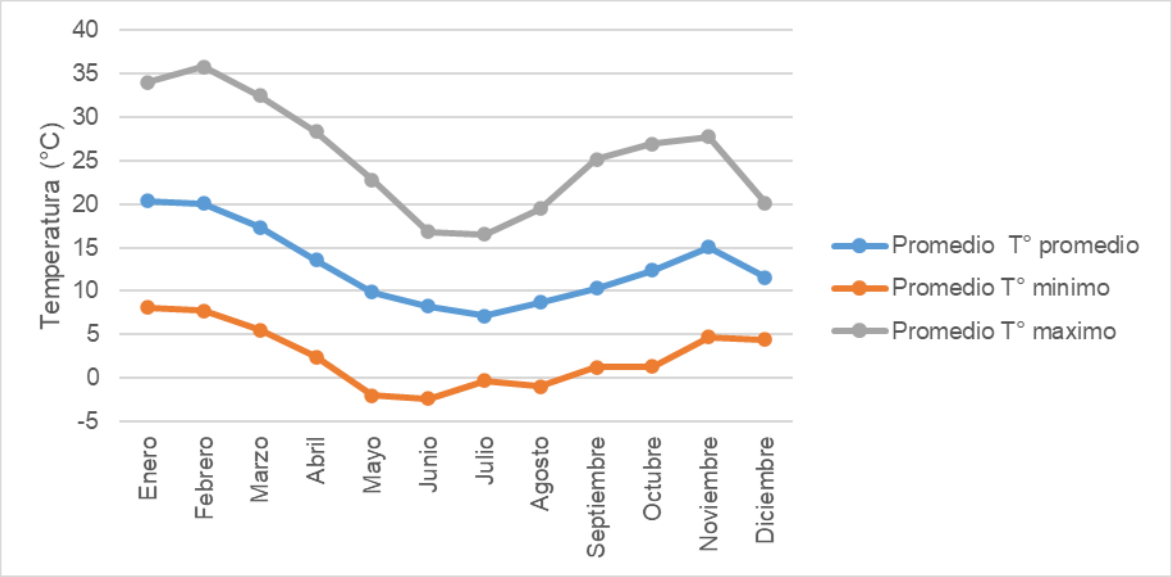
Considerando los datos registrados por las cinco (5), a continuación, se muestran las temperaturas promedio, máximas y mínimas en relación con los meses del año.

Gráfico 3- : Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Miraflores.



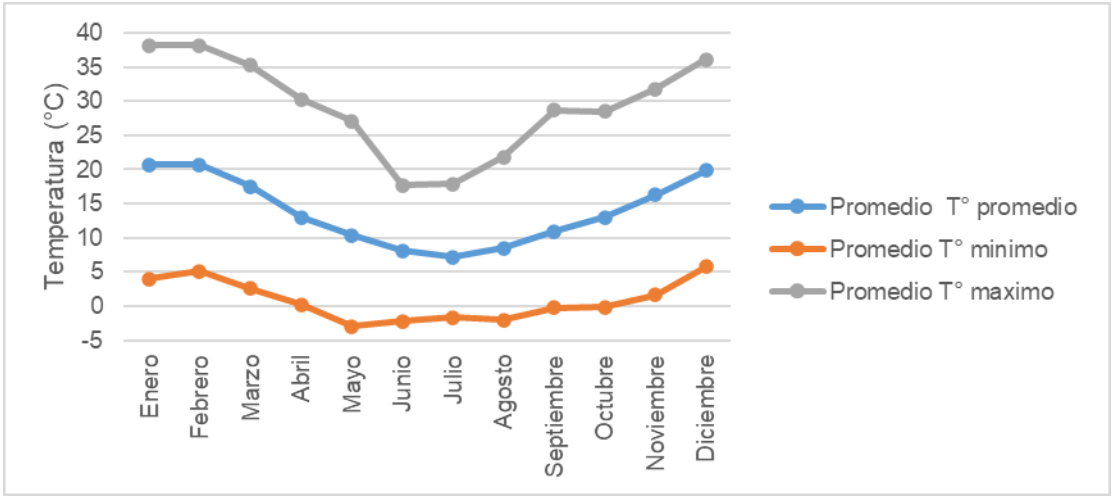
Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 5: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.



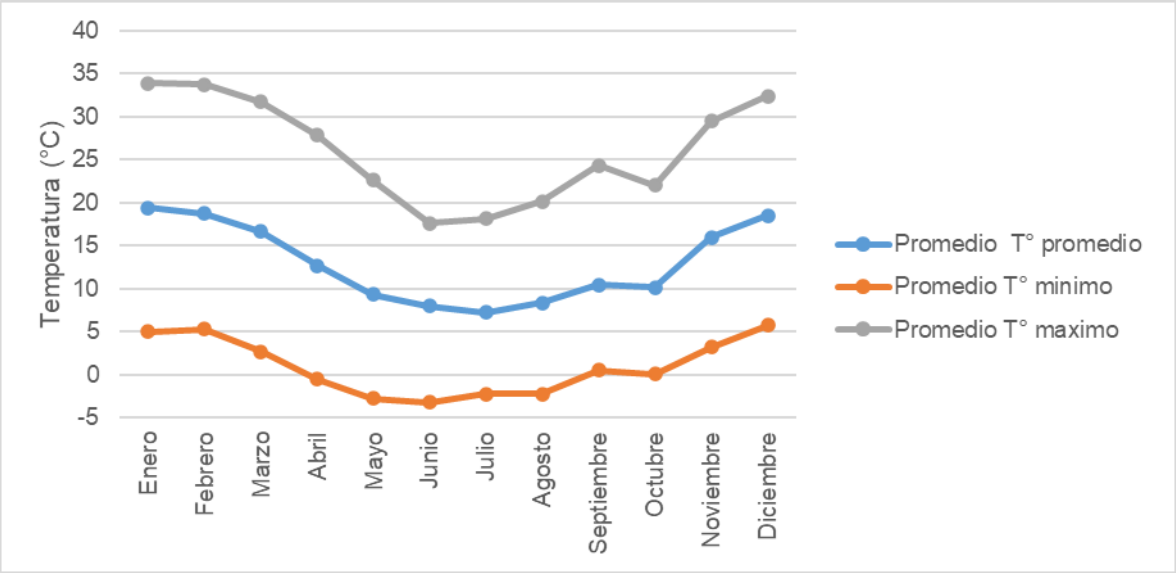
Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 6: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 7: Temperatura promedio mensual (°C) periodo 2018-2023, Estación Retiro Copihue.



Fuente: ENVIS, 2023.

A partir del análisis de los gráficos precedentes se pudo evidenciar una gran amplitud térmica entre las temperaturas máximas y mínimas, además de visualizar que en los meses de invierno las temperaturas mínimas alcanzaron temperaturas bajo 0°C. Por el contrario, durante los meses de verano las temperaturas máximas mensuales fueron iguales o superiores a 35 °C, llegando a los 40°C. Las temperaturas mínimas registradas presentan una amplitud térmica entre -5°C a 5°C, aproximadamente.

Finalmente, en las siguientes tablas se presentan las estadísticas descriptivas para las temperaturas trimestrales del año 2023 de cada estación.

Tabla 3- 3: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Miraflores, año 2023.

Meses	T° Promedio (°C)	T° Mínima (°C)	T° Máxima (°C)	Desviación	Moda
Enero - Marzo	18,2	-0,7	36,0	8,6	8,8
Abril - Junio	10,3	-4,1	30,9	6,0	8,4
Julio - Septiembre	9,4	-1,7	26,6	4,3	9,2
Octubre - Noviembre	12,0	-0,3	27,9	6,0	10,9

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 4: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023.

Meses	T° Promedio (°C)	T° Mínima (°C)	T° Máxima (°C)	Desviación	Moda
Enero - Marzo	20,2	4,8	36,1	6,8	12,7
Abril - Junio	11,1	-0,9	28,3	5,0	3,2
Julio - Septiembre	9,3	0,7	24,2	3,6	10,4
Octubre - Noviembre	12,2	2,1	25,7	4,8	11,5

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 5: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023.

Meses	T° Promedio (°C)	T° Mínima (°C)	T° Máxima (°C)	Desviación	Moda
Enero - Marzo	19,0	2,3	36,8	9,8	14,5
Abril - Junio	12,7	-4,6	32,9	7,4	14,6
Julio - Septiembre	-9,7	-2,2	28,0	5,0	8,1
Octubre - Noviembre	12,5	-0,5	28,0	6,5	8,1

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 6: Estadística descriptiva temperatura (°C), Estación Retiro Copihue, año 2023.

Meses	T° Promedio (°C)	T° Mínima (°C)	T° Máxima (°C)	Desviación	Moda
Enero - Marzo	18,4	2,5	32,5	7,3	15,4
Abril - Junio	10,4	-4,8	28,7	5,6	10,9
Julio - Septiembre	9,4	-0,9	25,5	4,2	10,4
Octubre - Noviembre	12,4	0,1	25,8	5,2	11,3

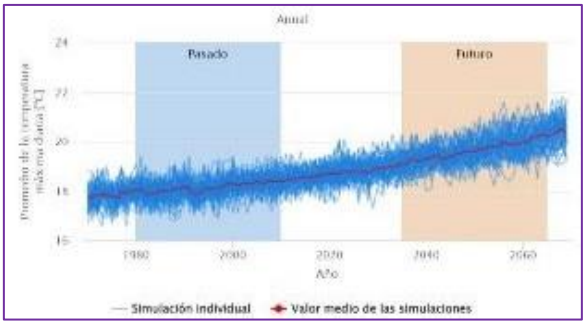
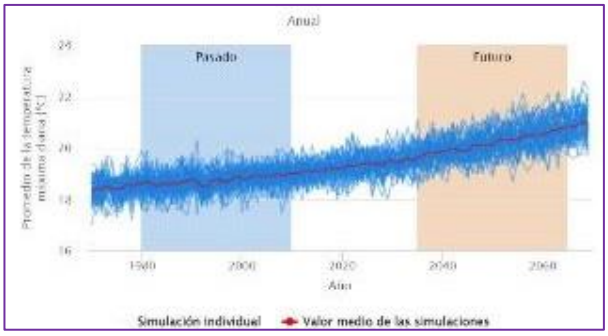
Fuente: ENVIS, 2023.

3.1.3.3.2 Relación de la Temperatura con el Cambio Climático

De acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA) se describirá la variable cambio climático. Cabe señalar que este explorador es una herramienta que permite visualizar y descargar índices climáticos sobre el territorio nacional para el periodo de referencia (1980-2010) y periodo futuro (2035-2065, bajo el escenario RCP8.5), como su diferencia. En este caso, se analizarán las estadísticas predictivas relacionadas a temperatura para las regiones de Maule y Ñuble.

Los siguientes gráficos muestran la variación de la temperatura entre dichos escenarios.

Gráfico 3- 8: Promedio de la temperatura máxima diaria (°C) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

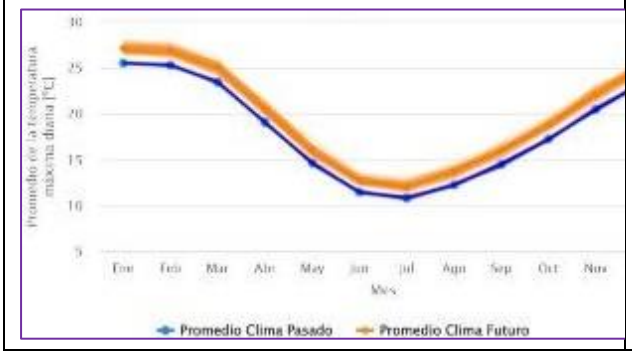
Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA, 2023), 2023

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un aumento del promedio de la temperatura máxima diaria de 18,7°C a 20,4°C para la región del Maule y de 19,3°C a 20,9°C para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá un aumento de temperatura promedio de 1,7 °C.

A nivel mensual se predice la misma tendencia de acuerdo con lo señalado en los gráficos a continuación.

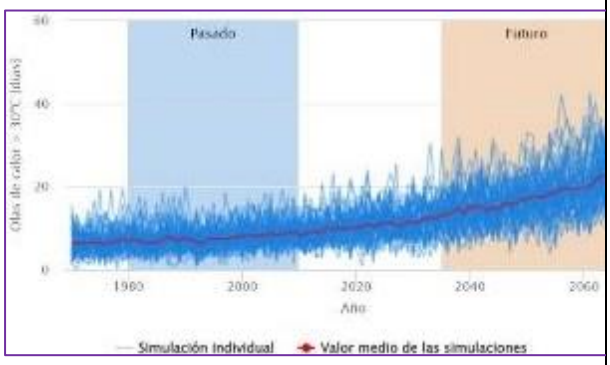
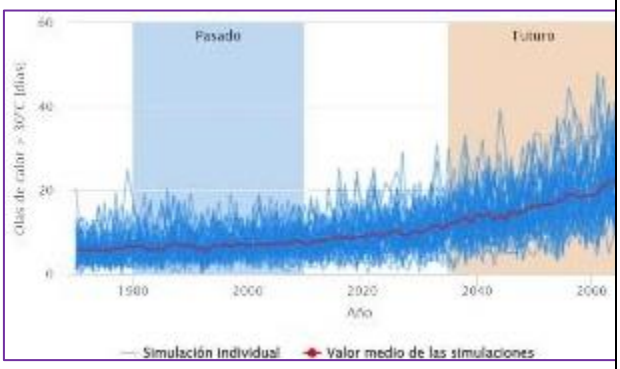
Gráfico 3- 9: Promedio de la temperatura máxima mensual (°C) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA, 2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos y en concordancia con los promedios anuales, se predice un aumento del promedio de la temperatura máxima mensual entre 1,5°C a 2°C cada mes.

Gráfico 3- 10: Olas de calor con temperaturas superiores a 30°C (días) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

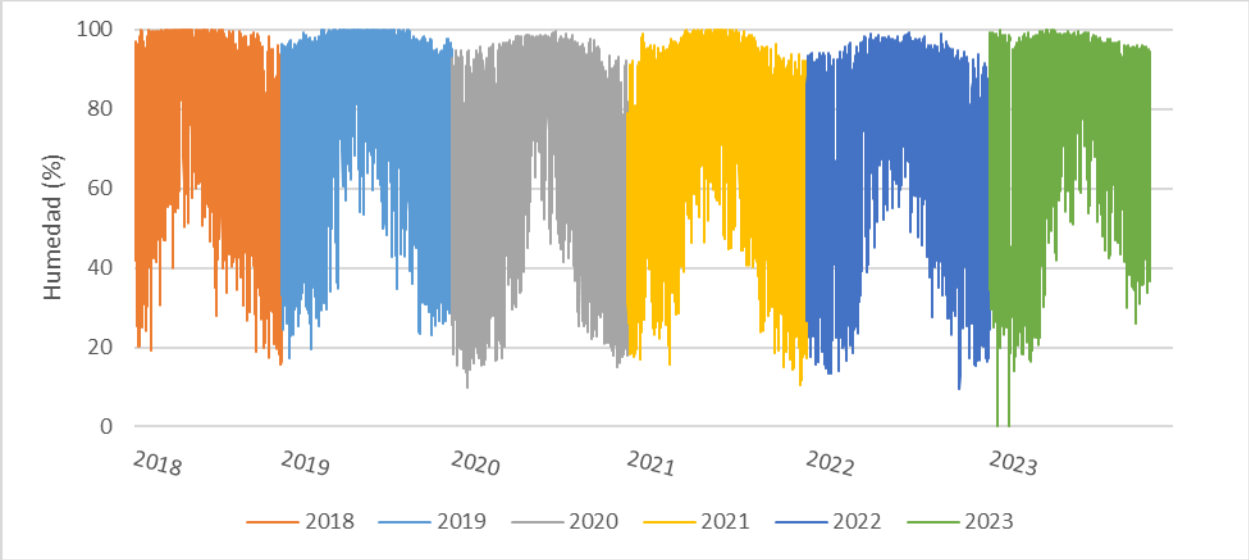
Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA, 2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un aumento del promedio de días con olas de calor de 11 a 23 días para la región del Maule y de 10 a 23 para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto aumentaran en promedio 13 días las olas de calor.

3.1.3.3.3 Humedad Relativa

A continuación, se presenta la humedad relativa medida en porcentaje de los registros obtenidos de las estaciones meteorológicas Centro Experimental Arroz INIA, Miraflores, Los Colihues Ex Chillán Viejo y Retiro Copihue, para el periodo comprendido desde los años 2018 a 2023.

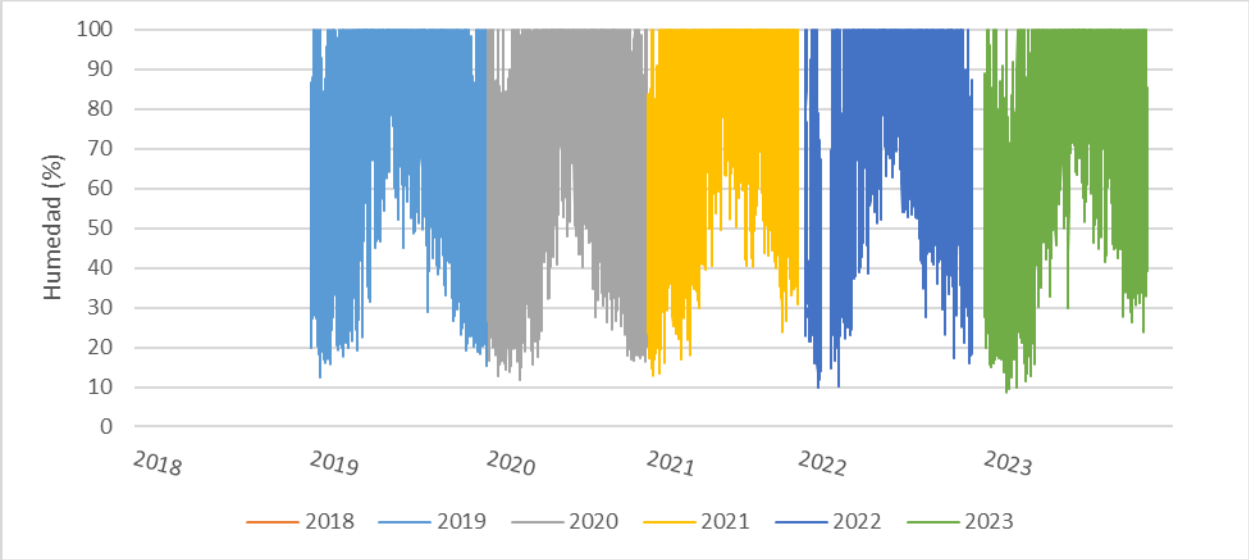
Gráfico 3- : Humedad relativa (%) para el periodo 2018-2023, Estación Miraflores.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico se observó un comportamiento anual homogéneo en los años descritos, donde la humedad relativa osciló aproximadamente entre los 20% y 100% en un año. Se observan leves *peaks* bajo los 20% en horas puntales de cada año durante los primeros y últimos meses del año. Se observó también, un aumento de la humedad en los meses más centrales o fríos y una disminución de la humedad en los meses más extremos o cálidos.

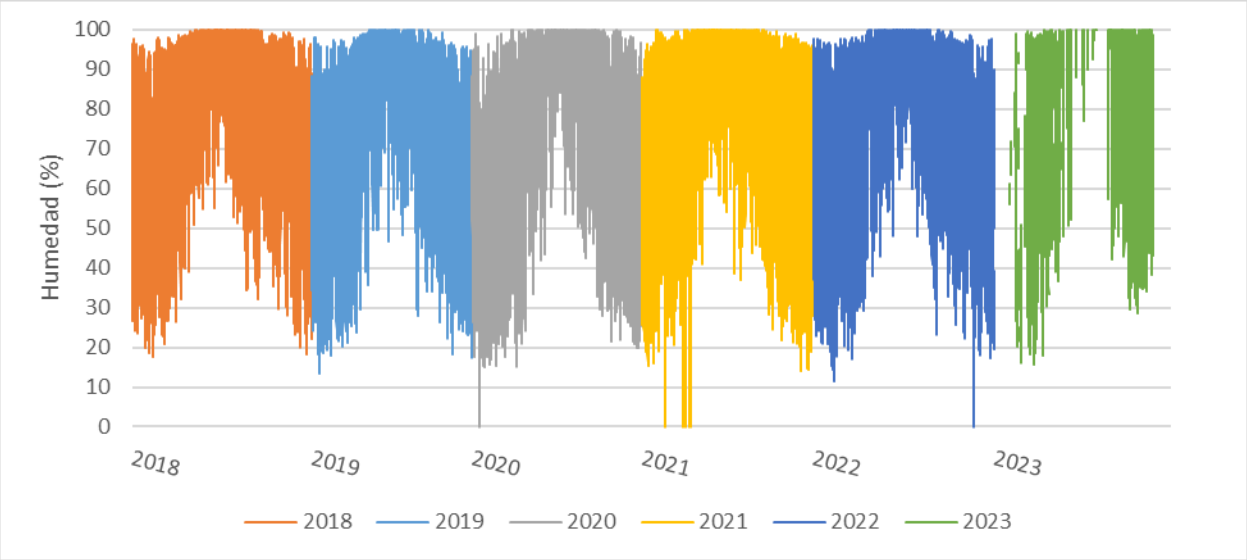
Gráfico 3- 11: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, se observó un comportamiento anual homogéneo en los cuatro años descritos, donde la humedad relativa osciló aproximadamente entre el 10% y 100% en un año calendario. Se observan *peaks* en horas puntales de cada año. Se observó también, un aumento de la humedad en los meses más centrales o fríos y una disminución de la humedad en los meses más extremos o cálidos.

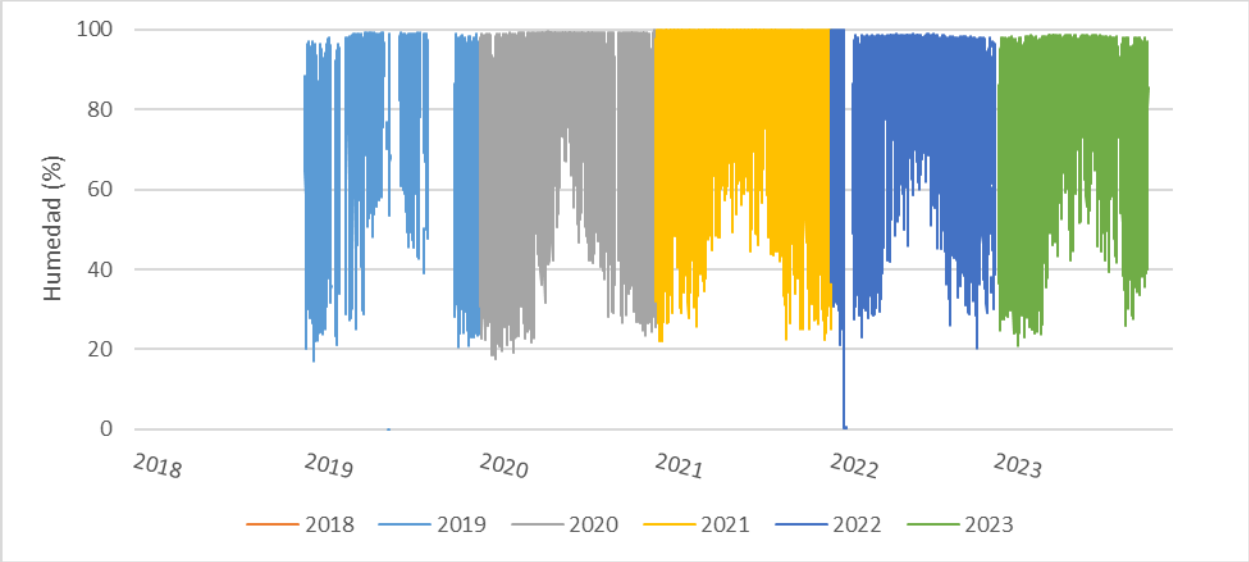
Gráfico 3- 12: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó un comportamiento anual homogéneo en los seis años descritos, donde la humedad relativa osciló aproximadamente entre el 20% y 100% en un año calendario. Se observan *peaks* bajo el 20% en horas puntales de cada año, llegando a 0% en los años 2020 y 2021. Se observó también, un aumento de la humedad en los meses más centrales o fríos y una disminución de la humedad en los meses más extremos o cálidos.

Gráfico 3- 13: Humedad relativa (%) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue.

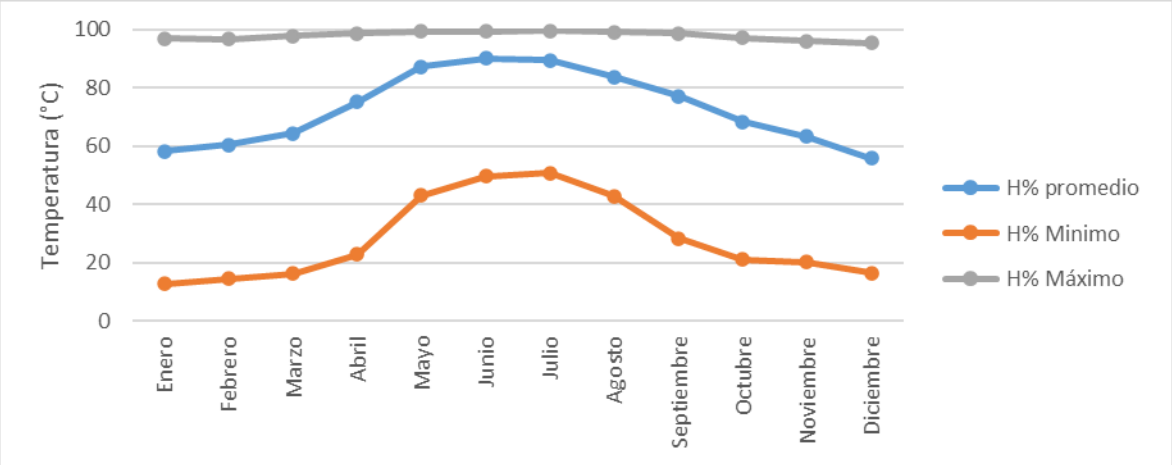


Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó un comportamiento anual homogéneo en los años descritos, donde la humedad relativa osciló aproximadamente entre el 20% y 100% en un año calendario. Se observan *peaks* bajo el 20% en horas puntales del año 2022. Se observó también, un aumento de la humedad en los meses más centrales o fríos y una disminución de la humedad en los meses más extremos o cálidos.

A continuación, en los siguientes gráficos se presenta la humedad relativa promedio mensual de las estaciones señaladas.

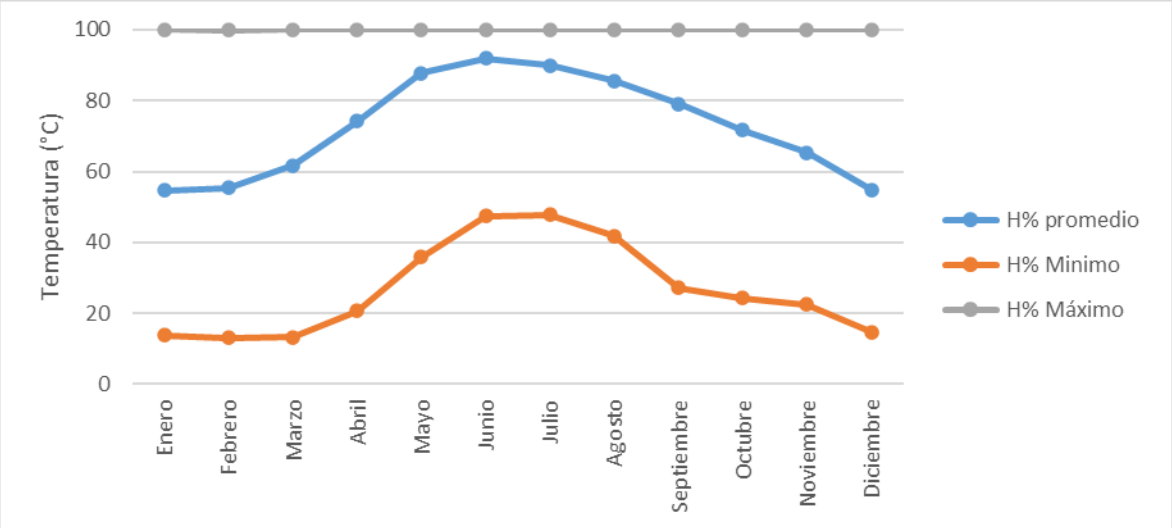
Gráfico 3- 14: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Miraflores.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con el gráfico previo, en la estación Miraflores no se registró una gran variación de la humedad promedio mensual, en donde el promedio se mantuvo entre el 55% y 90%, aproximadamente. Se observa una mayor variación de la humedad mínima, variando de 18% a 50%, aproximadamente. Los valores más elevados de humedad relativa se observan entre los meses con temperaturas más bajas, los valores de humedad relativa más bajos se observaron entre los meses con temperaturas más elevadas. En particular, los valores más bajos se presentaron durante el mes de enero.

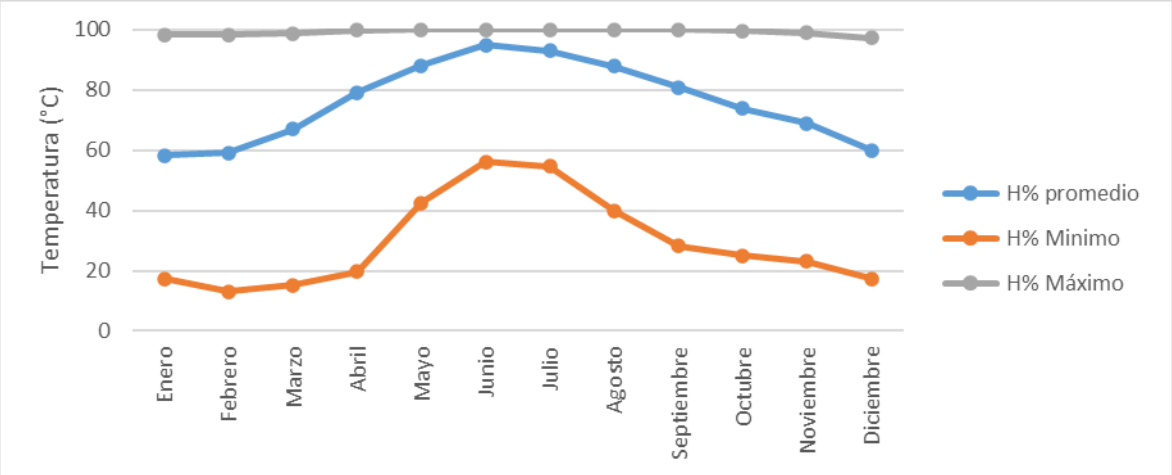
Gráfico 3- 15: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, similar a la estación previa, en la estación Centro Experimental Arroz INIA, la humedad promedio mensual se mantuvo entre un rango aproximado de 58% y 90%. Se observa una mayor variación de la humedad mínima, variando de 10% a 50%, aproximadamente. Los valores más elevados de humedad relativa se observan entre los meses con temperaturas más bajas, los valores de humedad relativa más bajos se observaron entre los meses con temperaturas más elevadas. En particular, los valores más bajos se presentaron entre enero a marzo, incluido febrero.

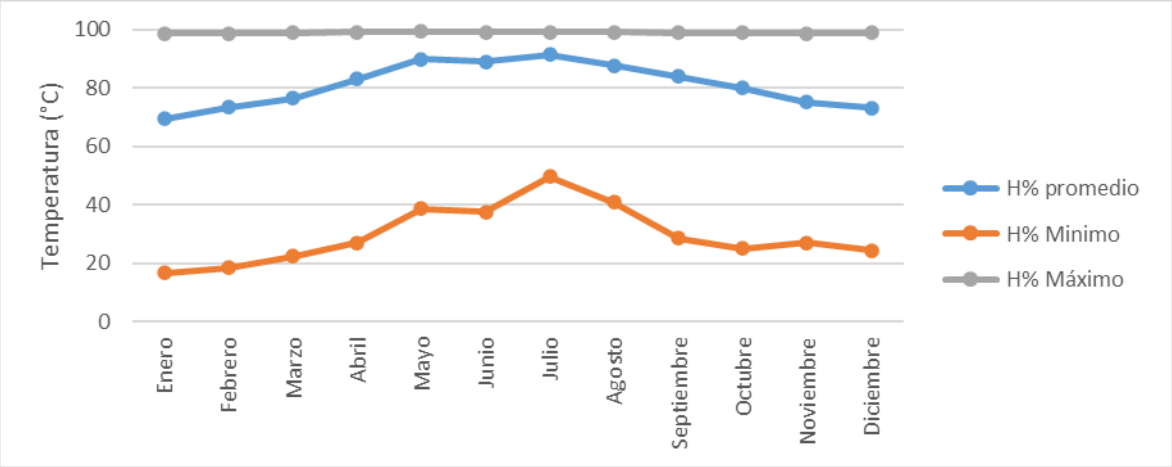
Gráfico 3- 16: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, en la estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, la humedad promedio mensual se mantiene entre un rango aproximado de 60% y 90%. Se observa una mayor variación de la humedad mínima, variando de 18% a 60%, aproximadamente. Los valores más elevados de humedad relativa se observan entre los meses con temperaturas más bajas, los valores de humedad relativa más bajos se observaron entre los meses con temperaturas más elevadas. En particular, los valores más bajos se presentaron durante el mes de febrero.

Gráfico 3- 17: Humedad relativa promedio mensual (%) periodo 2018-2023, Estación Retiro Copihue.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, en la estación Retiro Copihue, la humedad promedio mensual se mantiene entre un rango aproximado de 70% y 90%. Se observa una mayor variación de la humedad mínima, variando de 18% a 50%, aproximadamente. Los valores más elevados de humedad relativa se observan entre los meses con temperaturas más bajas, los valores de humedad relativa más bajos se observaron entre los meses con temperaturas más elevadas. En particular, los valores más bajos se presentaron durante el mes de enero.

Finalmente, en las siguientes tablas se presenta la estadística descriptiva para la humedad relativa por trimestre para las tres estaciones consideradas.

Tabla 3- : Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Miraflores, año 2023.

Meses	H Promedio (%)	H Mínima (%)	H Máxima (%)	Desviación (%)	Moda (%)
Enero a Marzo	65,6	0,0	99,9	25,9	96,8
Abril a Junio	86,0	20,9	100,0	17,0	100,0
Julio a Septiembre	84,8	30,3	99,3	13,4	96,0
Octubre a Noviembre	74,1	26,1	96,0	18,9	94,1

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 7: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023.

Meses	H Promedio (%)	H Mínima (%)	H Máxima (%)	Desviación (%)	Moda (%)
Enero a Marzo	51,8	9,0	100,0	23,7	99,9
Abril a Junio	83,7	16,0	100,0	19,5	99,9
Julio a Septiembre	87,6	27,8	100,0	16,1	99,9
Octubre a Noviembre	70,8	24,2	100,0	20,1	99,9

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 8: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023.

Meses	H Promedio (%)	H Mínima (%)	H Máxima (%)	Desviación (%)	Moda (%)
Enero a Marzo	66,3	15,8	99,5	27,9	98,0
Abril a Junio	83,3	18,0	100,0	20,9	100,0
Julio a Septiembre	89,6	29,7	100,0	16,4	100,0
Octubre a Noviembre	75,1	28,6	100,0	21,9	100,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 9: Estadística descriptiva humedad relativa (%), Estación Retiro Copihue, año 2023.

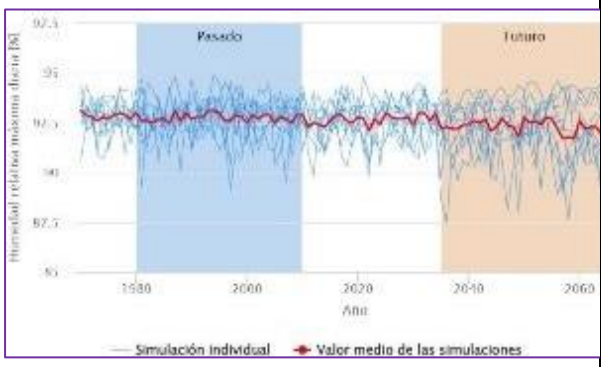
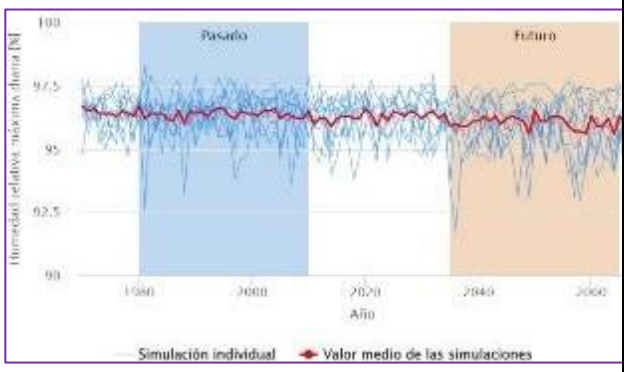
Meses	H Promedio (%)	H Mínima (%)	H Máxima (%)	Desviación (%)	Moda (%)
Enero a Marzo	67,3	21,0	98,6	22,9	96,8
Abril a Junio	85,5	24,1	98,7	15,8	98,6
Julio a Septiembre	84,4	25,9	98,8	14,8	98,6
Octubre a Noviembre	74,6	27,8	98,2	19,3	96,8

Fuente: ENVIS, 2023.

3.1.3.3.4 Relación de la Humedad Relativa con el Cambio Climático

De acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA) se describirá la variable cambio climático. Cabe señalar que se analizarán las estadísticas predictivas relacionadas a humedad relativa para las regiones de Maule y Ñuble.

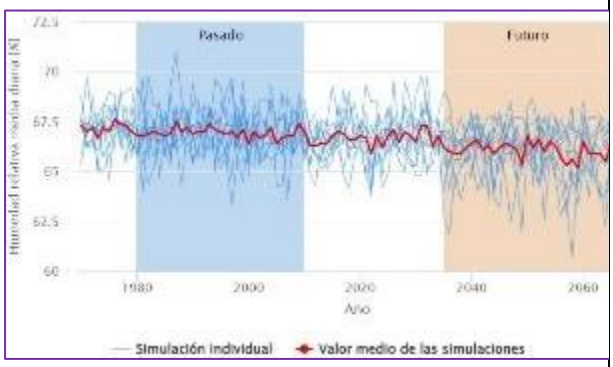
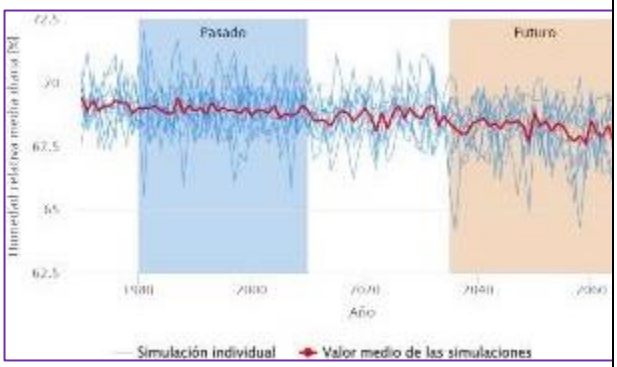
Gráfico 3- 18: Promedio de la humedad relativa máxima diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice que no se producirá un aumento del promedio de la humedad relativa máxima diaria para la región del Maule ni para la región del Ñuble.

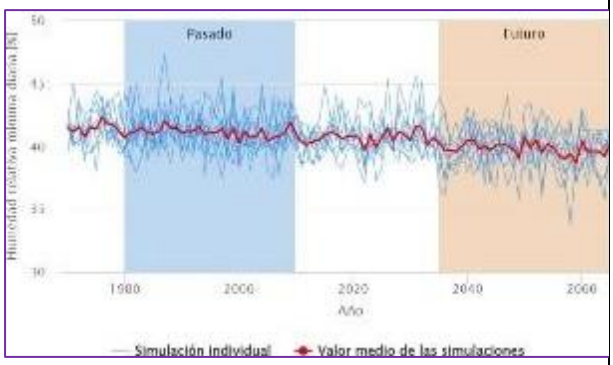
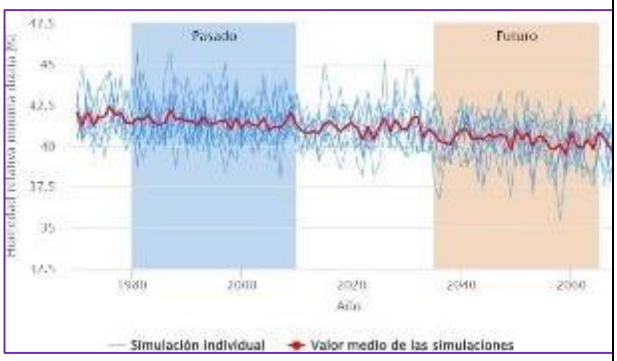
Gráfico 3- 19: Promedio de la humedad relativa media diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice una disminución de la humedad relativa media diaria de 65,9% a 65,8% para la región del Maule y de 68,1% a 67,7% para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá una disminución de humedad relativa media promedio de 0,3%.

Gráfico 3- 20: Promedio de la humedad relativa mínima diaria (%) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice una disminución de la humedad relativa mínima diaria de 39,7% a 39,1% para la región del Maule y de 40,4% a 39,7% para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá una disminución de humedad relativa mínima promedio de 0,7%.

A modo general, considerando todo el periodo, se observa una disminución de la humedad relativa media.

3.1.3.3.5 Velocidad y Dirección del Viento

Para generar las rosas de vientos se consideraron los datos de velocidad y dirección del viento del año 2022 para las estaciones Centro Experimental Arroz INIA, Miraflores y Retiro Copihue. No se consideraron los datos 2023 dado que al momento de realizar el presente anexo no se contaba con las 4 estaciones de ese año.

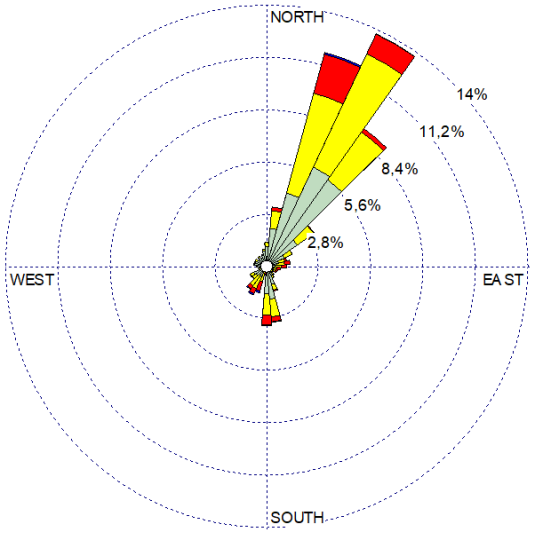
Las rosas de viento permiten representar la variabilidad anual y estacional (verano, otoño, invierno y primavera) de velocidad y dirección del viento, dado que, a través de estas, se logra identificar las direcciones y velocidades predominantes registradas en un punto. Cabe señalar, que no se consideran los registros de la estación Los Colihues Ex Chillán Viejo porque más del 83% del total de registros corresponden a 0.

Los resultados para cada estación se pueden visualizar en la siguiente figura:

Figura 3- 4: Rosas de viento - Variabilidad anual del viento observado.

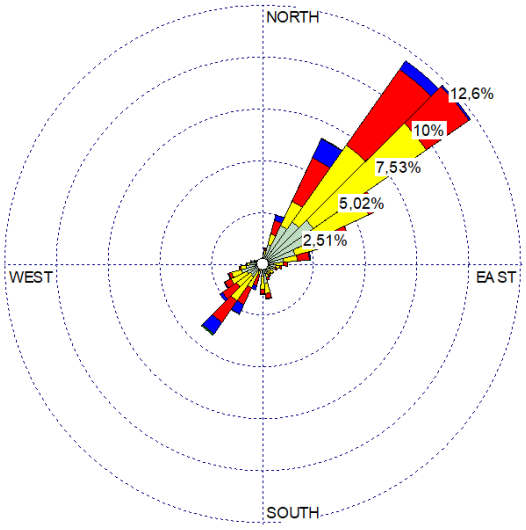
Rosas de Viento

Estación Miraflores (01/01/2022 00:00 h a 10/11/2022 11:00 h) - Calmas 22%



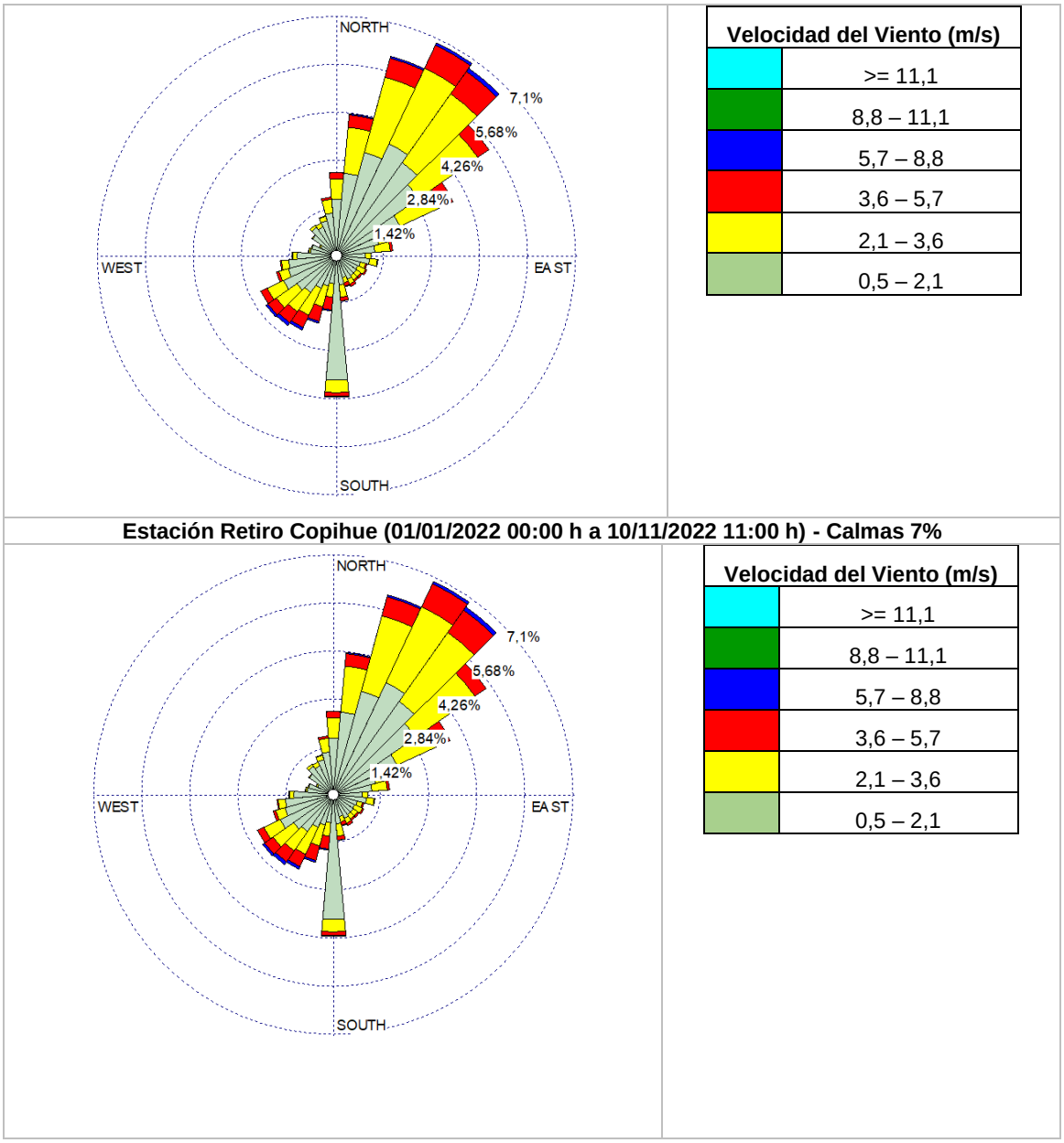
Velocidad del Viento (m/s)	
	>= 11,1
	8,8 – 11,1
	5,7 – 8,8
	3,6 – 5,7
	2,1 – 3,6
	0,5 – 2,1

Estación Centro Experimental Arroz INIA (01/01/2022 00:00 h a 10/11/2022 11:00 h) - Calmas 6%



Velocidad del Viento (m/s)	
	>= 11,1
	8,8 – 11,1
	5,7 – 8,8
	3,6 – 5,7
	2,1 – 3,6
	0,5 – 2,1

Estación Retiro Copihue (01/01/2022 00:00 h a 10/11/2022 11:00 h) - Calmas 7%



Fuente: ENVIS por medio de WRPLOT View, 2023.

A partir de lo indicado en la tabla previa, se puede concluir lo siguiente:

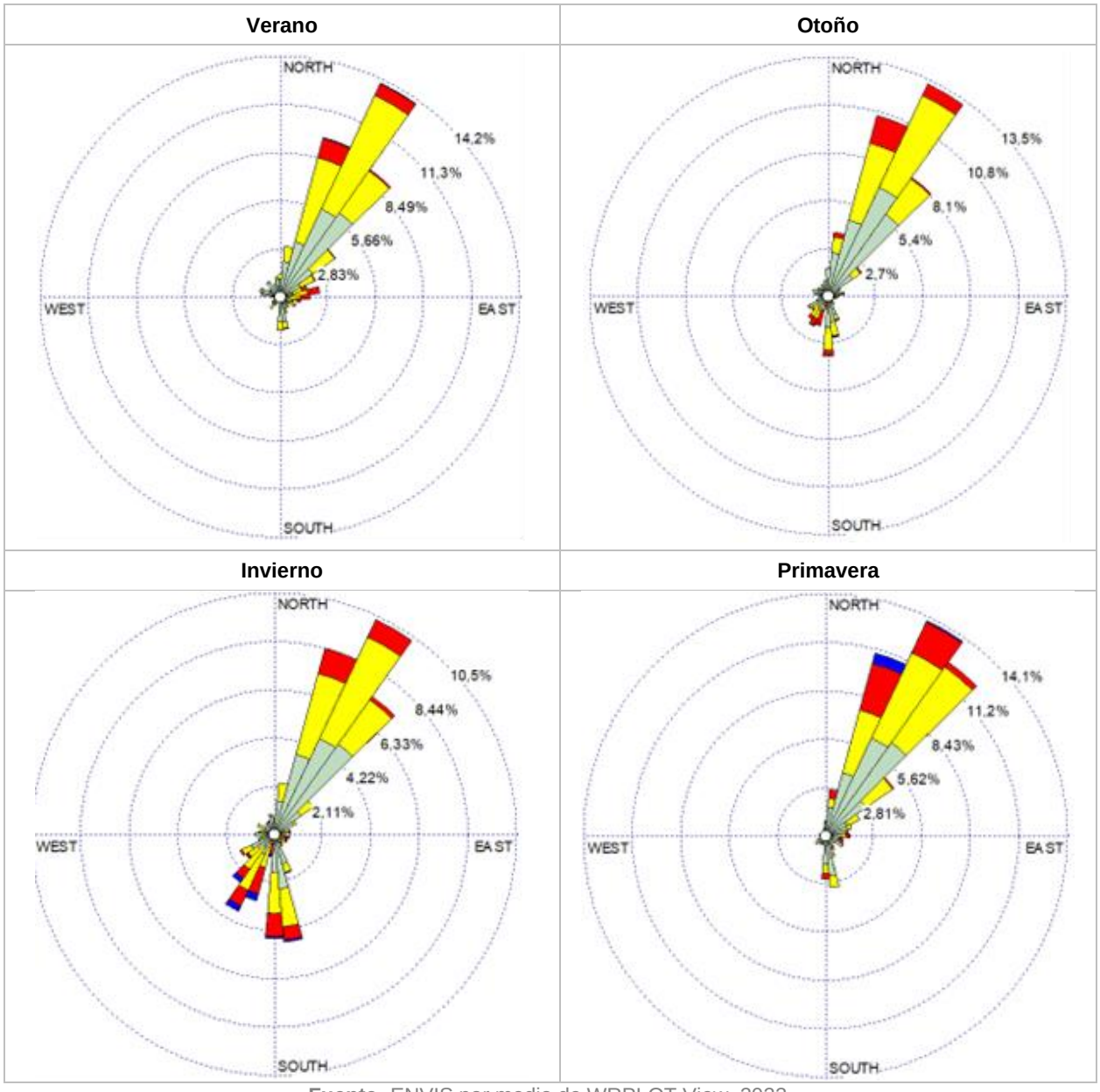
Estación Miraflores: La mayor parte de los registros poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s y en menor medida, se registraron vientos con dirección norte-sur y suroeste entre los mismos rangos de velocidad. Un 22% del total de registros corresponde a vientos calma, un 40% a vientos entre un rango de velocidad entre 0,5 a 2,1 m/s, un 26% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 7% entre 3,6 a 5,7% y sólo un 0,5% del total de registros corresponde a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Centro Experimental Arroz INIA: Los vientos predominantes poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 11,1 m/s y en menor medida, se registran vientos con velocidades entre 0 a 8,8 m/s en dirección noreste-suroeste. Un 6% del total de registros corresponde a vientos calma, un 29% a vientos entre el rango de 0,5 a 2,1 m/s, un 28% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 17% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 4% corresponde a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Estación Retiro Copihue: Los vientos predominantes poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s y en menor medida, se registran vientos con velocidades similares en dirección hacia sur, oeste y este. Un 7% del total de registros corresponde a vientos calma, un 52% a vientos entre el rango de 0,5 a 2,1 m/s, un 21% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 7% entre 3,6 a 5,7 m/s y menos de un 0,7% corresponde a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

A continuación, en las siguientes tablas se presenta la variabilidad estacional (verano, otoño, invierno, primavera) para el año 2022, registrada en cada estación meteorológica.

Figura 3- 5: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Miraflores, 2022.



Fuente: ENVIS por medio de WRPLOT View, 2023.

De acuerdo con lo observado en la tabla previa, para la estación Miraflores, se registró el siguiente comportamiento en cada estación:

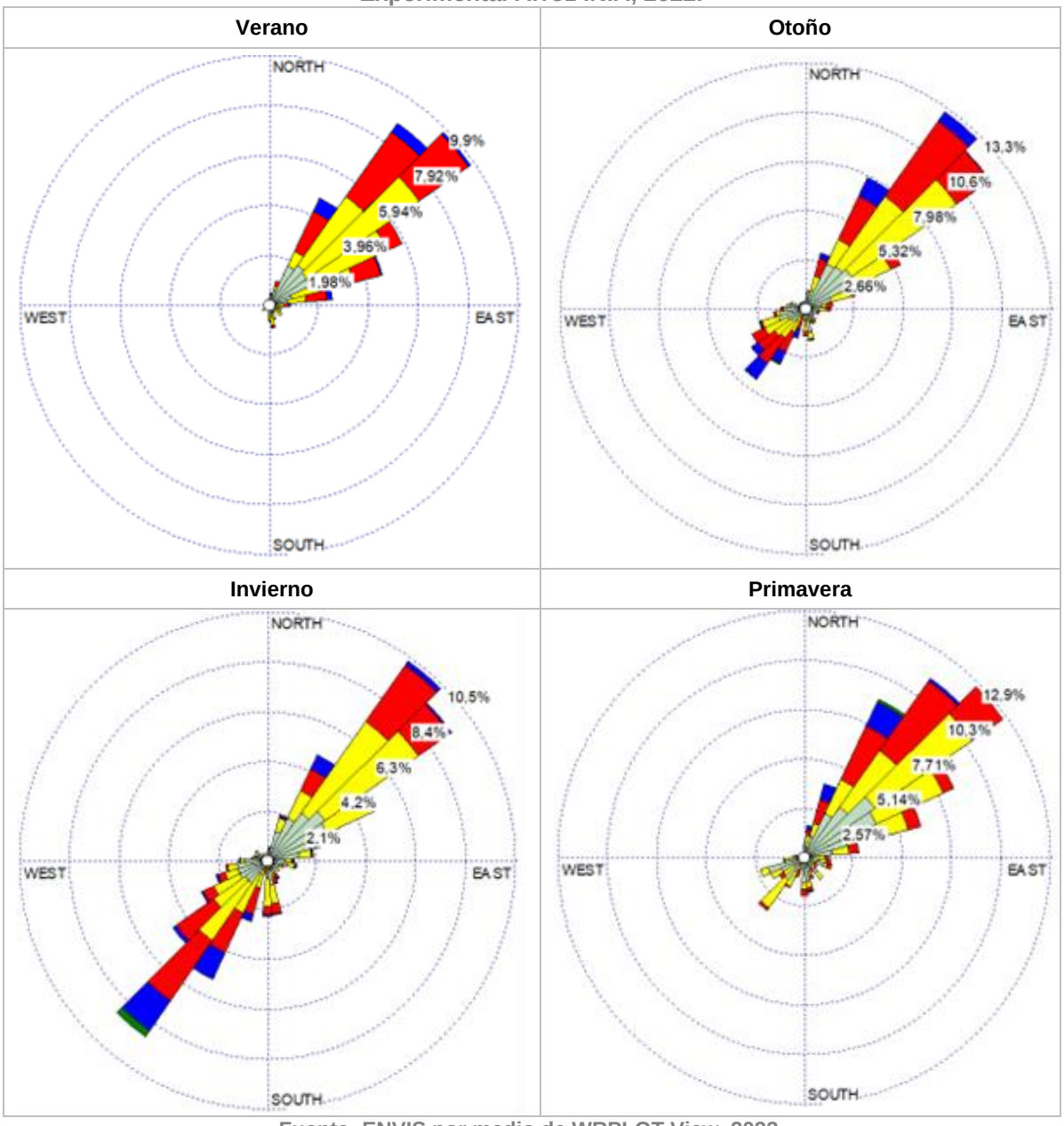
Verano: Los vientos poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s y en menor medida, vientos con dirección norte-sur con velocidades entre 0 a 2,1 m/s. Un 11% del total de registros corresponde a vientos calma, un 42% a vientos entre 0,5 a 2,1 m/s, un 25% a vientos entre 2,1 a 3,6 m/s, un 4% con velocidades entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 0,1% corresponde a velocidades superiores a 5,7 m/s.

Otoño: Los registros para otoño presentan un comportamiento bastante similar al de verano, en donde los vientos poseen una dirección suroeste-noreste y en menor medida vientos dirección norte-sur con velocidades entre 0 a 5,7 m/s. Un 30% del total de registros corresponde a vientos calma, un 43% a vientos entre 0,5 a 2,1 m/s, un 21% a vientos entre 2,1 a 3,6 m/s, un 5% con velocidades entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 0,2% corresponde a velocidades superiores a 5,7 m/s.

Invierno: Esta estación posee un comportamiento similar a verano y otoño, donde los vientos poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 5,7 m/s y vientos con dirección noreste-suroeste y sur con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Un 26% corresponde a vientos calma, un 37% con velocidades entre 0,5 a 2,1 m/s, un 24% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 7,5% entre 3,6 a 5,7 m/s y un 1,2% con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Primavera: Nuevamente, se repite el mismo comportamiento en donde los registros poseen una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s y en menor medida, vientos con dirección norte-sur con velocidades que no superan los 5,7 m/s. Un 15% corresponde a vientos calma, un 40% de los registros corresponde a vientos entre 0,5 a 2,1 m/s, un 31% a vientos entre 2,1 a 3,6 m/s, un 11% entre 3,6 a 5,7 m/s y menos del 0,4% entre 5,7 a 8,8 m/s.

Figura 3- 6: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Centro Experimental Arroz INIA, 2022.



Fuente: ENVIS por medio de WRPLOT View, 2023.

De acuerdo con lo observado en la tabla previa, para la estación Centro Experimental Arroz INIA, se registró el siguiente comportamiento en cada estación:

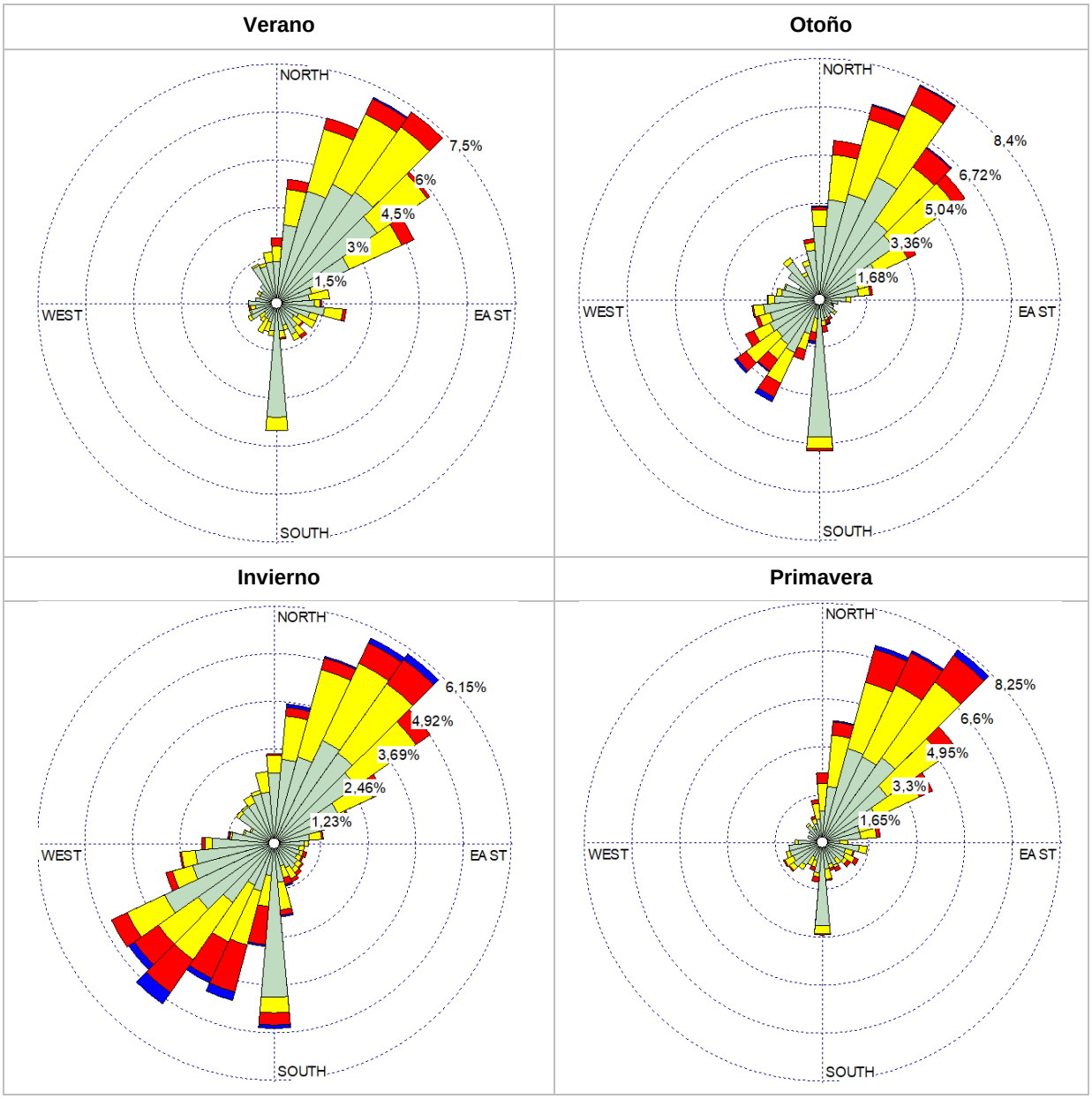
Verano: En esta estación se repite lo que ocurre a nivel anual, los vientos registraron una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Un 1% del total de registros correspondió a vientos calma, un 15% a vientos entre el rango de velocidades de 0,5 a 2,1 m/s, un 19% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 11% entre 3,6 a 5,7 m/s y un 1% correspondió a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Otoño: En otoño ocurrió una situación similar a verano, donde la mayor parte de los vientos registró una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Además, se registran, en menor medida, vientos con dirección noreste-suroeste con las mismas velocidades. Un 10% del total de registros correspondió a vientos calma, un 34% a vientos entre el rango de velocidades entre 0,5 a 2,1 m/s, un 27% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 19% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 5% a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Invierno: En esta estación aumenta la frecuencia de vientos con dirección noreste-suroeste con velocidades entre un rango de 0 a 11,1 m/s y se repite el patrón de vientos con dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. En particular, un 9% del total de registros correspondió a vientos calma, un 33% a vientos entre 0,5 a 2,1 m/s, un 29% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 17% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 5% con vientos superiores a 5,7 m/s en donde un 0,3% son vientos con velocidades superiores a 8 m/s.

Primavera: En esta estación se repite el patrón de otoño en donde la mayor parte de los vientos registró una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 11,1 m/s. Además, se registraron, en menor medida, vientos con dirección noreste-suroeste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Un 5% del total de registros correspondió a vientos calma, un 33% a vientos entre el rango de velocidades entre 0,5 a 2,1 m/s, un 34% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 20% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 3,2% a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Figura 3- 7: Variabilidad por estaciones del año del viento observado, Estación Retiro Copihue, 2022.



Fuente: ENVIS por medio de WRPLOT View, 2023.

De acuerdo con lo observado en la tabla previa, para la estación Retiro Copihue, se registró el siguiente comportamiento en cada estación:

Verano: En esta estación se repite lo que ocurre a nivel anual, los vientos registraron una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Un 9% del total de registros correspondió a vientos calma, un 51% a vientos entre el rango de velocidades de 0,5 a 2,1 m/s, un 19% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 3% entre 3,6 a 5,7 m/s y menos de un 0,1% correspondió a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

Otoño: En otoño ocurrió una situación similar a verano, donde la mayor parte de los vientos registró una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Además, se registran, en menor medida, vientos con dirección noreste-suroeste con las mismas velocidades. Un 8% del total de registros correspondió a vientos calma, un 62% a vientos entre el rango de velocidades entre 0,5 a 2,1 m/s, un 22% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 7% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 0,6% a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

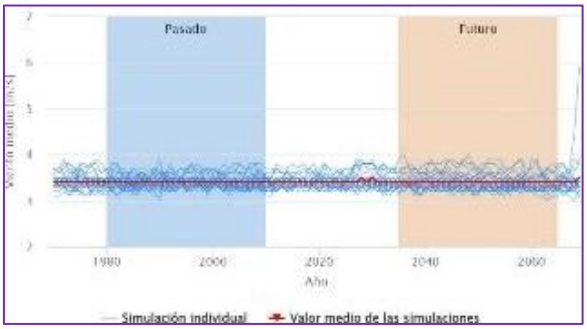
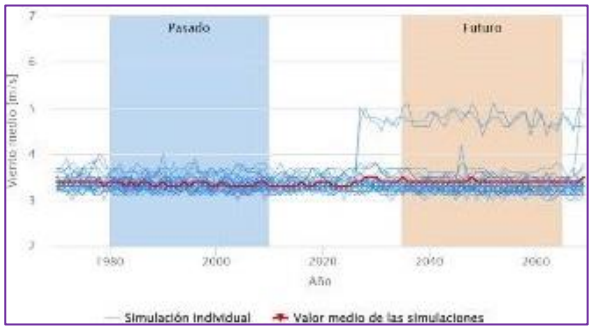
Invierno: En esta estación se registraron vientos en distintas direcciones con velocidades entre 0 a 8,8 m/s, las direcciones predominantes son suroeste-noreste y noreste-suroeste. En particular, un 7% del total de registros correspondió a vientos calma, un 55% a vientos entre 0,5 a 2,1 m/s, un 25% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 10% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 1,6% con vientos superiores a 5,7 m/s.

Primavera: En esta estación se repite el patrón de otoño en donde la mayor parte de los vientos registró una dirección suroeste-noreste con velocidades entre 0 a 8,8 m/s. Un 4% del total de registros correspondió a vientos calma, un 45% a vientos entre el rango de velocidades entre 0,5 a 2,1 m/s, un 21% entre 2,1 a 3,6 m/s, un 7% entre 3,6 a 5,7 m/s y sólo un 0,5% a vientos con velocidades superiores a 5,7 m/s.

3.1.3.3.6 Relación de la Velocidad del Viento con el Cambio Climático

De acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA) se describirá la variable cambio climático. Cabe señalar que se analizarán las estadísticas predictivas relacionadas a velocidad para las regiones de Maule y Ñuble.

Gráfico 3- 21: Promedio del viento medio (m/s) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

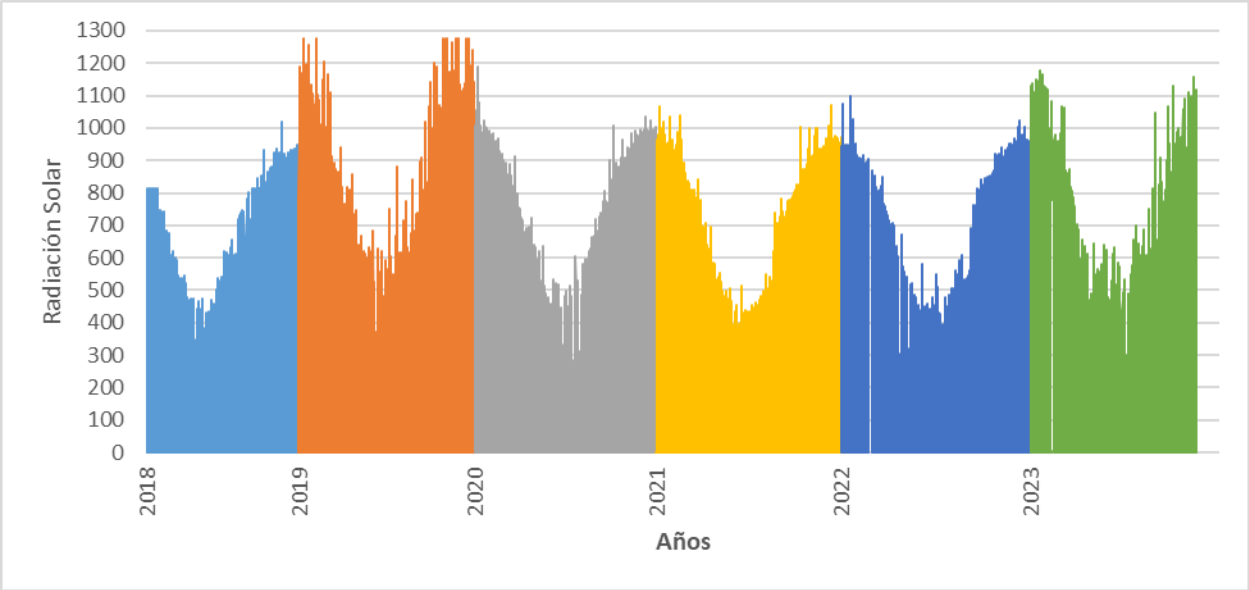
Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un leve aumento de velocidad promedio diaria de 3,4 m/s a 3,5 m/s para la región del Maule y de 3,3 m/s a 3,5 m/s para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá un aumento de velocidad media de 0,1 m/s.

3.1.3.3.7 Radiación Solar

En los siguientes gráficos se presentan los registros de radiación solar, expresada en W/m2, registrados en las estaciones Centro Experimental Arroz INIA, Miraflores, Los Colihues Ex Chillán Viejo y Retiro Copihue, para los periodos comprendidos entre los años 2018 y 2023.

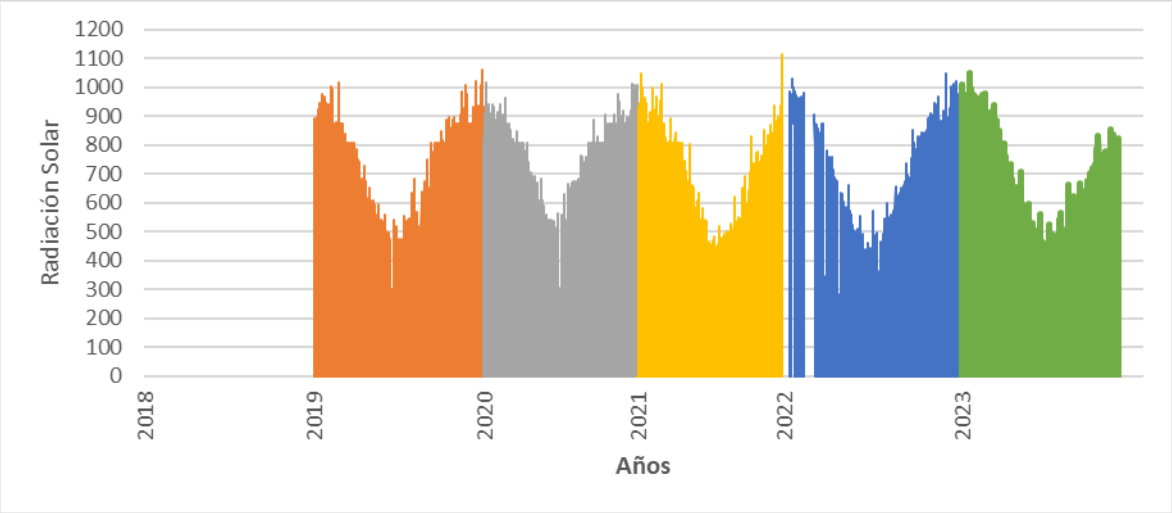
Gráfico 3- : Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Miraflores.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con los datos registrados en la estación Miraflores, se registraron niveles más altos de radiación durante el año 2019. Al igual que lo registrado en la estación descrita previamente, los valores más elevados de radiación solar se presentaron durante los meses más cálidos de primavera y verano y viceversa, durante los meses más fríos de otoño e invierno, los valores de radiación solar son menores.

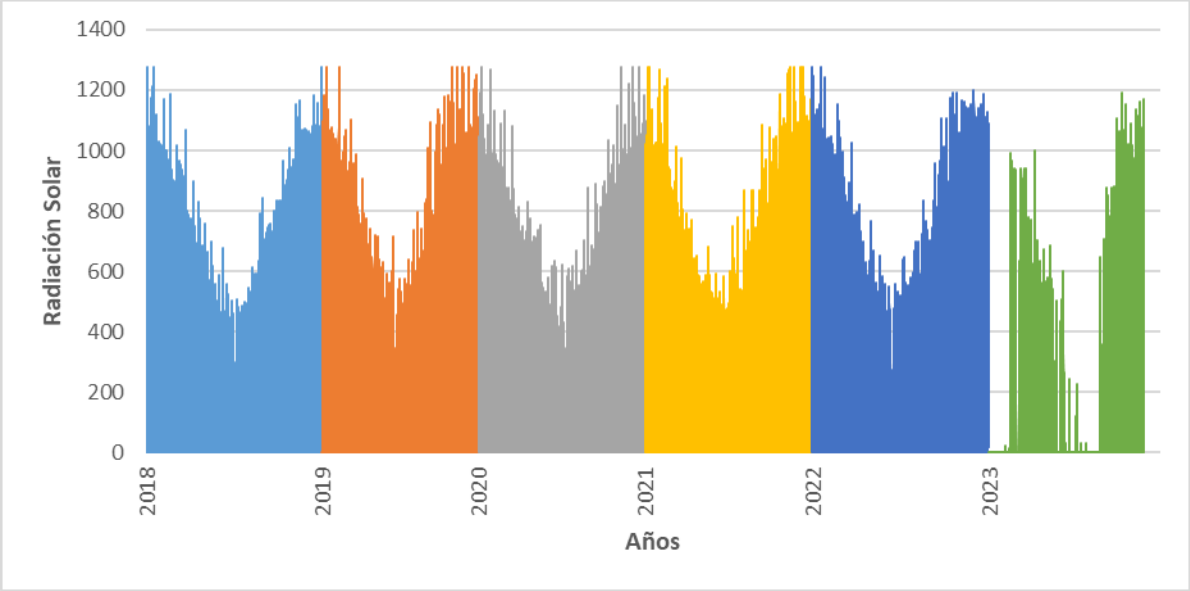
Gráfico 3- 22: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con los datos registrados en la estación Centro Experimental Arroz INIA, se observó una homogeneidad en los cinco años considerados. Se registró una variación de la radiación solar en un rango entre 500 a 1.000 W/m2, aproximadamente. Por otro lado, ocurre una situación similar a lo señalado en las estaciones precedentes, donde los valores más elevados de radiación solar se presentaron durante los meses más más cálidos de primavera y verano y viceversa, durante los meses más fríos de otoño e invierno, los valores de radiación solar son menores.

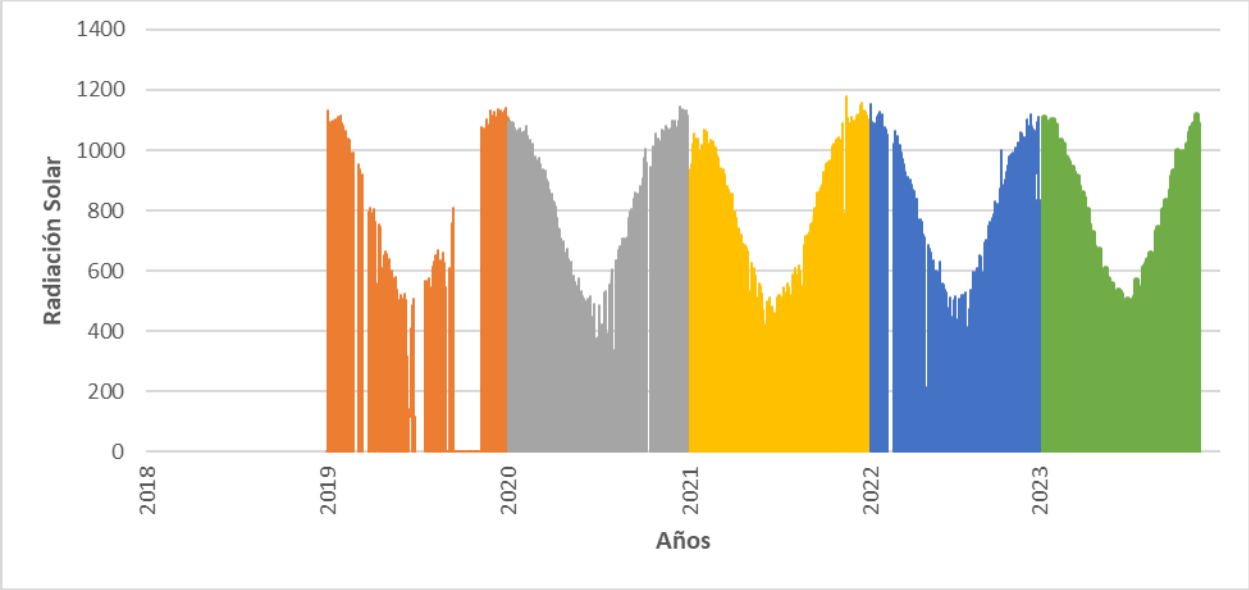
Gráfico 3- 23: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con los datos de la estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, se observó, nuevamente, una homogeneidad durante los seis años descritos, con un rango entre 450 a 1.200 W/m2. Por otro lado, ocurre una situación similar a lo señalado en las otras tres estaciones, donde los valores más elevados de radiación solar se presentaron durante los meses más más cálidos de primavera y verano y viceversa, durante los meses más fríos de otoño e invierno, los valores de radiación solar son menores. Cabe señalar que, durante la mitad del año 2023, los registros son escasos.

Gráfico 3- 24: Radiación Solar (W/m2) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con los datos de la estación Retiro Copihue, se observó, nuevamente, una homogeneidad durante los cuatro años descritos, con un rango aproximado entre 450 a 1.200 W/m2. Por otro lado, ocurre una situación similar a lo señalado en las otras cuatro estaciones, donde los valores más elevados de radiación solar se presentaron durante los meses más más cálidos de primavera y verano y viceversa, durante los meses más fríos de otoño e invierno, los valores de radiación solar son menores.

Finalmente, en las siguientes tablas se presenta la estadística descriptiva para la radiación solar por trimestre.

Tabla 3- 10: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Miraflores, año 2023.

Meses	Rad. Solar Promedio (W/m^2)	Rad. Solar Mínima (W/m^2)	Rad. Solar Máxima (W/m^2)	Desviación (W/m^2)	Moda (W/m^2)
Enero a Marzo	322,6	0,0	1.176,9	384,1	0,6
Abril a Junio	100,1	0,6	701,9	162,2	0,6

Meses	Rad. Solar Promedio (W/m²)	Rad. Solar Mínima (W/m²)	Rad. Solar Máxima (W/m²)	Desviación (W/m²)	Moda (W/m²)
Julio a Septiembre	127,6	0,6	1.065,6	212,2	0,6
Octubre a Noviembre	273,8	0,6	1.155,6	352,5	0,6

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 11: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023.

Meses	Rad. Solar Promedio (W/m²)	Rad. Solar Mínima (W/m²)	Rad. Solar Máxima (W/m²)	Desviación (W/m²)	Moda (W/m²)
Enero a Marzo	360,6	0,0	1.052,0	356,7	0,0
Abril a Junio	114,2	0,0	734,3	184,3	0,0
Julio a Septiembre	109,0	0,0	734,0	173,6	0,0
Octubre a Noviembre	234,7	0,0	857,0	279,6	0,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 12: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023.

Meses	Rad. Solar Promedio (W/m²)	Rad. Solar Mínima (W/m²)	Rad. Solar Máxima (W/m²)	Desviación (W/m²)	Moda (W/m²)
Enero a Marzo	272,4	0,6	990,6	332,5	0,6
Abril a Junio	148,9	0,6	1.000,6	211,8	0,6
Julio a Septiembre	151,2	0,6	1.108,1	242,1	0,6
Octubre a Noviembre	298,7	0,6	1.189,4	359,9	0,6

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 13: Estadística descriptiva Radiación Solar (W/m2), Estación Retiro Copihue, año 2023.

Meses	Rad. Solar Promedio (W/m^2)	Rad. Solar Mínima (W/m^2)	Rad. Solar Máxima (W/m^2)	Desviación (W/m^2)	Moda (W/m^2)
Enero a Marzo	306,9	0,0	1.108,4	370,0	0,0
Abril a Junio	106,6	0,0	820,4	183,0	0,0
Julio a Septiembre	117,1	0,0	931,2	199,7	0,0
Octubre a Noviembre	258,0	0,0	1.117,5	348,0	0,0

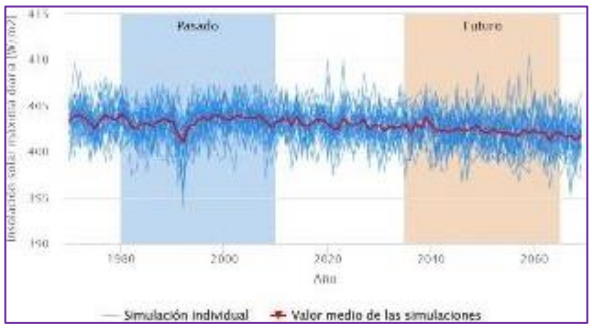
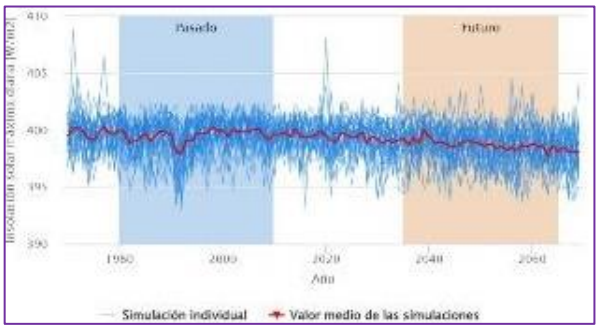
Fuente: ENVIS, 2023

.

3.1.3.3.8 Relación de la Radiación Solar con el Cambio Climático

De acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA) se describirá la variable cambio climático. Cabe señalar que se analizarán las estadísticas predictivas relacionadas a radiación solar para las regiones de Maule y Ñuble.

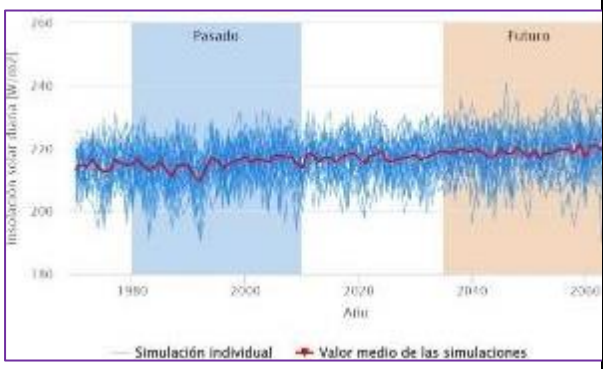
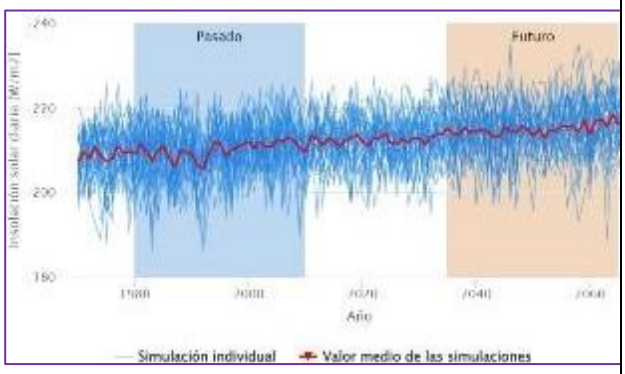
Gráfico 3- 25: Insolación solar máxima diaria (Valor máximo de la irradiación global horizontal diaria (W/m2)) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice una disminución de la radiación solar máxima diaria de 402,4 W/m2 a 401,8 W/m2 para la región del Maule y de 399,1 W/m2 a 398,1 W/m2 para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá una disminución de radiación solar promedio de 0,3 W/m2.

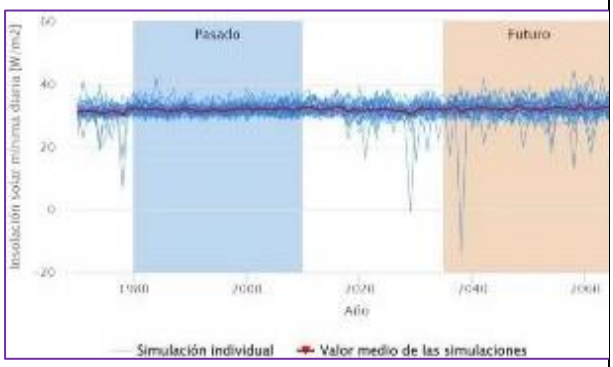
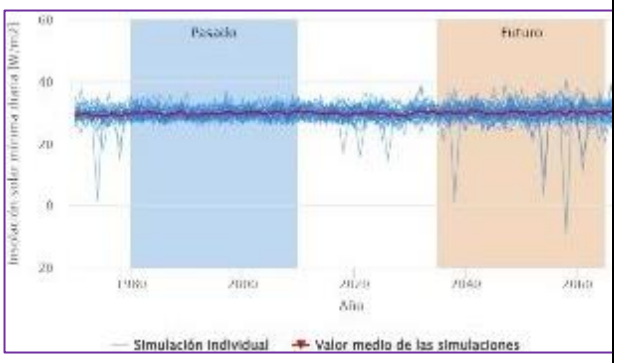
Gráfico 3- 26: Insolación solar diaria promedio (Valor medio de la irradiación global horizontal (W/m2)) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un aumento de la radiación solar diaria promedio de 217,6 W/m2 a 221,7 W/m2 para la región del Maule y de 212,8 W/m2 a 217,9 W/m2 para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá un aumento de radiación solar promedio de 4,6 W/m2.

Gráfico 3- 27: Insolación solar mínima diaria promedio (W/m2) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

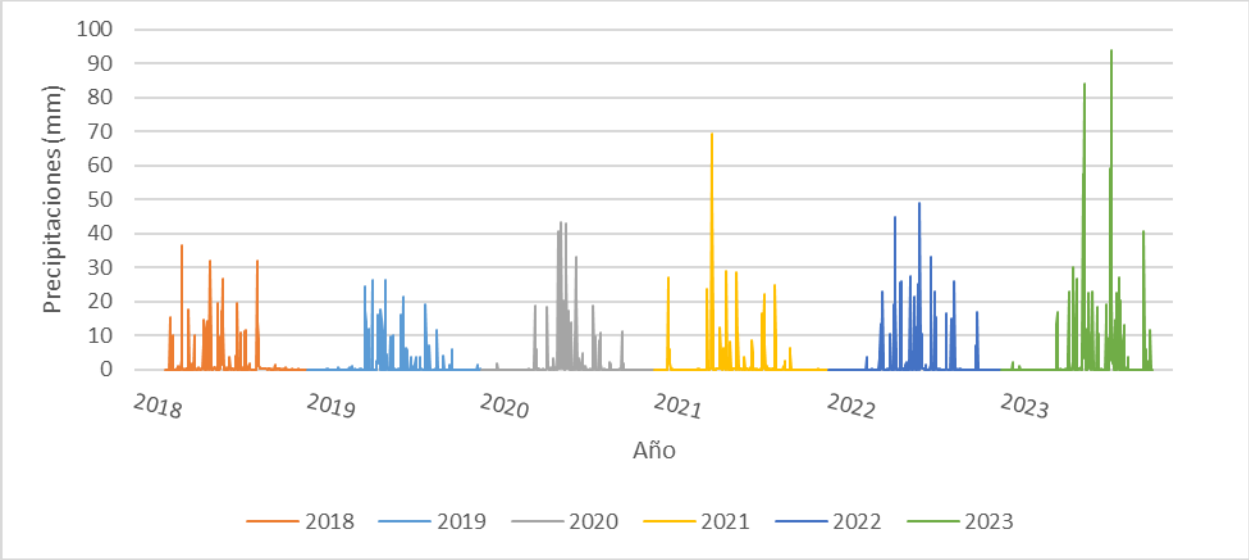
Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un aumento de la radiación solar mínima diaria promedio de 31,9 W/m2 a 33,7 W/m2 para la región del Maule y de 29,9 W/m2 a 30,4 W/m2 para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá una diferencia de radiación solar mínima promedio de 1,2 W/m2.

3.1.3.3.9 Precipitaciones

En los siguientes gráficos se presentan las precipitaciones en milímetros (mm), registradas por las estaciones: Centro Experimental Arroz INIA, Miraflores, Los Colihues Ex Chillán Viejo y Retiro Copihue, para los periodos comprendidos entre los años 2018 y 2023.

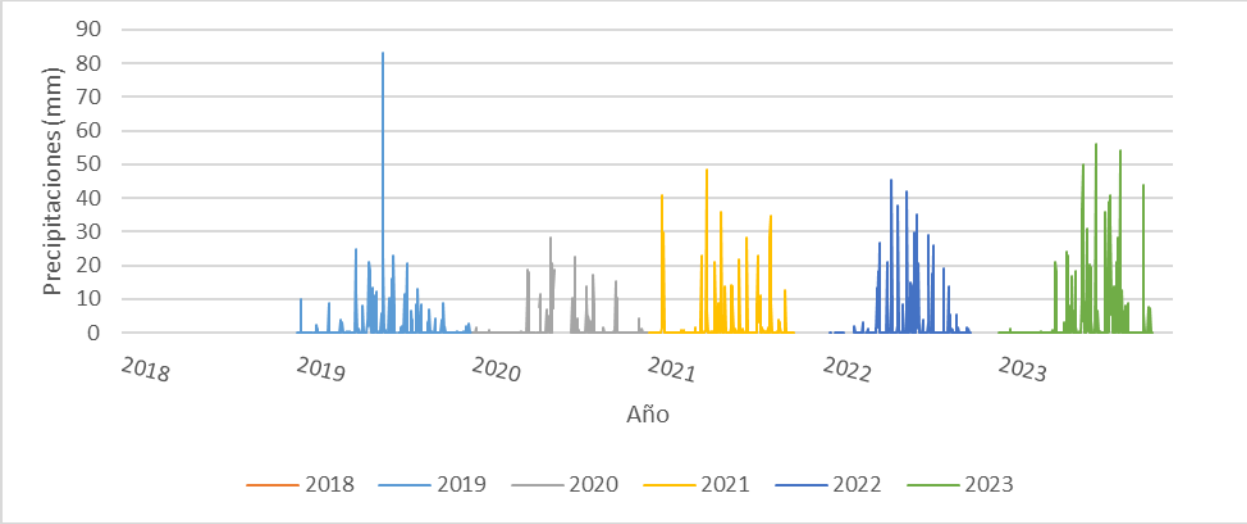
Gráfico 3- : **Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Miraflores.**



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se registraron eventos con precipitaciones durante todo el periodo considerado, donde los mayores niveles de precipitación diaria se observan durante el año 2023, con valores que alcanzan los 95 mm diarios, aproximadamente. Los niveles más bajos se presentaron durante el año 2019 con precipitaciones inferiores a 30 mm al día. Se observa un leve aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

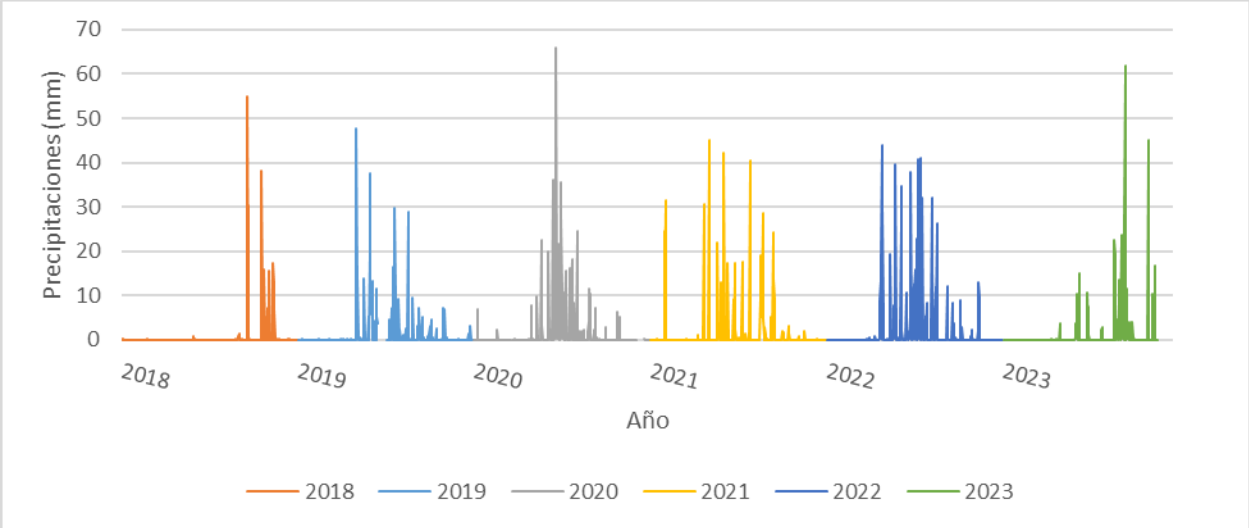
Gráfico 3- 28: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Centro Experimental Arroz INIA.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, se registraron eventos con precipitaciones durante el periodo comprendido entre los años 2019 a 2023, donde los mayores niveles de precipitación diaria se observaron durante el año 2019, con valores que sobrepasan los 80 mm diarios. Por otro lado, el año 2020 registró los niveles más bajos de precipitación diaria. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

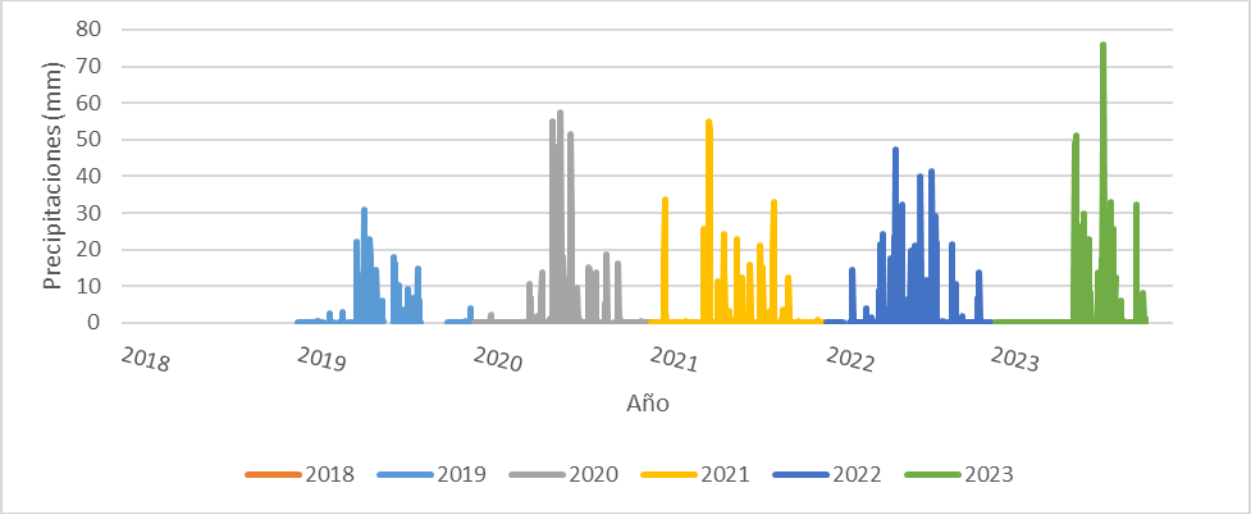
Gráfico 3- 29: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo y similar a las estaciones previas, se registraron eventos de precipitación durante todo el periodo considerado. En particular, la estación no registró precipitaciones durante la primera mitad de los años 2018 y 2022. El peak de precipitación diaria se registró durante la mitad del año 2020 con 67 mm de lluvia caída en un día. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

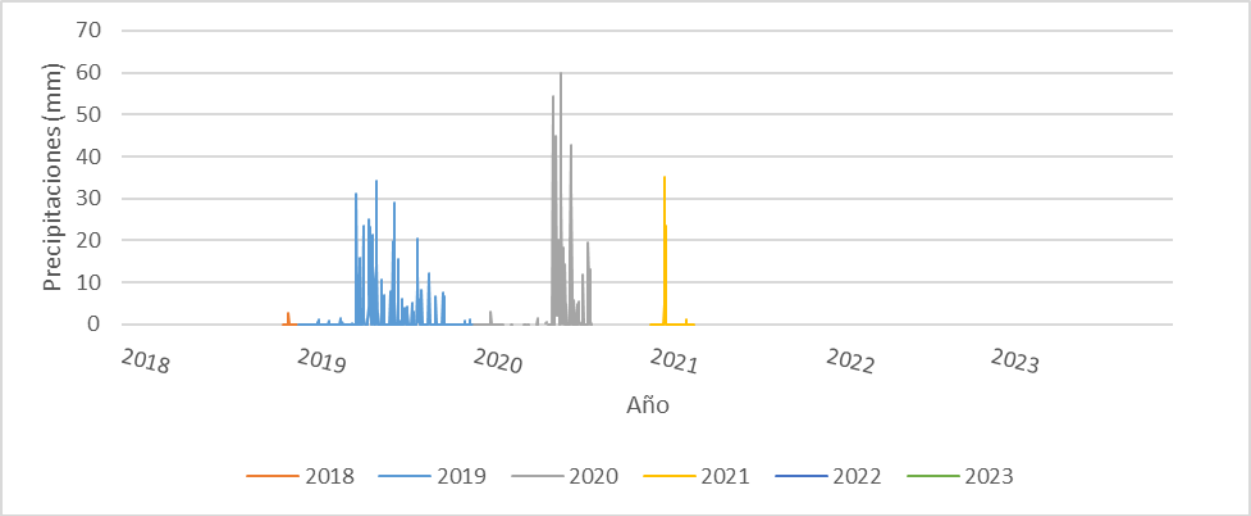
Gráfico 3- 30: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Retiro Copihue.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo y similar a las estaciones previas, se registraron eventos de precipitación durante todo el periodo considerado. El peak de precipitación diaria se registró durante la mitad del año 2023 con 78 mm de lluvia caída en un día. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

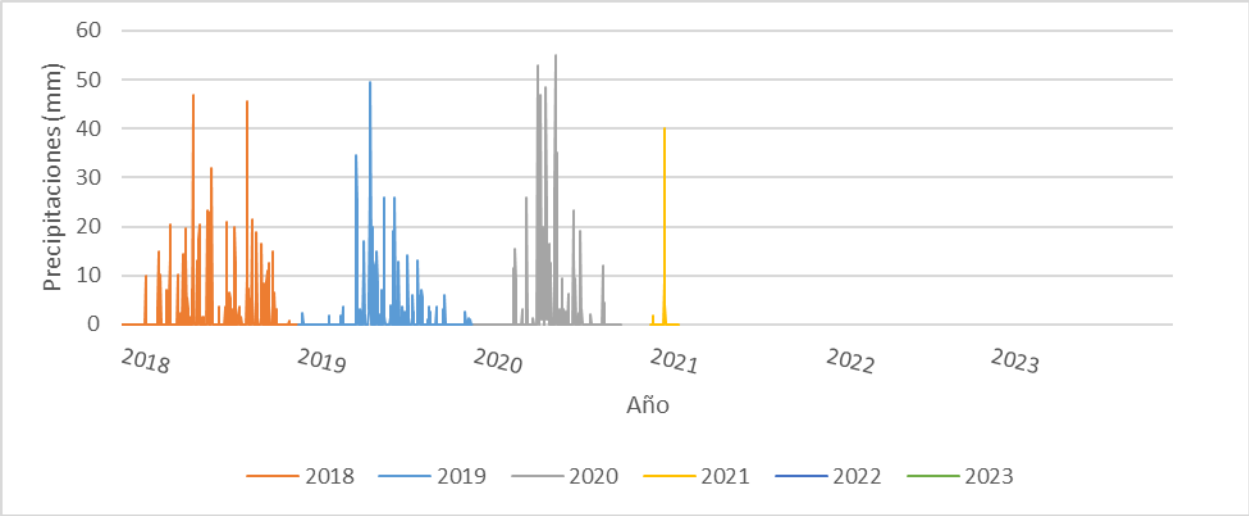
Gráfico 3- : Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Linares.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo y similar a las estaciones previas, se registraron eventos de precipitación durante los cuatro años registrados. El peak de precipitación diaria se registró durante la mitad del año 2020 con 60 mm de lluvia caída en un día. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

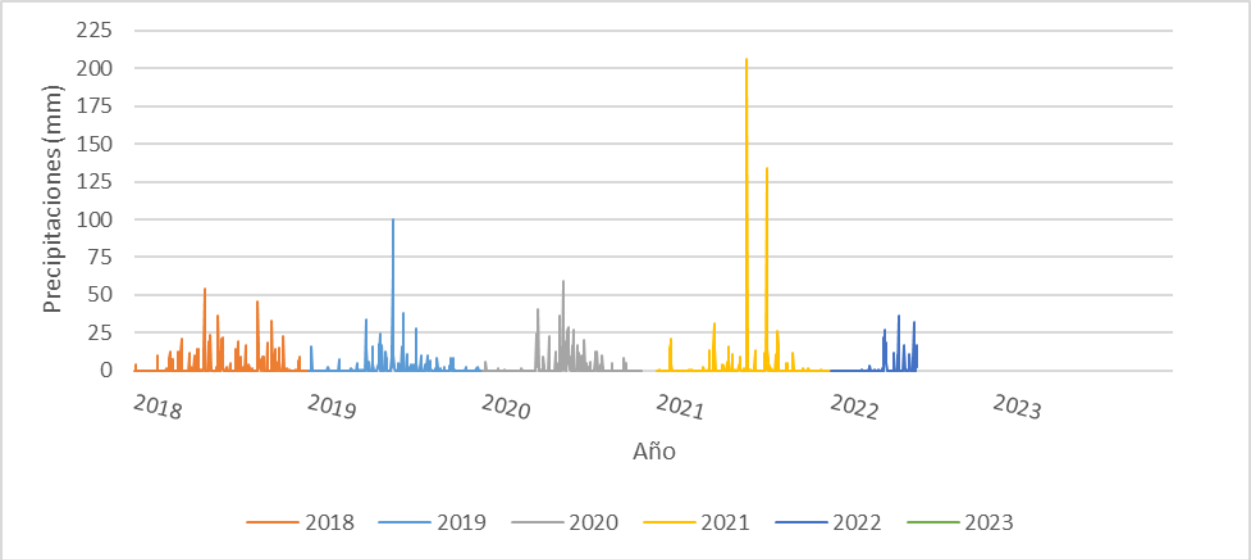
Gráfico 3- 31: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Parral.



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo y similar a las estaciones previas, se registraron eventos de precipitación durante los cuatro años registrados. El peak de precipitación diaria se registró durante la mitad del año 2020 con 57 mm de lluvia caída en un día. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

Gráfico 3- 32: Precipitaciones (mm) para el periodo 2018 – 2023, Estación Chillán Viejo.

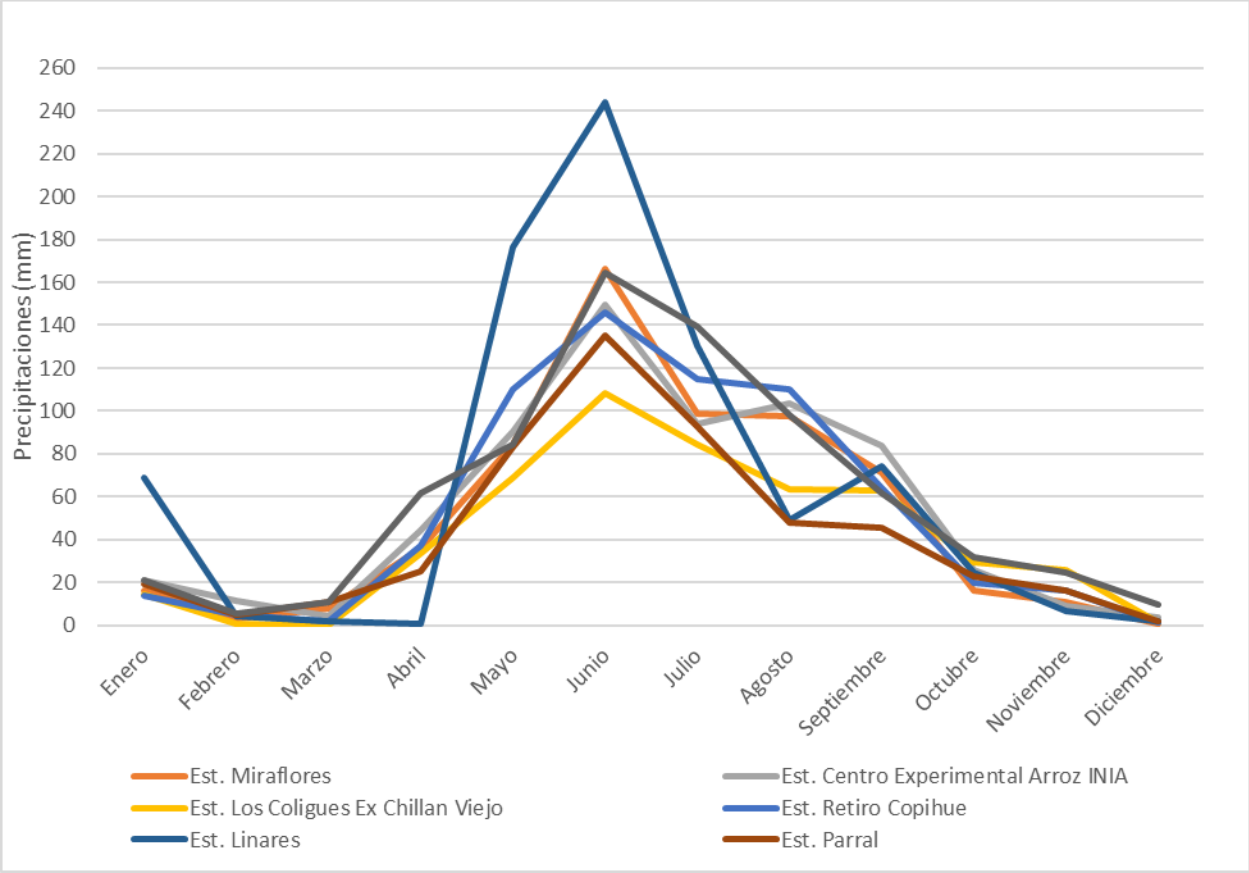


Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo y similar a las estaciones previas, se registraron eventos de precipitación durante los cinco años registrados. El peak de precipitación diaria se registró durante la mitad del año 2021 con 205 mm de lluvia caída en un día. Similar a las estaciones descritas previamente, se observó un aumento de las precipitaciones en los meses más centrales y una leve disminución en los meses más extremos o con temperaturas más elevadas.

El siguiente gráfico presenta las precipitaciones mensuales acumuladas promedio del periodo considerado para cada estación.

Gráfico 3- 33: Precipitaciones acumuladas mensuales (mm).



Fuente: ENVIS, 2023.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico, las estaciones alcanzaron precipitaciones de hasta 160 mm/mes durante el mismo mes, por otro lado, la estación Linares alcanzó niveles superiores a 240 mm caídos durante ese mismo mes. Las precipitaciones acumuladas más bajas se registraron en los meses de enero a marzo y octubre a diciembre, con valores inferiores a 30 mm/mes.

Finalmente, en las siguientes tablas se presenta la estadística descriptiva para las precipitaciones por trimestre del año 2023 de cada estación.

Tabla 3- 14: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Miraflores, año 2023.

Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0
Abril a Junio	0,2	0,0	12,4	0,9	0,0
Julio a Septiembre	0,3	0,0	9,6	0,9	0,0
Octubre a Noviembre	0,1	0,0	8,2	0,5	0,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 15: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Centro Experimental Arroz INIA, año 2023.

Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0
Abril a Junio	0,1	0,0	14,4	0,7	0,0
Julio a Septiembre	0,3	0,0	11,6	0,9	0,0
Octubre a Noviembre	0,1	0,0	9,8	0,5	0,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 16: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Los Colihues Ex Chillán Viejo, año 2023.

Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril a Junio	0,1	0,0	5,2	0,5	0,0
Julio a Septiembre	0,3	0,0	12,0	0,9	0,0
Octubre a Noviembre	0,1	0,0	8,0	0,6	0,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 17: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Retiro Copihue, año 2023.

Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abril a Junio	0,1	0,0	8,2	0,5	0,0
Julio a Septiembre	0,3	0,0	10,5	1,0	0,0
Octubre a Noviembre	0,1	0,0	7,7	0,4	0,0

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 18: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Linares, año 2023.

Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	-	-	-	-	-
Abril a Junio	-	-	-	-	-
Julio a Septiembre	-	-	-	-	-
Octubre a Noviembre	-	-	-	-	-

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 19: Estadística descriptiva Precipitaciones (mm), Estación Parral, año 2023.

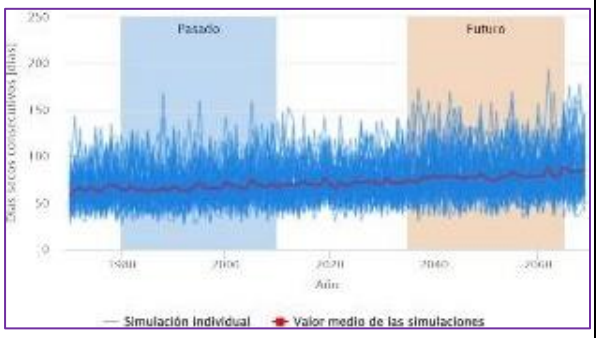
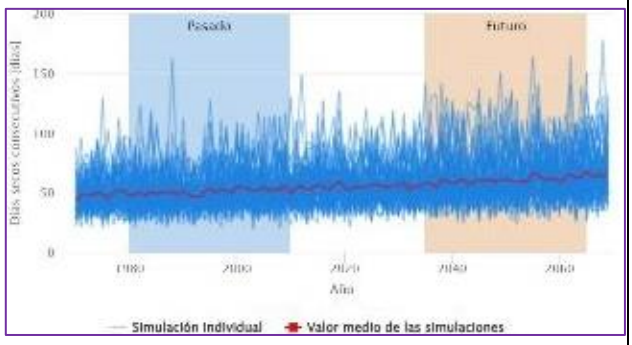
Meses	Pp Promedio (mm)	Pp Mínima (mm)	Pp Máxima (mm)	Pp Desviación (mm)	Pp Moda (mm)
Enero a Marzo	-	-	-	-	-
Abril a Junio	-	-	-	-	-
Julio a Septiembre	-	-	-	-	-
Octubre a Noviembre	-	-	-	-	-

Fuente: ENVIS, 2023

3.1.3.3.10 Relación de la Precipitación con el Cambio Climático

De acuerdo con lo señalado en la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático (SEA, 2023) y por medio del Explorador de Amenazas Climáticas (https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/, MMA) se describirá la variable cambio climático. Cabe señalar se analizarán las estadísticas predictivas relacionadas a precipitación para las regiones de Maule y Ñuble.

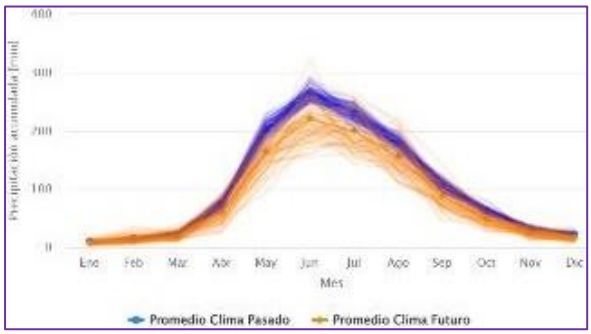
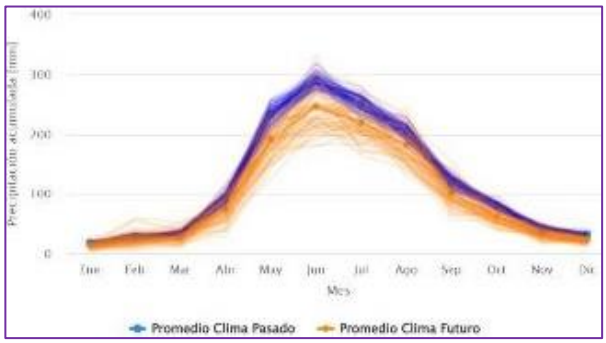
Gráfico 3- 34: Días secos consecutivos (días) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice un aumento de los días secos consecutivos de 73 días a 85 días para la región del Maule y de 56 días a 67 días para la región del Ñuble, es decir, en la zona de emplazamiento del Proyecto, entre los años 2022 a 2070 existirá un aumento promedio de días secos de 12 días.

Gráfico 3- 35: Cambio de precipitación acumulada mensual (mm) pasado v/s futuro, región del Maule y Ñuble.

Región del Maule	Región del Ñuble
	

Fuente: ENVIS en base a datos de ARCLIM (MMA,2023), 2023.

De acuerdo con lo señalado en los gráficos previos, se predice una disminución de la precipitación acumulada mensual entre ambos escenarios.

3.1.4 CONCLUSIONES

En lo que respecta a las condiciones climáticas, las regiones del Maule y Ñuble se caracterizan por poseer un clima mediterráneo. En particular, la Región del Maule se caracteriza por poseer un clima cálido y subhúmedo, lo que genera condiciones para la existencia de vegetación nativa y el desarrollo de plantaciones forestales. El clima templado de tipo mediterráneo se caracteriza por poseer diferencias entre la zona norte y sur de la región, donde destaca una estación seca de seis (6) meses en el norte y cuatro (4) meses de estación seca en su zona sur. Respecto a la Región de Ñuble, se caracteriza por sus variables extremas, dado por su clima mediterráneo. Esta región, marca la transición entre los climas templados secos de la zona central del país y los climas templados lluviosos que comienzan a desarrollarse desde el borde sur de la cuenca del rio Itata.

Respecto a la clasificación climática de Köppen-Geiger, se observó que ambas regiones se insertan en un clima mediterráneo de lluvia invernal, coincidiendo con la descripción previa. Esta clasificación se caracteriza por sus climas templados con lluvias estacionales que presentan una alta probabilidad de ocurrencia durante todos los meses del año. Además, posee un umbral térmico donde la temperatura media del mes más frío es inferior a los 18ºC y superior a -3ºC.

Acorde con la revisión de información de la base de datos públicos se definió que las estaciones más cercanas al Proyecto corresponden a las estaciones meteorológicas Miraflores, Centro Experimental Arroz INIA y Los Colihues Ex Chillán Viejo, pertenecientes a la Red Agroclimática Nacional (AGROMET), Retiro Copihue perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y las estaciones Linares, Parral y Chillán Viejo pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGAC), ubicadas a una distancia lineal de 6,2 km, 5,6 km, 2,4 km, 3,3 km, 3,1 km, 5,8 km y 7,0 km, respectivamente. Las estaciones registran variables de temperatura (°C), precipitación (mm), humedad (%), radiación solar (W/m^2), velocidad (m/s) y dirección del viento para el periodo de 2018 a 2023, según corresponda.

Respecto a las condiciones meteorológicas obtenidas a partir de los datos recolectados de cada estación se observó lo siguiente:

Temperatura: La temperatura promedio anual registrada por las estaciones fluctúa entre los 12 y 14°C aproximadamente, con temperaturas mínimas promedios inferiores a los 0°C y temperaturas máximas promedios superiores a las 30°C, aproximadamente. El promedio de las estaciones es de 13,3 °C, con una temperatura mínima promedio de -3,6 °C y una temperatura máxima promedio de 36,6°C. Por otro lado, el comportamiento anual de los datos presentó una

homogeneidad en los últimos seis (6) años evidenciando una disminución de las temperaturas durante los meses correspondientes a otoño e invierno y un aumento de las temperaturas durante los meses más extremos como verano y primavera. Durante todos los periodos se registraron temperaturas por debajo de los 0°C. En relación con la variable cambio climático, se observó un aumento promedio de 1,7 °C en la zona de emplazamiento del Proyecto y mensual. Además, se predice un aumento sostenido de las olas de calor entre ambos escenarios.

Humedad relativa: Se observó un comportamiento anual homogéneo en los últimos cinco (5) años analizados, evidenciando que al existir un aumento en la temperatura la humedad relativa disminuye y viceversa, al existir una disminución en la temperatura, la humedad relativa aumenta. Los valores de humedad relativa promedio mensual no presentaron una gran variación entre un mes y otro, siendo el rango variación entre 60% y 90%, aproximadamente. En particular, valores de humedad máximo no registran una fluctuación entre meses, a diferencia de la humedad relativa promedio mínimo, la cual aumentó al disminuir la temperatura. En particular, valores de humedad máximo no registran una fluctuación entre meses, a diferencia de la humedad relativa promedio mínimo, la cual aumentó al disminuir la temperatura. Respecto al cambio climático, se observó una leve disminución de la humedad relativa.

Velocidad y dirección del viento: Se observaron vientos entre un rango de 0 a 11,1 m/s. Las tres (3) estaciones consideras registraron, tanto a nivel anual como estacional, vientos con comportamientos muy similares con direcciones que iban principalmente hacia el norte y este. En particular, respecto a las velocidades de vientos predominantes, en la estación Miraflores y Centro Experimental Arroz INIA y Retiro Copihue, se registró un total de 40%, 29% y 52% entre el rango de 0,5 a 2,1 m/s, respectivamente. Respecto al cambio climático, la no se predicen cambios en la velocidad del viento en la zona.

Radiación solar: En términos generales, se observó un aumento de la radiación durante los meses más extremos concentrados en primavera y verano, y una disminución de la radiación solar entre los meses de otoño e invierno. Respecto al cambio climático, se observó un aumento de la insolación solar diaria promedio de 4,6 W/m2 en la zona.

Precipitaciones: En particular, se observa una clara relación entre las condiciones climáticas con las meteorológicas, porque se registraron precipitaciones durante todos los meses del año, con un aumento de milímetros caídos durante los meses más fríos del año, y viceversa, se observó una disminución de los milímetros caídos durante los meses más cálidos del año. Respecto a las precipitaciones acumuladas mensuales, junio resultó ser el mes con más milímetros acumulados caídos en las nueve (9) estaciones meteorológicas consideradas. Respecto al cambio climático,

se observó una disminución de la precipitación acumulada mensual en todos los meses y por lo tanto un aumento de los días secos (con precipitaciones inferiores a 1 mm).

3.1.5 BIBLIOGRAFÍA

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). (2022). Información Territorial. Obtenido de https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region10/clima.htm

Pontificia Universidad Católica de Chile. (2022). Cartografía interactiva. Obtenido de http://www7.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva/Inicio/Paginas/Untitled-1.htm

Red Agroclimática Nacional (AGROMET) del Ministerio de Agricultura (MINAGRI) (2022). Datos históricos. Obtenido de https://www.agromet.cl/datos-historicos

Sarricolea P., MJ. Herrera, O. Meseguer-Ruiz. (2017). Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000. Infraestructura de Datos Espaciales: https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koeppen-geiger-escala-1-1-500-000 (consultado en octubre de 2022).

Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA (SEA, 2023).

3.2 LÍNEA BASE CALIDAD DEL AIRE

En la presente sección se describe y analiza el componente ambiental de calidad del aire en el entorno de las estaciones de monitoreo más cercanas al área del Proyecto y analiza el estado de cumplimiento de la normativa ambiental aplicable a este componente, constando de cuatro partes principales, estas son los objetivos, donde se pormenorizan los alcances del informe; la metodología, que define el marco de técnicas y criterios utilizados para las caracterizaciones ambientales; los resultados, donde se describe la información obtenida respecto al estado de la zona que rodea al Proyecto; y las conclusiones, donde se resumen los contenidos e interpretan los atributos relevantes o sensibles del componente.

3.2.1 OBJETIVOS

3.2.1.1 Objetivo General

Describir y caracterizar el componente Calidad del Aire en el Área de Influencia (AI) del Proyecto.

3.2.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar los atributos relevantes del componente por medio de la descripción de los contaminantes monitoreados por las estaciones de monitoreo más cercanas, según lo indicado en el RSEIA.
- Identificar zonas latentes o saturadas dentro del AI del Proyecto.

3.2.2 METODOLOGÍA

En términos generales, la metodología fue diseñada para cumplir con el proceso iterativo de la evaluación ambiental (SEA, 2017), es decir: el ajuste gradual y correlativo del área de influencia. Dicho proceso va desde las definiciones, datos y predicciones de impacto más someras (basadas en simples correlaciones geográficas de datos), hasta las definiciones, descripciones ambientales y predicciones más robustas y detalladas, dependiendo del caso en evaluación.

El grado de detalle de este proceso, para cada elemento del medio ambiente, depende de si las áreas de influencia y los antecedentes reunidos, son suficientes como para determinar la presencia o ausencia de impactos potenciales y precisar su significancia ambiental.

En correspondencia con la metodología iterativa que orienta el desarrollo de este capítulo, se consideraron tres etapas fundamentales e iterables de trabajo. Éstas son:

- Definiciones marco, que reúne y da la base de los criterios utilizados para definir el alcance, levantamiento de información y análisis del informe;
- Levantamiento de información, que especifica las técnicas y pautas utilizadas para el levantamiento y registro de datos;
- Sistematización, que establece cómo se interpretarán los datos, cómo se organizará la información levantada y la forma de presentar los resultados.

A continuación, se describe cada una de estas etapas:

3.2.2.1 Marco de Referencia Técnico

3.2.2.1.1 Criterios de Levantamiento de Información

Como criterio fundamental, y de acuerdo con la Guía para la Descripción del Área de Influencia en el SEIA (SEA, 2017), para evaluar el componente ambiental calidad del aire, se determinó el uso de los datos de estaciones de medición de contaminantes más representativas de la zona de emplazamiento del Proyecto, con datos públicos y privados. Dichas fuentes de información correspondieron a:

- Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) dependiente del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (https://sinca.mma.gob.cl/index.php/).
- Proyectos cercanos con línea de base de calidad del aire ingresados al Sistema de Información Ambiental (SEIA) (https://sig.sea.gob.cl/mapaLineasBaseEIA/).

3.2.2.1.2 Categorías de Análisis

Se determinó que las caracterizaciones de la calidad del aire se fundamentarán en las categorías y variables señaladas por las normativas de calidad ambiental y de emisión aludidas por el artículo 2 de la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA Nº19.300, modificada por la Ley N° 20.417/2010), compiladas por el SINCA en:

- https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/norma y en el glosario; https://sinca.mma.gob.cl/uploads/documentos/0421bb0ff871345a30af6df2a3b9a476.pdf.

Las categorías en cuestión abordan los siguientes aspectos de la calidad del aire:

- Definición de los tipos de contaminantes que afectan la salud de la población o del medio ambiente: Material particulado respirable (MP_{10} y $MP_{2,5}$) y gases de combustión (SO_2, NO_2 y CO).
- Descripción de los contaminantes: Concentración (proporción masa menor/masa mayor, y/o masa/volumen) en intervalos de 1, 8, 24 horas, trimestral y anual.
- Tipificación de los contaminantes: Atmosféricos primarios y secundarios. Descripción de contaminantes registrados en cada estación de monitoreo.
- Tipificación de normas e instrumentos regulatorios: Normas primarias de calidad ambiental (umbrales de contaminación asociados a salud humana, de alcance nacional) y normas secundarias de calidad ambiental (umbrales de contaminación asociados a salud no-humana: suelos, fauna silvestre, aguas, vegetación, etc., de alcance nacional o específico); zonas latentes (80% a 100% de concentración de un contaminante para cierto ambiente, según umbrales determinados en forma técnica) y saturadas (rebase de concentraciones permitidas de un contaminante para cierto ambiente); Planes de Prevención y Descontaminación.

3.2.2.2 Levantamiento de Información

3.2.2.2.1 Revisión Bibliográfica

A partir del área de influencia preliminar se realizó una revisión y selección bibliográfica, con la finalidad de contextualizar adecuadamente el estado del entorno del Proyecto.

Los siguientes puntos indican la normativa ambiental empleada y la forma de selección de las estaciones de monitoreo a ser consideradas en el análisis del entorno del Proyecto.

- Normativa ambiental aplicable al componente calidad del aire

La revisión bibliográfica involucró la búsqueda de las normas vigentes sobre calidad ambiental: primaria y secundaria; de emisión, y decretos que determinan zonas latentes o saturadas por contaminación, y los planes de prevención o descontaminación atmosférica asociados a dichos decretos. Las normas fueron consultadas en la web oficial del Ministerio del Medio Ambiente (MMA): https://sinca.mma.gob.cl/index.php/documentos y los decretos que determinan zona latente o saturada fueron consultadas en la web: https://ppda.mma.gob.cl/. Además, de manera adicional se revisó noticias del Ministerio del Medio Ambiente para tener claridad sobre la posible

declaración de zona saturada a la zona, lo que se corrobora en https://planesynormas.mma.gob.cl/login/index.php.

- Identificación de estaciones de monitoreo atmosférico

Para conocer y posteriormente evaluar la Calidad del Aire, se identificaron las estaciones de monitoreo cercanas con datos públicos y privados, considerando como principal fuente de información la señalada en el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) y los proyectos cercanos que cuenten con una Línea de Base de Calidad del Aire.

Para la selección de estaciones de monitoreo se consideraron los criterios descritos a continuación:

- Cercanía de la estación de monitoreo al Proyecto en evaluación, en particular, debido a las características de la zona de emplazamiento del Proyecto, se considera como cercana las estaciones más próximas a su ubicación espacial independiente de su distancia.
- Disponibilidad de datos en un periodo mínimo de 3 años para el cálculo del promedio trianual.
- Actualidad de la data de cada estación de monitoreo.

Las estaciones seleccionadas para la descripción de la calidad del aire se presentan en la sección de Resultados.

3.2.2.3 Sistematización de la Información

3.2.2.3.1 Determinación de la calidad del aire del entorno cercano al proyecto

Para interpretar ambientalmente las concentraciones de contaminantes en el AI, se consideraron los registros de las estaciones de medición de calidad del aire, según los promedios anuales e interanuales de cada tipo de emisión atmosférica de contaminantes. Asimismo, se consideraron los valores máximos permisibles establecidos por las normas de calidad primaria y secundaria del aire vigentes actualmente en Chile y en el AI para material particulado y gases contaminantes, además de los eventuales decretos que indicasen zonas latentes o saturadas interceptadas o contenidas por el AI del Proyecto.

Se determinó, de acuerdo con las categorías fundamentales, que el AI presenta una condición de latencia (zona latente) si los estadísticos indican concentraciones de contaminantes entre el 80% y 100% respecto de lo aceptado por la normativa vigente; y se determinó presencia de una condición de saturación (zona saturada) si los estadísticos de cada contaminante sobrepasan la normativa vigente (>100%).

3.2.2.3.2 Organización de la Información

Primeramente, los datos obtenidos de cada estación de monitoreo fueron graficados y descritos con el fin de determinar tendencias y describir el comportamiento de cada contaminante en el entorno cercano de cada estación.

Luego, se estableció una sección de síntesis en donde los datos de los contaminantes de las estaciones fueron contrastados con la normativa aplicable identificada, para determinar la calidad del aire en el AI e indicar si esta se encuentra en un estado de latencia o saturación o en su defecto, se encuentra bajo el valor normativo.

3.2.3 RESULTADOS

3.2.3.1 Levantamiento de la información

3.2.3.1.1 Revisión bibliográfica

- Identificación de las normas aplicables para el Área de Influencia (AI)

Tras la revisión bibliográfica dentro del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), se identificaron los siguientes elementos normativos de la calidad del aire, resumidos en la siguiente tabla. En ella se exponen los máximos permitidos de cada tipo de contaminante por unidad de referencia (masa/volumen, en este caso):

Tabla 3- 20: Marco normativo aplicable (normas primarias y secundarias)

Parámetro	Tipo de Norma	Agrupación estadística	Máximo permitido	Unidad de referencia	Norma
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	20	µg/m^{3}N	

Parámetro	Tipo de Norma	Agrupación estadística	Máximo permitido	Unidad de referencia	Norma
		Percentil 98 diario	50	µg/m³N	D.S. N°12/2011 del MMA
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	50	µg/m³N	D.S. N°12/2022 del MINSEGPRES
		Percentil 98 diario	130	µg/m³N	
SO_2	Primaria	Promedio anual	60	µg/m³N	D.S. N°104/18 del MMA
		Percentil 99 diario	150	µg/m³N	
		Percentil 98,5 horario anual	350	µg/m³N	
	Secundaria	Promedio anual	60	µg/m³N	D.S. N°22/2009 del MINSEGPRES
		Percentil 99,7 diario	260	µg/m³N	
		Percentil 99,73 horario	700	µg/m³N	
NO_2	Primaria	Promedio del periodo	100	µg/m³N	D.S. N°114/2002 del MINSEGPRES
		Percentil 99 horario	400	µg/m³N	
CO	Primaria	Percentil 99 8 horas	10.000	µg/m³N	D.S. N°115/02 MINSEGPRES
		Percentil 99 horario	30.000	µg/m³N	
COV	Primaria	Promedio del período	3	µg/m3N	D.S N°5/2023 del MMA

Fuente: ENVIS, 2022.

3.2.3.2 Planes, Normas y Decretos Aplicables

Cabe destacar que una sección del Proyecto, específicamente el Puente Nebuco Oriente (junto con su IF) ubicado en la comuna de Chillán, está emplazado en una zona declarada saturada por MP_{10} y $MP_{2,5}$ como concentración diaria, y como zona latente por MP_{10} como concentración

anual (D.S 36/2013 MMA). El D.S. 36/2013 es resultado de las mediciones efectuadas en la zona que permitieron concluir que:

- La Norma Primaria para Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración diaria, se encuentra sobrepasada debido a que el valor del percentil 98 del promedio registrado en el año 2011 ha superado los 50 mg/m^3;

- La Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP_{10}, como concentración diaria, se encuentra sobrepasada, tanto por el número de días como por el valor del percentil 98 registrado en el año 2011 y;

- La Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP_{10}, como concentración anual, se sitúa entre el 80% y el 100% del valor de la norma, para los años 2010 y 2011, de acuerdo con el promedio aritmético de tres años calendario consecutivos, en este caso de los años 2008, 2009, 2010 y 2011, respectivamente.

Dichos registros corresponden en gran parte a la combustión de biomasa para calefacción domiciliaria.

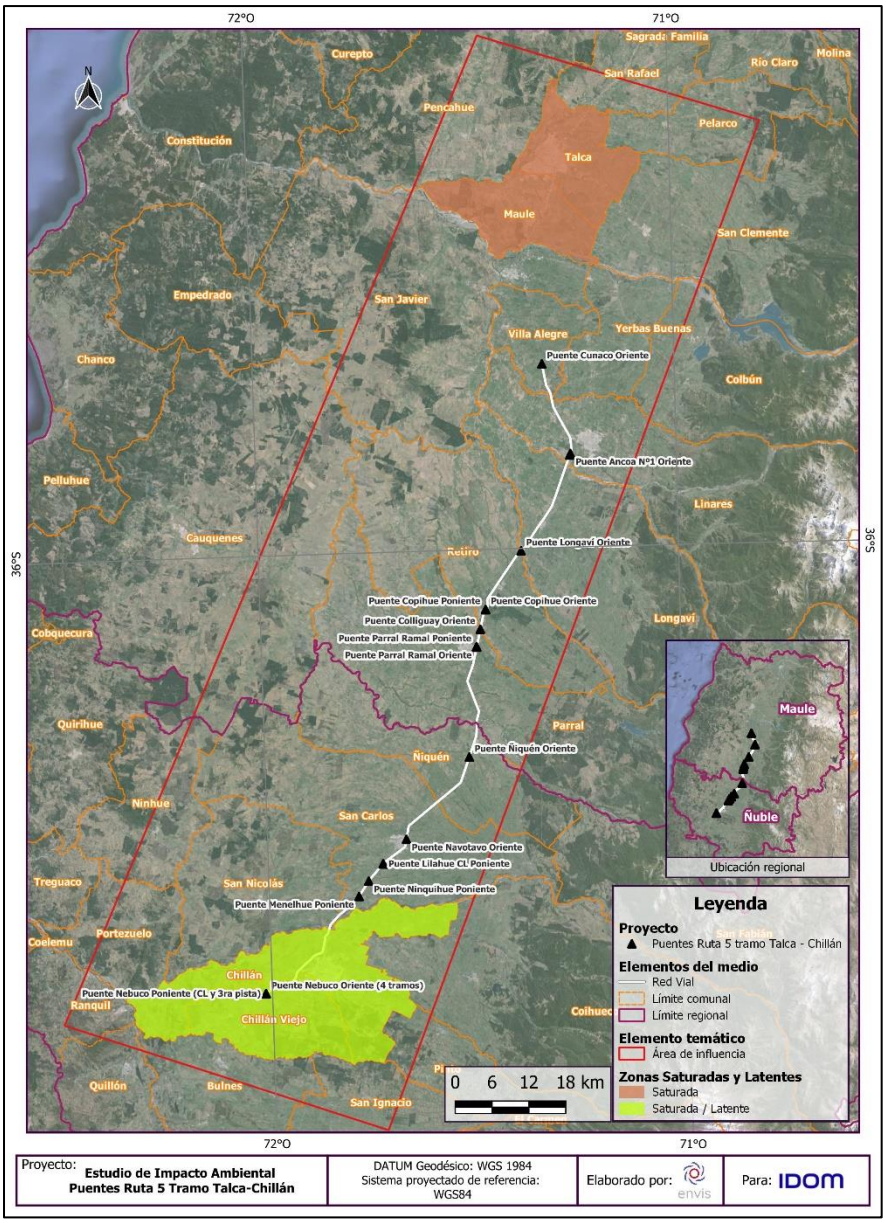
Por otro lado, el D.S.36/2013 y las resoluciones exentas N° 510 y N°50, dieron inicio y aprobación al Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las comunas de Chillán y Chillán Viejo (D.S. 48/2016 MMA). El PPDA se enmarca en la Estrategia de Planes de Descontaminación Atmosférica 2014-2018. El plan de descontaminación es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada por uno o más contaminantes. Por su parte, el Plan de Prevención es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad evitar la superación de una o más normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona latente por uno o más contaminantes. Este plan regirá en las comunas de Chillán y Chillán Viejo, y tiene por objetivo dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP_{10} y a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable fino $MP_{2,5}$, en un plazo de 10 años.

Adicionalmente, se señala que las comunas de Talca y Maule están declaradas como zona saturada por MP_{10} (D.S. 12/2010 MMA) y poseen un Plan de Descontaminación Ambiental (PDA) que involucra a ambas comunas (D.S 49/2016 MMA y sus modificaciones D.S. 90/2018 y D.S. 30/2019). Y si bien en esta zona no se ubican puentes relacionados al Proyecto, esta es interceptada por la Ruta 5 (utilizada para transporte de insumos, personal y residuos). El D.S 12/2010 es resultado de las mediciones efectuadas en la zona las que permitieron concluir que

la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP_{10}, como concentración anual ha sido excedida para el año 2007 y 2008, de acuerdo con el promedio aritmético de tres años calendarios consecutivos, en este caso de los años 2005, 2006, 2007 y 2008; y excedida como concentración de 24 horas para los mismos años. Dicha declaración de zona saturada y en conjunto con las resoluciones exentas N°509 y N°1.318 dieron origen al PDA. Tal y como se mencionó previamente, este plan es un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona saturada por uno o más contaminantes.

Los límites de lo previamente señalado son indicados en la siguiente figura:

Figura 3- 8: Zonas saturadas y latentes respecto a la ubicación del Proyecto y su AI preliminar



Fuente: ENVIS, 2024.

Adicionalmente, se informa que el año 2021 se declara zona saturada por $MP_{2,5}$ en su concentración de 24 horas y anual, al Valle Central de la Región del Maule (D.S 7/2021 MMA). Este decreto nace a base del resultado de las mediciones efectuadas en la zona, donde se concluye que:

- La evaluación de la norma de 24 horas para $MP_{2,5}$ determinó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones diarias, para los años 2017, 2018 y 2019, superaron el límite de 50 µg/m^3 establecido en la norma de $MP_{2,5}$.

- En relación con la evaluación de la norma anual para $MP_{2,5}$, el promedio anual para el periodo comprendido entre el año 2017 y el año 2019, determinó que la norma anual fue también superada.

Dicha zona abarca 14 comunas de las provincias de Talca y Linares, e incluye las zonas con las más altas concentraciones de material particulado $MP_{2,5}$ y equivale al 17,9% de la superficie regional que se encuentra en el valle central de la Región del Maule. Sin embargo, el PDA y la delimitación de la zona aún se encuentra en la fase de elaboración de Anteproyecto. Los límites de la zona sugerida se pueden observar en la siguiente figura:

Figura 3- 9: Propuesta para la delimitación de zona saturada

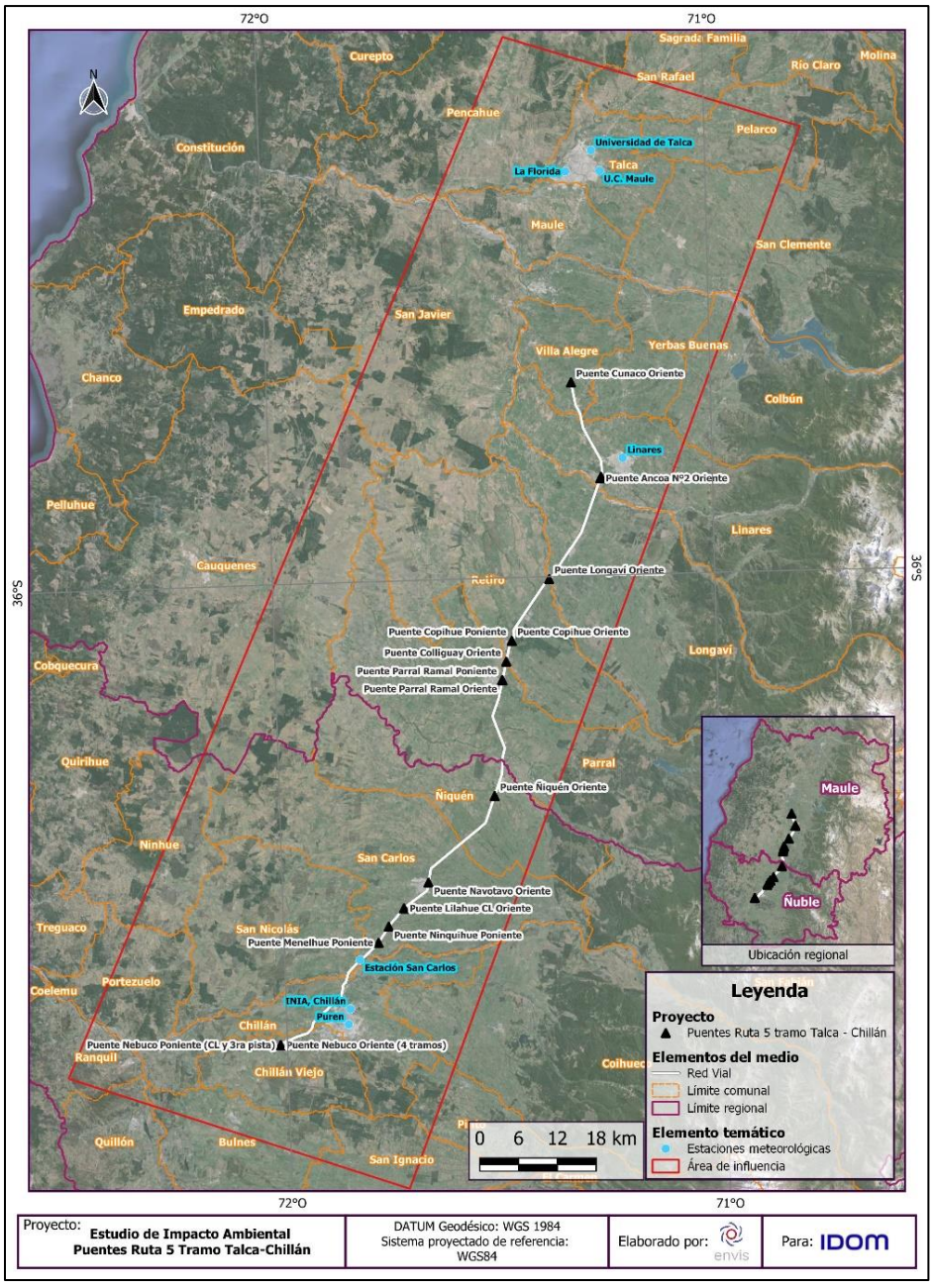


Fuente: Informe Final estudio de inventario de emisiones y modelación de contaminantes y delimitación de zona saturada https://planesynormas.mma.gob.cl/normas/expediente/index.php?tipo=busqueda&id_expediente=939281

3.2.3.3 Identificación de las Estaciones de Monitoreos Cercanas

Revisando la información proporcionada por el SINCA, se identificaron 7 estaciones de monitoreo en la zona de emplazamiento del Proyecto con información actualizada, la siguiente figura y tabla presenta la ubicación de las estaciones respecto al Proyecto (ver Figura y Tabla siguiente).

Figura 3- 10: Ubicación de las estaciones en relación con la ubicación del Proyecto



Fuente: ENVIS, 2024

Tabla 3- 21: Características generales de las Estaciones de Monitoreo consideradas

Nombre de la estación	Coordenadas de referencia UTM Datum WGS84 Huso 18S-19S		Contaminante	Propietario	Operador	Periodo	Distancia lineal al Proyecto (km)*	Fuente
	Este (m)	Norte (m)						
Purén	759.972	5.943.765	MP_{10}	Sub-Secretaría del Medio Ambiente	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2020-2022	11,0	SINCA del Ministerio del Medio Ambiente (MMA)
			$MP_{2,5}$					
INIA, Chillán	760.382	5.946.127	MP_{10}	Sub-Secretaría del Medio Ambiente	Sub-Secretaría del Medio Ambiente	2020-2022	11,2	
			$MP_{2,5}$					
Linares	265.805	6.031.030	$MP_{2,5}$	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2020-2022	4,4	
La Florida	256.889	6.075.395	MP_{10}	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2020-2022	32,2	
			$MP_{2,5}$					
			SO_2					
			NO_2					
			CO					
U.C. Maule	262.216	6.075.477	MP_{10}	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2020-2022	30,1	
			$MP_{2,5}$					
Universidad de Talca	260.878	6.078.683	MP_{10}	Ministerio del Medio Ambiente (MMA)	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2020-2022	28,4	
			$MP_{2,5}$					
San Carlos[1]	762.354	5.953.627	$MP_{2,5}$	No informado	Algoritmos y Mediciones Ambientales SpA	2021-2022	3,92	

Fuente: ENVIS, 2023. * Distancia al Puente más cercano.

[1] La estación San Carlos no cumple el criterio respecto a la disponibilidad de datos (3 años calendario), por lo que sólo será incluida para describir la zona y definir tendencias de su zona, pero no para definir el AI ni determinar estados de latencia y/o saturación.

En la siguiente tabla y a modo resumen, se indican los datos respecto a los contaminantes disponibles en las 7 estaciones de monitoreo, en donde se señala con una “x” la presencia de registros.

Tabla 3- 22: Contaminantes disponibles en cada estación de monitoreo

Estación de monitoreo	Puente asociado al Proyecto	$MP_{2,5}$	MP_{10}	SO_2	NO_2	CO	COV
Purén	• Ñiquén oriente. • Navotavo oriente. • Lilahue CL oriente. • Lilahue CL poniente. • Ninquihue poniente. • Menelhue poniente. • Nebuco oriente. • Nebuco poniente (tercera pista y calle local)	x	x				
INIA, Chillán	• Ñiquén oriente. • Navotavo oriente. • Lilahue CL oriente. • Lilahue CL poniente. • Ninquihue poniente. • Menelhue poniente. • Nebuco oriente. • Nebuco poniente (tercera pista y calle local)	x	x				
Linares	• Cunaco oriente. • Ancoa N°1 oriente. • Ancoa N°2 oriente. • Longaví oriente. • Copihue oriente. • Copihue poniente. • Colliguay oriente. • Parral Ramal oriente. • Parral Ramal poniente. • Parral oriente	x					
La Florida	• Cunaco oriente.	x	x	x	x	x	
U.C. Maule	• Cunaco oriente.	x	x				

Estación de monitoreo	Puente asociado al Proyecto	$MP_{2,5}$	MP_{10}	SO_2	NO_2	CO	COV
Universidad de Talca	• Cunaco oriente.	x	x				
San Carlos	• Menelhue Poniente. • Ninquihue Poniente. • Navotavo Oriente. • Lilahue oriente Calle Local	x					

Fuente: ENVIS, 2022.

3.2.3.4 Sistematización de la información

3.2.3.4.1 Descripción de contaminantes en el AI

- Estación de Monitoreo Purén

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para caracterizar la calidad del aire en la estación de monitoreo Purén. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que, para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia, se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles con excepción de los no validados.

Tabla 3- 23: Disponibilidad de datos anuales en estación de monitoreo Purén (2020-2022)

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	**2021**	**2022**
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	359	356	358
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**98%**	**98%**
MP_{10}	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	363	356	360

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	2021	2022
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	99%	98%	99%

Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, la estación de monitoreo Purén posee más del 98% del total de registros. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro:

- Validado: Corresponde a la información recibida en línea, de forma automática, desde las estaciones de monitoreo que se encuentran conectadas al sistema.
- Preliminar: Corresponden a datos validados en una primera instancia, efectuada por los operadores de la estación donde se corrigen los datos desfasados o se eliminan aquellos que corresponden a fallas o mantenciones como las calibraciones de los instrumentos.
- No validado: Corresponden a datos validados previamente por los operadores de las estaciones, que pasan por un segundo proceso de validación por algún organismo estatal que tenga competencia sobre los datos (SINCA, s.f).

Tabla 3- 24: Tipos de datos anuales disponibles en estación de monitoreo Purén (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
$MP_{2,5}$	2020	359	0	7
	2021	256	0	6
	2022	357	0	4
MP_{10}	2020	363	0	3
	2021	356	0	6
	2022	360	0	5

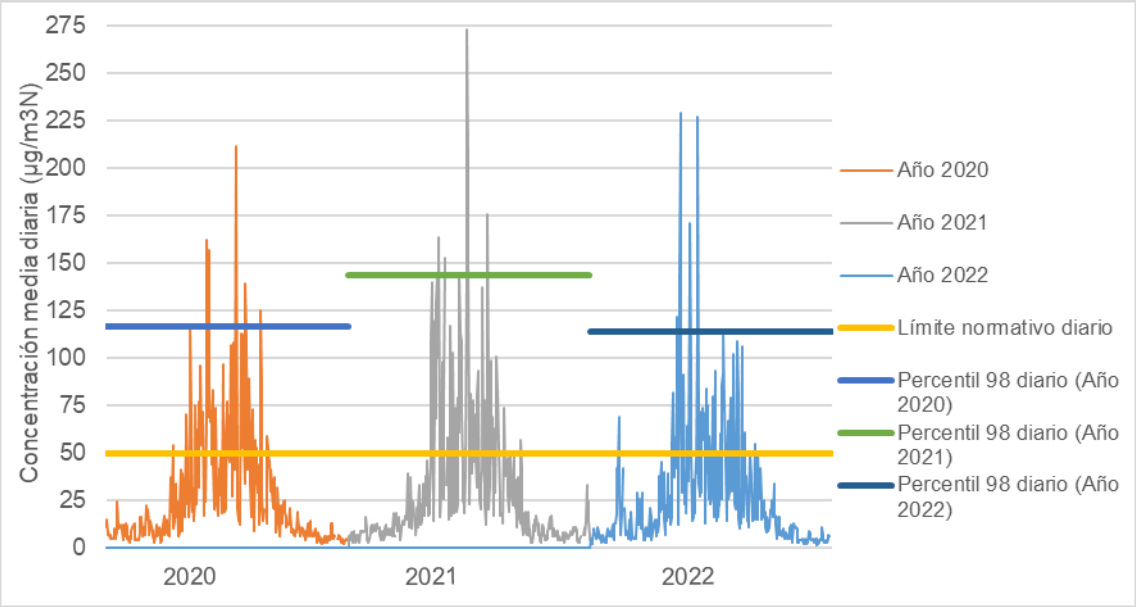
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los puntos siguientes, se presenta el detalle de los contaminantes registrados por la estación de monitoreo Purén.

- Material Particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo Purén

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire Purén contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias, cuyo valor es de 50 µg/m^{3}N según el D.S. N°12/2011 del MMA.

Gráfico 3- 36: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Purén.



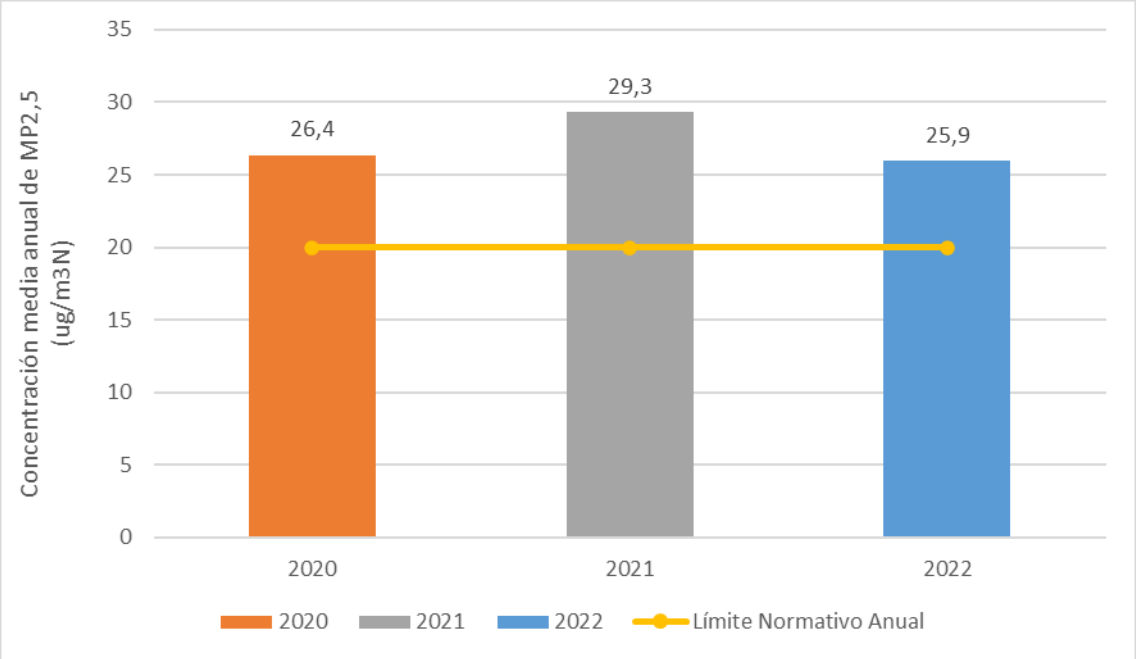
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$, se encuentran por sobre del límite normativo durante los tres años considerados, evidenciando un ciclo anual definido durante los tres años, donde los niveles más altos que sobrepasan el límite normativo de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan el límite normativo, se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 58, 62 y 50 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 16%, 17% y 14% del total de

registros anuales, respectivamente. El peak de concentración más elevado se registró durante el año 2021 con un valor de 273 µg/m^{3}N durante el mes de junio.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo Purén.

Gráfico 3- 37: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Purén.



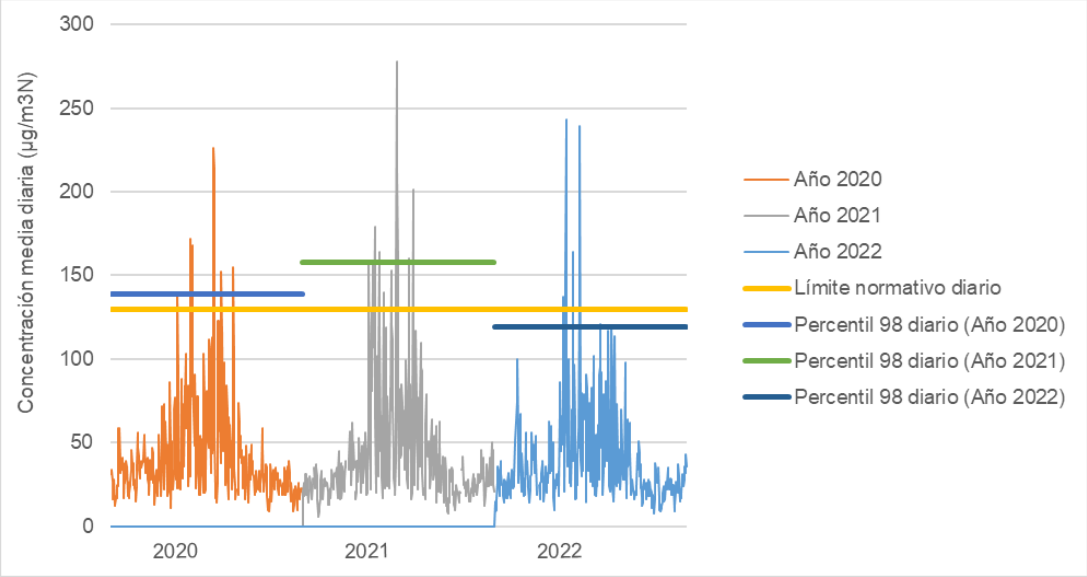
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales presentados en la figura previa, se observó que los registros se encuentran sobre el límite normativo en los tres años considerados. En particular, se observa un leve aumento entre el año 2020 y 2021.

- Material Particulado (MP_{10}) – Estación de monitoreo Purén

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo Purén contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 38: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Purén.



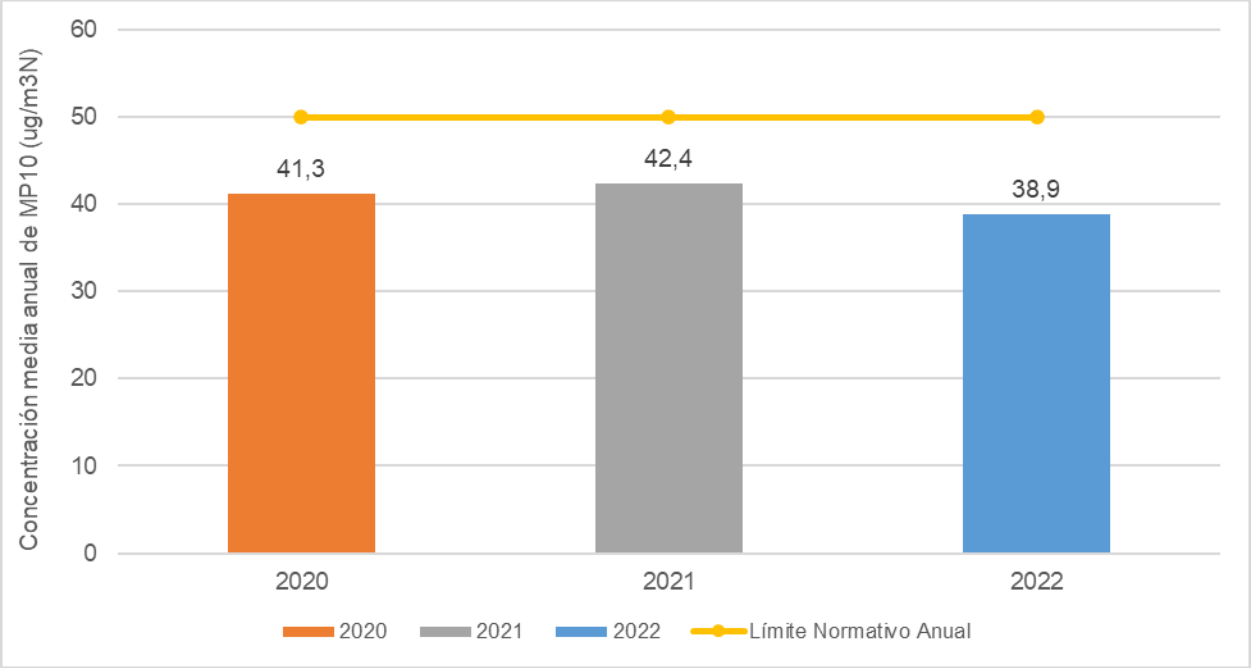
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

A partir de lo indicado en el gráfico anterior, se observó que las concentraciones diarias de MP_{10}, se encuentran por sobre el límite normativo durante los tres años considerados, evidenciando un ciclo anual definido, donde los niveles más altos de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 8, 13 y 6 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 2%, 4% y 2% del total de registros anuales, respectivamente. El peak de

concentración más elevado se registró durante el año 2021 con un valor de 278 µg/m^{3}N durante el mes de junio.

En la siguiente figura, se presentan los registros asociados a los promedios anuales de la estación de monitoreo Purén.

Gráfico 3- 39: Promedios anuales de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Purén.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que los promedios anuales de los tres años considerados se encuentran bajo el límite definido por la normativa aplicable.

- Estación de Monitoreo INIA, Chillán

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para determinar la caracterización de la calidad del aire en la estación de monitoreo INIA, Chillán. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que para evaluar

los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles, menos los no validados.

Tabla 3- 25: Disponibilidad de datos anuales en estación de monitoreo INIA, Chillán (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	**2021**	**2022**
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	360	359	357
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**98%**	**98%**
MP_{10}	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	362	333	362
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**99%**	**91%**	**99%**

Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, todos los registros de la estación INIA, Chillán alcanzan más del 91% de los datos. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 26: Tipos de datos anuales disponibles en estación de monitoreo INIA, Chillán (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	**Preliminar**	**No Validado**
$MP_{2,5}$	2020	360	0	4

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
	2021	359	0	4
	2022	357	0	5
MP_{10}	2020	362	0	2
	2021	333	0	28
	2022	362	0	2

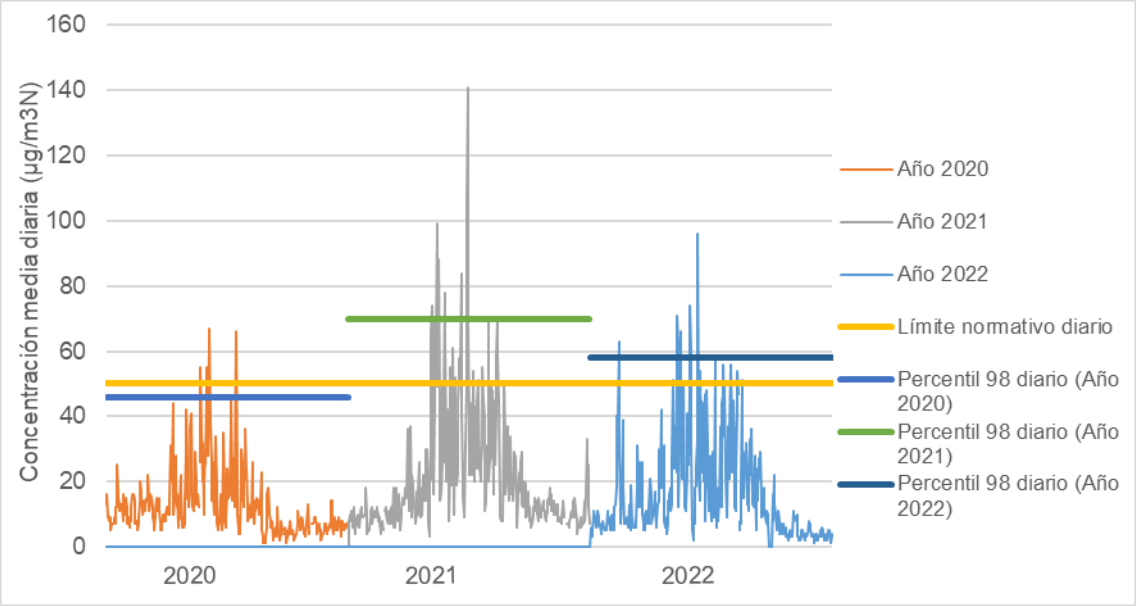
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los puntos siguientes, se presenta el detalle de los contaminantes registrados por la estación de monitoreo INIA, Chillán.

- Material Particulado Respirable fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo INIA, Chillán

La siguiente figura presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire INIA, Chillán contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias, cuyo valor es de 50 $\mu g/m^3N$ según el D.S. N°12/2011 del MMA.

Gráfico 3- 40: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo INIA, Chillán.

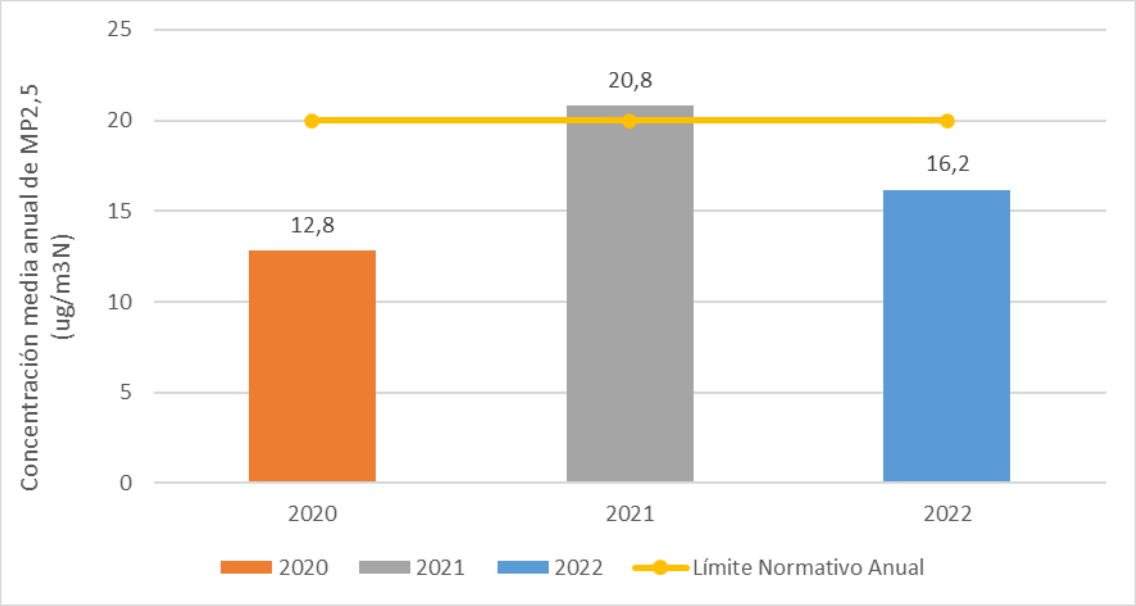


Fuente: ENVIS, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que los registros de las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$, evidencian un ciclo anual definido, donde los niveles de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 7, 28 y 15 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 2%, 8% y 4% del total de registros anuales, respectivamente. El peak de concentración más elevado se registró durante el año 2021 con un valor de 141 µg/m^{3}N durante el mes de junio. Respecto al percentil 98 diario de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante los años 2021 y 2022 y bajo la normativa durante el año 2020.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo INIA, Chillán.

Gráfico 3- 41: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ - Estación de monitoreo INIA, Chillán.



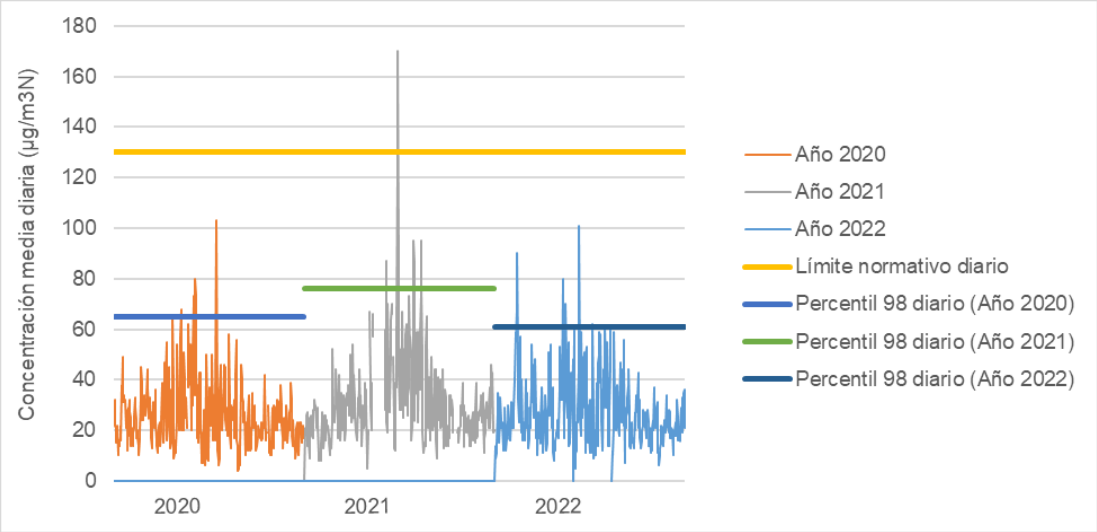
Fuente: ENVIS, 2022.

De acuerdo con los datos registrados en la estación, se observó que durante los años 2020 y 2022 las medias anuales se encuentran bajo el límite normativo de 20 µg/m^{3}N, a diferencia del año 2021 donde el promedio sobrepasa en 0,8 µg/m^{3}N la normativa aplicable.

- Material Particulado Respirable (MP_{10}) – Estación de monitoreo INIA, Chillán

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo INIA, Chillán contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias indicado en la Tabla siguiente:

Gráfico 3- 42: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo INIA, Chillán.

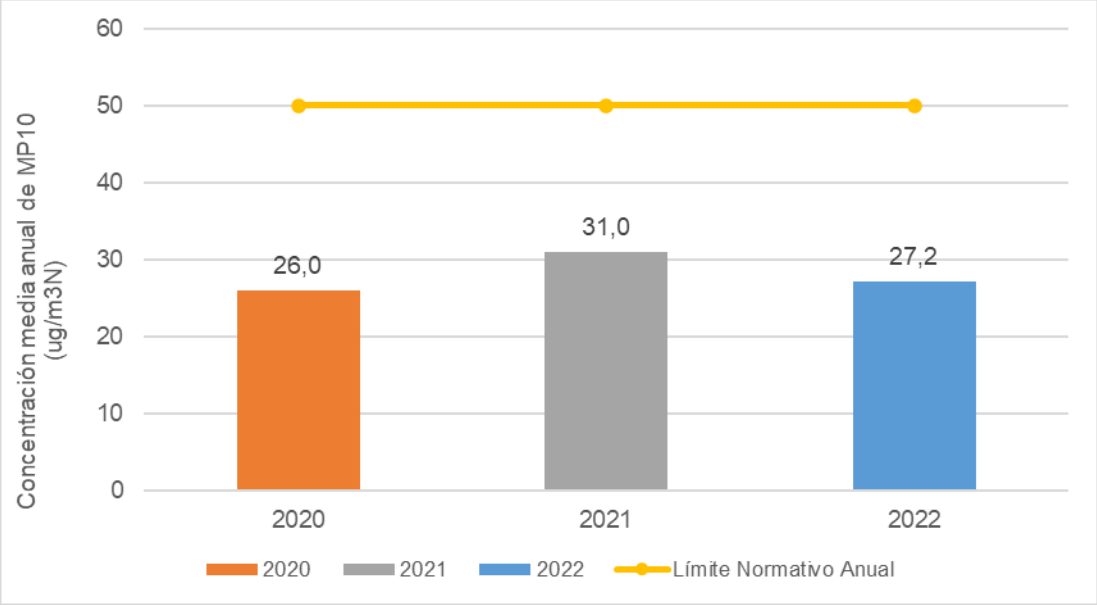


Fuente: ENVIS, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que los percentiles 98 se encuentran bajo el límite normativo en todo el periodo evaluado, descartando un estado de saturación en el entorno de la estación. Particularmente, las concentraciones diarias de MP_{10}, se encuentran bajo el límite normativo durante los años 2020 y 2022 considerados, evidenciando un ciclo anual definido, donde los niveles más altos de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante el año 2021, se observó 1 registro que superan la normativa aplicable, lo que representa el 0,3% del total de registros anuales. El peak de concentración más elevado se registró durante el año 2021 con un valor de 170 $\mu g/m^3N$ durante el mes de junio.

En el siguiente gráfico se presentan los registros asociados a los promedios anuales de la estación de monitoreo INIA, Chillán.

Gráfico 3- 43: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación INIA, Chillán.



Fuente: ENVIS, 2022.

Respecto a lo indicado en el gráfico previo, los registros de los promedios anuales de concentración de los tres años considerados se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^{3}N, descartando un estado de saturación en su entorno.

- Estación de Monitoreo Linares

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para determinar la caracterización de la calidad del aire en la estación de monitoreo Linares. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles, menos los no validados.

Tabla 3- 27: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo Linares (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	**2021**	**2022**
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	353	359	353
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**96%**	**98%**	**97%**

Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, los registros de la estación Linares poseen más del 96% del total de registros. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 28: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo Linares (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	**Preliminar**	**No Validado**
$MP_{2,5}$	2020	353	0	5
	2021	359	0	4
	2022	253	0	5

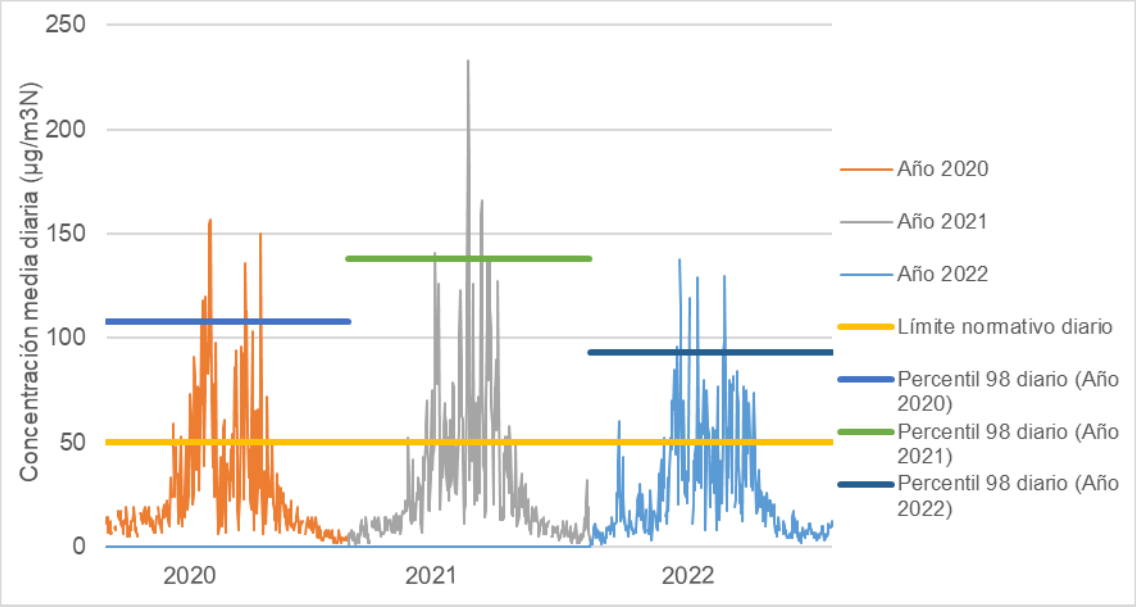
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los acápites siguientes, se presenta el detalle de $MP_{2,5}$ registrados por la estación de monitoreo Linares.

- Material Particulado Respirable fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo Linares

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire Linares contrastadas con el límite normativo indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 44: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Linares.



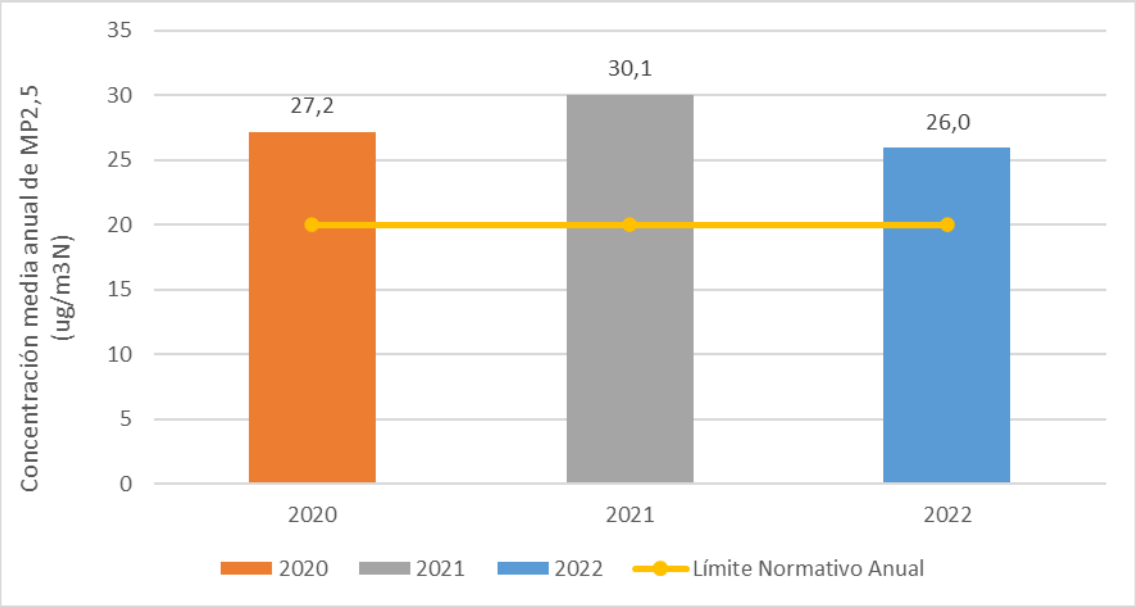
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$ y los percentiles 98 de cada año, se encuentran por sobre el límite normativo durante los tres años considerados, evidenciando un claro estado de saturación en su entorno. Además, se evidencia un ciclo anual definido, donde los niveles de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 58, 69 y 58 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 16%, 19% y 16% del total de registros anuales, respectivamente. Los peaks de

concentración más elevados se registran durante el año 2021 con valores de 233 µg/m^{3}N durante el mes de junio.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo Linares.

Gráfico 3- 45: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Linares.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales graficados anteriormente, se observó que durante los 3 años la media anual se encuentra por sobre el límite normativo de 20 µg/m^{3}N.

- Estación de Monitoreo La Florida

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para caracterizar la calidad del aire en la estación de monitoreo La Florida. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que, para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia, se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un

año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles, con excepción de los datos no validados.

Tabla 3- 29: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo La Florida (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	2021	2022
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	359	361	360
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**99%**	**99%**
MP_{10}	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	359	358	351
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**98%**	**96%**
SO_2	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Horario)	8784	8760	8760
	N° de datos observados	8533	8557	8666
	Porcentaje datos observados horarios respecto al periodo total anual	**97%**	**98%**	**99%**
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	360	363	363
	Porcentaje datos observados 24 horas respecto al periodo total anual	**98%**	**99%**	**99%**
NO_2	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Horario)	8784	8760	8760

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	2021	2022
	N° de datos observados	8619	8474	8603
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**97%**	**98%**
CO	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Horario)	8784	8760	8760
	N° de datos observados	7173	8579	8644
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**82%**	**98%**	**99%**

Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, los registros de la estación La Florida poseen más del 82% del total de registros. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 30: Disponibilidad de datos anuales en Estación de monitoreo La Florida (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
$MP_{2,5}$	2020	359	0	6
	2021	361	0	4
	2022	360	0	4
MP_{10}	2020	359	0	6
	2021	358	0	4
	2022	351	0	6
SO_2 Diario	2020	330	30	0
	2021	308	55	0

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
	2022	338	25	0
SO_2 Horario	2020	7.886	647	8
	2021	7.402	1.155	0
	2022	8.094	572	0
NO_2	2020	8.689	0	6
	2021	7.856	618	0
	2022	8.033	570	0
CO	2020	6.895	278	1.408
	2021	8.005	574	0
	2022	8.072	572	0

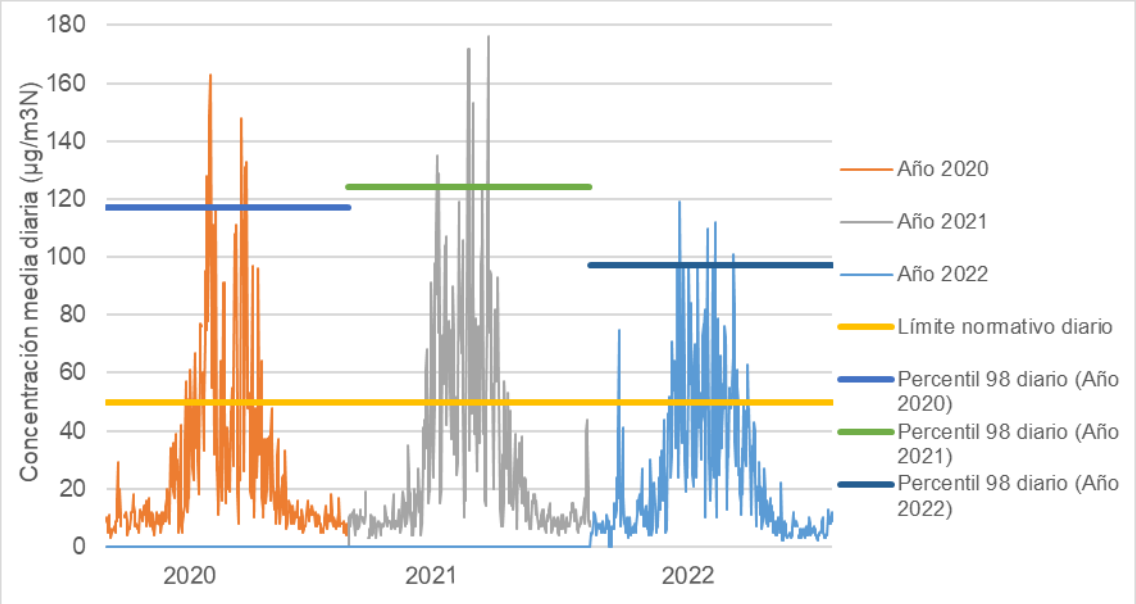
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los acápites siguientes, se presenta el detalle de los contaminantes: $MP_{2,5}$, MP_{10}, SO_2, NO_2 y CO registrados por la estación de monitoreo La Florida.

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo La Florida

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire La Florida contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias, cuyo valor es de 50 µg/m^3N según el D.S. N°12/2011 del MMA (ver Tabla 3-23).

Gráfico 3- 46: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo La Florida (2020-2022).

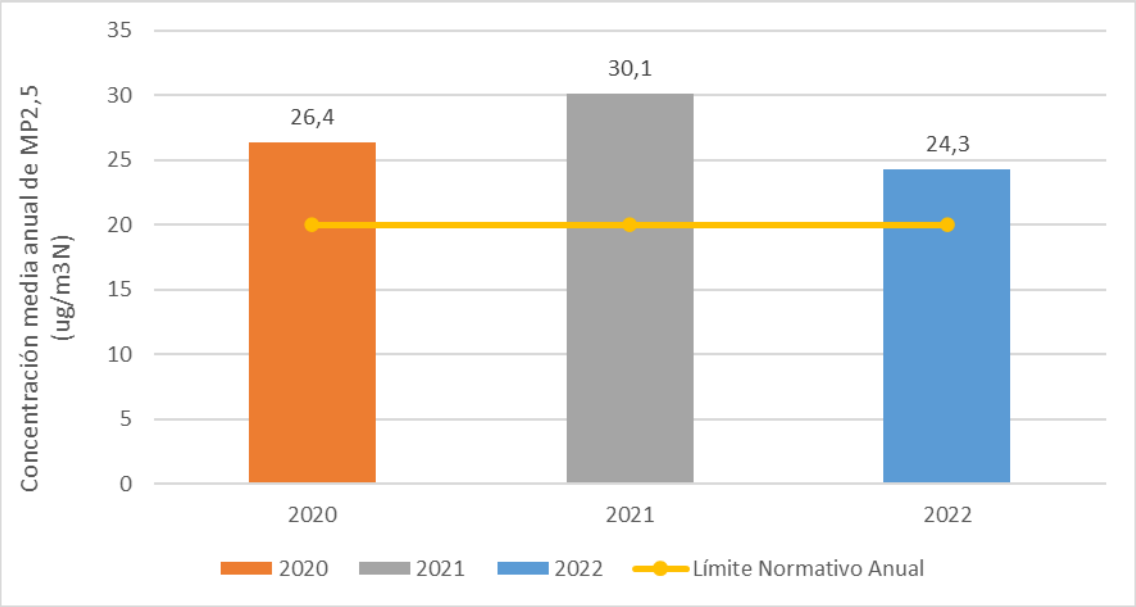


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$, se encuentran por sobre del límite normativo durante los tres años considerados, evidenciando un ciclo anual definido, donde los niveles más altos que sobrepasan el límite normativo de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan el límite normativo, se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 54, 76 y 55 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 15%, 21% y 15% del total de registros anuales, respectivamente. La concentración diaria más elevada se registró en julio de 2021 con un valor de 176 $\mu g/m^3N$.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo La Florida.

Gráfico 3- 47: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo La Florida.



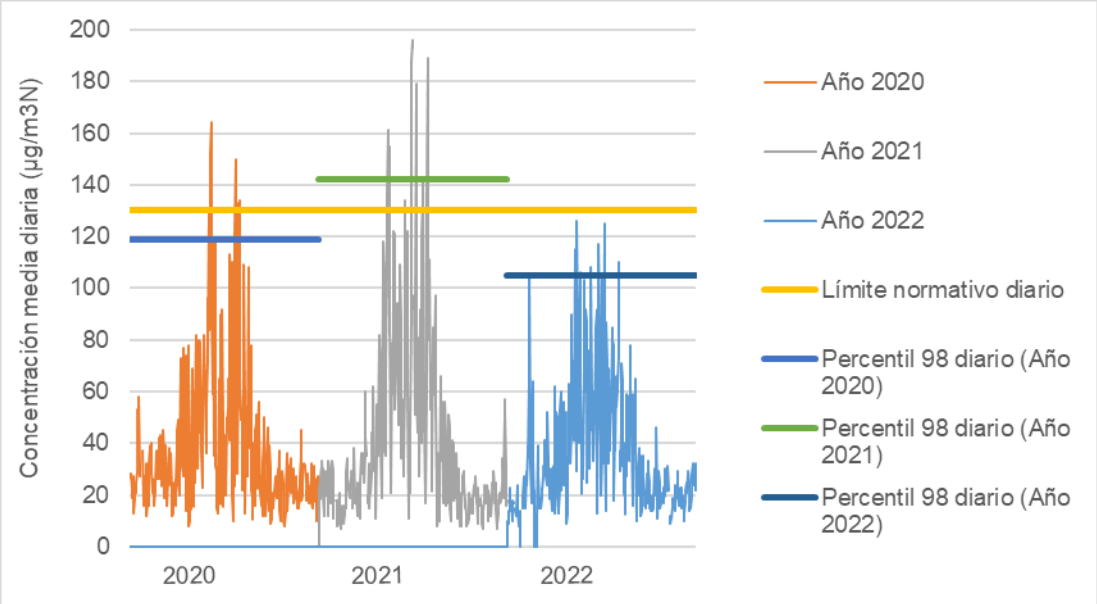
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales presentados en el gráfico previo, se observó que los registros de los promedios anuales se encuentran sobre el límite normativo de 20 µg/m^{3}N en los 3 años considerados, manteniéndose sobre los 25 µg/m^{3}N.

- Material Particulado Respirable (MP_{10}) – Estación de monitoreo La Florida

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo La Florida contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 48: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo La Florida.

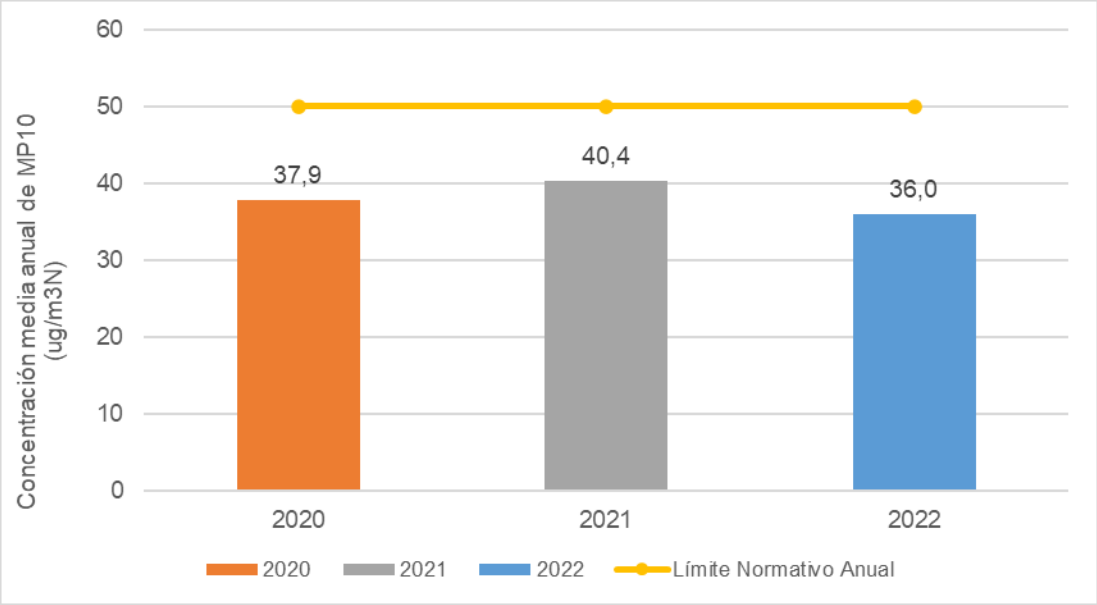


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022

A partir de lo indicado en gráfico anterior, se observa que las concentraciones diarias de MP_{10}, se encuentran por sobre el límite normativo durante los años 2020 y 2021 y bajo este durante el año 2022. En particular, el percentil 98 del año 2021 se encontró sobre la normativa ambiental aplicable. Además, similar a estaciones descritas previamente, se evidenció un ciclo anual definido, donde los niveles más altos de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos, que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante el año 2020 y 2021, se observaron 5 y 13 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 1% y 4% del total de registros anuales. La concentración diaria más elevada se registró en junio de 2021 con un valor de 196 µg/m^3N.

El siguiente gráfico se presentan los registros asociados a los promedios anuales de la estación de monitoreo La Florida.

Gráfico 3- 49: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo La Florida.



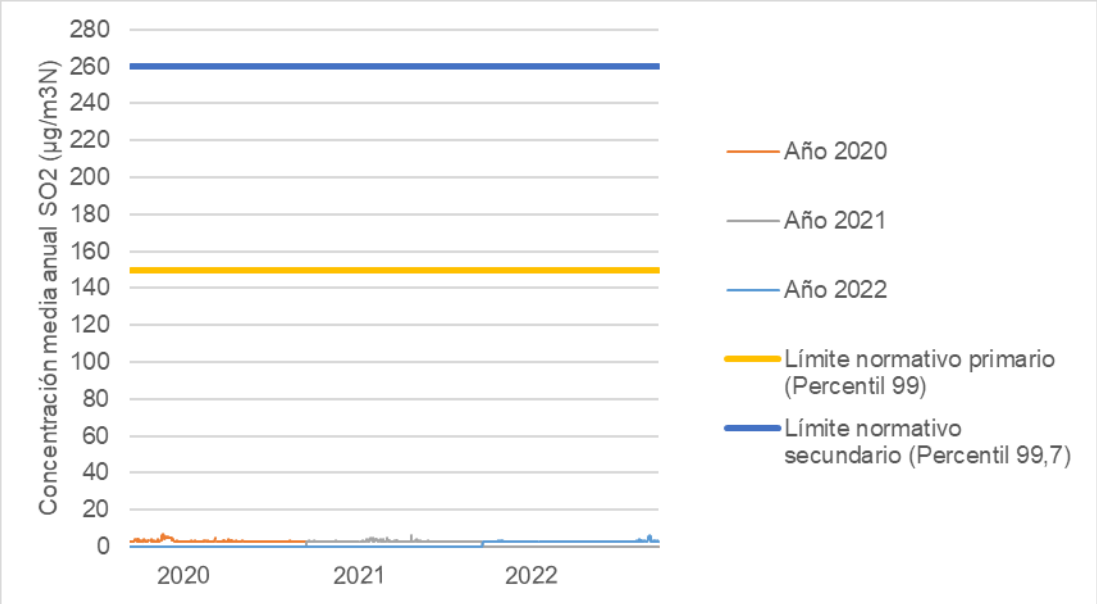
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a lo indicado en el gráfico previo, los registros del promedio anual de concentración de los años 2020, 2021 y 2022 se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^{3}N.

- Dióxido de Azufre (SO_2) – Estación de monitoreo La Florida

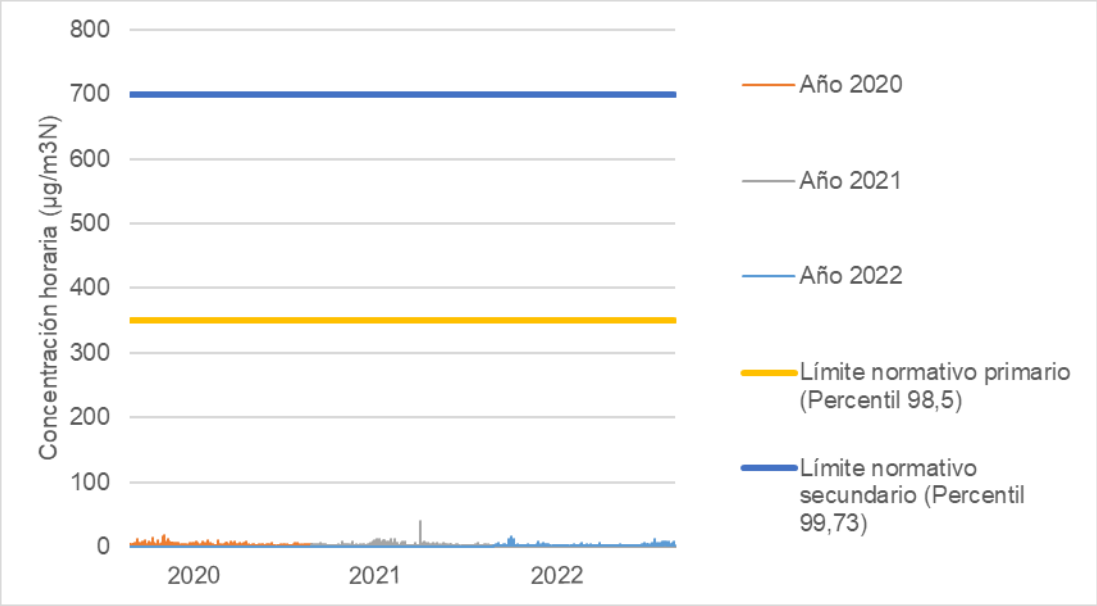
En los siguientes gráficos se presenta las series de tiempo de concentración media diaria y horaria para los años 2020, 2021 y 2022 del contaminante SO_2, medidas en la estación de monitoreo La Florida contrastadas con los límites normativos de cada estadístico indicado en la Tabla siguiente, respectivamente.

Gráfico 3- 50: Serie de tiempo anual de concentración diaria de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Gráfico 3- 51: Serie de tiempo anual de concentraciones horarias de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida.

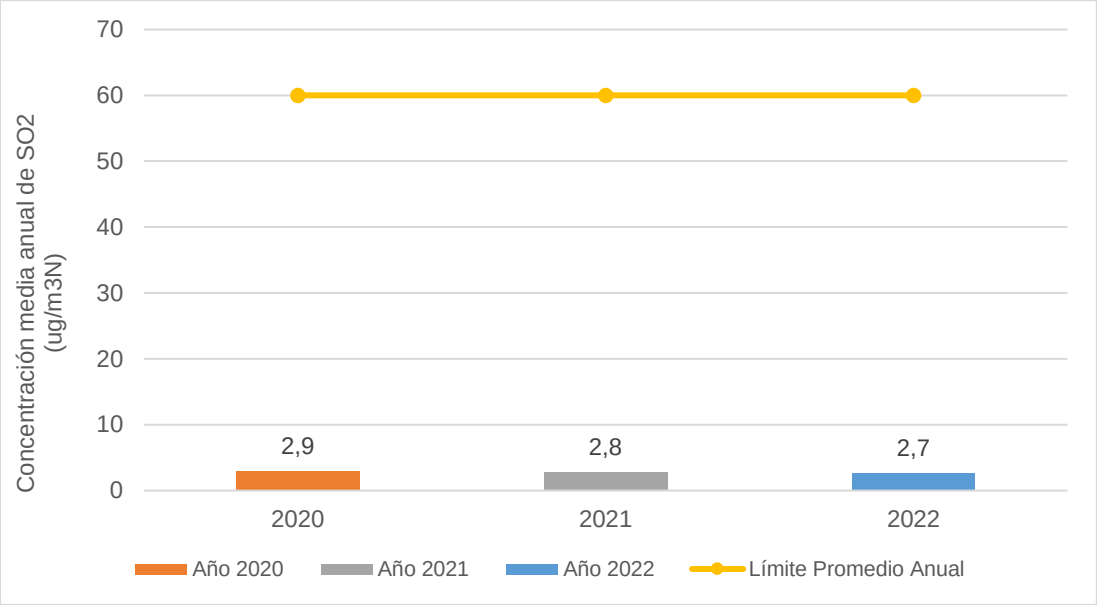


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Se observa que gran parte de las concentraciones diarias se encuentran muy por debajo de los límites normativos, tanto primario como secundario, durante los tres años analizados. Respecto a las concentraciones horarias, se observa que durante los tres años se cumplen los límites normativos.

En el siguiente gráfico se presentan los registros de los promedios anuales de SO_2 de la Estación de monitoreo La Florida.

Gráfico 3- 52: Promedios anuales de SO_2 – Estación de monitoreo La Florida.



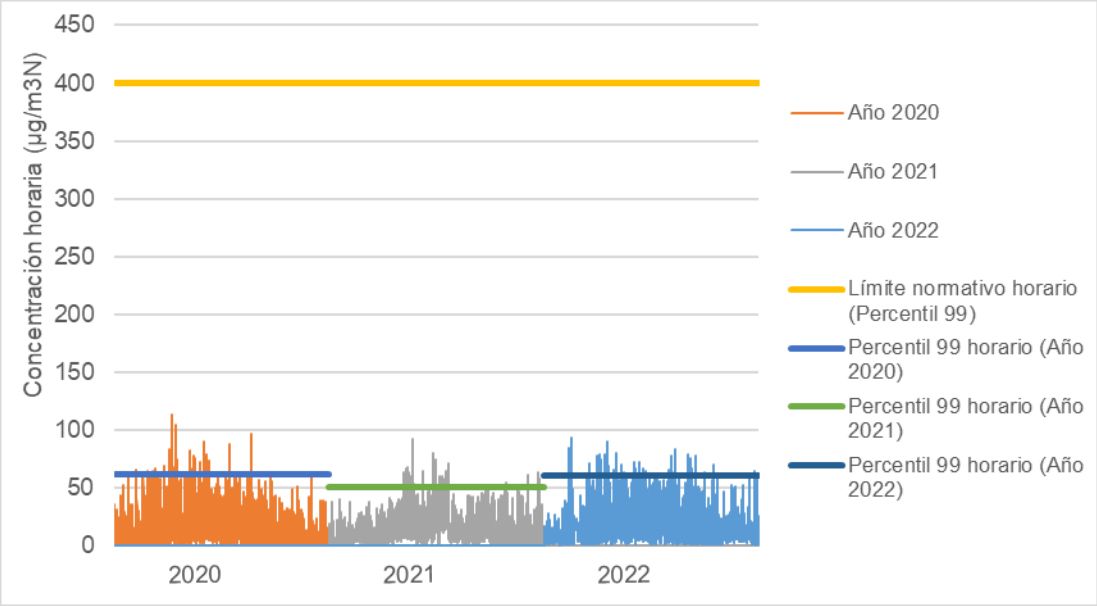
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a lo indicado en el gráfico previo, los registros de los años 2020, 2021 y 2022 se encuentran bajo el límite normativo de 60 ug/m^{3}N. Los tres periodos presentan una tendencia similar.

- Dióxido de Nitrógeno (NO_2) - Estación de Monitoreo La Florida

En el siguiente gráfico se presenta la serie de tiempo anual de concentración horaria para los años 2020, 2021 y 2022 del contaminante NO_2, medidas en la estación de monitoreo La Florida contrastadas con su límite normativo establecido en el D.S. N°114/2002 MINSEGPRES, que establece como límite 400 µg/m^{3}N en el estadístico Percentil 99 (ver Tabla 3-23):

Gráfico 3- 53: Serie de tiempo anual de concentración horarias de NO_2 – Estación de monitoreo La Florida.

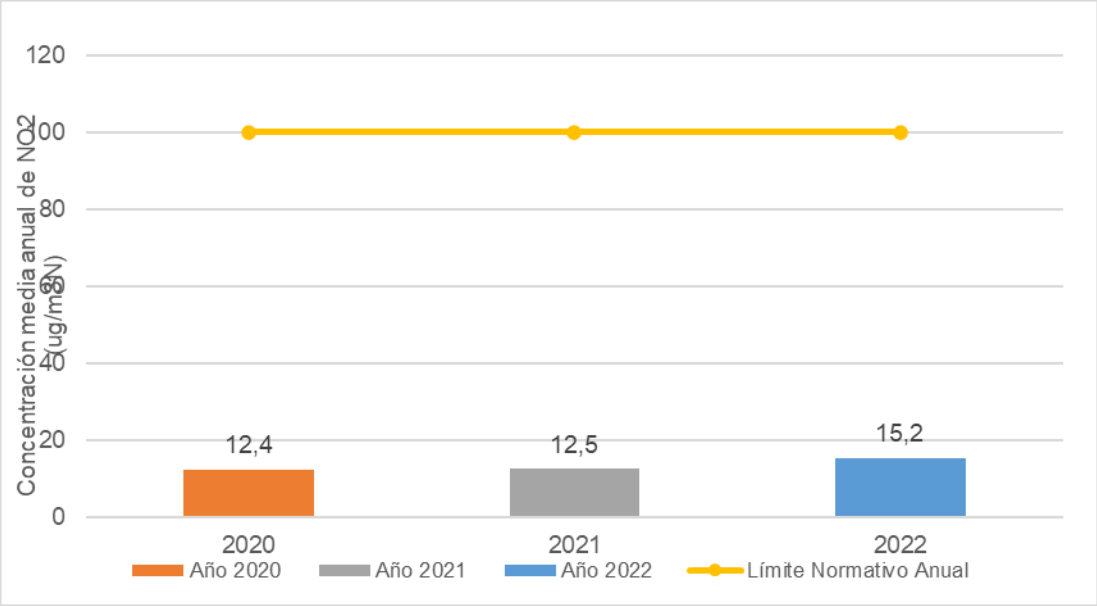


Fuente: ENVIS en base a datos SNIFA, 2022.

A partir de lo indicado en el gráfico previo, se observa que las concentraciones horarias de NO_2 se encuentran por debajo del límite normativo durante los 3 años considerados.

En el siguiente gráfico se presentan los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo La Florida.

Gráfico 3- 54: Serie de tiempo anual de concentración horarias de NO_2 – Estación de monitoreo La Florida.



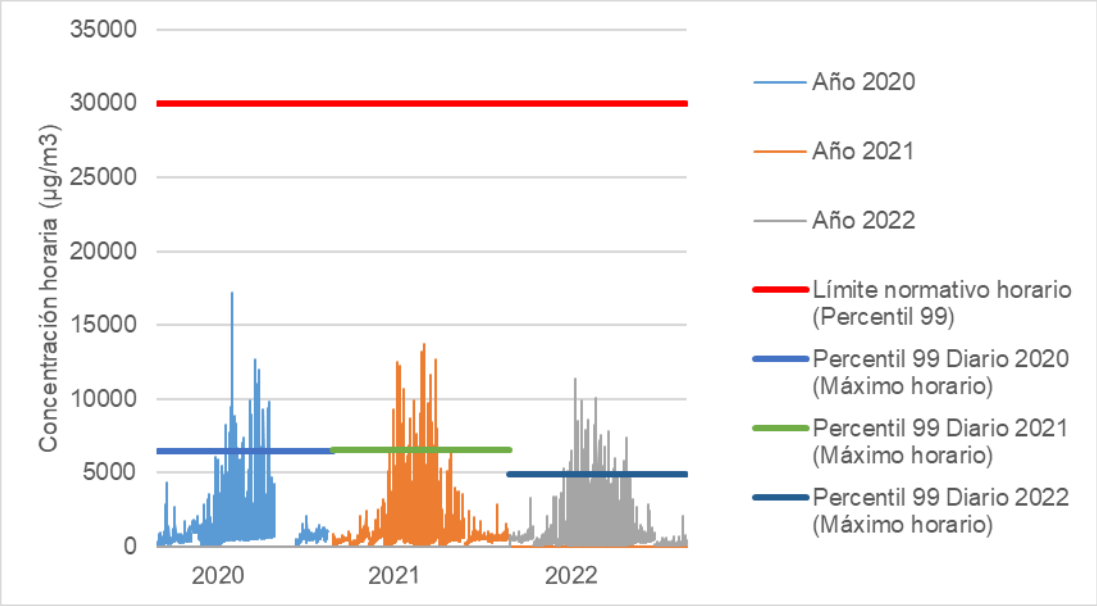
Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que los registros de los promedios anuales se encuentran muy por debajo del límite establecido en la normativa durante los 3 años considerados.

- Monóxido de Carbono (CO) – Estación de monitoreo La Florida

Los siguientes gráficos presentan las series de tiempo anuales de máximas concentraciones diarias promedios de 1 hora de CO y máximas concentraciones diarias de promedios móviles de 8 horas para los años 2020, 2021 y 2022, monitoreadas en la estación de monitoreo de calidad del aire La Florida. Adicionalmente, el primer gráfico presenta el límite al percentil 99 de máximas concentraciones diarias promedio de 1 hora que corresponde a 30.000 µg/m^{3}N (D.S. N° 115/02), mientras que el segundo gráfico presenta el límite al percentil 99 de máximas concentraciones diarias promedio de 8 horas que corresponde a 10.000 µg/m^{3}N (D.S. N° 115/02) (ver tabla siguiente):

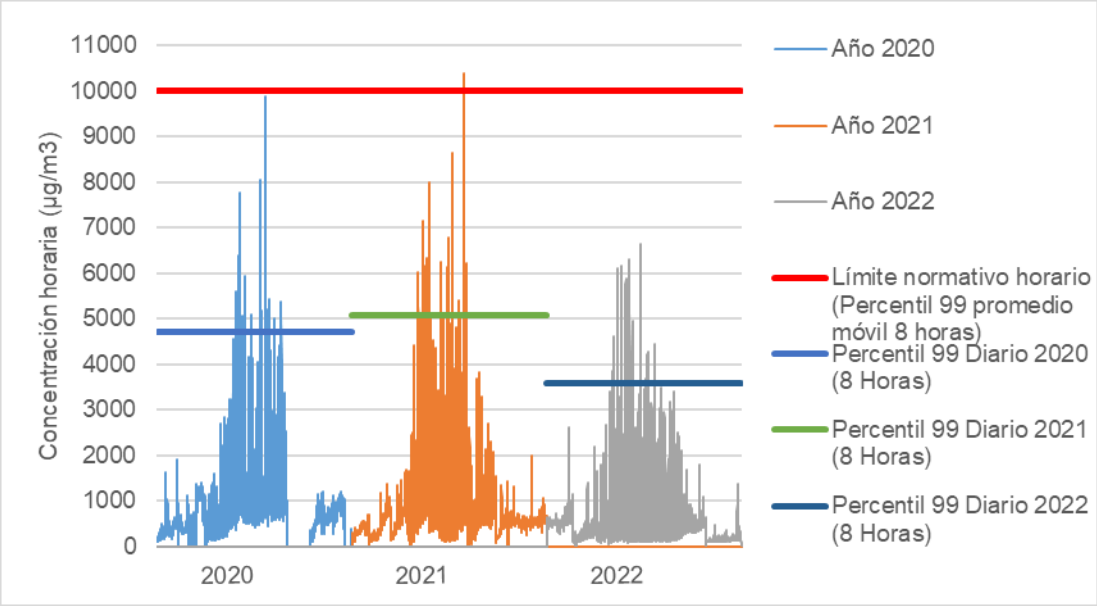
Gráfico 3- 55: Serie de tiempo anual de máximas concentraciones diarias CO – Estación de monitoreo La Florida.



Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

A partir de lo indicado en la figura previa, se observa que las concentraciones diarias de CO se encuentran por debajo del límite normativo durante los 3 años considerados. Particularmente, se observa una tendencia donde los valores van disminuyendo de un año a otro.

Gráfico 3- 56: Serie de tiempo anual de promedios móviles de 8 horas de concentraciones horarias CO – Estación de monitoreo La Florida.



Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

A partir de lo indicado en el gráfico anterior, se observó que las máximas concentraciones horarias diarias de 8 horas de CO de todo el periodo considerado se encuentran por debajo del límite correspondiente a 10.000 µg/m^{3}N, a excepción de dos horas del 2021 durante el mes de julio donde si se supera dicho limite.

- Estación de Monitoreo U.C. Maule

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para caracterizar la calidad del aire en la estación de monitoreo U.C. Maule. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que, para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia, se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles, con excepción de los datos no validados.

Tabla 3- 31: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo U.C. Maule (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	2021	2022
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	352	358	360
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**96%**	**98%**	**99%**
MP_{10}	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	356	359	361
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**97%**	**98%**	**99%**

Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, la estación posee más del 96% de registros. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 32: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo U.C. Maule (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
$MP_{2,5}$	2020	350	2	10
	2021	358	0	4
	2022	360	0	5
MP_{10}	2020	356	0	7
	2021	359	0	4
	2022	361	0	4

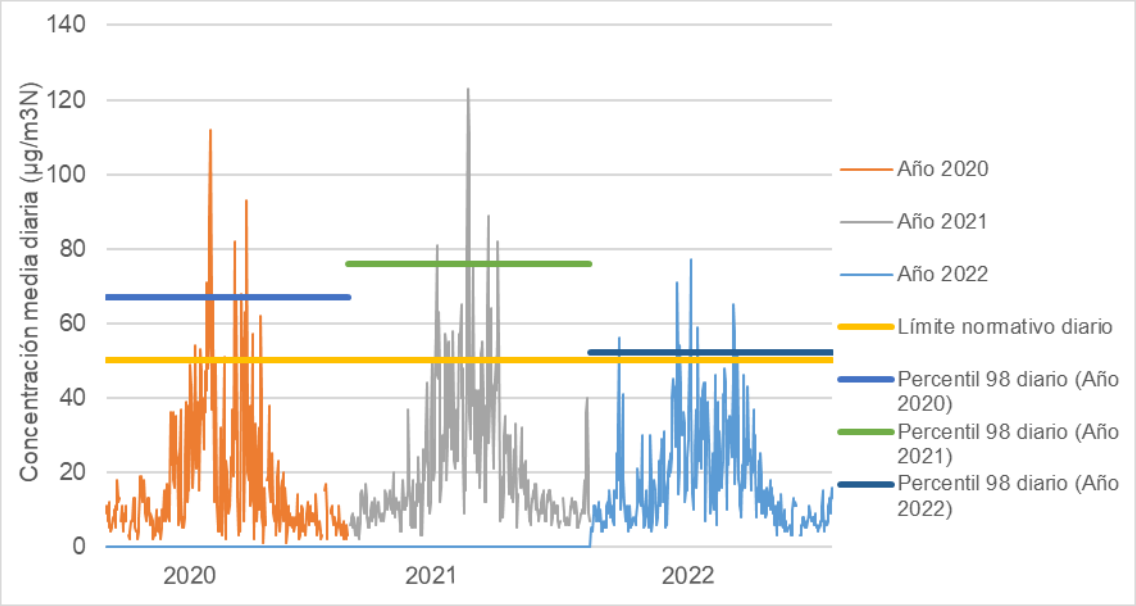
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los acápites siguientes, se presenta el detalle de los contaminantes: $MP_{2,5}$ y MP_{10} registrados por la Estación de monitoreo U.C. Maule.

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo U.C. Maule

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire U.C. Maule contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias, cuyo valor es de 50 µg/m^{3}N según el D.S. N°12/2011 del MMA (ver Tabla 3-23).

Gráfico 3- 57: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación U.C. Maule (2020-2022).

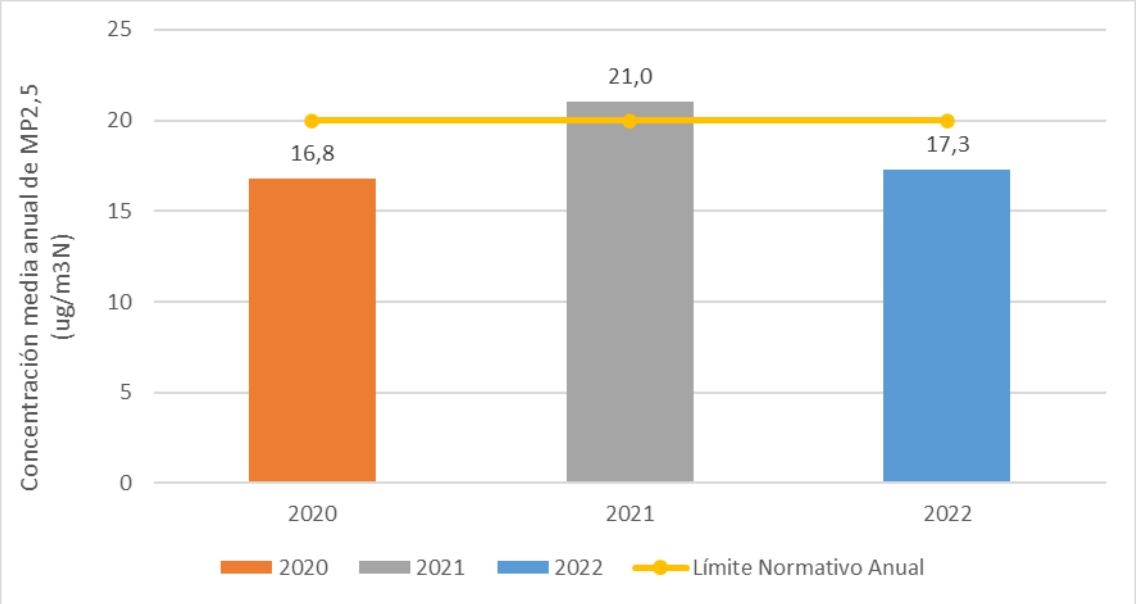


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$, se encuentran por sobre del límite normativo durante los tres años evaluados, evidenciando un estado de saturación en el entorno cercano de la estación. Además, similar a estaciones descritas previamente, se evidenció un ciclo anual definido, donde los niveles más altos que sobrepasan el límite normativo de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan el límite normativo, se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 21, 30 y 9 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 6%, 8% y 3% del total de registros anuales, respectivamente.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo U.C. Maule.

Gráfico 3- 58: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo U.C. Maule.



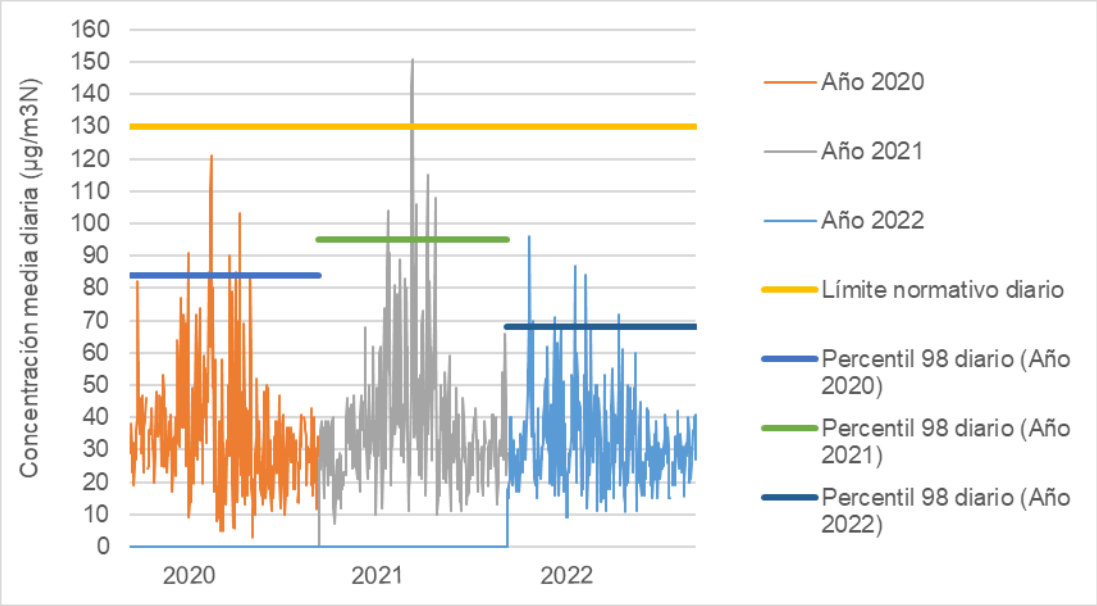
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales presentados en el gráfico previo, se observó que los registros de los promedios anuales se encuentran sobre el límite normativo de 20 µg/m^{3}N sólo durante el año 2021.

- Material Particulado Respirable (MP_{10}) – Estación de monitoreo U.C. Maule

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo U.C. Maule contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 59: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo U.C. Maule.

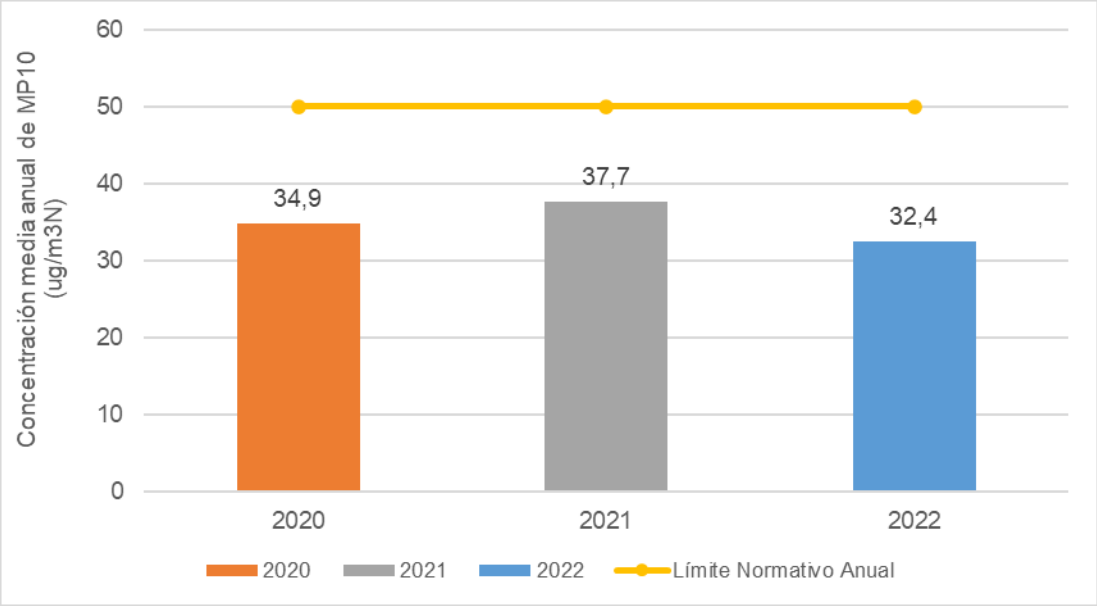


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

A partir de lo indicado en el gráfico anterior, se observó que las concentraciones diarias de MP_{10}, se encuentran bajo el límite normativo durante los años 2020 y 2022, y sus percentiles 98 diario se encuentran bajo los 100 µg/m^{3}N, evidenciando un ciclo anual definido en todos los años evaluados, donde los niveles más altos de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos, se registran durante los meses más cálidos. Además, 3 registros del año 2021 superan la normativa, lo que representa un 1% del total.

En el siguiente gráfico se presentan los registros asociados a los promedios anuales de la estación de monitoreo U.C. Maule.

Gráfico 3- 60: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo U.C. Maule.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a lo indicado en el siguiente gráfico, los registros del promedio anual de concentración de todo el periodo considerado se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^3N.

- Estación de Monitoreo Universidad de Talca

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para caracterizar la calidad del aire en la estación de monitoreo Universidad de Talca. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que, para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia, se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. No obstante, con el objetivo de identificar tendencias se analizaron todos los registros disponibles, con excepción de los datos no validados.

Tabla 3- 33: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo Universidad de Talca (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	**2021**	**2022**
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	360	361	359
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**99%**	**98%**
MP_{10}	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	357	361	360
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**98%**	**99%**	**99%**

Fuente: ENVIS en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, la estación de monitoreo posee más del 98% de los registros del periodo evaluado. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 34: Disponibilidad de datos anuales Estación de Monitoreo Universidad de Talca (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
$MP_{2,5}$	2020	360	0	5
	2021	361	0	4
	2022	359	0	4
MP_{10}	2020	357	0	6
	2021	361	0	0
	2022	360	0	4

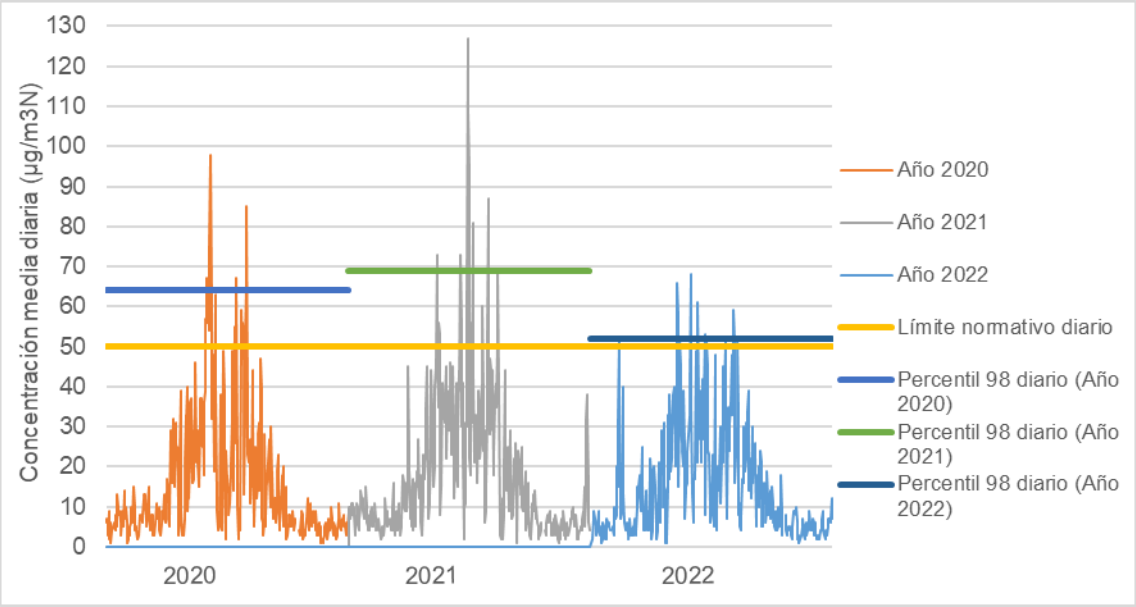
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los acápites siguientes, se presenta el detalle de los contaminantes: $MP_{2,5}$ y MP_{10} registrados por la Estación de monitoreo Universidad de Talca.

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo Universidad de Talca

Los siguientes gráficos presentan las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire Universidad de Talca contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias, cuyo valor es de 50 µg/m^{3}N según el D.S. N°12/2011 del MMA (Tabla 3-23).

Gráfico 3- 61: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Universidad de Talca (2020-2022).

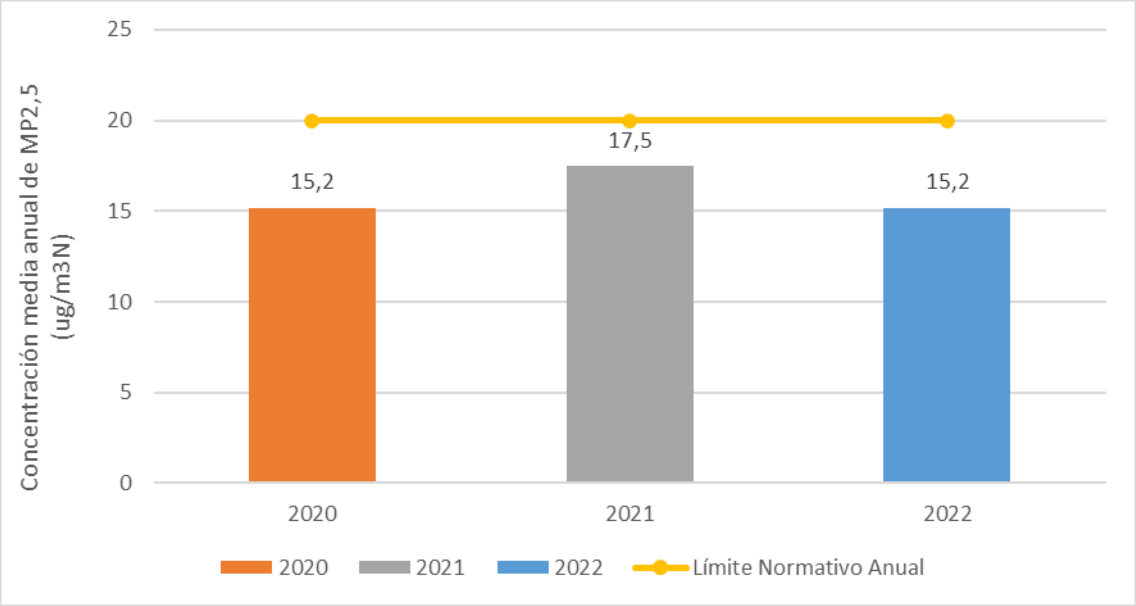


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$, se encuentran por sobre del límite normativo durante los tres años considerados, evidenciando un ciclo anual definido, donde los niveles más altos que sobrepasan el límite normativo de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos que no sobrepasan el límite normativo, se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2020, 2021 y 2022, se observan 19, 16 y 12 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 5%, 4% y 4% del total de registros anuales, respectivamente. El punto de concentración más alto se alcanzó en junio de 2021 con valor de 127 $\mu g/m^3N$.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo Universidad de Talca.

Gráfico 3- 62: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo Universidad de Talca.



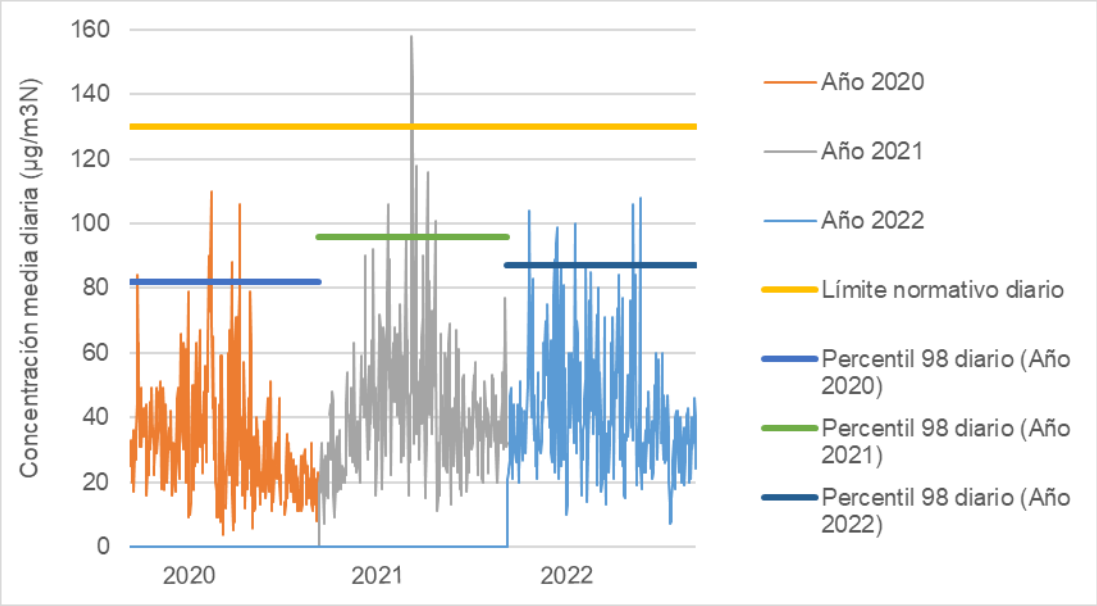
Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales presentados en el gráfico previo, se observó que los registros de los promedios anuales se encuentran bajo el límite normativo de 20 µg/m^{3}N en los 3 años considerados.

- Material Particulado Respirable (MP_{10}) – Estación de monitoreo Universidad de Talca

La siguiente figura presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria para los años 2020, 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo Universidad de Talca contrastadas con el límite normativo, correspondiente al percentil 98 de concentraciones medias diarias indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 63: Serie de tiempo diaria anual de concentración de MP_{10} – Estación de monitoreo Universidad de Talca.

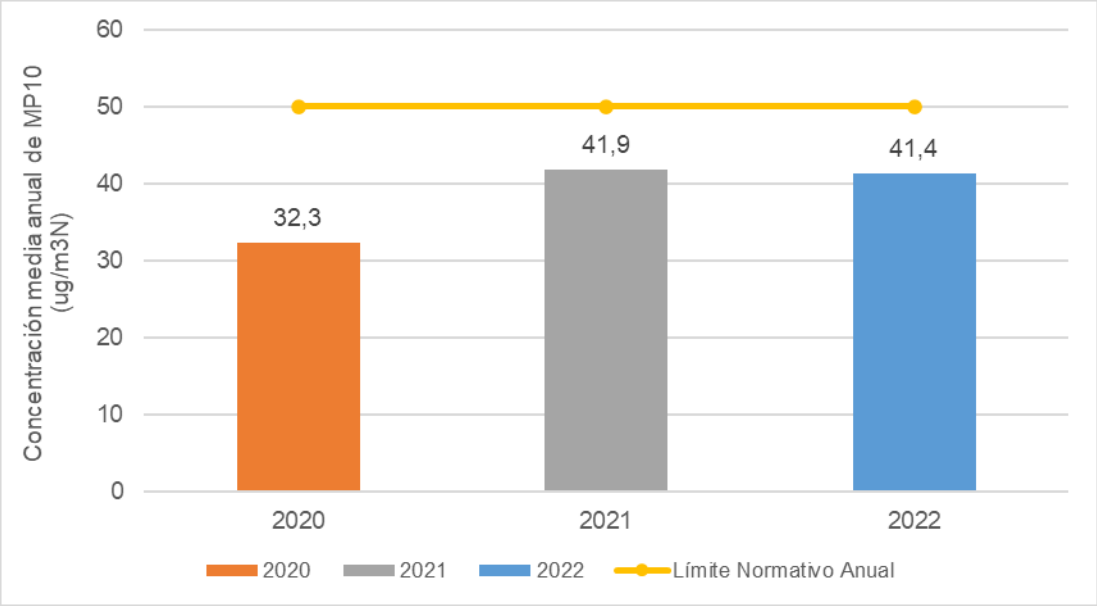


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

A partir de lo indicado en el gráfico anterior, se observó que los percentiles se encuentran bajo el límite normativo durante todo el periodo evaluado. El peak de concentración fue el año 2021 alcanzando un valor de 158 µg/m^{3}N, lo que representa menos del 1% del total de registros de ese año, por lo que se descarta un estado de saturación en su entorno cercano. Además, similar a lo indicado en las estaciones previas, durante los tres años evaluados, se evidenció un ciclo anual definido, donde los niveles más altos de concentración se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones más bajos, se registran durante los meses más cálidos.

En el siguiente gráfico se presentan los registros asociados a los promedios anuales de la estación de monitoreo Universidad de Talca.

Gráfico 3- 64: Promedios anuales de concentraciones de MP_{10} – Estación de monitoreo Universidad de Talca.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a lo indicado en el siguiente gráfico, los registros del promedio anual de concentración de los tres años considerados se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^{3}N. Se observó un aumento sostenido entre cada año.

- Estación de Monitoreo San Carlos

La siguiente tabla presenta la cantidad de datos observados disponibles del total anual que se procesaron para determinar la caracterización de la calidad del aire en la estación de monitoreo San Carlos. Cabe mencionar que las normas de calidad del aire establecen que para evaluar los límites normativos y decretar zonas saturadas o de latencia se debe tener al menos un 75% de datos válidos de un año calendario. Cabe señalar que esta estación no cumple con el requisito de trianualidad por lo que sólo se describirán los datos disponibles con objeto de identificar posibles tendencias en su entorno.

Tabla 3- 35: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo San Carlos (2020-2022).

Contaminante	Datos	Años considerados		
		2020	2021	2022
$MP_{2,5}$	Periodo monitoreado	Enero - Diciembre	Enero - Diciembre	Enero - Noviembre
	N° de registros totales (Promedios 24 h.)	366	365	365
	N° de datos observados	0	295	329
	Porcentaje datos observados respecto al periodo total anual	**0%**	**81%**	**90%**

Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en la tabla previa, los registros de la estación San Carlos poseen más del 81% del total de registros de los años 2021 y 2022. Complementario a esto, en la siguiente tabla se presenta el detalle de los registros, diferenciando entre registro: Validado, Preliminar o No Validado.

Tabla 3- 36: Disponibilidad de datos anuales en Estación de Monitoreo San Carlos (2020-2022).

Contaminante	Año	Tipo de Registro		
		Validado	Preliminar	No Validado
$MP_{2,5}$	2020	0	0	0
	2021	154	141	2
	2022	329	0	12

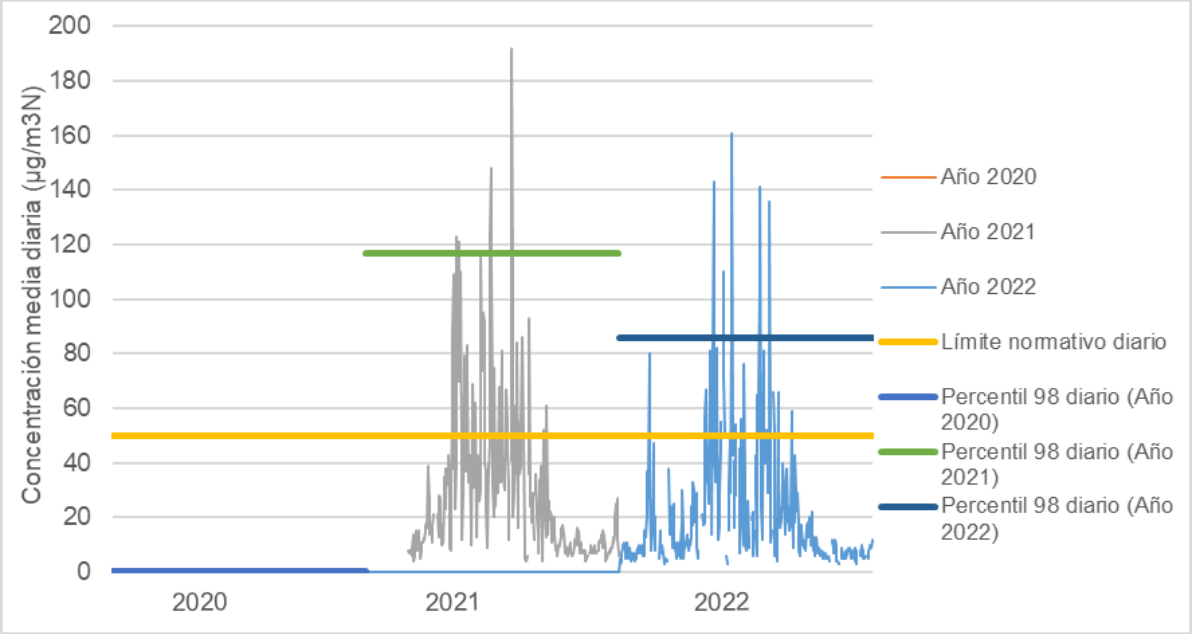
Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, en los acápites siguientes, se presenta el detalle de $MP_{2,5}$ registrados por la estación de monitoreo San Carlos.

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$) – Estación de monitoreo San Carlos

El siguiente gráfico presenta las series de tiempo anuales de concentración media diaria de material particulado respirable fino ($MP_{2,5}$) para los años 2021 y 2022 medidas en la estación de monitoreo de calidad del aire San Carlos contrastadas con el límite normativo indicado en la Tabla 3-23.

Gráfico 3- 65: Serie de tiempo diaria anual de concentración de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo San Carlos.

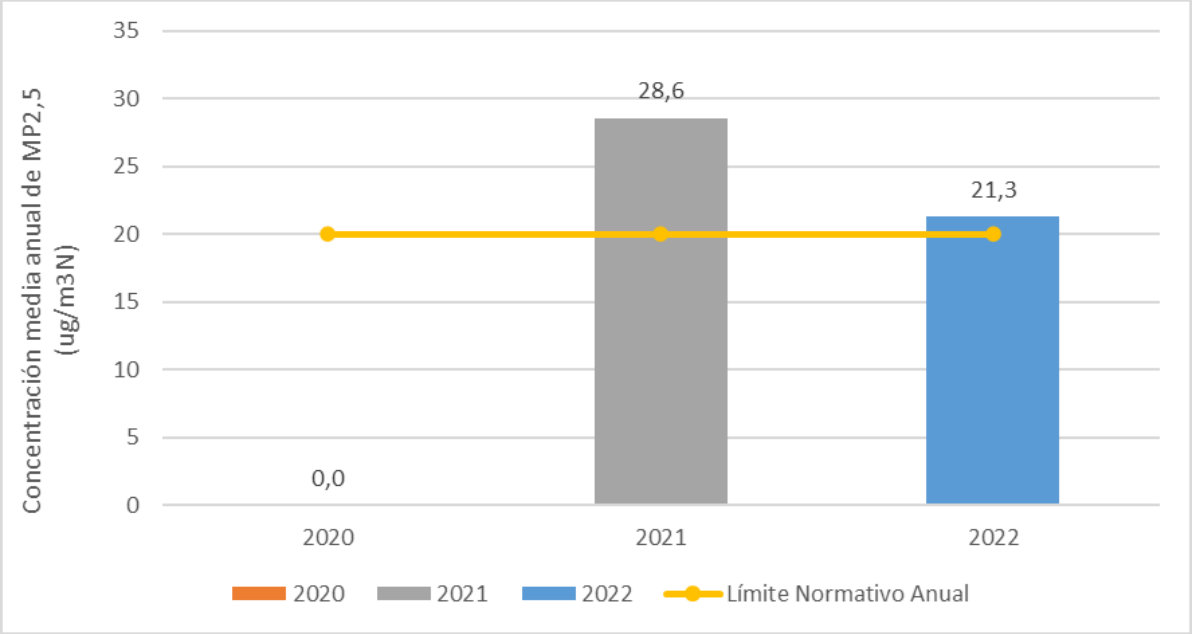


Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

De acuerdo con lo indicado en el gráfico previo, se observó que las concentraciones diarias de $MP_{2,5}$ y los percentiles 98 de cada año, se encuentran por sobre el límite normativo durante los dos años considerados, evidenciando un claro estado de saturación en su entorno. Además, se evidencia un ciclo anual definido, donde los niveles de concentración que sobrepasan la normativa se producen durante los meses más fríos y los niveles de concentraciones que no sobrepasan la normativa se registran durante los meses más cálidos. Durante los años 2021 y 2022, se observan 45 y 32 registros que superan la normativa aplicable, lo que representa el 15% y 10% del total de registros anuales, respectivamente. El peak de concentración más elevados se registran durante el año 2021 con valores de 192 µg/m^3N durante el mes de julio.

Por otro lado, el siguiente gráfico muestra los registros asociados a los promedios anuales de los datos extraídos de la estación de monitoreo San Carlos.

Gráfico 3- 66: Promedios anuales de concentraciones de $MP_{2,5}$ – Estación de monitoreo San Carlos.



Fuente: ENVIS, en base a datos SINCA, 2022.

Respecto a los promedios anuales graficados anteriormente, se observó que durante los 2 años la media anual se encuentra por sobre el límite normativo de 20 µg/m^{3}N.

3.2.3.4.2 Resumen de contaminantes

En la siguiente tabla se resume la caracterización ambiental del componente calidad del aire en las estaciones de monitoreo Purén, INIA Chillán, Linares, La Florida, U.C. Maule, Universidad de Talca y San Carlos[2] apropósito de indicar, posteriormente, los estados de latencia y saturación en el AI para cada tipo de contaminante e intervalo de tiempo. En la primera columna se indica el contaminante analizado, en la segunda y tercera el tipo de norma (primaria o secundaria) y el estadístico asociado. En la columna siguiente referido a los registros monitoreados se presentan

[2] Recordar que la estación no cumple con el criterio de trianualidad.

los valores anuales asociados a cada estadístico con su respectivo promedio trianual, este valor es comparado con el valor normativo indicado previamente en la Tabla 3-23 y si este valor es menor a 100% no se considera como sobrepasada la normativa. Finalmente, en las últimas dos columnas se presenta la unidad de medición y el decreto asociado.

Cabe indicar que se señala en color rojo cuando se presenten estados de saturación, es decir, el valor indicado en la columna Porcentaje Norma supera el 100% de la norma (Porcentaje Norma > 100%) y se señala en color amarillo cuando se presenten estados de latencia, es decir, el valor de la columna Porcentaje Norma se encuentre entre 80% y 100% (80%<Porcentaje Norma<100%).

Tabla 3- 37: Resumen de estadísticos asociados a registros monitoreados (2020-2022).

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Registro monitoreado (µg/m³N)				Norma	Porcentaje Norma	Unidad	Decreto
			2020	2021	2022	Promedio trianual				
Estación Purén										
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	41,3	42,4	38,9	40,8	50	82%	µg/m³N	D.S. N°12/22 MINSEGPRES
		Percentil 98 diario	139,0	158,0	119,0	138,0	130	107%	µg/m³N	
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	26,4	29,3	25,9	27,2	20	136%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	117,0	144,0	114,0	125,0	50	250%	µg/m³N	
Estación INIA, Chillan										
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	26,0	31,0	27,2	28,1	50	56%	µg/m³N	D.S. N°22/22 MINSEGPRES
		Percentil 98 diario	65,0	76,0	61,0	67,3	130	52%	µg/m³N	
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	12,8	20,8	16,2	16,6	20	83%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	46,0	70,0	58,0	58,0	50	116%	µg/m³N	
Estación Linares										
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	27,2	30,1	26,0	27,7	20	139%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	108,0	138,0	93,0	113,0	50	226%	µg/m³N	
Estación La Florida										

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Registro monitoreado (µg/m³N)				Norma	Porcentaje Norma	Unidad	Decreto
			2020	2021	2022	Promedio trianual				
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	37,9	40,4	36,0	38,1	50	76%	µg/m³N	D.S. N°12/22 MINSEGPRES
		Percentil 98 diario	119,0	142,0	105,0	122,0	130	94%	µg/m³N	
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	26,4	30,1	24,3	26,9	20	135%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	117,0	124,0	97,0	112,7	50	225%	µg/m³N	
SO_2	Primaria	Promedio anual	2,9	2,8	2,7	2,8	60	5%	µg/m³N	D.S N°104/18 MMA
		Percentil 99 diario	5,4	4,4	4,7	4,8	150	3%	µg/m³N	
		Percentil 98,5 horario anual	6,0	5,4	4,9	5,4	350	2%	µg/m³N	
	Secundaria	Promedio anual	2,9	2,8	2,7	2,8	60	5%	µg/m³N	D.S N°22/09 MINSEGPRES
		Percentil 99,7 diario	6,6	4,8	5,8	5,7	260	2%	µg/m³N	
		Percentil 99,73 horario	9,6	9,0	6,8	8,5	700	1%	µg/m³N	
NO_2	Primaria	Promedio del periodo	12,4	12,5	15,2	13,4	100	13%	µg/m³N	D.S N°114/02 del MINSEGPRES
		Percentil 99 horario	61,5	51,3	61,0	57,9	400	14%	µg/m³N	
CO	Primaria	Percentil 99 8 horas	4.728	5.076	3.583	4.462	10.000	45%	µg/m³N	D.S. N°115/02 MINSEGPRES
		Percentil 99 horario	6.470	6.551	4.867	5.963	30.000	20%	µg/m³N	
Estación U.C. Maule										
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	34,9	37,7	32,4	35,0	50	70%	µg/m³N	D.S. N°12/22 MINSEGPRES
		Percentil 98 diario	84,0	95,0	68,0	82,3	130	63%	µg/m³N	
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	16,8	21,0	17,3	18,4	20	92%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	67,0	76,0	52,0	65,0	50	130%	µg/m³N	
Universidad de Talca										
MP_{10}	Primaria	Promedio del periodo	32,3	41,9	41,4	38,5	50	77%	µg/m³N	D.S. N°12/22 MINSEGPRES

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Registro monitoreado (µg/m³N)				Norma	Porcentaje Norma	Unidad	Decreto
			2020	2021	2022	Promedio trianual				
		Percentil 98 diario	82,0	96,0	87,0	88,3	130	68%	µg/m³N	
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	15,2	17,5	15,2	16,0	20	80%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	64,0	69,0	52,0	61,7	50	123%	µg/m³N	
San Carlos[3]										
$MP_{2,5}$	Primaria	Promedio del periodo	0	28,6	21,3	25,0	20	125%	µg/m³N	D.S. N°12/11 MMA
		Percentil 98 diario	0	117,0	86,0	101,5	50	203%	µg/m³N	

Fuente: ENVIS, 2022.

3.2.3.5 Determinación calidad del aire

3.2.3.5.1 Estación de Monitoreo Purén

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 98% de los datos de los años 2020, 2021 y 2022.

Respecto al percentil 98 diario de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante los tres años considerados y, por lo tanto, presenta un estado de saturación en su promedio trianual al encontrarse por sobre la normativa aplicable.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observó que se encuentran por sobre el límite normativo de 20 µg/m³N en todo el periodo considerado, presentando un claro estado de saturación en su promedio trianual con un 136% de normativa ambiental.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación de monitoreo Purén se encuentra en un estado de saturación por $MP_{2,5}$ en todos sus estadísticos.

[3] Se calcula el promedio de 2 años.

- Material Particulado Respirable (MP_{10})

A partir de los datos indicados, la estación registró para los años 2020, 2021 y 2022 un 99%, 98% y 99% del total de registros, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario de MP_{10} se observó que se encuentra por sobre el límite normativo durante los años 2020 y 2021 y bajo este durante el año 2022, presentando un estado de saturación en su promedio trianual al encontrarse sobre el 100% de su normativa.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observó que se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^3N para cada año considerado y en su promedio trianual se evidencia un estado de latencia al encontrarse entre el 80% a 100% de su normativa ambiental aplicable.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación de monitoreo Purén se encuentra en un estado de latencia por MP_{10} en su estadístico anual y saturado en su estadístico diario.

3.2.3.5.2 Estación de Monitoreo INIA, Chillán

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, la estación registró un 98% de los datos de los años 2020, 2021 y 2022.

Respecto al percentil 98 diario de $MP_{2,5}$ se observó que estos se encuentran por sobre el límite normativo durante los años 2021 y 2022 y bajo la normativa durante el año 2020. En su promedio trianual, se evidencia un estado de saturación con un 116% de la normativa ambiental aplicable.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observa que se encuentran por sobre el límite normativo de 20 µg/m^3N durante el año 2021 y bajo durante los años 2020 y 2022. Luego, la estación en su promedio trianual evidencia un estado de latencia en promedio anual.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación se encuentra en un estado de saturación por $MP_{2,5}$ en su percentil 98 (diario) y un estado de latencia en su promedio anual.

- Material Particulado Respirable (MP_{10})

A partir de los datos indicados, la estación registró el 99% del total de registros de los años 2020 y 2022 y el 91% para el año 2021, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario de MP_{10} se observó que durante todo el periodo considerado se encuentra bajo el límite normativo de 130 µg/m^3N, evidenciando que su entorno no presenta un estado de latencia ni saturación.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observa que se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^3N para cada año considerado, descartando un estado de saturación en su entorno.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación no se encuentra en un estado de latencia ni saturación por MP_{10} en todos sus estadísticos.

3.2.3.5.3 Estación De Monitoreo Linares

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 96%, 98% y 97% del total de registros de los años 2020, 2021 y 2022, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario y promedio anual de concentraciones de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante todo el periodo evaluado, presentando un estado de saturación en su entorno cercano en todos sus estadísticos.

3.2.3.5.4 Estación De Monitoreo La Florida

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de los datos indicados, la estación registró el 98% del total de registros del año 2020 y 99% de los años 2021 y 2022.

Respecto al percentil 98 diario y promedio anual de concentraciones de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante todo el periodo evaluado, presentando un estado de saturación en su entorno cercano en todos sus estadísticos.

- Material Particulado Respirable (MP_{10})

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 98% del total de registros durante el año 2020 y 2021 y un 96% durante el año 2022.

Respecto al percentil 98 diario de MP_{10} se observó que se encuentran bajo el límite normativo durante los tres años 2020 y 2022 considerados y no presenta un estado de saturación, pero sí de latencia en su promedio trianual al encontrarse entre un 80% y 100% de su normativa ambiental aplicable.

Respecto a los promedios anuales se observó que se encuentran bajo el límite normativo de 50 µg/m^3N para cada año considerado, no evidenciando un estado de saturación ni latencia en su entorno cercano.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación se encuentra en un estado de latencia por MP_{10} en su estadístico diario.

- Dióxido de azufre (SO_2)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró más del 97% de los datos horarios y más del 98% de los datos diarios, en todo el periodo evaluado.

Los percentiles de las concentraciones diarias y horarias de SO_2 se encuentran por debajo del límite normativo primario y secundario durante todo el periodo considerado y fuera del rango de latencia (<80% de concentración). Las concentraciones anuales promedio de los registros de los años 2020, 2021 y 2022 también se encuentran bajo el límite normativo de 60 ug/m^3N y del rango de latencia.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación no se encuentra en un estado de latencia ni saturación por SO_2 en ninguno de sus estadísticos.

- Dióxido de nitrógeno (NO_2)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 98% del total de datos durante los años 2020 y 2022 y un 97% del total de registros durante el año 2021.

Respecto al percentil 98 horario, las concentraciones horarias de NO_2 se encuentran por debajo del límite normativo durante los 3 años considerados y fuera del rango de latencia.

Por otro lado, los promedios de las concentraciones anuales promedio también se encuentran por debajo del límite establecido en la normativa durante los 3 años considerados y fuera del rango de latencia.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación no se encuentra en un estado de latencia ni saturación por NO_2 en ninguno de sus estadísticos.

- Monóxido de carbono (CO)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 82% del total de datos del año 2020 y más del 98% del total de datos de los años 2021 y 2022.

Respecto a los percentiles de 99 diario, se observó que, durante todo el periodo considerado, se mantuvo bajo el límite normativo de 30.000 ug/m^{3}N, encontrándose fuera del rango de latencia y saturación.

Respecto a las máximas concentraciones horarias diarias de 8 horas de CO de todo el periodo considerado se encuentran bajo del límite correspondiente a 10.000 µg/m^{3}N, a excepción de dos horas del 2021 durante el mes de julio donde si se superan dicho limite.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación no se encuentra en un estado de latencia ni saturación por CO en ninguno de sus estadísticos.

3.2.3.5.5 Estación de Monitoreo U.C. Maule

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 96%, 98% y un 99% del total de registros de los años 2020, 2021 y 2022.

Respecto al percentil 98 diario de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante los tres años evaluados, evidenciando un estado de saturación en su entorno cercano.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observa que se encuentran por sobre el límite normativo de 20 µg/m^{3}N sólo durante el año 2021 y se encuentra bajo el límite normativo durante los años 2020 y 2022. Su promedio trianual evidencia un estado de latencia.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación se encuentra en un estado de saturación por $MP_{2,5}$ en su percentil 98 diario y en un estado de latencia en su promedio anual.

- Material Particulado Respirable (MP_{10})

A partir de los datos indicados, se observó que la estación registró el 97%, 98% y 99% del total de registros de los años 2020, 2021, 2022, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario de MP_{10} y a los promedios anuales, se observó que se encuentran bajo el límite normativo durante todo el periodo evaluado, no presentando un estado de saturación ni latencia en su promedio trianual al encontrarse bajo la normativa ambiental aplicable.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación, no se encuentra ni en estado de latencia ni saturación por MP_{10} en ninguno de sus estadísticos.

3.2.3.5.6 Estación de Monitoreo Universidad de Talca

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 98%, 99% y 98% del total de registros de los años 2020, 2021 y 2022, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante los tres años considerados, presentando un claro estado de saturación en su entorno cercano.

Respecto a los registros de los promedios anuales se observa que se encuentran bajo el límite normativo de 20 $\mu g/m^3N$, pero de acuerdo con lo indicado en la tabla previa, se observó que el entorno de la estación está dentro del estado de latencia en su promedio trianual.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación se encuentra en un estado de saturación por $MP_{2,5}$ en su percentil 98 diario y estado de latencia en su promedio anual.

- Material Particulado Respirable (MP_{10})

A partir de los datos indicados, la estación registró el 98%, 99% y 99% del total de registros de los años 2020, 2021 y 2022, respectivamente.

Respecto al percentil 98 diario y a los promedios anuales de MP_{10} se observó que, ambos se encuentran por bajo su límite normativo, descartando un estado de saturación y latencia en el entorno cercano de la estación.

Por lo tanto, el entorno cercano de la estación, no se encuentra ni en estado de latencia ni saturación por MP_{10} en ninguno de sus estadísticos.

3.2.3.5.7 Estación de Monitoreo San Carlos

- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$)

A partir de lo indicado, se observó que la estación registró un 81% del total de registros de los años 2021, y un 90% de los datos del año 2022.

Respecto al percentil 98 diario y al promedio anual de $MP_{2,5}$ se observó que se encuentran por sobre el límite normativo durante los 2 años considerados, es decir, con el promedio de los dos años se observó una tendencia a un estado de saturación en su entorno cercano en ambos estadísticos.

3.2.4 CONCLUSIONES

Para caracterizar la calidad del aire en el entorno del Proyecto se realizó la revisión de bases de datos de estaciones de medición de contaminantes pertenecientes al Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), identificando 7 estaciones: Purén (ubicada a 11 km), INIA Chillán (ubicada a 11,2 km), Linares (ubicada a 4,4 km), La Florida (ubicada a 32,2 km), U.C. Maule (ubicada a 30,1 km), Universidad de Talca (ubicada a 28,4 km) y San Carlos (ubicada a 3,9 km), sin embargo, esta ultimo no fue utilizada para definir el AI puesto no cumple con todos los criterios dados en el planteamiento metodológico.

Tras la revisión de datos e identificación de normativa de calidad ambiental aplicable al Proyecto y su área de influencia, se identificó que existe saturación y latencia de material particulado en sus fracciones MP_{10} y $MP_{2,5}$ en todo el entorno cercano de cada estación en evaluación. En particular, se determinó lo siguiente:

- Estación Purén: Su entorno cercano se encuentra en un estado de latencia por MP_{10} en su estadístico anual y saturado en su estadístico diario, y se encuentra en estado de saturación por $MP_{2,5}$ en todos sus estadísticos.
- Estación INIA Chillán: Su entorno cercano se encuentra en un estado de latencia por $MP_{2,5}$ en su estadístico anual y saturado en su percentil 98 diario.
- Estación Linares: Su entorno cercano se encuentra saturado por $MP_{2,5}$ en todos sus estadísticos.

- Estación La Florida: Su entorno cercano se encuentra saturado por $MP_{2,5}$ en todos sus estadísticos y latente por MP_{10} en su estadístico diario.
- Estación U.C. Maule: Su entorno cercano se encuentra en un estado de latencia por $MP_{2,5}$ en su estadístico anual y saturado en su percentil 98 diario.
- Estación Universidad de Talca: Su entorno cercano se encuentra en un estado de latencia por $MP_{2,5}$ en su estadístico anual y saturado en su percentil 98 diario.
- Estación San Carlos: Su entorno cercano se encuentra con una tendencia a un estado de saturación por $MP_{2,5}$ en su estadístico anual y saturado en su percentil 98 diario.

Esta condición es atribuible al uso de combustibles destinado a la calefacción de los hogares (leña húmeda, leña seca, pellets, etc.) lo genera un empobrecimiento en la calidad del aire en los meses más fríos.

La siguiente tabla presenta una breve descripción del comportamiento de la calidad del aire en cada puente.

Tabla 3- 38: Comportamiento de cada puente respecto a la calidad del aire

Obra asociada al Proyecto	Comuna	Descripción
Cunaco Oriente	Villa Alegre	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado.
		De acuerdo con los resultados obtenido en el presente anexo, su entorno no presenta un estado de saturación ni latencia por ningún contaminante.
Ancoa N°1 Oriente	Linares	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado.
		Los registros de la estación Linares indican que su entorno se encuentra saturado por MP2,5, por lo tanto, de acuerdo con lo señalado en la Guía de criterios de evaluación en el SEIA “Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5”, los receptores humanos presentes en esta zona se encuentran bajo un escenario de riesgo preexistente.
Ancoa N°2 Oriente		Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado.
Longaví Oriente	Retiro	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado
Copihue Oriente		De acuerdo con los resultados obtenido en el presente anexo, su entorno no presenta un estado de saturación ni latencia por ningún contaminante.

Obra asociada al Proyecto	Comuna	Descripción
Copihue Poniente		
Colliguay Oriente		
Parral Oriente	Parral	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado
Parral Ramal Poniente		De acuerdo con los resultados obtenido en el presente anexo, su entorno no presenta un estado de saturación ni latencia por ningún contaminante.
Parral Ramal Oriente		
Enlace Aníbal Pinto		
Ñiquén Oriente	Ñiquén	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado
		De acuerdo con los resultados obtenido en el presente anexo, su entorno no presenta un estado de saturación ni latencia por ningún contaminante.
Navotavo Oriente	San Carlos	Al no estar inserto en una zona declarada saturada ni latente, no posee un PDA asociado.
Lilahue CL Oriente		Los registros de la estación San Carlos indican que de manera preliminar (no cumple con el numero minino de registros) su entorno posee una tendencia a la saturación por MP2,5, por lo tanto, de acuerdo con lo señalado en la Guía de criterios de evaluación en el SEIA “Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5”, los receptores humanos presentes en esta zona podrían encontrarse bajo un escenario de riesgo preexistente.
Lilahue CL Poniente		
Ninquihue Poniente		
Menelhue Poniente		
Nebuco Oriente	Chillán Viejo	De acuerdo con lo señalado en el D.S.36/13, la obra está inserta en la zona declarada saturada por MP10 y 2,5 como concentración diaria y latente por MP10 como concentración anual, y, por el D.S.48/16 posee un Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Chillan y Chillan Viejo, por lo que, en caso de superar los límites establecidos de 1 ton/año de MP en dicho plan, deberá compensar sus emisiones en un 120%.

Obra asociada al Proyecto	Comuna	Descripción
3ra Pista Puente Nebuco Poniente y calle local		De acuerdo con los resultados de los registros de las estaciones pertenecientes a la misma comuna (Purén e INIA Chillan) donde está inserta la obra, se reafirma esta condición dado que el entorno de ambas estaciones presenta una condición de saturación y latencia de MP por lo tanto, de acuerdo con lo señalado en la Guía de criterios de evaluación en el SEIA “Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5”, los receptores humanos presentes en esta zona se encuentran bajo un escenario de riesgo preexistente.

Fuente: ENVIS, 2023.

3.2.5 BIBLIOGRAFÍA

SINCA. (2022). Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Obtenido de https://sinca.mma.gob.cl/index.php/

PPDA (2023). Planes de Descontaminación Atmosférica. Obtenido de https://ppda.mma.gob.cl/

3.3 LÍNEA BASE RUIDO Y VIBRACIONES

La presente sección da cuenta del levantamiento de Línea de base de ruido y vibraciones en el marco del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”.

3.3.1 OBJETIVOS

3.3.1.1 Objetivo general

Describir y caracterizar el componente Ruido y Vibraciones en el Área de Influencia (AI) del Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”.

3.3.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los niveles de línea base de ruido ambiental en el área de influencia del Proyecto.
- Caracterizar los niveles de línea base de vibración ambiental en el área de influencia del Proyecto.

3.3.2 DEFINICIÓN DE RECEPTORES SENSIBLES EN GRUPOS HUMANOS Y EN FAUNA NATIVA

3.3.2.1 Grupos Humanos

Para la definición de los puntos representativos de receptores en el Área de Influencia del Proyecto se consideraron los siguientes lineamientos del documento de referencia “Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Ruido y Vibración en el SEIA (SEA, 2019)”:

- Representar la ubicación más expuesta de un receptor o un conjunto de ellos a las emisiones de ruido y vibración.
- Incluir un número suficiente de puntos para representar la totalidad de receptores potencialmente afectados.

- Considerar que el ciclo temporal más vulnerable a las emisiones de niveles de ruido y vibraciones debe ser coincidente con los períodos más sensibles de los receptores que se representan.

Con base en lo anterior, se definieron un total 38 receptores distribuidos en cada uno de los 18 puentes del proyecto, tomando en cuenta la cercanía de éstos con las obras del proyecto dentro del AI.

En estos receptores se efectuó el levantamiento de niveles basales para la caracterización vibroacústica diurna y nocturna

La siguiente tabla presenta la identificación con coordenadas UTM (WGS 84) de los 38 receptores identificados siguiendo los lineamientos antes indicados para su definición.

Tabla 3- 39: Receptores (Grupos Humanos) identificados en el área de influencia del Proyecto

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
CN1	257815	6042885	Comercial (Hostería)	Puente Cunaco Oriente	140	Zona Rural
CN2	257658	6042527	Vivienda	Puente Cunaco Oriente	223	Zona Rural
CN3	257812	6042971	Vivienda	Puente Cunaco Oriente	239	Zona Rural
AC1-1	262348	6028200	Predio Agrícola	Puente Ancoa N°1 Oriente	92	Zona Rural

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
AC2-1	262148	6027960	Industria	Puente Ancoa N°2 Oriente	200	Zona Rural
AC2-2	262343	6027739	Industria/Habitat Relevante de Fauna	Puente Ancoa N°2 Oriente	135	Zona Rural
LG-1	254621	6012198	Vivienda/Habitat Relevante de Fauna	Puente Longaví Oriente	175	Zona Rural
LG-2	254626	6012345	Vivienda	Puente Longaví Oriente	77	Zona Rural
LG-3	254522	6012398	Vivienda	Puente Longaví Oriente	40	Zona Rural
LG-4	254295	6012122	Vivienda	Puente Longaví Oriente	70	Zona Rural
CP-1	248585	6002834	Vivienda/Habitat Relevante de Fauna	Puente Copihue Oriente y Poniente	165	Zona Rural
CP-2	248640	6002908	Comercial	Puente Copihue Oriente y Poniente	232	Zona Rural
CP-3	248519	6002429	Predio Agrícola	Puente Copihue	263	Zona Rural

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
				Oriente y Poniente		
CLL-1	247921	5999009	Agrícola/Industrial	Puente Colliguay Oriente	478	Zona Rural
CLL-2	247747	5999788	Agrícola/Industrial	Puente Colliguay Oriente	300	Zona Rural
PR-1	247231	5996616	Industrial	Puente Parral Oriente y Poniente	67	Zona III
PR-2	247147	5996684	Comercial	Puente Parral Oriente y Poniente	92	Zona II
PR-3	247111	5996488	Comercial	Puente Parral Oriente y Poniente	97	Zona II
ÑI-1	245726	5978897	Vivienda	Puente Ñiquén Oriente	363	Zona Rural
ÑI-2	245978	5978559	Agrícola/Habitat Relevante de Fauna	Puente Ñiquén Oriente	79	Zona Rural

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
ÑI-3	246302	5978120	Vivienda	Puente Ñiquén Oriente	610	Zona Rural
NV-1	235658	5965201	Vivienda	Puente Novatavo Oriente	60	Zona II
NV-2	235625	5965243	Vivienda	Puente Novatavo Oriente	71	Zona II
NV-3	235727	5965106	Industrial/Comercial	Puente Novatavo Oriente	84	Zona II
LL-1	231997	5961185	Vivienda/Habitat Relevante de Fauna	Puente Lilahue Oriente y Poniente	44	Zona II
LL-2	231983	5961142	Vivienda	Puente Lilahue Oriente y Poniente	71	Zona II
LL-3	231921	5961132	Vivienda	Puente Lilahue Oriente y Poniente	78	Zona II
LL-4	231902	5961560	Comercial	Puente Lilahue Oriente y Poniente	352	Zona II

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
NQ-1	767102	5958404	Vivienda/Habitat Relevante de Fauna	Puente Ninquihue Poniente	86	Zona II
NQ-2	767149	5958676	Agrícola	Puente Ninquihue Poniente	181	Zona II
NQ-3	766986	5958421	Industrial/Oficina	Puente Ninquihue Poniente	150	Zona II
MN-1	765287	5956210	Agrícola	Puente Menelhue Poniente	138	Zona Rural
MN-2	765425	5956096	Industrial	Puente Menelhue Poniente	39	Zona Rural
MN-3	765565	5956102	Agrícola	Puente Menelhue Poniente	175	Zona Rural
NB-1	749229	5940984	Vivienda	Puente Nebuco Oriente	192	Zona III
NB-2	749323	5941032	Vivienda	Puente Nebuco Oriente	162	Zona III
NB-3	749379	5941041	Vivienda/Habitat Relevante de Fauna	Puente Nebuco Oriente	187	Zona III

Receptor	Coordenadas UTM Datum WGS84		Descripción	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación a zona del D.S. N°38/11 del MMA
NB-4	749487	5941618	Vivienda	Puente Nebuco Oriente	396	Zona III

Fuente: Contador y Campos, 2023.

En el Anexo 3-1 Ruido y Vibraciones del presente Capitulo se incluye el KMZ con la localización de los receptores sensibles correspondientes a Grupos Humanos.

3.3.2.2 Fauna nativa

Para la definición y caracterización de receptores de fauna nativa se toma como referencia lo indicado en el documento “Criterio de Evaluación en el SEIA: Evaluación de Impactos Por Ruido Sobre Fauna Nativa” de abril de 2022 y los antecedentes establecidos en el levantamiento de Línea de Base de fauna del presente Proyecto, donde se determinó la existencia de hábitats relevantes (ribera y pradera antrópica) en 7 sectores del Proyecto (E04 – Puente Ancoa, E05 – Puente Longaví, E06 - Puente Copihue, E09 – Puente Ñiquén, E11 – Puente Lilahue, E12 – Puente Ninquihue, E14 – Puente Nebuco) por su importancia para la reproducción de anfibios clasificados en categoría de amenaza, y 1 sector por presentar actividad reproductiva de avifauna acuática (E04 – Puente Ancoa).

En cada hábitat relevante se considera la superposición del área representativa del objeto de protección y la modificación de los niveles de ruido de fondo producto de las emisiones del proyecto.

Cabe señalar que para este componente a diferencia de medio humano no se evalúan receptores puntuales si no que el polígono representativo del hábitat de relevancia identificado.

3.3.3 NORMATIVA AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO.

3.3.3.1 Decreto Supremo N°38/11 del Ministerio de Medio Ambiente (DecretoSupremo N°38, 2011).

La evaluación de las fuentes de ruido consideradas en este proyecto se llevará a cabo acorde a las exigencias y metodologías establecidas en la normativa de ruido vigente D.S. N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente (Decreto Supremo N°38, 2011).

Dicha normativa establece en los artículos del N°7 al N°10 lo siguiente:

Artículo 7º.- Los niveles de presión sonora corregidos que se obtengan de la emisión de una fuente emisora de ruido, medidos en el lugar donde se encuentre el receptor, no podrán exceder los valores de la Tabla siguiente.

Tabla 3- 40: Niveles máximos de Presión Sonora permisibles según el D.S. N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente

Niveles Máximos Permisibles de Presión Sonora Corregidos (NPC) en dBA		
	De 7 a 21 h	**De 21 a 7 h**
Zona I	55	45
Zona II	60	45
Zona III	65	50
Zona IV	70	70

Fuente: Contador y Campos, 2023.

Artículo 8º.- En caso de ser necesario, corresponderá a la Dirección de Obras de la Municipalidad respectiva, conforme a lo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, certificar la zonificación del emplazamiento del receptor mediante el Certificado de Informaciones Previas. No obstante, de presentarse dudas respecto de la zonificación asignada alárea de emplazamiento del receptor en el respectivo Instrumento de Planificación Territorial, corresponderá a la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo competente, resolvery determinar la zonificación que en definitiva corresponda asignar a la referida área, según lo dispuesto en el artículo 4º de la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC).

Artículo 9º.- Para zonas rurales se aplicará como nivel máximo permisible de presión sonora corregido (NPC), el menor valor entre:

a) Nivel de ruido de fondo + 10 dB(A)
b) NPC para Zona III de la Tabla previa.

Este criterio se aplicará tanto para el período diurno como nocturno, de forma separada.

Artículo 10º.- Los niveles generados por fuentes emisoras de ruido deberán cumplir con los niveles máximos permisibles de presión sonora corregidos, correspondientes a la zona en que se encuentra el receptor.

En complemento a lo establecido en Artículo 8°, la Resolución Exenta 491 del Ministerio del Medio Ambiente (Resolución Exenta N°491, 2016) dicta instrucción de carácter general sobre

criterios para homologación de zonas del Decreto Supremo 38, indica: *"En resumen, entendiendo que la OGUC define los tipos de usos de suelo Residencial (R), Equipamiento (Eq), Actividades Productivas (AP), Infraestructura (Inf), Área Verde (AV) y Espacio Público (EP), homologando las posibles combinaciones de usos de suelo y aplicando los criterios definidos anteriormente, es posible señalar la siguiente tabla de homologaciones":*

Tabla 3- 41: Extracto de Resolución Exenta 491 del MMA publicada en Diario Oficial, miércoles 8 de junio de 2016, Criterios Para Homologación de Zonas Norma De Emisión De Ruidos DS Nº38, de 2011 Del MMA

Zona D.S. N° 38 del MMA	Combinaciones de usos de suelo
Zona I	• R • R + EP + AV • R + EP • R + AV • EP + AV • EP • AV
Zona II	• R + Eq • R + Eq + EP + AV • R + Eq + EP • R + Eq + AV • Eq • Eq + EP + AV • Eq + EP • Eq + AV
Zona III	• R + Eq + AP • R + Eq + EP + AV + AP • R + Eq + EP + AP • R + Eq + AV + AP • Eq + AP • Eq + EP + AV + AP • Eq + EP + AP • Eq + AV + AP • R + Eq + Inf • R + Eq + EP + AV + Inf • R + Eq + EP + Inf • R + Eq + AV + Inf • Eq + Inf • Eq + EP + AV + Inf • Eq + EP + Inf • Eq + AV + Inf • R + Eq + AP + Inf • R + Eq + EP + AV + AP + Inf

Zona D.S. N° 38 del MMA	Combinaciones de usos de suelo
	• R + Eq + EP + AP + Inf • R + Eq + AV + AP + Inf • Eq + AP + Inf • Eq + EP + AV + AP + Inf • Eq + EP + AP + Inf • Eq + AV + AP + Inf
Zona IV	• AP • AP + EP • AP + EP + AV • Inf • Inf + EP • Inf + EP + AV • AP + Inf • AP + Inf + EP • AP + Inf + EP + AV

Fuente: Resolución Exenta N°491, 2016.

3.3.3.1.1 Determinación del Ruido de Fondo

Para la cuantificación del nivel basal de ruido de fondo en los receptores medidos se consideró lo dispuesto en la normativa vigente:

- Las mediciones de los niveles sonoros se efectuaron según lo dispuesto en su artículo 16°, donde se señala que el equipo de medición se ubicará en caso de ser posible, entre 1,2 y 1,5 metros sobre el nivel del piso y a 3.5 metros o más de cualquier estructura reflectante en caso de mediciones exteriores, y a 1 metro o más de paredes y aproximadamente a 1,5 metros de ventanas, en caso de mediciones interiores.
- La obtención del nivel de ruido de fondo estuvo sujeta a la diferencia que presentan los valores registrados cada 5 minutos, hasta que se considera la lectura como estable (diferencia menor que 2 dB(A) entre cada lectura), de acuerdo con la metodología establecida en el Decreto Supremo N°38/11 del Ministerio de Medio Ambiente (Decreto Supremo N°38, 2011). La medición del ruido de fondo no debe extenderse por un intervalo mayor que 30 minutos.
- Los descriptores utilizados son: Nivel Continuo Equivalente (NPSeq), Niveles mínimos(NPSmín), máximos (NPSmáx).

3.3.3.1.2 Zonificación de puntos de evaluación según normativa aplicable.

La zonificación en los puntos de evaluación es necesaria para establecer los niveles máximos permisibles de ruido para los periodos diurno y nocturno según la normativa vigente.

La herramienta o instrumento de planificación aplicable utilizado para homologar cada zona, de acuerdo con el D.S. N°38/11 (Decreto Supremo N°38, 2011) del Ministerio de Medio Ambiente, corresponde al uso de suelo permitido según plano regulador y ordenanza municipal.

De acuerdo con los antecedentes del proyecto, plano regulador y ordenanzas municipales dela zonas de emplazamiento del Proyecto y considerando lo establecido en los artículos 7, 8, 9 y 10 del D.S. N°38/11 del Ministerio del Medio Ambiente y la resolución exenta N°491 del Ministerio del Medio Ambiente (Resolución Exenta N°491, 2016) dicta instrucción de carácter general sobre criterios para homologación de zonas del Decreto Supremo 38 del Ministerio delMedio Ambiente zonificación del emplazamiento de los receptores.

Tabla 3- 42: Descripción de los puntos de evaluación con su respectiva homologación según zona establecida en el D.S. N°38/11 del MMA

Receptor	Obra Asociada	Comuna	Uso de Suelo de acuerdo con Resolución Exenta 491/16 del MMA	Homologación deacuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA
CN1	Puente Cunaco Oriente	Villa Alegre	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CN2	Puente Cunaco Oriente	Villa Alegre	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CN3	Puente Cunaco Oriente	Villa Alegre	Fuera del límite urbano	Zona Rural
AC1-1	Puente Ancoa N°1Oriente	Linares	Fuera del límite urbano	Zona Rural
AC2-1	Puente Ancoa N°2Oriente	Linares	Fuera del límite urbano	Zona Rural

Receptor	Obra Asociada	Comuna	Uso de Suelo de acuerdo con Resolución Exenta 491/16 del MMA	Homologación deacuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA
AC2-2	Puente Ancoa N°2Oriente	Linares	Fuera del límite urbano	Zona Rural
LG-1	Puente Longaví Oriente	Longaví	Fuera del límite urbano	Zona Rural
LG-2	Puente Longaví Oriente	Longaví	Fuera del límite urbano	Zona Rural
LG-3	Puente Longaví Oriente	Longaví	Fuera del límite urbano	Zona Rural
LG-4	Puente Longaví Oriente	Retiro	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CP-1	Puente Copihue Oriente y Poniente	Retiro	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CP-2	Puente Copihue Oriente y Poniente	Retiro	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CP-3	Puente Copihue Oriente y Poniente	Retiro	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CLL-1	Puente Colliguay Oriente	Parral	Fuera del límite urbano	Zona Rural
CLL-2	Puente Colliguay Oriente	Retiro	Fuera del límite urbano	Zona Rural
PR-1	Puente Parral Oriente y Poniente	Parral	Zona EXAP- Equipamiento, Actividades Productivas e Infraestructura	Zona III
PR-2	Puente Parral Oriente y Poniente	Parral	Zona RE - Equipamiento	Zona II

Receptor	Obra Asociada	Comuna	Uso de Suelo de acuerdo con Resolución Exenta 491/16 del MMA	Homologación deacuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA
PR-3	Puente Parral Oriente y Poniente	Parral	Zona RE - Equipamiento	Zona II
ÑI-1	Puente ÑiquénOriente	Ñiquén	Fuera del límite urbano	Zona Rural
ÑI-2	Puente ÑiquénOriente	Ñiquén	Fuera del límite urbano	Zona Rural
ÑI-3	Puente ÑiquénOriente	Ñiquén	Fuera del límite urbano	Zona Rural
NV-1	Puente Navotavo Oriente	San Carlos	ZH1 - Residencial y Equipamiento	Zona II
NV-2	Puente Navotavo Oriente	San Carlos	ZH1 – Residencial y Equipamiento	Zona II
NV-3	Puente Navotavo Oriente	San Carlos	ZE – Residencial y Equipamiento	Zona II
LL-1	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	San Carlos	ZE – Residencial y Equipamiento	Zona II
LL-2	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	San Carlos	ZE – Residencial y Equipamiento	Zona II
LL-3	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	San Carlos	ZE – Residencial y Equipamiento	Zona II
LL-4	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	San Carlos	ZH-3 – Residencial y Equipamiento	Zona II

Receptor	Obra Asociada	Comuna	Uso de Suelo de acuerdo con Resolución Exenta 491/16 del MMA	Homologación deacuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA
NQ-1	Puente Ninquihue Poniente	San Carlos	ZH1 – Residencial y Equipamiento	Zona II
NQ-2	Puente Ninquihue Poniente	San Carlos	ZP1 - Residencial y Equipamiento	Zona II
NQ-3	Puente Ninquihue Poniente	San Carlos	ZH1 – Residencial y Equipamiento	Zona II
MN-1	Puente Menelhue Poniente	San Carlos	Fuera del límite urbano	Zona Rural
MN-2	Puente Menelhue Poniente	San Carlos	Fuera del límite urbano	Zona Rural
MN-3	Puente Menelhue Poniente	San Carlos	Fuera del límite urbano	Zona Rural
NB-1	Puente Nebuco Oriente	Chillán Viejo	ZSA – Residencial, Equipamiento Actividades Productivas e Infraestructura	Zona III
NB-2	Puente Nebuco Oriente	Chillán Viejo	ZSA – Residencial, Equipamiento Actividades Productivas e Infraestructura	Zona III
NB-3	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Chillán Viejo	ZSA – Residencial, Equipamiento Actividades Productivas e Infraestructura	Zona III
NB-4	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Chillán Viejo	ZSA – Residencial, Equipamiento Actividades Productivas e Infraestructura	Zona III

Fuente: Resolución Exenta N°491, 2016.

3.3.3.1.3 Instrumental de Medición

El D.S. N°38/11 del MMA establece en los artículos del N°11 y N°12 lo siguiente:

Artículo 11º.- Las mediciones se efectuarán con un sonómetro integrador - promediador que cumpla con las exigencias señaladas para las clases 1 o 2, establecidas en la norma IEC 61672/1:2002 "Sonómetros" ("Sound Level Meters") (IEC 61672, 2002)*. Lo anterior se deberá respaldar mediante la presentación de un Certificado de Calibración Periódica vigente.*

Artículo 12º.- El sonómetro integrador-promediador deberá contar, además de lo dispuesto enel artículo anterior, con su respectivo calibrador acústico específico para cada marca y modelo,el cual cumpla con las exigencias señaladas para la clase 1 o 2, en la norma IEC 60942:2003 "Electroacústica - Calibradores acústicos" ("Electroacoustics-Sound calibrators") (IEC 60942, 2017). Lo anterior se deberá respaldar mediante la presentación de un Certificado de Calibración Periódica vigente.

Adicionalmente, en Decreto Exento 542/15 del Ministerio de Salud, establece en su Artículo 3 *“El período de vigencia de los certificados de calibración de lossonómetros es de 2 años. Las mediciones realizadas con sonómetros, cuyo certificado de calibración no se encuentre vigente al momento de realizar tales mediciones, no serán consideradas válidas de acuerdo con la reglamentación vigente”.*

Se utilizó un sonómetro integrador marca Larson Davis, modelo “LXT2” Tipo (Clase) 2 según norma según norma IEC 60942:2003 (IEC 60942, 2017) y un calibrador marca Larson Davis modelo CAL150, ambos certificados de calibración no superan los 2 años y se adjuntan en Anexo 31 Ruido y Vibraciones: Certificados de Calibración.

3.3.3.1.4 Transit Noise and Vibration Assessment Manual, FTA de los EE.UU. (FTA, 2018)

El documento “Transit Noise and Vibration Assessment Manual” de los EE. UU. en adelante “Norma FTA”, es utilizado como norma internacional de referencia aplicable a proyectos en el SEA de acuerdo con lo indicado en el Artículo 11 del D.S. N°40/2013 del MMA “Reglamento delSistema de Evaluación de Impacto Ambiental”, el cual no es modificado por el D.S. N°30/2023 del MMA.

La Norma FTA en su Capítulo 7 establece una metodología para la predicción y evaluación de niveles de vibración asociados a actividades de construcción.

Para proyectar las vibraciones se cuenta como antecedente con el listado de fuentes de vibración presentado por la Norma FTA, así como la ecuación de propagación para el criterio de daño y molestia de la misma norma.

Tabla 3- 43: Listado de fuentes de construcción y nivel de vibración de referencia a 25 pies.

Equipment		PPV at 25 ft, in/sec	Approximate L_v* at 25 ft
Pile Driver (impact)	upper range	1.518	112
	typical	0.644	104
Pile Driver (sonic)	upper range	0.734	105
	typical	0.17	93
Clam shovel drop (slurry wall)		0.202	94
Hydromill (slurry wall)	in soil	0.008	66
	in rock	0.017	75
Vibratory Roller		0.21	94
Hoe Ram		0.089	87
Large bulldozer		0.089	87
Caisson drilling		0.089	87
Loaded trucks		0.076	86
Jackhammer		0.035	79
Small bulldozer		0.003	58

Fuente: Contador y Campos, 2023.

Donde el Criterio de daño se calcula como:

$$PPV = PPV_{ref} \times \left(\frac{D}{25}\right)^{1.5} in/sec$$

Dónde:

PPV: Velocidad peak de partícula proyectada en in/sec.

PPVref : PPV de referencia a 25 pies en in/sec.

D: distancia fuente – receptor en pies.

y el Criterio de molestia se calcula como: $L_v = L_{vref} - 30log\left(\frac{D}{25}\right) VdB$

Dónde:

Lv: Nivel de velocidad proyectado en VdB.

Lvref: Nivel de referencia a 25 pies en VdB.

D: distancia fuente – receptor en pies.

Los niveles proyectados son comparados con los límites establecidos en la norma FTA para dañoy molestia en las personas según categoría de uso de suelo o tipo de edificación según corresponda.

Tabla 3- 44: Límites para criterio de daño, norma FTA.

Building/ Structural Category	PPV, in/sec	Approximate L_v*
I. Reinforced-concrete, steel or timber (no plaster)	0.5	102
II. Engineered concrete and masonry (no plaster)	0.3	98
III. Non-engineered timber and masonry buildings	0.2	94
IV. Buildings extremely susceptible to vibration damage	0.12	90

Fuente: Contador y Campos, 2023.

Tabla 3- 45: Límites para criterio de molestia, norma FTA.

Land Use Category	GBV Impact Levels (VdB re 1 micro-inch /sec)		
	Frequent Events	Occasional Events	Infrequent Events
Category 1: Buildings where vibration would interfere with interior operations.	65 VdB	65 VdB	65 VdB
Category 2: Residences and buildings where people normally sleep.	72 VdB	75 VdB	80 VdB
Category 3: Institutional land uses with primarily daytime use.	75 VdB	78 VdB	83 VdB

Fuente: Contador y Campos, 2023.

3.3.4 RESULTADOS

El presente punto da cuenta de los resultados obtenidos de la campaña de terreno llevada a cabo entre los días 25 de enero al 06 de febrero de 2023, en horarios diurno y nocturno en cada uno de los 38 receptores identificados en el área de influencia del Proyecto.

Para la línea base de ruido se presentan los resultados en base a los descriptores indicados en la normativa vigente correspondientes al NPSeq, NPSmin y NPSmáx en dBA. En el caso de los resultados de vibraciones estos se presentan indicando el valor PPV en mm/s y rms en VdB con referencia a 1 *micro-in/s* en los ejes este, norte y vertical indicando también la frecuencia predominante en cada eje.

Las fichas con los resultados obtenidos para el levantamiento de información de línea base de ruido y vibraciones en los receptores identificados para el área de influencia. Se presentan en el Anexo 3-1 (Ruido y Vibraciones).

Las siguientes tablas resumen, presentan el resumen de niveles de línea base medidos en los receptores identificados en el área de influencia para los componentes ruido y vibraciones.

Tabla 3- 46 Nivel de Línea base de ruido horario diurno

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
CN1	Puente Cunaco Oriente	140	Zona Rural	71.5	57.8	83.4
CN2	Puente Cunaco Oriente	223	Zona Rural	72.8	53.2	84.5
CN3	Puente Cunaco Oriente	239	Zona Rural	62.8	51.2	78.7
AC1-1	Puente Ancoa N°1 Oriente	92	Zona Rural	78.7	59.7	90.3
AC2-1	Puente Ancoa N°2 Oriente	200	Zona Rural	65.5	55.1	81
AC2-2	Puente Ancoa N°2 Oriente	135	Zona Rural	63.8	51.8	76.4
LG-1	Puente Longaví Oriente	175	Zona Rural	57.2	48.7	62.9
LG-2	Puente Longaví Oriente	77	Zona Rural	71	51.7	80.9

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
LG-3	Puente Longaví Oriente	40	Zona Rural	57.2	45.8	66.4
LG-4	Puente Longaví Oriente	70	Zona Rural	66.8	45	76.8
CP-1	Puente Copihue Oriente y Poniente	165	Zona Rural	62.4	54.5	71.2
CP-2	Puente Copihue Oriente y Poniente	232	Zona Rural	61.3	51.8	72.1
CP-3	Puente Copihue Oriente y Poniente	263	Zona Rural	77	59.4	89.1
CLL-1	Puente Colliguay Oriente	478	Zona Rural	72.4	52.5	90
CLL-2	Puente Colliguay Oriente	300	Zona Rural	75.5	57.9	88.4
PR-1	Puente Parral Oriente y Poniente	67	Zona III	72.5	54	83.4

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
PR-2	Puente Parral Oriente y Poniente	92	Zona II	71.2	52.1	87.5
PR-3	Puente Parral Oriente y Poniente	97	Zona II	68	56.9	79.2
ÑI-1	Puente Ñiquén Oriente	363	Zona Rural	43.8	33.7	63.6
ÑI-2	Puente Ñiquén Oriente	79	Zona Rural	78.6	46.8	91.7
ÑI-3	Puente Ñiquén Oriente	610	Zona Rural	42.9	36.9	56.3
NV-1	Puente Navotavo Oriente	60	Zona II	56	44.7	78.8
NV-2	Puente Navotavo Oriente	71	Zona II	53.1	43.6	63.2
NV-3	Puente Navotavo Oriente	84	Zona II	74.3	56.6	84.9

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
LL-1	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	44	Zona II	53.9	48	67.9
LL-2	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	71	Zona II	54.1	47.6	67.3
LL-3	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	78	Zona II	78.5	59.5	88
LL-4	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	352	Zona II	45.4	39.8	66.1
NQ-1	Puente Ninquihue Poniente	86	Zona II	80.2	63	92.6
NQ-2	Puente Ninquihue Poniente	181	Zona II	63.8	49.3	73.2
NQ-3	Puente Ninquihue Poniente	150	Zona II	64.4	49.9	75

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
MN-1	Puente Menelhue Poniente	138	Zona Rural	58.9	47	67.6
MN-2	Puente Menelhue Poniente	39	Zona Rural	77	58.8	88.6
MN-3	Puente Menelhue Poniente	175	Zona Rural	62	46.7	81.8
NB-1	Puente Nebuco Oriente	192	Zona III	54.5	49.8	65
NB-2	Puente Nebuco Oriente	162	Zona III	54.4	46.6	60.2
NB-3	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	187	Zona III	55.5	40.5	72.6
NB-4	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	396	Zona III	58.5	52	69.9

Fuente: Contador y Campos, 2022

Tabla 3- 47 Nivel de línea base de ruido horario nocturno

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
CN1	Puente Cunaco Oriente	140	Zona Rural	74.2	49	84.7
CN2	Puente Cunaco Oriente	223	Zona Rural	73.4	49.3	85.9
CN3	Puente Cunaco Oriente	239	Zona Rural	66.7	58.3	74.4
AC1-1	Puente Ancoa N°1 Oriente	92	Zona Rural	65.5	50.2	74.5
AC2-1	Puente Ancoa N°2 Oriente	200	Zona Rural	67.5	53.4	82.4
AC2-2	Puente Ancoa N°2 Oriente	135	Zona Rural	65.8	50.7	77.3
LG-1	Puente Longaví Oriente	175	Zona Rural	53.6	44.8	61.6
LG-2	Puente Longaví Oriente	77	Zona Rural	72	49.6	83.6

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
LG-3	Puente Longaví Oriente	40	Zona Rural	59.4	46.1	72.8
LG-4	Puente Longaví Oriente	70	Zona Rural	67.2	50.8	78.4
CP-1	Puente Copihue Oriente y Poniente	165	Zona Rural	62.9	48.2	74.9
CP-2	Puente Copihue Oriente y Poniente	232	Zona Rural	62.3	49.7	73
CP-3	Puente Copihue Oriente y Poniente	263	Zona Rural	77.6	53.2	87.1
CLL-1	Puente Colliguay Oriente	478	Zona Rural	66.4	49	82.6
CLL-2	Puente Colliguay Oriente	300	Zona Rural	73.3	51	83.6
PR-1	Puente Parral Oriente y Poniente	67	Zona III	63.4	42.7	76.5

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
PR-2	Puente Parral Oriente y Poniente	92	Zona II	69.2	43.6	81.3
PR-3	Puente Parral Oriente y Poniente	97	Zona II	64.7	50.8	77.4
ÑI-1	Puente Ñiquén Oriente	363	Zona Rural	43.8	33.8	60.7
ÑI-2	Puente Ñiquén Oriente	79	Zona Rural	74.7	57.5	88
ÑI-3	Puente Ñiquén Oriente	610	Zona Rural	46.1	37.7	60.6
NV-1	Puente Navotavo Oriente	60	Zona II	49.9	36.3	63.1
NV-2	Puente Navotavo Oriente	71	Zona II	50.9	37.7	67.2
NV-3	Puente Navotavo Oriente	84	Zona II	64	50.3	73.1

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
LL-1	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	44	Zona II	57.9	50.9	67.4
LL-2	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	71	Zona II	56.2	47.3	65.8
LL-3	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	78	Zona II	76.1	61	89.7
LL-4	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	352	Zona II	58.8	32.8	70.2
NQ-1	Puente Ninquihue Poniente	86	Zona II	75.1	62.5	87.5
NQ-2	Puente Ninquihue Poniente	181	Zona II	55.1	41.5	68.1
NQ-3	Puente Ninquihue Poniente	150	Zona II	54.7	41.8	66.3

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Homologación de acuerdo con el D.S. N°38/11 del MMA	Leq [dBA]	Lmin [dBA]	Lmax [dBA]
MN-1	Puente Menelhue Poniente	138	Zona Rural	58.6	39.3	70
MN-2	Puente Menelhue Poniente	39	Zona Rural	74.5	61.6	86.4
MN-3	Puente Menelhue Poniente	175	Zona Rural	62.5	45.6	80.9
NB-1	Puente Nebuco Oriente	192	Zona III	56.3	51.2	61.5
NB-2	Puente Nebuco Oriente	162	Zona III	55.2	48.9	61.8
NB-3	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	187	Zona III	63.6	48.4	80.9
NB-4	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	396	Zona III	56.6	49.6	69.6

Fuente: Contador y Campos, 2022

Tabla 3- 48 Nivel de línea base de vibraciones horario diurno

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
CN1	Puente Cunaco Oriente	140	74.7	75.4	75.6
CN2	Puente Cunaco Oriente	223	70.9	73.1	76.5
CN3	Puente Cunaco Oriente	239	73.4	75.6	74.9
AC1-1	Puente Ancoa N°1 Oriente	92	76.6	73.2	76.4
AC2-1	Puente Ancoa N°2 Oriente	200	73.1	73.6	75.4
AC2-2	Puente Ancoa N°2 Oriente	135	73.7	73.6	76.8
LG-1	Puente Longaví Oriente	175	74.8	73.7	73.9
LG-2	Puente Longaví Oriente	77	78.2	80.2	80.9
LG-3	Puente Longaví Oriente	40	72.2	73.4	73
LG-4	Puente Longaví Oriente	70	74.1	76.3	76
CP-1	Puente Copihue Oriente y Poniente	165	74.2	82.6	75.6
CP-2	Puente Copihue Oriente y Poniente	232	76.9	72.2	77.4
CP-3	Puente Copihue Oriente y Poniente	263	82.4	83.4	77.1
CLL-1	Puente Colliguay Oriente	478	73.8	73.7	74.8

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
CLL-2	Puente Colliguay Oriente	300	77.6	79	74.8
PR-1	Puente Parral Oriente y Poniente	67	76.4	72.6	73.9
PR-2	Puente Parral Oriente y Poniente	92	74.5	75.2	76.7
PR-3	Puente Parral Oriente y Poniente	97	73.1	75	76.3
ÑI-1	Puente Ñiquén Oriente	363	73.5	72.4	75.5
ÑI-2	Puente Ñiquén Oriente	79	82.1	81.2	89
ÑI-3	Puente Ñiquén Oriente	610	73.2	70.9	73.4
NV-1	Puente Navotavo Oriente	60	73.9	74.5	73.7
NV-2	Puente Navotavo Oriente	71	72.3	75.7	76
NV-3	Puente Navotavo Oriente	84	74.5	72.8	75.4
LL-1	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	44	73	75.5	75.3
LL-2	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	71	73	74.1	74.5
LL-3	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	78	73.6	73.4	75.1
LL-4	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	352	72.5	72.6	76.1
NQ-1	Puente Ninquihue Poniente	86	72.9	76	74.6

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
NQ-2	Puente Ninquihue Poniente	181	72.9	74.8	74.6
NQ-3	Puente Ninquihue Poniente	150	72.9	72.2	73.2
MN-1	Puente Menelhue Poniente	138	74.8	73.9	77.2
MN-2	Puente Menelhue Poniente	39	75	80.4	76.7
MN-3	Puente Menelhue Poniente	175	75	73.5	74.6
NB-1	Puente Nebuco Oriente	192	76.6	72.8	76.5
NB-2	Puente Nebuco Oriente	162	73	75.3	77.2
NB-3	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	187	73.2	75.2	75.5
NB-4	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	396	72.7	73.5	77

Fuente: Contador y Campos, 2022

Tabla 3- 49 Nivel de línea base de vibraciones horario nocturno

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
CN1	Puente Cunaco Oriente	140	73.8	78.4	77.2
CN2	Puente Cunaco Oriente	223	73.4	75.1	78.6
CN3	Puente Cunaco Oriente	239	73.7	77.1	75.3
AC1-1	Puente Ancoa N°1 Oriente	92	73.2	73.1	75.9
AC2-1	Puente Ancoa N°2 Oriente	200	75	75.4	75.7
AC2-2	Puente Ancoa N°2 Oriente	135	70.9	72.3	72.9
LG-1	Puente Longaví Oriente	175	73.2	75.2	74.1
LG-2	Puente Longaví Oriente	77	73.7	75.7	74.4
LG-3	Puente Longaví Oriente	40	74.4	71.4	78.6
LG-4	Puente Longaví Oriente	70	74.2	72.8	75.7
CP-1	Puente Copihue Oriente y Poniente	165	74	72.4	75
CP-2	Puente Copihue Oriente y Poniente	232	72.8	73.1	76.6
CP-3	Puente Copihue Oriente y Poniente	263	70.4	77.5	73.6
CLL-1	Puente Colliguay Oriente	478	74.7	77.8	79.1

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
CLL-2	Puente Colliguay Oriente	300	77.2	79.6	77.8
PR-1	Puente Parral Oriente y Poniente	67	73.9	73.7	75.1
PR-2	Puente Parral Oriente y Poniente	92	72.3	74.4	74.1
PR-3	Puente Parral Oriente y Poniente	97	75.4	72.1	74.7
ÑI-1	Puente Ñiquén Oriente	363	71.6	75.6	74.7
ÑI-2	Puente Ñiquén Oriente	79	74.4	74.8	74.2
ÑI-3	Puente Ñiquén Oriente	610	73.4	72.1	75.6
NV-1	Puente Navotavo Oriente	60	72.5	72.8	75.7
NV-2	Puente Navotavo Oriente	71	73.2	76.1	76.9
NV-3	Puente Navotavo Oriente	84	73.1	74.6	74.9
LL-1	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	44	70.9	73.2	73.8
LL-2	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	71	72.1	74.2	73.7
LL-3	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	78	75.2	72.7	75.1
LL-4	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	352	73	71.4	72.9
NQ-1	Puente Ninquihue Poniente	86	72.4	73.6	77.8

Receptor	Obra Asociada	Distancia [m]	Lv Este [VdB]	Lv Norte [VdB]	Lv Vertical [VdB]
NQ-2	Puente Ninquihue Poniente	181	73	72.6	73.5
NQ-3	Puente Ninquihue Poniente	150	72.4	74.2	76.4
MN-1	Puente Menelhue Poniente	138	74.8	73.7	77.2
MN-2	Puente Menelhue Poniente	39	78.5	76.9	75.4
MN-3	Puente Menelhue Poniente	175	70.9	74.5	73
NB-1	Puente Nebuco Oriente	192	73.1	72.2	74.7
NB-2	Puente Nebuco Oriente	162	74.2	73.5	73.5
NB-3	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	187	72.8	74.2	75.7
NB-4	Puente Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	396	72.1	71.7	72.7

Fuente: Contador y Campos, 2022

3.3.5 CONCLUSIONES

El levantamiento se realizó en el área de influencia definida para los componentes ambientales de Ruido y Vibraciones, considerando para ello el escenario más desfavorable de emisión.

La campaña de terreno consideró 38 receptores representativos de los 18 puentes que conforman el Proyecto. De dichos 38 receptores, 7 además son representativos de las zonas de hábitat relevantes definidas en el estudio de línea base de vertebrados terrestres del proyecto para la evaluación de fauna nativa.

Los niveles de ruido medidos están caracterizados por el tránsito vehicular liviano y pesado por la ruta 5 sur y caminos interiores en los que se emplazan los receptores caracterizados, superando los 70 dBA en los receptores más expuestos al eje de la vía.

De forma similar los niveles de vibraciones están altamente influenciados por el tránsito vehicular existente, registrándose niveles que superan el umbral de percepción humana en la totalidad de los receptores medidos.

3.4 LÍNEA BASE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

3.4.1 OBJETIVOS

3.4.1.1 Objetivo general

Describir y caracterizar los componentes Geología y Geomorfología presentes en el Área de Influencia (AI) del Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”

3.4.1.2 Objetivos específicos

- Definir la metodología utilizada para levantar información de los elementos geológicos y geomorfológicos dentro del Área de Influencia (AI), dando cuenta de los criterios, técnicas y categorías para el levantamiento de los datos.
- Sistematizar la información para describir suficientemente los componentes Geología y Geomorfología en el Área de Influencia, con base en el planteamiento metodológico.
- Identificar los atributos relevantes en el Área de influencia (AI) del Proyecto sobre los componentes geológicos y geomorfológicos, e identificar la presencia o ausencia de sensibilidad ambiental.

3.4.2 METODOLOGÍA

La metodología fue diseñada para cumplir con el proceso iterativo de la evaluación ambiental (SEA, 2017), es decir: el ajuste gradual y correlativo del área de influencia, las descripciones ambientales y la predicción/evaluación de impactos ambientales. Dicho proceso va desde las definiciones, datos y predicciones de impacto más someras (basadas en simples correlaciones geográficas de datos), hasta las definiciones, descripciones ambientales y predicciones más robustas y detalladas, dependiendo del caso en evaluación.

El grado de detalle de este proceso, para cada elemento del medio ambiente, depende de si las áreas de influencia, los antecedentes reunidos y las predicciones realizadas, son suficientes como para determinar la presencia o ausencia de impactos potenciales y precisar su significancia ambiental.

En correspondencia con este planteamiento, se consideraron tres etapas fundamentales e iterables (repetibles) de trabajo, según los requerimientos del proceso iterativo de evaluación ambiental. Éstas son: I) Definiciones marco; II) Levantamiento de información y; III) Sistematización de información.

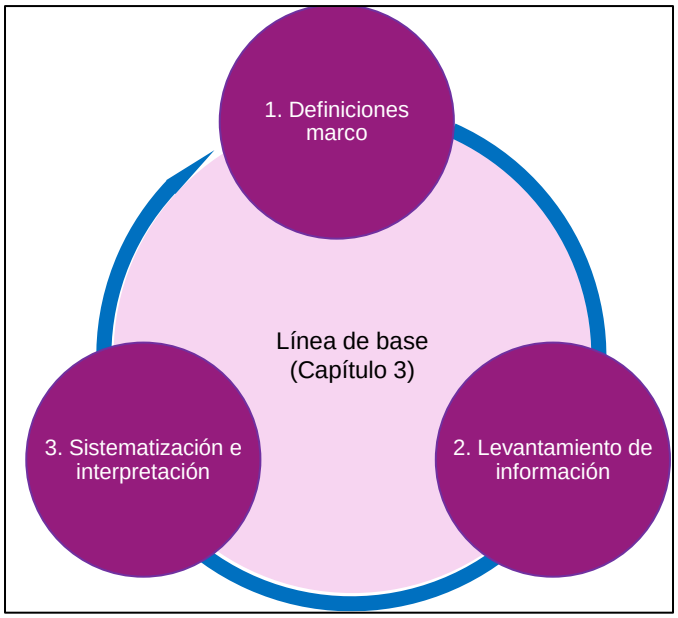
La primera reúne el conjunto de criterios utilizados para definir o redefinir el alcance y detalle del levantamiento de información y los análisis del informe. Para ello, considera criterios simples que permiten (a) focalizar espacialmente las descripciones de cada elemento y atributo relevantes del medio ambiente, y (b) definir el nivel de detalle de la información a levantar (su escala, tipo de fuente y categorías de análisis).

La segunda etapa especifica las técnicas y pautas utilizadas para el levantamiento y registro de datos, implementando los criterios establecidos en las definiciones marco.

La tercera etapa establece los criterios y/o categorías utilizadas para organizar la información levantada, y evalúa la suficiencia de dicha información, respecto de las variables, valores y grados de detalle de la caracterización.

Todas las etapas señaladas se esquematizan en la siguiente Figura:

Figura 3- 11: Secuencia metodológica



Fuente: ENVIS, 2022.

3.4.2.1 Definiciones marco

3.4.2.1.1 Marco de referencia técnico

Como criterio fundamental, se consideró la revisión de antecedentes geológicos (carta geológica más detallada aplicable al área de influencia) y geomorfológicos, tales como investigaciones morfoestructurales, tesis de investigación, revistas y otros (Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), 2003; Dirección General de Aguas (DGA), 2010; Gajardo, 1981, González y Vergara, 1964; Börgel, 1983, entre otros). Igualmente, se veló por el cumplimiento de dos condiciones en los antecedentes revisados: (a) tener la mayor correspondencia temporal posible (lo más actual posible) y (b) tener la mayor correspondencia espacial posible respecto del área de influencia, es decir, dando mayor prioridad a la información específica sobre el AI o sus alrededores, y menor prioridad a la información de carácter regional o general.

3.4.2.1.2 Categorías de análisis

En esta fase se determinaron las categorías fundamentales con que se caracterizaron los componentes Geología y Geomorfología. En ambos casos, se consideró como base del análisis la identificación de unidades (geológicas o geomorfológicas) y escalas de análisis. Consecuentemente, se establecieron las categorías en la siguiente Tabla para la descripción de cada componente:

Tabla 3- 50: Categorías de análisis.

Componente	Escala Regional	Escala Local
Geología	Identificación de unidades litológicas, edad, geología estructural regional (sistemas de fallas) y ambientes de sedimentación en escala 1:1.000.000.	Identificación de unidades litológicas, edad, procesos activos modeladores de paisaje, secuencias sedimentarias antiguas y recientes, materiales principales y secundarios, procesos tectonoestratigráficos de detalle e identificación de formaciones y miembros geológicos a una escala 1:250.000.
Geomorfología	Identificación de macroformas del relieve, basado en estructuras de carácter nacional y regional, a nivel de formas erosionales y depositacionales.	Identificación de formas locales de relieve, según análisis de modelos geomorfológicos de detalle mediante modelos de elevación digital.

Fuente: ENVIS, 2022.

Finalmente, se determinó que las caracterizaciones con información secundaria o primaria cumplieran con un contenido mínimo necesario para describir los atributos relevantes de los componentes a evaluar, contemplando, al menos, las siguientes variables e información que permiten analizar y sintetizar el levantamiento de datos:

- Descripción geológica general de los afloramientos (nombre de la unidad geológica, tipo de roca y edad; estratos, estructuras, relaciones de contacto, otros);
- Identificar y caracterizar unidades geomorfológicas dentro y en el entorno del Proyecto;

- Representaciones cartográficas del contexto geológico y geomorfológico.

3.4.2.2 Levantamiento de información

3.4.2.2.1 Revisión Bibliográfica

A partir del área de influencia preliminar se realizó una revisión y selección bibliográfica, con la finalidad de contextualizar adecuadamente el entorno del Proyecto y determinar las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en la zona a intervenir. Se revisaron diversas fuentes atingentes a la Región del Maule y Región de Ñuble y los sectores de emplazamiento del Proyecto, tales como, artículos de divulgación y expedientes de proyectos cercanos al AI, ingresados al SEIA.

Para acotar el área de estudio, o área de interés, se han considerado disposiciones teóricas y técnicas y datos secundarios en torno a las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el sector. Adicionalmente, se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) ALOS Palsar obtenido de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile), para generar un mapa de sombras (hillshade), que es la simple representación de un DEM como relieve a partir de interpolaciones entre pixeles. Esta cobertura, junto con imágenes Google Earth, permitieron delimitar en forma manual las variaciones de relieve y litología presentes en el sitio del Proyecto.

3.4.2.2.2 Levantamiento de información primaria

El rol de la información obtenida directamente en una campaña de terreno es aumentar los conocimientos establecidos en forma analítica. En este sentido, se realizó una visita al área del Proyecto y sus alrededores para constatar la correspondencia de la información secundaria, complementarla y corregirla, según fuera necesario, incrementando los datos disponibles para la identificación y caracterización de las unidades geológicas, de los procesos modeladores de relieve y principales aspectos geomorfológicos.

3.4.2.3 Sistematización

A partir de los datos obtenidos desde la revisión bibliográfica y desde el trabajo de terreno, se establecieron las principales categorías que permitieron organizar e interpretar la información del presente informe. Esta labor de síntesis tuvo, principalmente, tres alcances:

3.4.2.3.1 Determinación de unidades geológicas

En esta fase se identificaron los atributos característicos de cada una de las unidades geológicas presentes en el AI, justificadas con base en información secundaria y/o primaria, acorde con las siguientes tipologías:

1. Escala regional, por medio del uso del Mapa Geológico de Chile de SERNAGEOMIN (escala 1:1.000.000).
2. Escala local, por medio del análisis de las unidades geológicas del entorno del Proyecto, según la Hoja de Concepción-Chillán (Gajardo, 1981) en conjunto con los siguientes artículos de investigación en ciencias geológicas: Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile (Charrier et al., 2007); Análisis de facies de las unidades volcánicas y sedimentarias oligo-miocenas en el cordón Cerro las Vizcachas (35° 45'-35° 50°S) (Díaz, 2021); Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Sur (González & Vergara, 1964); A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1:25,000 scale (Maldonado et al., 2021); entre otros. Además, se utilizó el marco geológico de estudios de la DGA realizados en las cuencas de interés: Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del río Maule (DGA, 2010); Estudio hidrogeológico cuencas Bío e Itata (DGA, 2011) y Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región del Maule (DGA, 2018).

De esta forma se logró identificar, clasificar y analizar las características geológicas principales en el área de influencia del Proyecto y sus alrededores, y conocer el tipo de material y el ambiente del que provienen cada una de las unidades litológicas.

3.4.2.3.2 Determinación de unidades geomorfológicas

En el caso de la geomorfología, se trabajó en primer lugar con un análisis geomorfológico regional, de acuerdo con la división geomorfológica de Chile definida por Börgel (1983).

En segunda instancia, se trabajó con la visualización de imágenes satelitales de GoogleTMEarth, donde se han identificado las formas y procesos asociados a su generación (geoformas asociadas), la presencia de remociones en masa y las quebradas como medio de transporte de material.

Por último, se realizó un modelo con las morfoestructuras de detalle principales presentes en el área de influencia y sus alrededores, para ello se utiliza un modelo de elevación digital (DEM) obtenido desde las bases de datos del satélite ALOS PALSAR y posteriormente, las imágenes son procesadas con software QGIS.

3.4.2.3.3 Organización de la información (presentación de resultados)

Con base en las definiciones marco y en la información levantada en terreno, se estableció que los resultados se desglosen en caracterización geológica y geomorfológica. En cada uno de estos ejes se incorporan los resultados de revisión bibliográfica (‘antecedentes’) y de inspección superficial en terreno (‘evidencia’).

Asimismo, se estableció que, dentro de cada eje y sub-eje de sistematización, se implementase el esquema analítico convencional, que va desde las categorías y descripciones más generales, extensas y previas (i.e. identificación regional de atributos y unidades más antiguas) hasta las más particulares, locales y actuales (i.e. características locales, unidades más recientes y ubicación específica de atributos).

3.4.3 RESULTADOS

3.4.3.1 Levantamiento de información

3.4.3.1.1 Geología

- Marco geológico regional

Las regiones del Maule y Ñuble poseen 3 morfologías principales, la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera de los Andes. Se reconocen en las tres regiones rocas metamórficas, intrusivas, depósitos volcano-sedimentarios, depósitos sedimentarios consolidados y depósitos no consolidados (DGA, 2014 en DGA, 2018).

La Cordillera de la Costa se define como una unidad independiente, con la aparición de la Depresión Central desde Santiago hacia el sur. En su borde occidental se compone principalmente de basamento cristalino y metamórfico paleozoico, mientras que hacia el este afloran rocas intrusivas del Mesozoico Inferior, en su extremo oriental la Cordillera de la Costa presenta mayores elevaciones. El borde oriental está compuesto de secuencias estratificadas volcánicas y sedimentarias Mesozoicas (Thomas, 1958; Wall et al., 1999; Sellés y Gana, 2001; Bravo, 2001; Sernageomin, 2003). Además, afloran rocas metamórficas en el área que pertenecen al período Silúrico-Carbonífero, ubicándose en una franja N-S hacia el sector costero (DGA, 2014 en DGA, 2018).

La Depresión Central, ubicada entre los 33ºS y los 40ºS de latitud, consiste en una cuenca rellena de depósitos aluviales y volcánicos Pleistocenos a Holocenos (Thiele, 1980, Araneda et al., 2000, Rauld, 2002), su basamento corresponde a rocas Mesozoicas y Cenozoicas, distribuidas en el sector occidental y oriental, respectivamente, el basamento es observable en cerros islas y cordones que cortan la depresión formando angosturas y cuestas (Farías et al., 2008 en DGA, 2018). El límite oriental de la depresión se encuentra en contacto, aparentemente por falla, con niveles basales de la Formación Abanico (Falla Infiernillo, según Fock et al. (2006)) o por discordancia erosiva (Fock, 2005, en DGA, 2018)

La Cordillera Principal consiste en su parte occidental por rocas Cenozoicas de la Formación Abanico, deformadas y plegadas, rocas de la Formación Cola de Zorro y secuencias volcánicas levemente plegadas provenientes del arco volcánico actual, mientras que la vertiente oriental de la Cordillera Principal chilena consiste en rocas de la Formación Abanico y secuencias Mesozoicas fuertemente deformadas (Fock, 2005; Farías et al., 2008 en DGA, 2018), estas rocas

se encuentran en contacto por un sistema de fallas de vergencia Este (Falla el Fierro; Davidson et al., 1972 en DGA, 2018) y retrocorrimientos.

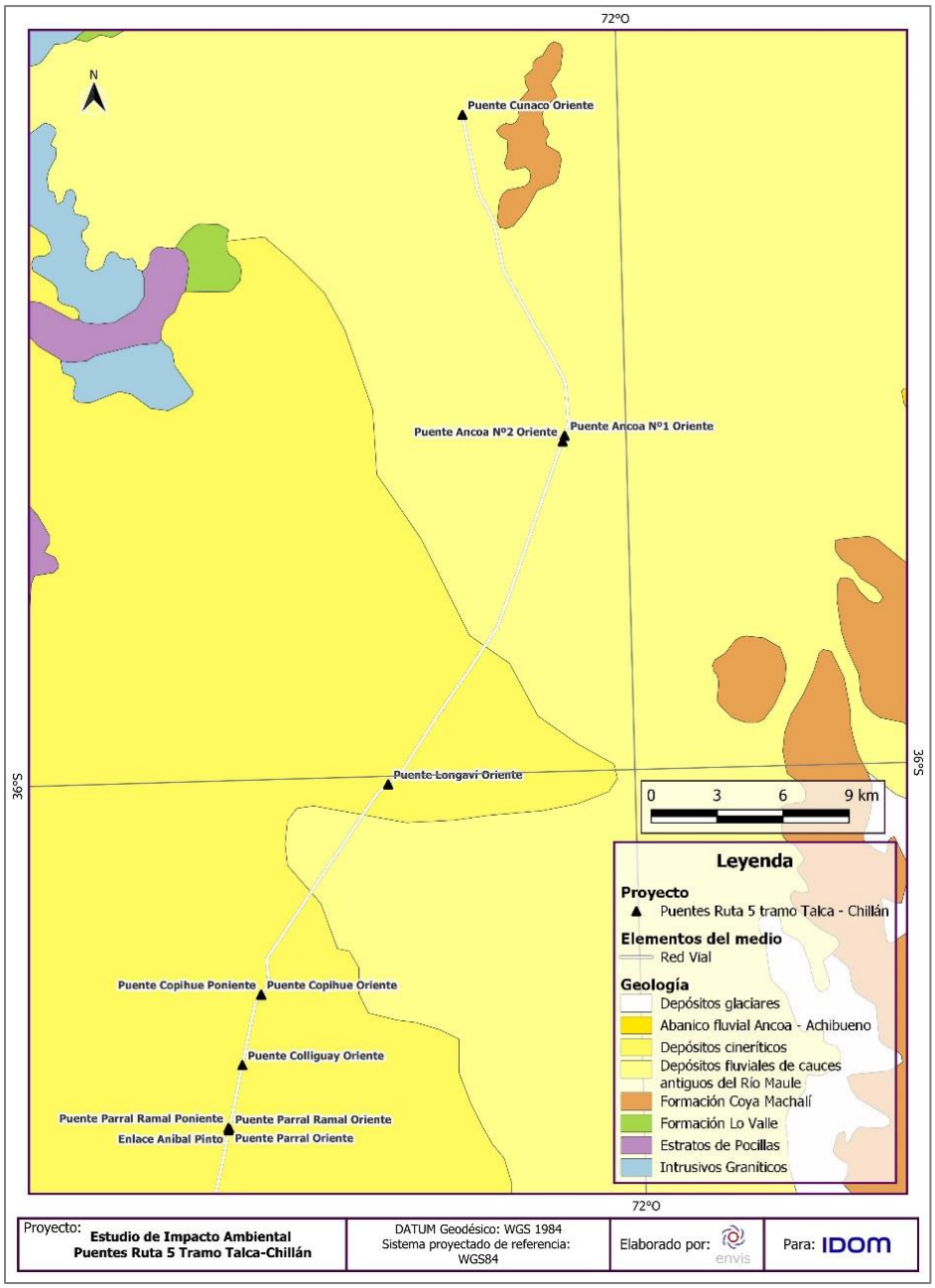
Es importante destacar los sedimentos no consolidados de edad Cuaternario depositados en ambientes de origen fluvial, fluvioglacial, glacial, coluvial y lacustre los cuales rellenan las cuencas. Existiendo además en la Cordillera de la Costa terrazas marinas desarrolladas probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno (DGA, 2014 en DGA, 2018).

- Marco geológico Local

La geología de detalle presente en la zona de emplazamiento del Proyecto y por consiguiente en su AI, corresponden principalmente a unidades sedimentarias de edad cuaternaria. Se destaca la presencia de Depósitos cineríticos, Depósitos fluviales de cauces antiguos del Río Maule y la Formación Mininco, siendo estas las unidades que tienen directa relación con el emplazamiento de los puentes del Proyecto.

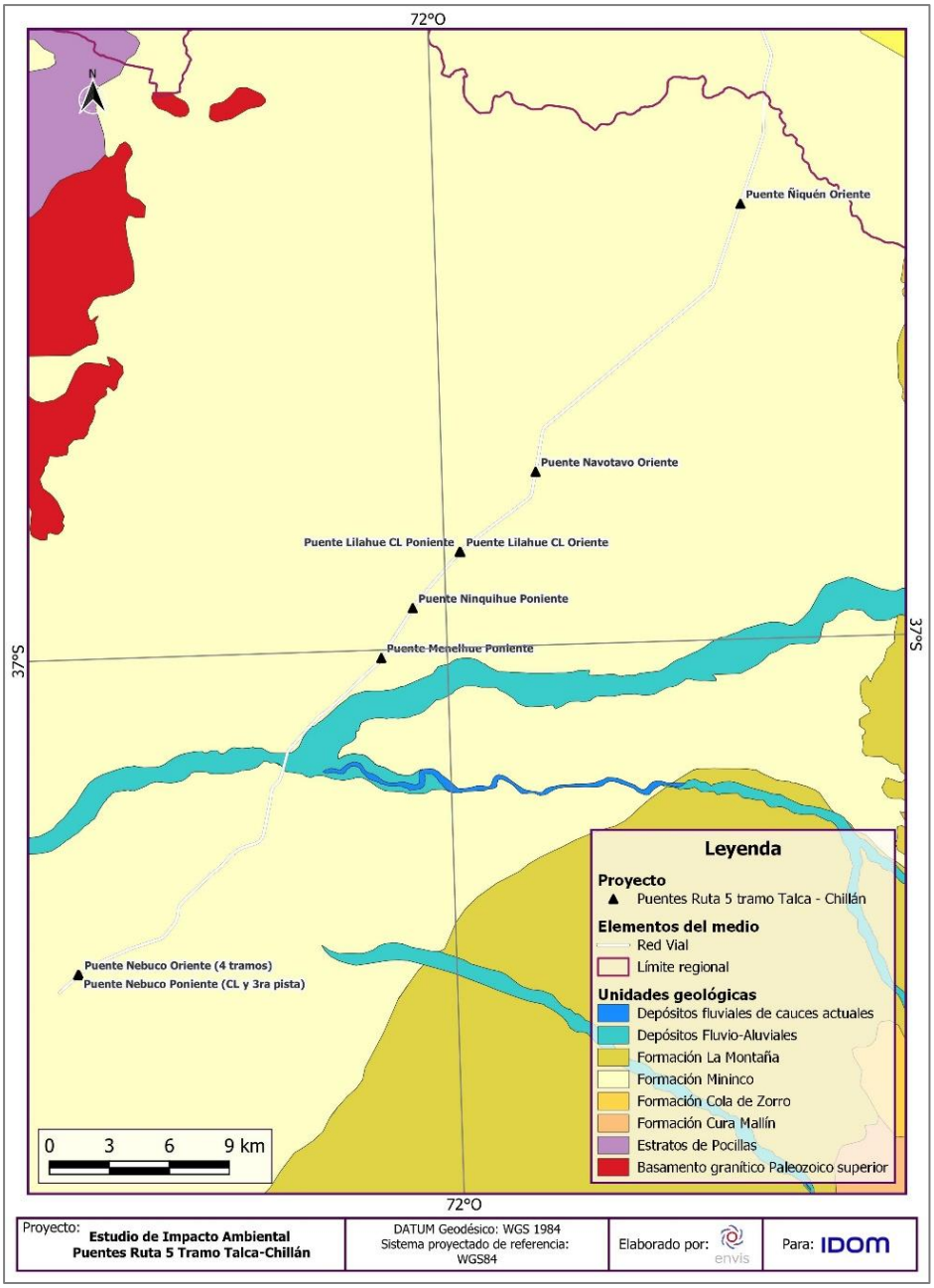
Para definición de esta Línea de Base, las unidades geológicas insertas en el Proyecto se presentan en dos secciones: Sector Central y Sector Sur (Ver siguientes figuras).

Figura 3- 12: Mapa Geológico local, Sector Norte.



Fuente: Mapa Geológico de Chile 1:1000.000 (SERNAGEOMIN, 2003).

Figura 3- 13: Mapa Geológico local, Sector Sur.



Fuente: Modificado de Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003; Gajardo, 1981).

La descripción de detalle de las unidades litológicas presentes en el área de emplazamiento del Proyecto se caracteriza a continuación, desde la unidad más antigua a la más reciente, de acuerdo con la compilación de las descripciones presentes en la Hoja de Concepción-Chillán (Gajardo, 1981), en conjunto con distintos estudios de la DGA (2010, 2011, 2018) y diversas publicaciones científicas que abarcan las distintas zonas del Proyecto.

Adicionalmente, se señala que se utiliza la abreviación “Ma” para referirse a “Millones de años” y “Fm.” para “Formación”, definiendo esta última como: Unidad litoestratigráfica formal caracterizada por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) y características espaciotemporales que las diferencian de las unidades adyacentes.

- Unidades Intrusivas y Metamórficas

Basamento granítico Paleozoico Superior

Unidad descrita informalmente como Batolito de la Costa por González-Bonorino (1970 en Gajardo, 1981). Por relaciones estratigráficas se le otorga una edad Paleozoico superior – Triásico Inferior, lo cual coincide con sus dataciones que señalan 320 Ma como edad de cristalización, y 208 y 218 Ma como edad de enfriamiento por exhumación (Hervé, 1976 en Gajardo, 1981).

Esta unidad da origen a gran parte del relieve de las serranías intermedias (poniente de la depresión intermedia) con una extensión dominante N-S con alturas medias de 600 a 800 m de altitud (DGA, 2010).

El complejo plutónico se caracteriza por presentar composiciones principalmente entre tonalita y granodiorita con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito (Gonzalez-Bonorino, 1970 y Hervé et al., 1976 en Gajardo, 1981). Estas rocas han sido sometidas a intensos fenómenos cataclásticos, lo cual se evidencia en el fracturamiento de sus cristales de cuarzo y feldespato. Esta unidad se encuentra en relación de contacto por intrusión con el Basamento Metamórfico, e infrayace en discordancia por erosión a las rocas triásicas (Gajardo, 1981).

Intrusivos graníticos

En esta unidad se incluyen una serie de cuerpos intrusivos aislados de escasa distribución. Se caracteriza por presentar composiciones predominantemente granodioríticas y dioríticas.

Las rocas de esta unidad afloran en el cerro El Peñón al poniente de Talca, y por petrografía pueden correlacionarse con el Granito Montecillos de posible edad jurásica (DGA, 2010).

Intrusivos cretácicos

Unidad que comprende Intrusiones dioríticas y monzodioríticas de piroxenos y hornblenda, con presencia menor de granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. Se ubican en la zona oriental de la Cordillera de la Costa en una franja con orientación NNE-SSW y representan altos topográficos mayores a los intrusivos carboníferos-pérmicos (DGA, 2011).

- Unidades Sedimentarias

Estratos de Pocillas (Triásico Superior)

Inicialmente descrita como Formación Patagua, fue definida como una unidad marina por Muñoz Cristi & González Pacheco (1953) en el Cerro Quilvo al este de la localidad de Pocillas (36° 11'S). Posteriormente Hervé et al. (1976) y Moreno & Parada (1976) describieron la misma sucesión rocosa con el nombre Estratos de Pocillas. Muñoz Cristi & González Pacheco (1953) le otorgan una edad triásica por su similitud con sedimentos del valle del Bío-Bío y otras localidades de la Cordillera de la Costa en las localidades de Talca y Cauquenes. Posteriormente se encontraron restos de plantas que confirman la edad Triásico Superior (Troncoso, 2007).

La unidad se caracteriza por presentar una secuencia sedimentaria y volcánica compuesta de pizarras arcillosas, pedernal, conglomerados de cuarzo, areniscas y rocas volcánicas. Ningún autor menciona espesores, pero concuerdan en que esta formación sobreyace en discordancia erosiva a rocas graníticas paleozoicas y que está instruida por un cuerpo granítico-diorítico y por hipabisales dacíticos. (Muñoz Cristi & González Pacheco, 1953; Hervé et al., 1976, en Troncoso, 2007). Posteriormente otros autores especifican las rocas volcánicas como lavas y brechas andesíticas, brechas volcánicas, riolitas y alternancias de andesitas porfídicas (Moreno et al., 1976; Lagno, 1979, en DGA, 2011).

Formación Lo Valle (Cretácico Superior)

La Formación Lo Valle fue descrita por Thomas (1958) a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de la Costa entre los 32° y 35°15'S. Vergara y Drake (1979) al datar un stock granítico que instruye esta unidad, le otorgan una edad máxima de 80 Ma, y Vergara (comunicación verbal en Nasi & Thiele, 1982) obtiene una datación de 90 Ma por lo cual se le otorga una edad Cretácico Superior (Nasi & Thiele, 1982).

La unidad se caracteriza por presentar principalmente rocas volcánicas y está compuesta por una sección basal de conglomerados y areniscas sobre la cual yacen lavas andesíticas a riolíticas, ignimbritas y brechas con intercalaciones tobáceas y areniscas epiclásticas (Nasi & Thiele, 1982). Thomas (1958) describe esta unidad con 700 m de potencia, sin embargo, otros autores mencionan espesores de hasta 3500 m (Nasi & Thiele, 1982). Esta unidad se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a la Fm. Veta Negra y subyaciendo concordantemente a la Fm. Abanico (Nasi & Thiele, 1982).

Formación Cura – Mallín (Oligoceno tardío – Mioceno temprano)

La Formación Cura – Mallín fue descrita por González & Vergara (1962) en el estero del mismo nombre, e identificada por Muñoz & Niemeyer (1984) desde los 36°S hasta los 39°S. Las edades reportadas para esta unidad son 19,8 – 14,5 Ma en la Laguna del Laja (Herriot, 2006), 24,6 - 22.8 Ma en Andacollo (Jordan et al., 2001) y 19,9-10,7 Ma en Lonquimay (Suarez y Emparan, 1995), por lo cual se le asigna una edad Oligoceno tardío – Mioceno temprano (Díaz, 2021).

La unidad se caracteriza por presentar una sucesión de rocas sedimentarias continentales con intercalaciones de rocas volcánicas y porfiritas cuarcíferas. Se compone principalmente de areniscas, lutitas y conglomerados con rocas piroclásticas de manera subordinada y con predominancia de rocas de ambiente lacustre. Inicialmente se reporta que algunos niveles de lutita poseen fósiles de ostrácodos, y posteriormente en el sector de Lonquimay se encuentran diversos fósiles de vertebrados, incluyendo mamíferos y aves. Su límite inferior está constituido por grauvacas, conglomerados y areniscas tobáceas con abundantes clastos líticos y granos de feldespatos pertenecientes a la formación cristalina subyacente (González & Vergara, 1964; Burns et al., 2006, en Díaz, 2021). Se ha descrito una potencia promedio de 1200 m, presentando zonas con hasta 3000 m, y otras donde no supera los 400 m (Jordan et al., 2001; Burns et al., 2006, de Díaz, 2021). Esta formación sobreyace en inconformidad al basamento metamórfico y subyace en discordancia a la Formación Cola de Zorro a los 36°S, y en concordancia y de forma transicional a la Formación Trapa-Trapa entre los 36°S y los 37,5°S (González & Vergara, 1962).

Según diversos autores, esta unidad es correlacionable con la Fm. Abanico descrito por Aguirre (1960) a los 33°S, con la Fm. Colbún descrita por Karzulovic et al. (1979) entre los 35°30’ y 36°S, y con la Fm. Coya-Machalí descrita por Klohn (1960).

Formación Coya – Machalí (Oligoceno tardío – Mioceno medio)

La Formación Coya – Machalí fue definida por Klohn (1960) entre los pueblos de Coya y Machalí, al este de la ciudad de Rancagua. Posteriormente algunos autores la han incluido dentro de la Formación Abanico definida por Aguirre (1960), por su continuidad hacia el norte y hacia el sur donde la extienden González & Vergara (1964). Más recientemente, Piquer et al. (2017) considera edades y litologías diferentes a las de la Formación Abanico, por lo que sugiere separarlas. Klohn (1960) le otorga una edad Maastrichtiana, sin embargo, más recientemente se han datado edades de 23,2 Ma (Charrier & Munizaga, 1979), 22,49 Ma (Zurita, 1999) y 15,48 – 12,62 Ma (Piquer et al., 2017), por lo que se le asigna una edad Oligoceno tardío – Mioceno medio (Díaz, 2021)

La unidad se caracteriza por presentar principalmente rocas volcánicas con intercalaciones sedimentarias en una franja N-S, que se compone de coladas de lava, brechas y tobas andesíticas y riolíticas, con intercalaciones de brechas, conglomerados, areniscas y limolitas oscuras. El espesor descrito es de 1791 m de potencia, pero al no observarse una sección completa, en base a varios perfiles parciales se estima que podría alcanzar los 3000 m (Klohn, 1960). Esta formación sobreyace en discordancia a diversas formaciones más antiguas, siendo la más cercana cronológicamente, la Formación Colimapu y en su techo la sobreyace en discordancia, la Formación Farellones (Klohn, 1960).

Según diversos autores, esta unidad es correlacionable con la Fm. Abanico descrito por Aguirre (1960) a los 33°S, con la Fm. Colbún descrita por Karzulovic et al. (1979) entre los 35°30’ y 36°S, y con la Fm. Curamallín descrita por González & Vergara (1964) entre los 36° y 39°S.

Fm Mininco (Plioceno – Cuaternario)

La Formación Mininco fue descrita por Muñoz Cristi (1960) dentro de la Depresión Central donde la Carretera Panamericana cruza el río del mismo nombre, quien le otorga una edad cuaternaria, pero reconociendo que su depositación pudo iniciar en el Plioceno.

La unidad se caracteriza por presentar sedimentos lacustres y fluviales periglaciales compuestos de areniscas tobáceas, limolitas y conglomerados con intercalaciones de arcillolitas y tobas. Su espesor es indeterminado debido a que no se observa su base y su techo está oculto por la Fm. La Montaña y las arenas del cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Gajardo (1981) correlaciona esta unidad hacia el norte con la Fm. Lircay definida también por Muñoz Cristi (1960).

Fm. Cola de Zorro (Plioceno – Pleistoceno)

La Formación Cola de Zorro fue descrita por González & Vergara (1962), y reconocida por Vergara & Muñoz (1982) principalmente en la región limítrofe Chile – Argentina entre los 36° - 39°S. Por su relación con la Fm. Malla, la presencia de fallas y su gran erosión glacial, González & Vergara (1962) le otorgan una edad Plioceno – Pleistoceno.

La unidad se caracteriza por presentar rocas principalmente volcánicas compuestas de lavas y rocas piroclásticas basálticas y andesíticas – basálticas en disposición horizontal a subhorizontal. Sobreyace en discordancia angular diversas formaciones más antiguas, como la Fm. Malla, Fm. Abanico, Fm. Baños del Flaco, entre otras, y teniendo normalmente como techo la superficie de erosión actual, y localmente subyaciendo discordantemente a coladas y piroclastos de la actividad volcánica actual. Su espesor es indeterminado debido a la ausencia de un límite superior, sin embargo, en su localidad tipo se describen 800 m (González & Vergara, 1962) y otros autores han descrito hasta 1200 m (Vergara & Muñoz, 1962).

Fm. La Montaña (Pleistoceno – Holoceno)

La Formación La Montaña fue descrita Inicialmente como Formación Morrena de la Montaña por Muñoz Cristi (1960), quien le otorga una edad cuaternaria, pero sin describir una justificación.

Esta unidad conforma una serranía baja, de lomajes redondeados que se distribuye de la zona precordillerana hacia el oeste en la Depresión Central y abarca desde Talca hacia el sur.

La unidad se caracteriza por presentar depósitos morrénicos de escasa compactación representados por sedimentos arcillosos no consolidados que contienen de forma caótica y mal seleccionada, fragmentos de rocas volcánicas, basálticas y graníticas con distinto grado de redondeamiento, y de alteración, que varían entre los 7 y 40 cm en promedio, pero con algunos clastos de hasta 5 m. En estos conjuntos además se encuentran intercalaciones bien estratificadas de arcillas, arenas y ceniza volcánica. Estos depósitos se disponen en discordancia erosiva sobre rocas mesozoicas y cenozoicas, y sobre la Fm. Mininco. Su techo corresponde a la actual superficie de erosión, y es localmente cubierta por suelos agrícolas y por las arenas del Cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule

Esta unidad se caracteriza por presentar una potente secuencia sedimentaria que constituye un llano elongado en dirección noroeste, entre la zona de El Colorado y las inmediaciones de Pelarco. Se estima que los procesos de erosión que dieron origen a este depósito se habrían desarrollado a partir del Pleistoceno.

En general, la sección superior de este depósito, hasta los 85 m de profundidad, consiste principalmente en materiales clásticos gruesos, como ripio, gravas y gravas arenosas con algunas intercalaciones limo-arcillosas. La secuencia basal, entre los 85 y 237 m de profundidad, consiste en una alternancia rítmica de limos y arcillas con importante contenido cinerítico (DGA 2010).

Depósitos cineríticos

Esta unidad ampliamente distribuida ocupa casi la totalidad llano interfluvial del río Lircay y se caracteriza por presentar depósitos cineríticos compuestos, en su generalidad, de capas de cenizas y tobas de lapilli, en cuya composición se hallan esquirlas vítreas, cristales de plagioclasa y fragmentos de pómez. Estos depósitos, normalmente, se presentan bastante compactos, duros y bien cementados (DGA 2010).

Depósitos glaciares

Unidad que comprende una variedad de depósitos descritos por DGA (2011), como siguen a continuación.

Depósitos fluvio-glaciales que forman terrazas discontinuas en las riberas de los principales cauces, y que se constituyen de materiales bien estratificados, mal seleccionados e inmaduros que se componen de clastos de tamaño bloque, grava y arena, inmersos en una matriz areno-arcillosa.

Depósitos de origen glacial compuesto de morrenas mayores asociadas a una glaciación antigua, y morrenas menores asociadas a los glaciares actuales. Estos depósitos están parcialmente desmembrados por la erosión o cubiertos por depósitos fluviales.

Depósitos morrénicos correspondientes al último período glacial que poseen una típica morfología de lomajes suaves que están compuestas de clastos angulosos predominantemente volcánicos, inmersos en una matriz arenosa. Se han reconocido potencias mayores a 100 m.

Abanico fluvial Ancoa – Achibueno

Esta unidad comprende un extenso abanico fluvial en el punto de descarga de los ríos Ancoa y Achibueno.

El depósito se caracteriza por materiales clásticos gruesos donde abundan conglomerados de bolones, ripios y gravas, con escaso contenido de arenas. Los clastos son heterocomposicionales, con predominio de brechas y andesitas provenientes de la Formación Coya Machalí, los cuales disminuyen su tamaño gradualmente en su avance hacia el este. Este depósito se observa suelto, muy poroso y altamente permeable en superficie. (DGA, 2010).

Depósitos fluvio-aluviales

Unidad que comprende el material no consolidados compuestos de gravas, ripios y arenas que conforman el relleno de los cauces de ríos y esteros. Estos depósitos están asociados a los paleocauces (DGA, 2011).

Depósitos fluviales de cauces actuales

Esta unidad corresponde a los depósitos de ripios, gravas y gravas arenosas uniformemente distribuidos dentro y en la vecindad inmediata del cauce actual de los principales ríos.

El depósito se caracteriza por consistir en clastos mayores inmersos en una escasa matriz de arenas gruesas a gravilla que conforman numerosas islas o bancos dispuestos a todo lo ancho y largo de los cauces. Los clastos son heterocomposicionales predominantemente volcánicos y graníticos que disminuyen en tamaño hacia el Valle Central. Estos depósitos se encuentran débilmente compactados y tienen buena selección (DGA, 2010).

Según las observaciones realizadas en la visita a terreno, se puede corroborar la presencia de depósitos fluviales en cada uno de los puentes. Dichos depósitos presentan clastos rodados de distinta composición y tamaño, evidenciándose el aporte de material alóctono proveniente de la zona cordillerana. Composicionalmente predominan rocas de origen intrusivo y volcánico, cuyos clastos varían entre 2 a 5 cm en algunos cauces y en otros varían de 10 a 25 cm aproximadamente, como moda dentro de la variación granulométrica. Generalmente los clastos son subangulosos a subredondeados presentando media esfericidad y se evidencia escasa

matriz arenosa. En algunos cauces, con flujos de baja energía es posible observar sedimento fino en suspensión y clastos cubiertos con fango. En las siguientes fotografías, se puede observar el depósito fluvial característico del río Longaví y el depósito fluvial característico para el río Chillán.

Fotografía 1: Depósito fluvial del cauce actual del río Longaví.



Fuente: ENVIS, 2023.

Fotografía 2: Depósito fluvial del cauce actual del río Longaví.



Fuente: ENVIS, 2023.

Fotografía 3: Depósito fluvial del cauce actual del río Chillán.



Fuente: ENVIS, 2023.

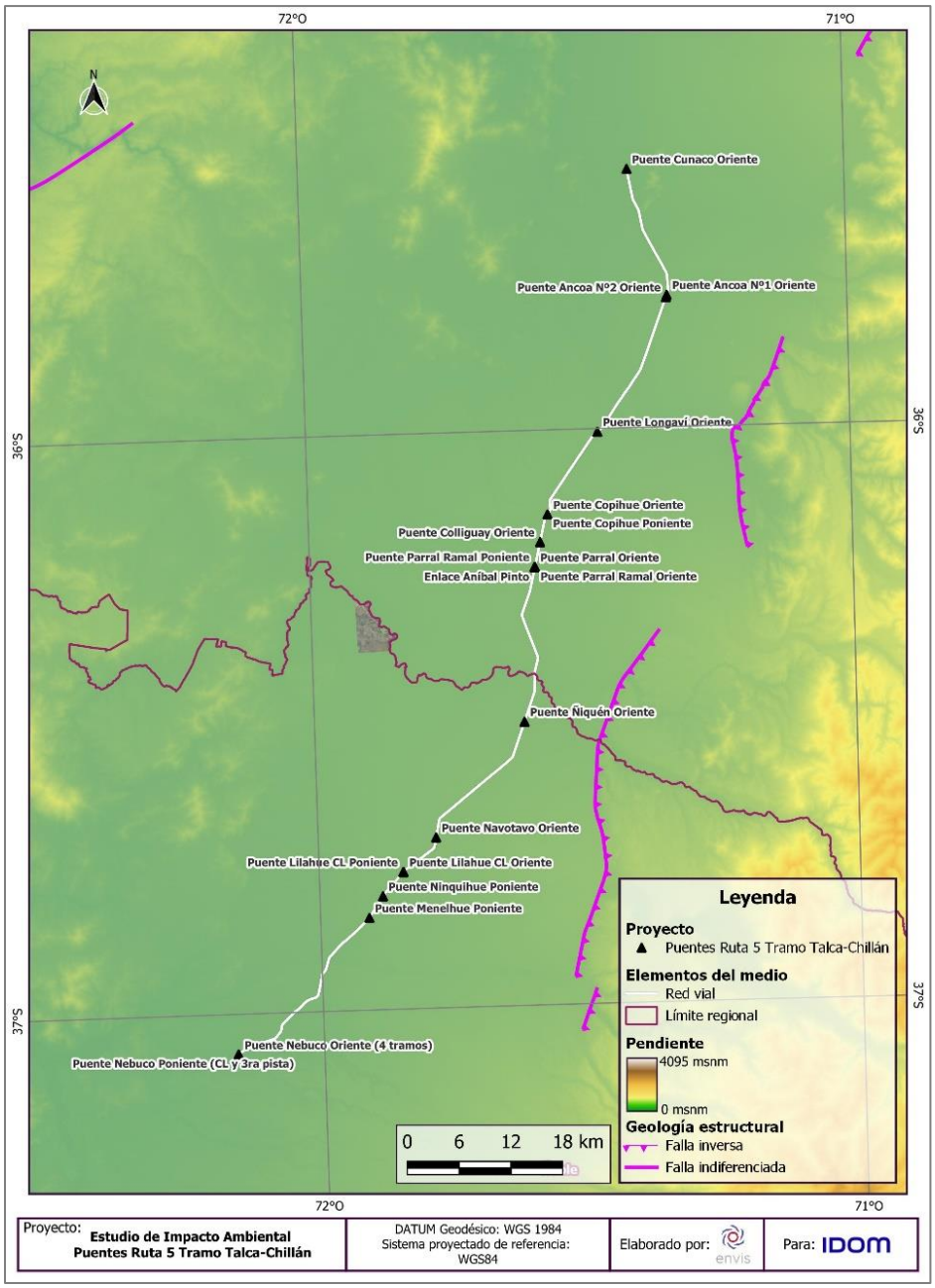
- Geología estructural

El principal rasgo estructural cercano al área de emplazamiento del Proyecto es el Sistema de Cabalgamiento Andino Occidental, el cual corresponde a mega lineamientos NNE-SSW en la porción más oriental de la Depresión Central, estas mega estructuras han sido interpretadas como antiguas fallas normales, de vergencia oeste, del borde de la cuenca que en la actualidad se comportan de forma inversa (Armijo et al., 2010).

En 2021, Maldonado et al., presentaron una base de datos denominada Base de Datos Chilena de Fallas Activas (CHAF), la cual unifica las fallas continentales en Chile dentro de la placa continental sudamericana. Esta base de datos incluye estudios previos y fallas recientemente identificadas, utilizando una escala cartográfica común y criterios geomórficos unificados. A partir de este estudio, es posible identificar la distribución espacial de los rasgos estructurales que rodean al Proyecto, sin ser este afectado directamente.

Las fallas asociadas al Sistema de Cabalgamiento Andino Occidental se ubican al este del Proyecto, como se observa en la Figura siguiente. En este sistema se destaca la presencia de la Falla Mesamávida al sureste de los puentes Ancoa N°1 y N°2, ya que se encuentra moderadamente activa con evidencias de actividad durante el Cuaternario tardío (Sepúlveda, 2019).

Figura 3- 14: Geología estructural.



Fuente: Base de datos chilena de fallas activas (CHAF) (Maldonado *et al.*, 2021*).*

3.4.3.1.2 Geomorfología

- Contexto geomorfológico regional

Las regiones del Maule y del Ñuble, ubicadas en la zona centro sur de Chile, son parte de la tercera región geomorfológica según Börgel (1983) y presentan las unidades morfológicas tradicionales del relieve chileno como lo son la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia, la Cordillera de la Costa, y planicies litorales. De oeste a este, Börgel (1983) describe las morfoestructuras principales de estas regiones de la siguiente manera:

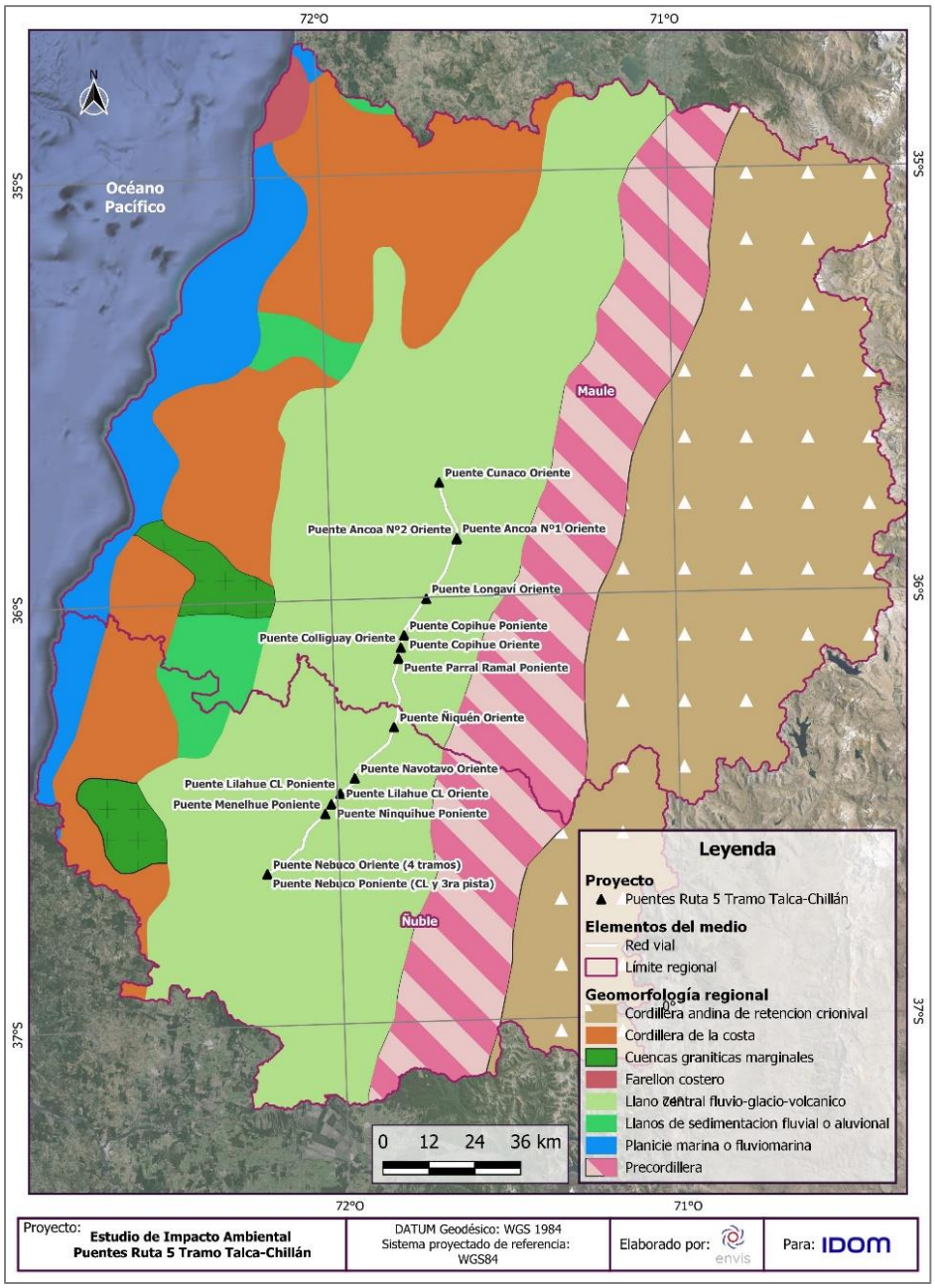
- Planicie litoral: Se extiende al sur de la desembocadura del río Aconcagua y presenta variados aspectos en su desarrollo longitudinal, a veces se inscribe en el granito costero como terrazas de abrasión, o en las rocas metamórficas precámbricas con una abrasión generalizada que genera bolsones de sedimentación en las desembocaduras de los grandes ríos.
- Cordillera de la Costa: Se extiende de forma muy definida desde el sur del río Aconcagua, hasta la orilla norte del río Cachapoal. El cordón maestro de este conjunto orogénico se sitúa al este de la cordillera con un descenso sucesivo hacia el oeste, coalesciendo a distancias variables del litoral costero, con planicies de abrasión y sedimentación marina. Hacia el oeste además aparecen diversos cerros desprendidos del cordón maestro que constituyen un encadenamiento de segundo orden paralelo al principal. Al sur del río Cachapoal, esta morfoestructura se deprime rápidamente y comienza a fragmentarse en unidades menores, lo cual genera un enriquecimiento de la red hidrográfica. En el área de interés, al sur del río Mataquito, las alturas son bajas y no superan los 700 m de altitud, y al sur del río Tinguiririca hasta el río Bio Bío, la cordillera se diluye y se reduce a lomeríos con cuencas intermontanas de reducido espacio. Adicionalmente, se menciona que, en la tercera región geomorfológica, la Cordillera de la Costa presenta rasgos adicionales definidos como cuencas graníticas y cuencas de relleno fluvial y aluvional.
- Llanos de sedimentación fluvial o aluvional: Ubicados en los dominios de la Cordillera de la Costa, son cuencas que se caracterizan por poseer suelos aluviales producto del escurrimiento asociado a las crecidas aluviales de las primeras lluvias y su desarrollo está favorecido por la humedad y el trabajo más rítmico de los ríos en esta región geomorfológica.

- Cuencas graníticas marginales: Se ubican en el borde oriental de la Cordillera de la Costa y representan un modesto conjunto de cuencas cerradas por el oeste y abiertas por pequeñas hebras fluviales en el este, que se caracterizan por un sistema de relleno acusado por viejos sistemas fluviales locales y otros alóctonos. La morfología de estas cuencas es ondulada y fuertemente deprimida debido a la complejidad de sus procesos de erosión y relleno.
- Llano Central: Se extiende desde la Angostura de Pelequén hasta el río Bío ocupando la Depresión Intermedia definida por limitar con la Cordillera de la Costa en el oeste y con la Cordillera andina en el este. El Llano Central fluvio-glacio-volcánico presenta forma de cono, estrecho en el norte y amplio hacia el sur, alcanzando en Chillán un ancho de 51 km, contra los 12 km que alcanza en San Fernando. Morfológicamente es una planicie suavemente ondulada, plana en algunos sectores e intensamente regada bajo condiciones de clima y suelo que han favorecido una activa ocupación por los seres humanos.
- Precordillera: Se extiende desde el cerro Las Hormigas al este de San Fernando, hasta las nacientes del río Allipén al oeste del Volcán Llaima en una franja N-S de aproximadamente 420 km. Esta unidad corresponde a una transición entre el Llano Central y la Cordillera andina que se caracteriza por poseer laderas abruptas y ríos encajonados. La Precordillera es de origen sedimentario y está compuesta por una acumulación caótica de materiales glaciales, volcánicos y fluviales dispuestos al pie de la Cordillera andina, se observan principalmente materiales fuertemente arcillosos y otros muy permeables constituidos por rodados multicolores, además de presentar una vegetación mesomórfica densa. Dentro de esta unidad hay fuertes manifestaciones de una tectónica reciente evidenciadas, evidenciada por la presencia de cuencas hidrotermales.
- Cordillera andina de retención crionival: Se extiende entre el cerro Juncal por el norte y el Volcán Llaima por el sur en un eje N-S de aproximadamente 360 km. Esta Cordillera andina se caracteriza en primer lugar por la abundante retención de nieve y de agua al estado sólido que se mantiene a causa del frío de la altura, y en segundo lugar por la ocupación de sus valles altos por recumbrientos glacio-volcánicos.

La Figura siguiente muestra la distribución de las unidades geomorfológicas principales de las regiones del Maule y del Ñuble, definidas por Börgel (1983), en la cual además se observa que el Proyecto está emplazado en el Llano central.

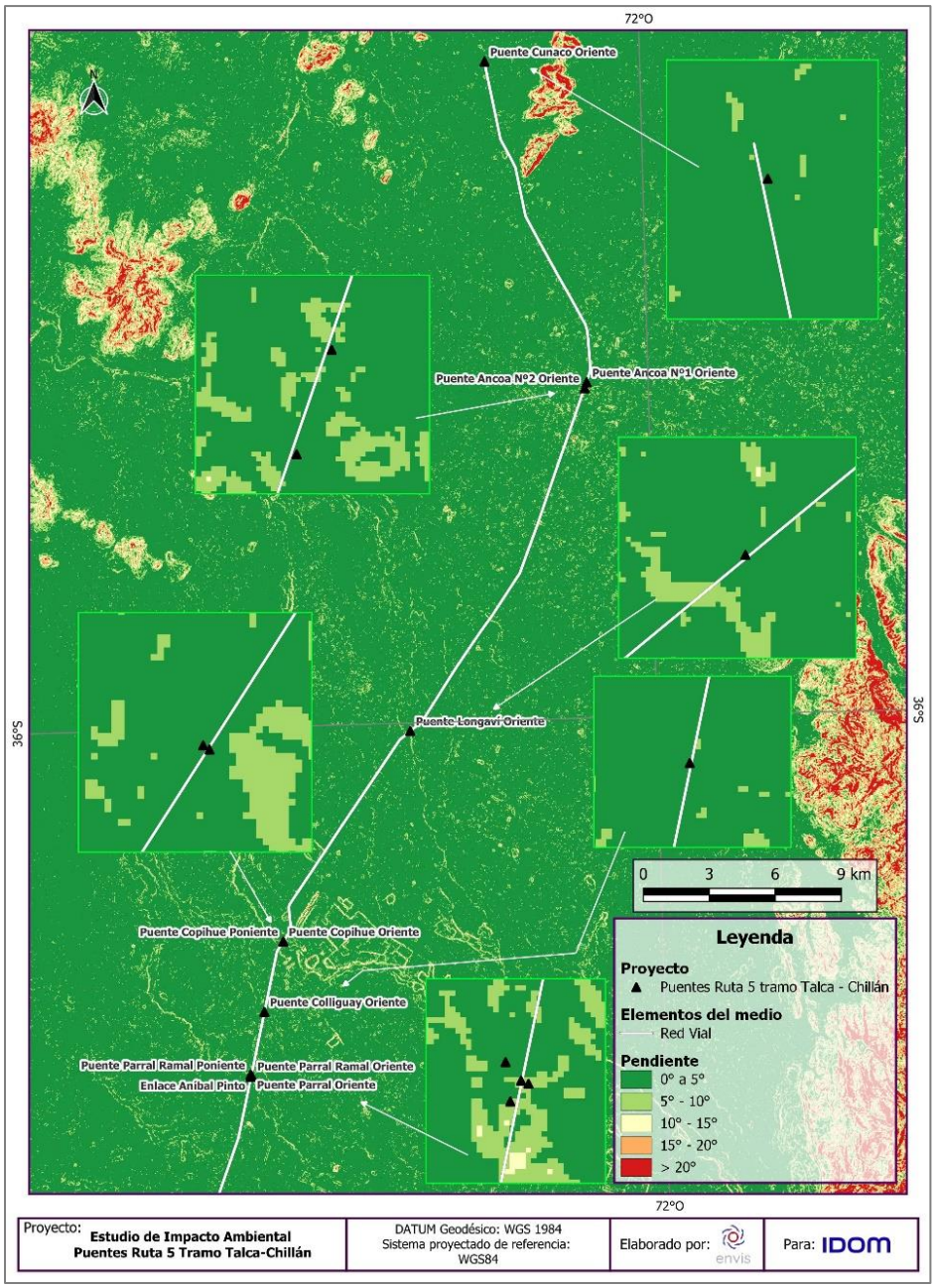
Adicionalmente, se realiza un cálculo de pendiente a partir de un modelo de elevación digital (DEM) para el área de emplazamiento del Proyecto. En la Figura siguiente se presentan las pendientes resultantes para las regiones del Maule y de Ñuble. En ella es posible observar que las mayores pendientes se encuentran en las zonas cordilleranas, tanto en la Cordillera de Costa como en la Cordillera Andina. Mientras que las menores pendientes, inferiores a 5°, se encuentran en la zona de la Depresión Intermedia, siendo esta la morfoestructura en la que se encuentra emplazado el Proyecto.

Figura 3- 15: Geomorfología de las regiones del Maule y de Ñuble.



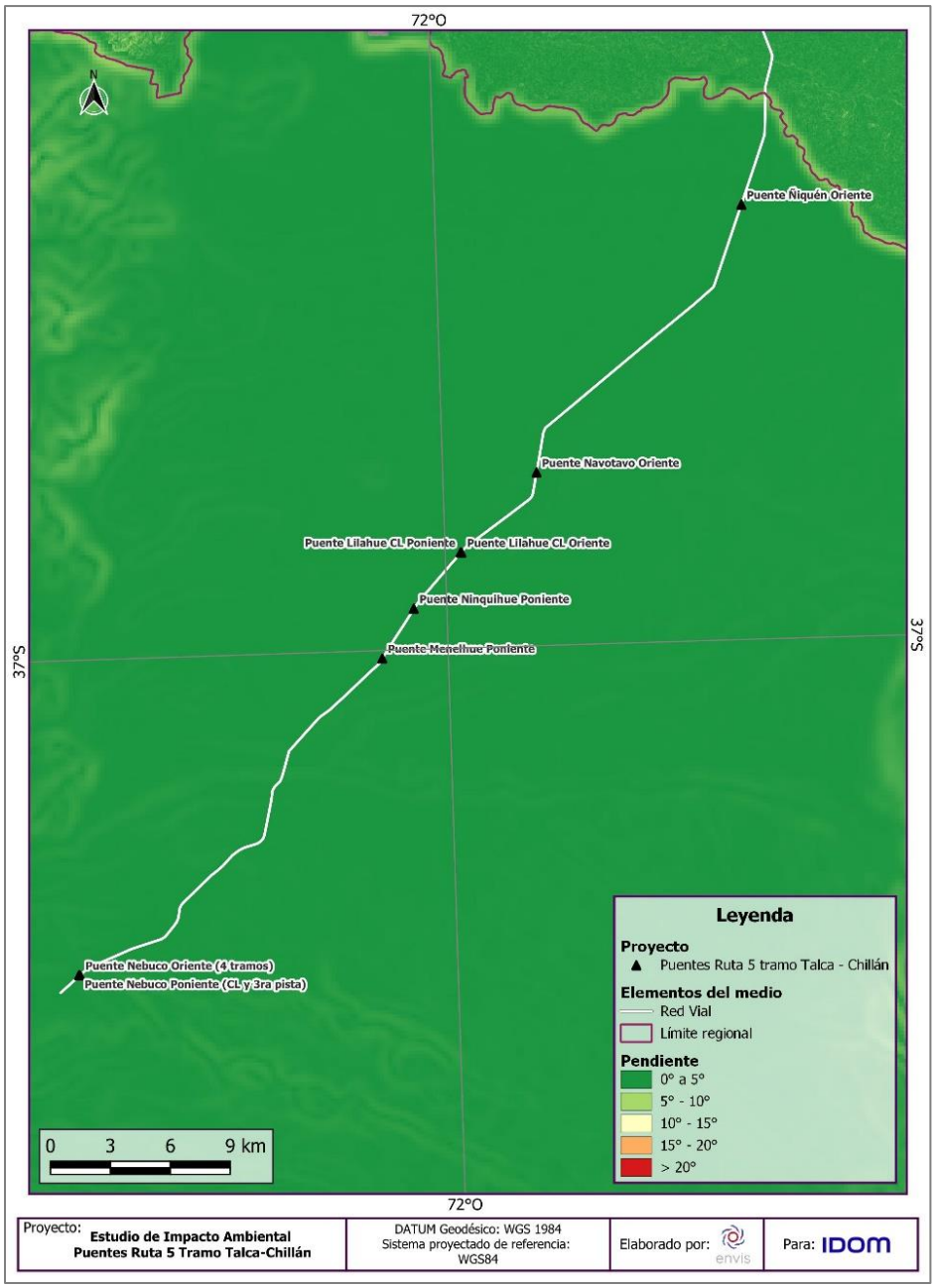
Fuente: Börgel, 1983.

Figura 3- 16: Mapa de pendiente, Sector Norte.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 17: Mapa de pendiente, Sector Sur.



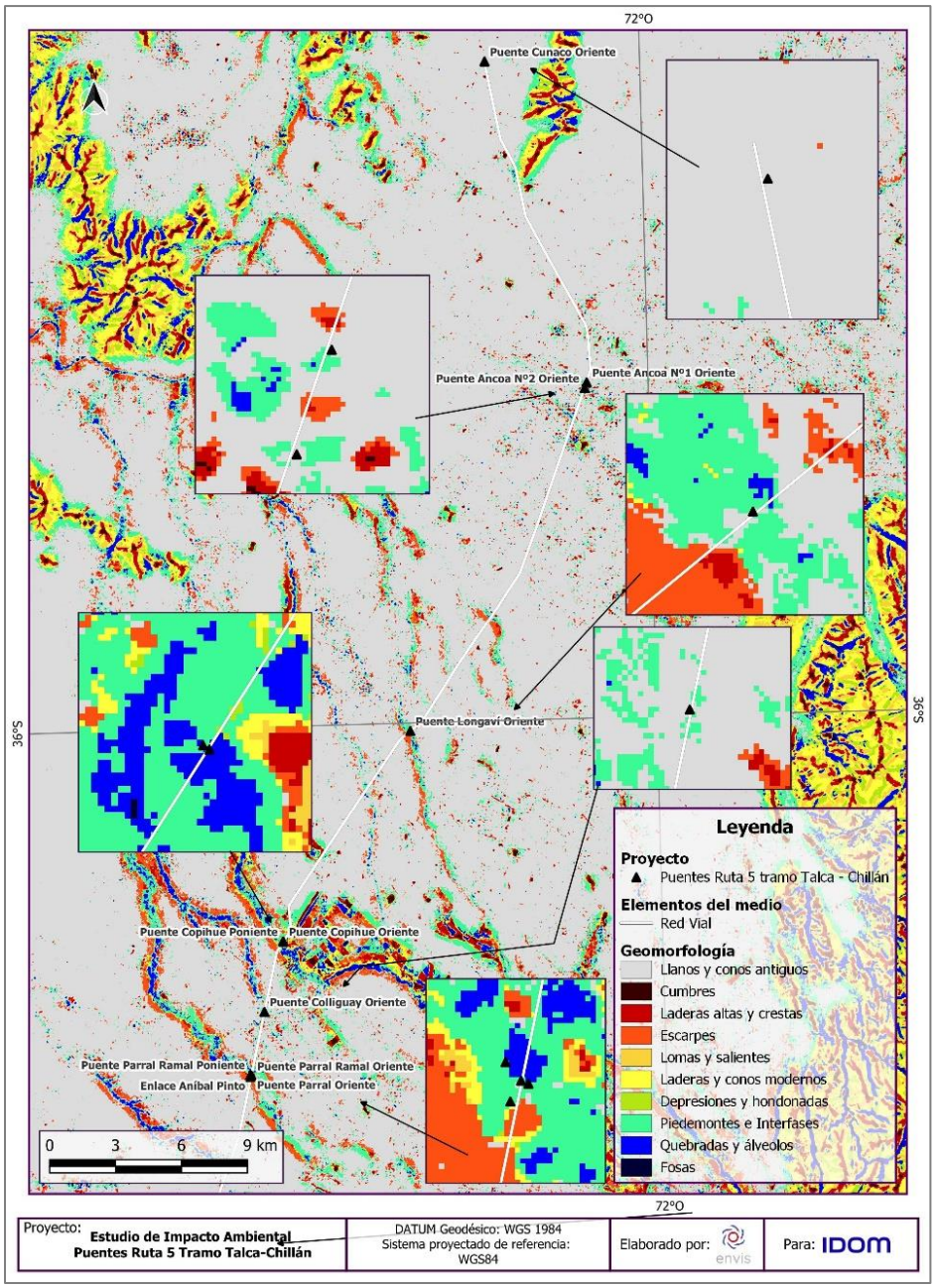
Fuente: ENVIS, 2024.

- Unidades geomorfológicas locales

En primera instancia, la caracterización de la geomorfología local se realiza mediante un análisis topográfico con *software* GIS, utilizando un modelo de elevación digital (DEM) del área de emplazamiento del Proyecto. El modelo identifica las geoformas comunes a partir de las variaciones de altitud y pendiente del área a evaluar, entregando como resultado un archivo ráster con la geomorfología de detalle.

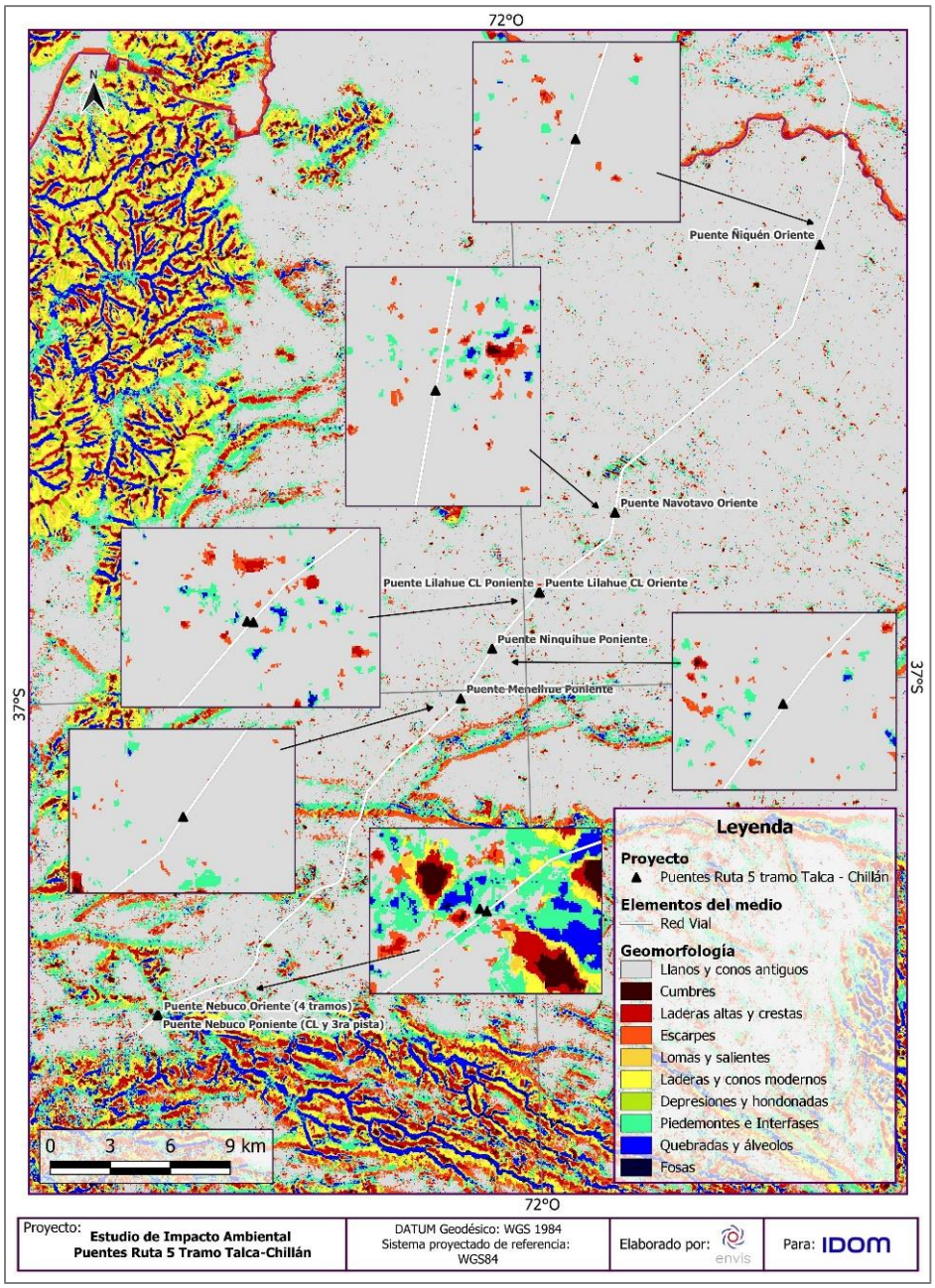
De dicho modelo es posible observar que el Proyecto se encuentra emplazado predominantemente en zonas llanas, y en menor medida en quebradas con escarpes y piedemontes asociadas a estas últimas, tal como se señala en las siguientes figuras.

Figura 3- 18: Geomorfología de detalle en el área del Proyecto, Sector Central.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 19: Geomorfología de detalle en el área del Proyecto, Sector Sur.



Fuente: ENVIS, 2024.

A partir de la información provista del modelo de elevación digital (DEM), la fotointerpretación realizada sobre el área de estudio, análisis del mapa de pendientes y lo observado durante la visita a terreno, se identifican las unidades geomorfológicas descritas a continuación:

Sectores llanos de pendientes suaves: El Proyecto se encuentra en una zona predominantemente plana con pendientes suaves (inferiores a 5°), siendo una característica representativa del Llano Central fluvio-glacio-volcánico definido por (Börgel, 1983). Esta morfoestructura se encuentra intervenida por valles transversales provenientes de la Cordillera Andina.

En la siguiente figura, se observan grandes campos de cultivo presentes en la zona central de Chile, emplazados sobre el Llano Central fluvio-glacio-volcánico. De fondo se observa el cordón montañoso de la Cordillera Andina, destacando la presencia del Volcán Nevado de Longaví.

Fotografía 4: Sectores llanos.



Fuente: ENVIS, 2023.

Quebradas: Corresponden a los valles transversales que atraviesan a la Depresión Intermedia. En el área del Proyecto y sus alrededores se pueden distinguir quebradas con geometría subdendrítica a subparalela, presentando un escurrimiento superficial en sentido E-O.

El área del Proyecto contempla la construcción de 18 puentes en 12 cauces activos, los cuales presentan diversas extensiones transversales, variando entre unos pocos a cientos de metros. El detalle Hidrológico puede ser revisado en la Línea de Base de Hidrología e Hidrogeología.

En la siguiente Fotografía es posible observar el río Longaví en su intersección con la Ruta 5, en esta sección el ancho del cauce es de 210 metros aproximadamente.

Fotografía 5: Río Longaví



Fuente: ENVIS, 2023.

En la siguiente Fotografía es posible observar el río Chillán en su intersección con la Ruta 5, en esta sección el ancho del cauce es de 30 metros aproximadamente.

Fotografía 6: Río Chillán.



Fuente: ENVIS, 2023.

En la siguiente Fotografía es posible observar el estero Navotavo en su intersección con la Ruta 5, en esta sección el ancho del cauce es de seis (6) metros aproximadamente. De forma general, se menciona que la mayoría de los cauces del Proyecto presentan anchos de escurrimiento similar al del estero Navotavo, variando entre 7 A 10 metros aproximadamente.

Fotografía 7: Estero Navotavo.



Fuente: ENVIS, 2023.

3.4.4 CONCLUSIONES

La línea de base presentó la caracterización de los componentes Geología y Geomorfología en el Área de Influencia del Proyecto y sus alrededores, con la finalidad de revisar y analizar la relación de este con el medio físico en el que se encontrará inserto.

El Proyecto “Construcción de Nuevos Puentes en los Subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”, se encuentra emplazado entre el Dm 287,906 de la Ruta 5 Sur al norte de la ciudad de Linares en la Región del Maule, y la localidad de Nebuco al suroeste de Chillán en la Región del Ñuble.

Geológicamente este tramo se caracteriza por estar emplazado sobre unidades sedimentarias de origen predominantemente fluvial, lacustre y fluvial periglacial, y sobre rocas volcánicas. En el Área de Influencia se identifican las siguientes unidades: Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule, Formación Mininco y Depósitos cineríticos.

Estas unidades se originan a partir de distintos procesos modeladores de paisaje. Los Depósitos fluviales antiguos del río Maule, se identifican a partir de paleocauces, donde se evidencia la acción de mecanismos de acción erosiva, transporte y sedimentación. Se caracterizan por presentar sedimentos fluviales gruesos, como ripio, gravas y gravas arenosas con algunas intercalaciones limo-arcillosas.

En la Formación Mininco se identifican depósitos lacustres y fluviales periglaciales. Los primeros se relacionan al material fino decantado en las masas de agua continentales, y los segundos se asocian a la erosión, transporte y depositación de sedimento producto de corrientes de agua esporádicas como consecuencia del derretimiento de masas de hielo continentales.

Los depósitos cineríticos están asociados a la acumulación de material volcanosedimentario proveniente de columnas eruptivas producidas durante erupciones volcánicas, este proceso permite el transporte y depositación de ceniza y lapilli.

Geomorfológicamente, el Proyecto se encuentra inserto en la Depresión Intermedia en una zona de Llano central fluvio-glacio-volcánico, el cual se caracteriza por presentar sectores llanos de pendiente suave, que conforman planicies modeladas a partir de procesos fluviales, glaciales y volcánicos. Esta morfoestructura se encuentra intervenida por las redes de drenaje provenientes de la Cordillera Andina que actúan como agente dinamizador de la composición litológica y morfológica del área.

Dadas las características anteriormente mencionadas y a partir del planteamiento metodológico presentado en este informe, se define el Área de Influencia como el área directa de emplazamiento de las partes, obras y/o acciones del Proyecto, tanto permanentes como temporales, adicionando un área de amortiguación (buffer) de 25 metros desde el linde de las partes poligonales.

Adicionalmente, se destaca que los componentes Geología y Geomorfología no presentan sensibilidad ambiental relevante en el Área de Influencia. Así mismo, el Proyecto “Construcción de Nuevos Puentes en los Subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur” no tiene incidencias significativas sobre las componentes caracterizadas en la presente Línea de Base.

La siguiente tabla, describe la sensibilidad ambiental asociada a los puentes para la componente Geología y Geomorfología:

Tabla 3- 51: Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Geología y Geomorfología.

Nombre Puente	Descripción de la sensibilidad
Cunaco Oriente	No se identifican sensibilidades ambientales relevantes para este componente.
Ancoa N°1 Oriente	
Ancoa N°2 Oriente	
Longaví Oriente	
Copihue Oriente	
Copihue Poniente	
Colliguay Oriente	
Parral Oriente	
Parral Ramal Oriente	
Parral Ramal Poniente	
Ñiquén Oriente	
Navotavo Oriente	
Lilahue Oriente Calle Local	
Lilahue Poniente Calle Local	
Ninquihue Poniente	
Menelhue Poniente	
Nebuco Oriente	
Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	

Fuente: ENVIS, 2023.

3.4.5 BIBLIOGRAFÍA

Börgel, R. 1983. *Geomorfología*. Santiago, Chile: Instituto Geográfico Militar. 82 páginas: ilustraciones (algunas en color), diagramas, mapas; 27 cm. + 1 mapa plegable en color en bolsillo.

Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M. P. (2007). *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile*. En: Moreno, T., Gibbons, W. (Eds). The Geology of Chile. Geological Society, London, p. 21–114

Díaz B, C. C. (2021). *Análisis de facies de las unidades volcánicas y sedimentarias oligo-miocenas en el cordón Cerro las Vizcachas (35° 45'-35° 50'S), Región del Maule, Chile* (Memoria, Universidad Andrés Bello).

DGA (2010). *Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del Río Maule.*

DGA (2011). *Estudio hidrogeológico cuencas Bío e Itata.*

https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/5428

DGA (2018). *Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Maule.* *https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/6935*

Gajardo, A. (1981). *Hoja de Concepción-Chillan, Región del Bío-Bío*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mapas Geológicos Preliminares 4: 32 p., escala 1:250.000.

González, O. & Vergara, M. (1964*). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Sur*. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicaciones, No. 24.

Klohn, C. (1960). *Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Provincias de Santiago, Colchagua y Curicó*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín Nº8, 95 p.

Maldonado, V., Contreras, M. & Melnick, D. 2021. *A comprehensive database of active and potentially-active continental faults in Chile at 1:25,000 scale*. Sci Data 8, 20. https://doi.org/10.1038/s41597-021-00802-4

Muñoz, J., Troncoso, R., Duhart, P., Crignola, P., Farmer, L., & Stern, CR. 2000. *La relación del cinturón magmático costero del Terciario medio en el centro-sur de Chile con el aumento en la tasa de convergencia de placas del Oligoceno tardío*. *Revista geológica de Chile*, *27*(2), 177-203.

SERNAGEOMIN, 2003. *Mapa Geológico de Chile: versión digital*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 4 (CD-ROM, versión1.0, 2003). Santiago.

Thiele, R. & Nasi, R. (1982*). Evolución tectónica de los Andes a la latitud de 33 y 34 Sur (Chile Central) durante el Mesozoico*. Revista Geológica de Chile No. 16, p. 81-99

Troncoso, A., & Herbsth, R. (2007). *Cuatro flórulas del Triásico Superior del centro sur de Chile (Cerro Ranguilí, Cerro Quilvo, Cerro Gupo y Río Quillén)*. Ameghiniana, 44(4), p. 661-672.

Vergara, M.; Muñoz, J. (1982). *La Formación Colade Zorro de la Alta Cordillera Andina chilena (36°-39° Lat. S.), sus características petrográficas y petrológicas: una revisión*. Revista Geológica de Chile, No. 17, p. 31-46.

3.5 LÍNEA BASE HIDROLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA

Considerando los contenidos mínimos para los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) exigidos en el artículo 12 de la Ley N°19.300 (de Bases Generales del Medio Ambiente o LBGMA) y en el artículo 18 del Decreto N°40/2012, y N°30/2023 (Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental o RSEIA), el presente documento presenta la descripción y caracterización de las componentes ambientales hidrología e hidrogeología en el marco del Proyecto de Construcción de Nuevos Puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur, Concesión Ruta 5 tramo Talca - Chillán (en adelante “el Proyecto”).

Cabe señalar, a modo de contextualización general, que el Proyecto tiene por objetivo la construcción de 13 puentes de reemplazo y 5 puentes nuevos en una longitud estimada de 135 km, entre los kilómetros 277 y 412 de la Ruta 5, cuyo emplazamiento se encuentra entre las regiones de Maule y Ñuble, los que se presentan en la Tabla siguiente, junto a las principales características de los puentes y cauce natural asociado.

Tabla 3- 52: Puentes del Proyecto y sus características.

N°	Puente	Comuna	Cauce	Largo (m)	Intervención
1	Cunaco Oriente	Villa Alegre	Estero Tornicura	20	Reemplazo completo, Nueva estructura
2	Ancoa N°1 Oriente	Linares	Río Ancoa	94,2	Reemplazo completo, Nueva estructura
3	Ancoa N°2 Oriente	Linares	Río Ancoa	114,51	Reemplazo completo, Nueva estructura
4	Longaví Oriente	Longaví	Río Longaví	319,89	Reemplazo completo, Nueva estructura
5	Copihue Oriente	Retiro	Estero Copihue	24,69	Reemplazo completo, Nueva estructura
6	Copihue Poniente	Retiro	Estero Copihue	24,84	Reemplazo completo, Nueva estructura
7	Colliguay Oriente	Retiro / Parral	Estero Colliguay	13,1	Reemplazo completo, Nueva estructura
8	Parral Oriente	Parral	Estero Parral	16,2	Reemplazo completo, Nueva estructura

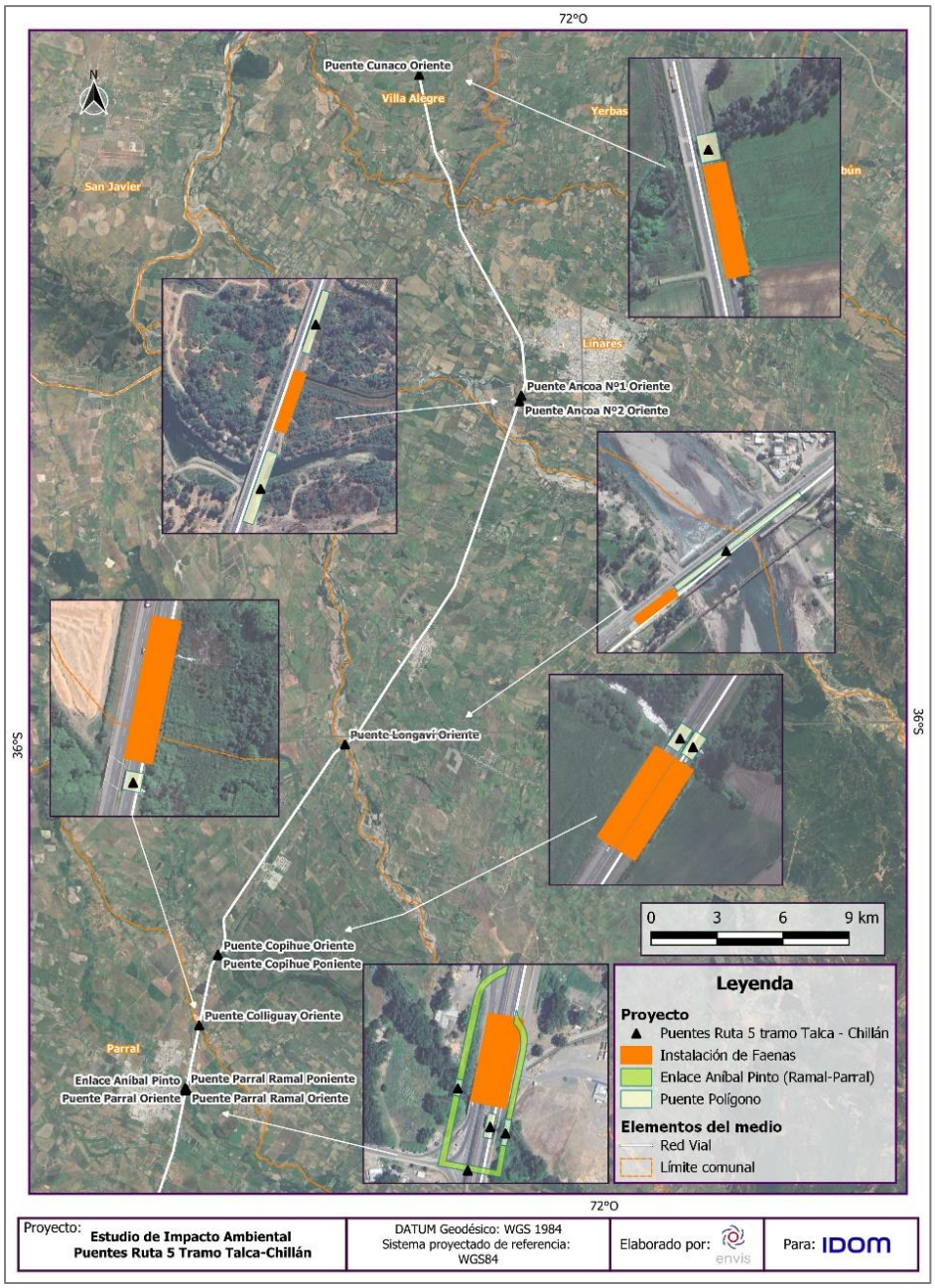
N°	Puente	Comuna	Cauce	Largo (m)	Intervención
9	Parral Ramal Oriente	Parral	Estero Parral	15	Nueva estructura para calle local
10	Parral Ramal Poniente	Parral	Estero Parral	15	Nueva estructura para calle local
11	Ñiquén Oriente	Ñiquén	Río Ñiquén	35,84	Reemplazo completo, Nueva estructura
12	Navotavo Oriente	San Carlos	Estero Cochepérez Estero Navotavo	32,98	Reemplazo completo, Nueva estructura
13	Lilahue Oriente Calle Local	San Carlos	Estero Carbonero	15	Nueva estructura para calle local
14	Lilahue Poniente Calle Local	San Carlos	Estero Carbonero	15	Nueva estructura para calle local
15	Ninquihue Poniente	San Carlos	Estero Lirutao	19,72	Reemplazo completo, Nueva estructura
16	Menelhue Poniente	San Carlos	Estero Rauco	23,72	Reemplazo completo, Nueva estructura
17	Nebuco Oriente	Chillán Viejo	Río Chillán	156,27	Reemplazo completo, Nueva estructura
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Chillán Viejo	Río Chillán	159,89	Nueva estructura para calle local

Fuente: SURVIAS, 2022.

Junto a los puentes, el Proyecto considera el desarrollo de instalaciones de faenas (en adelante IF) temporales que permitirán la construcción de dichos puentes, a ubicarse a un costado de las obras (al norte o al sur del puente), y en algunos, la instalación de faena será trasladada al otro lado de la calzada según avance de la construcción de los puentes.

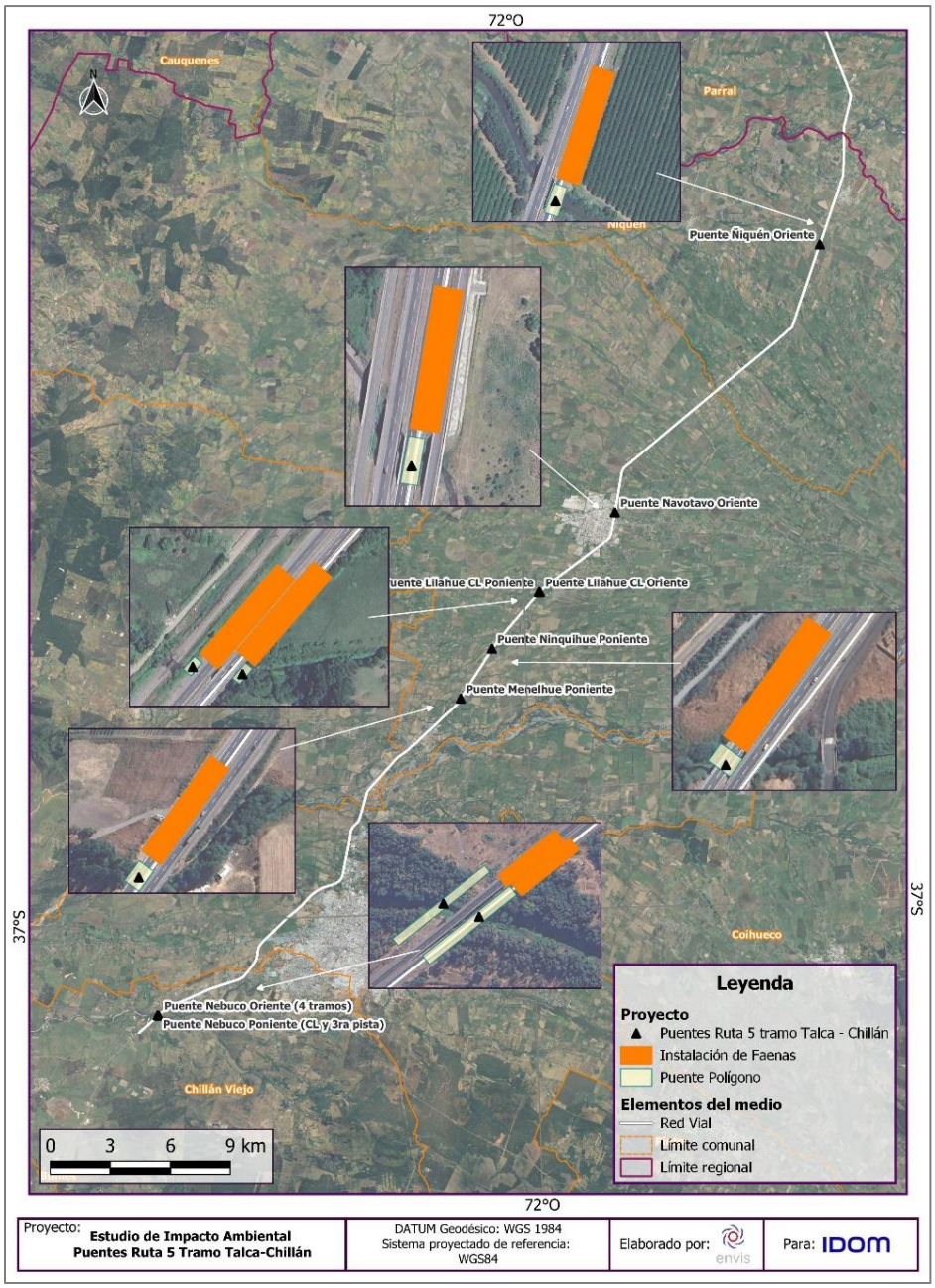
La Figuras siguientes presentan la distribución espacial de los puentes y junto a ellos, las instalaciones mencionadas.

Figura 3- 20: Ubicación y obras del proyecto, al norte de Parral.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 21: Ubicación y obras del proyecto, al sur de Parral.



Fuente: ENVIS, 2024.

La presente sección muestra los antecedentes asociados a los sistemas hídricos potencialmente interactuantes con el Proyecto. Su desarrollo implica un análisis descriptivo de aguas superficiales y subterráneas en el área de influencia del Proyecto, además de la caracterización de las variables hidrometeorológicas más relevantes; y la identificación de la red hidrográfica existente en el área de influencia y su entorno.

El desarrollo de este componente ambiental se presenta en cinco partes, correspondientes a los objetivos, donde se señalan los alcances del informe; la metodología, que define el marco de técnicas y criterios utilizados para las caracterizaciones ambientales; los resultados; las conclusiones, donde se resumen los contenidos e interpretan los atributos relevantes o sensibles del componente, y la bibliografía, que menciona los datos referenciales necesarios para ubicar o identificar las citas y datos utilizados en esta caracterización.

3.5.1 OBJETIVOS

3.5.1.1 Objetivo General

Caracterizar los sistemas hídricos superficiales como subterráneos, tanto naturales como artificiales que se relacionan con el área de influencia del Proyecto, para definir las potenciales interacciones, en el marco del propósito de descartar o constatar impactos ambientales significativos.

3.5.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las partes que constituyen los sistemas hídricos en contacto o potencialmente interactuantes con el Proyecto, contemplando su clasificación inicial en aguas superficiales y aguas subterráneas.
- Relacionar las partes que participan en los sistemas hídricos del área de influencia, contemplando su interacción potencial con el Proyecto.
- Definir y entender la normativa ambiental aplicable al Proyecto, en función de las relaciones e interacciones potenciales entre los sistemas hídricos y este.

3.5.2 METODOLOGÍA

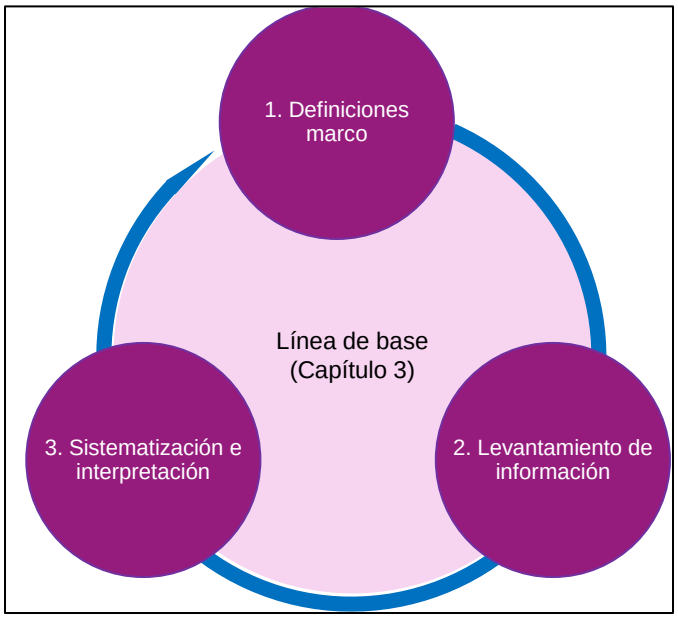
La metodología fue diseñada para cumplir con el proceso iterativo de la evaluación ambiental (SEA, 2017), es decir: el ajuste gradual y correlativo del área de influencia, las descripciones ambientales y la predicción/evaluación de impactos ambientales. Dicho proceso va desde las definiciones, datos y predicciones de impacto más someras (basadas en simples correlaciones geográficas de datos), hasta las definiciones, descripciones ambientales y predicciones más robustas y detalladas, dependiendo del caso en evaluación.

El grado de detalle de este proceso, para cada elemento del medio ambiente, depende de si las áreas de influencia, los antecedentes reunidos y las predicciones realizadas, son suficientes como para determinar la presencia o ausencia de impactos potenciales y precisar su significancia ambiental.

Respecto al desarrollo de la metodología utilizada para la caracterización de este componente ambiental, se contemplan tres etapas que se relacionan entre sí, los cuales se visualizan en la Figura siguiente secuencia metodológica, y que corresponden a:

a) Definiciones marco, que reúne y da la base de los criterios utilizados para definir el alcance, levantamiento de información y análisis del componente;
b) Levantamiento de información, que especifica las técnicas y pautas utilizadas para el levantamiento y registro de datos;
c) Sistematización, que establece cómo se interpretarán los datos, cómo se organizará la información levantada y la forma de presentar los resultados.

Figura 3- 22: Secuencia metodológica.



Fuente: ENVIS, 2023.

3.5.2.1 Definiciones marco

3.5.2.1.1 Marco de Referencia Técnico

La caracterización de la hidrografía del área de influencia preliminar se ha realizado por medio de la revisión de antecedentes bibliográficos y el levantamiento de información en terreno. Con esta última, se procedió a elaborar la cartografía definitiva para el componente ambiental. Cabe mencionar que el levantamiento de información se ha realizado considerando distintas fuentes de información secundarias, principalmente, guiados por el Criterio de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico (SEA, 2022), la Guía para la descripción del área de influencia (SEA, 2017) y la Guía metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA (SEA, 2023).

3.5.2.2 Levantamiento de Información

3.5.2.2.1 Revisión Bibliográfica

A partir del área de influencia se realizó una revisión y selección bibliográfica, con la finalidad de contextualizar adecuadamente el entorno del Proyecto, considerado distintas fuentes secundarias de información que permitan caracterizar el área de estudio, como la hidrografía superficial y subterránea del sector. Los antecedentes más relevantes contemplados son:

- Mapoteca de la Dirección General de Aguas: Corresponde a la mayor parte de la información hidrográfica disponible, contando con capas vectoriales de cuencas, subcuencas, microcuencas y red hidrográfica a nivel nacional; además de capas de cuerpos de agua, salares y glaciares. Dentro de esta misma Dirección, es posible encontrar información relacionada a estaciones meteorológicas y fluviométricas, que permitieron caracterizar los principales cauces naturales y las crecidas asociadas a estos, como el clima. De igual forma, se consideró para la obtención de información hidrogeológica.
- Infraestructura de Datos Geoespaciales (en adelante IDE) del Ministerio de Bienes Nacionales: Contiene información recopilada de diversas instituciones públicas en relación con datos geoespaciales. Algunas de las capas vectoriales de interés a utilizar de este medio, correspondieron a límites comunales, regionales y territoriales; además de los principales ejes viales del país.
- Información geológica: Se considera toda información publicada por el Servicio Nacional de Geología y Minería (en adelante SERNAGEOMIN) y la Dirección General de Aguas (en adelante DGA) utilizada en la confección de cartas geológicas y planes estratégicos de gestión hídrica.
- Escenarios de Cambio Climático: Se analiza la información publicada por el Ministerio del Medioambiente (MMA) en las plataformas Atlas de Riesgo Climático (ARClim) y el Explorador de Amenazas Climáticas, con la finalidad de identificar las variaciones de los distintos parámetros hidrometereológicos frente a escenarios de cambio climático en el área de emplazamiento del Proyecto.

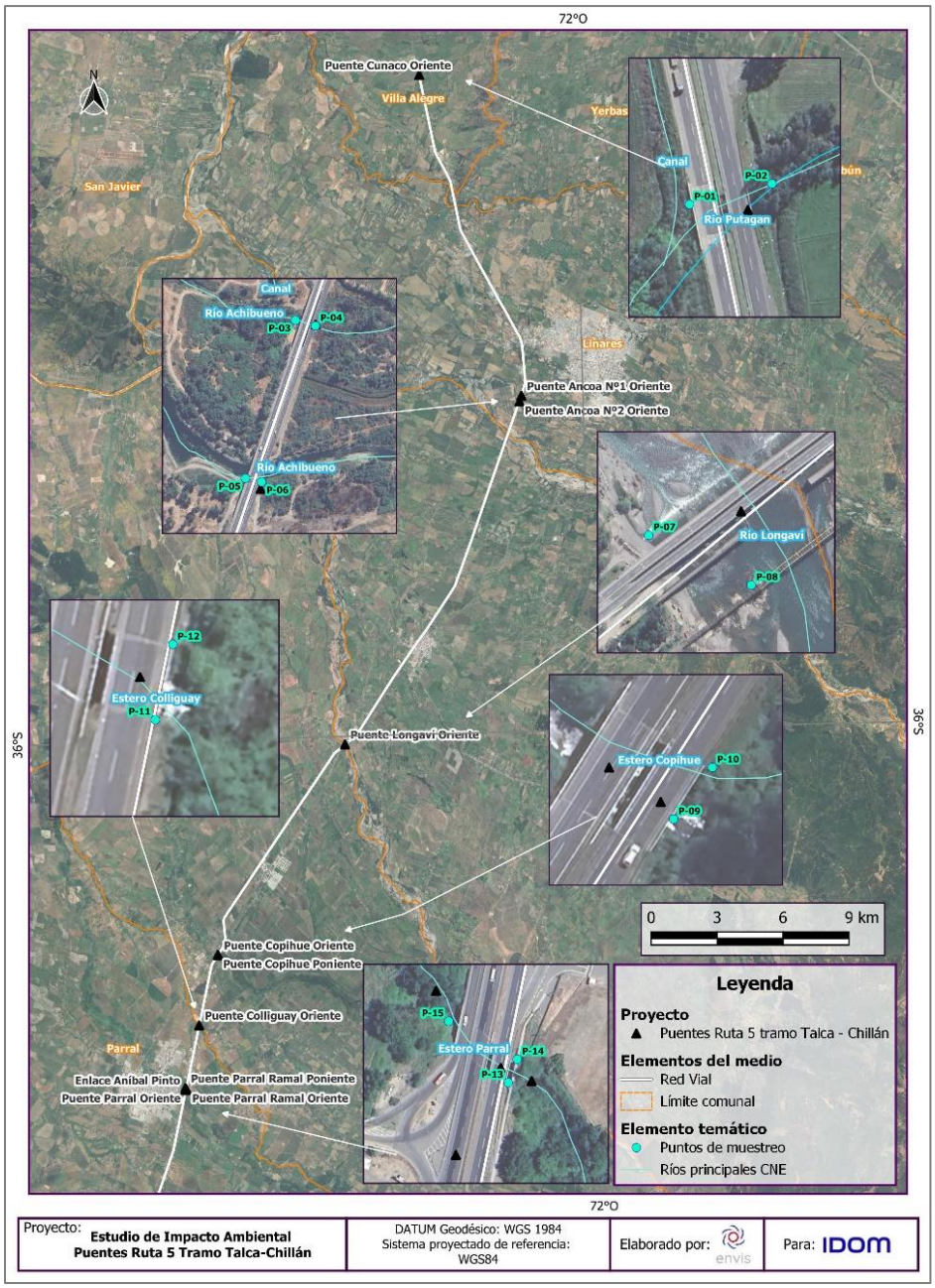
Además de lo anterior, se ha considerado el uso de estudios anteriormente realizados en el área del proyecto (Ruta 5 tramo Talca – Chillán), que puedan ser representativos del sector en donde se emplazará el Proyecto o de las características generales de las cuencas de interés.

3.5.2.2.2 Inspección Superficial

El levantamiento de la línea de base hidrológica considera la caracterización de distintas variables hidrometeorológicas como morfológicas de cauces, que permitan definir completamente las fuentes superficiales que componen o guardan relación con el Proyecto. Una parte de estas variables es determinada a partir de específicamente información secundaria (imágenes satelitales, catastros y estadísticas públicas), no así la identificación de cauces naturales como artificiales de menor envergadura, los que requieren en la mayoría de los casos, la corroboración visual (en terreno), dado que no se encuentran catastrados o no es posible aseverar a través de información secundaria su existencia.

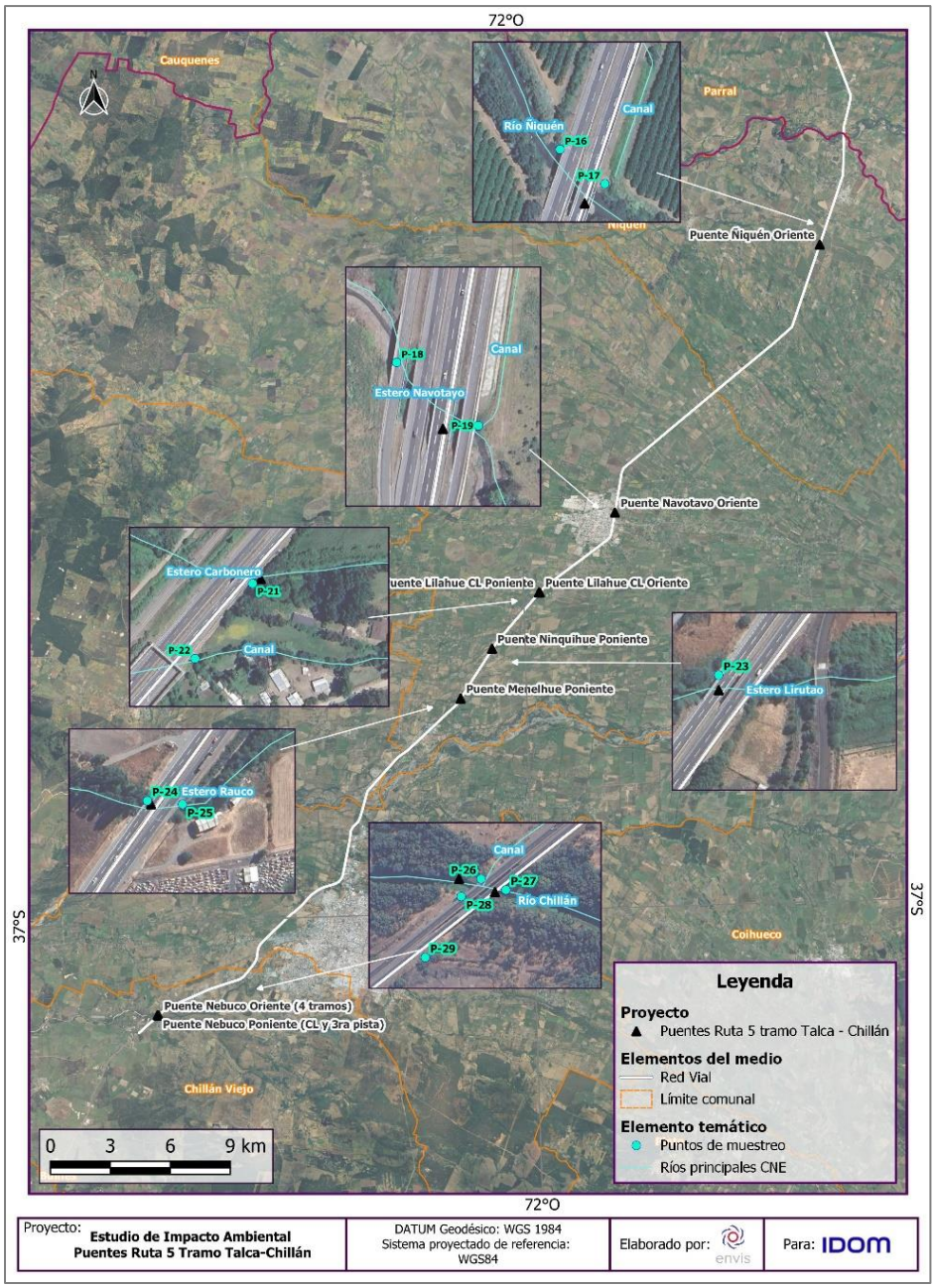
Debido a lo anterior, fue necesario la realización de trabajos en terreno con el objeto de identificar aquellos cauces no observados a partir de información secundaria. Para ello, se desarrolló una visita entre los días 12 y 15 de diciembre del año 2022 al sector de emplazamiento del Proyecto, por Ignacio Gutiérrez, Ingeniero Civil con mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental, y la Geóloga Catalina Ferrada. En total se inspeccionaron 34 puntos de muestreo georreferenciados (ver Anexo 3-2 Hidrología e Hidrogeología), en los que se buscó caracterizar los cauces naturales a intervenir, como la corroboración de cauces artificiales circundantes a los puentes. Los puntos de observación aludidos se representan en la siguiente Figura y sus coordenadas se detallan en la siguiente Tabla.

Figura 3- 23: Puntos de observación considerados en visita a terreno, al norte de Parral.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 24: Puntos de observación considerados en visita a terreno, al sur de Parral.



Fuente: ENVIS, 2024.

En total se consideraron 29 puntos de muestreo que se distribuyeron a lo largo de los distintos puentes en análisis, cuyas coordenadas se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 3- 53: Coordenadas de los puntos de muestreo. Campaña de primavera 2022.

Puente	Cauce Natural	Zona	Puntos observación	Coordenadas Datum WGS-84 Huso 18 y 19 S	
				Este	Norte
Puente Cunaco	Estero Tornicura	Zona 1	P-06	257.770	6.042.737
			P-07	257.806	6.042.746
Puente Ancoa N°1	Río Ancoa		P-08	262.412	6.028.138
			P-09	262.444	6.028.129
Puente Ancoa N°2			P-10	262.332	6.027.885
			P-11	262.358	6.027.879
Puente Longaví	Río Longaví	Zona 2	P-12	254.321	6.012.231
			P-13	254.426	6.012.180
Puente Copihue	Estero Copihue		P-14	248.644	6.002.665
			P-15	248.653	6.002.677
Puente Colliguay	Estero Colliguay		P-16	247.780	5.999.461
			P-17	247.783	5.999.474
Puente Parral	Estero Parral		P-18	247.185	5.996.559
			P-19	247.190	5.996.572
			P-20	247.152	5.996.593
Puente Ñiquén	Río Ñiquén		P-21	245.968	5.978.671
			P-22	245.994	5.978.651
Puente Navotavo	Estero Navotavo	Zona 3	P-23	235.699	5.965.269
			P-24	235.752	5.965.228
			P-25	235.797	5.965.453
			P-26	231.959	5.961.214

Puente	Cauce Natural	Zona	Puntos observación	Coordenadas Datum WGS-84 Huso 18 y 19 S	
				Este	Norte
Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	Estero Carbonero	Zona 3	P-27	231.910	5.961.150
Puente Ninquihue*	Estero Lirutao		P-28	767.110	5.958.520
Puente Menelhue*	Estero Rauco		P-29	765.382	5.956.118
			P-30	765.412	5.956.115
Puente Nebuco*Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)	Río Chillán		P-31	749.278	5.941.240
			P-32	749.312	5.941.225
			P-33	749.251	5.941.216
			P-34	749.202	5.941.133

Fuente: Elaboración propia en base campaña de terreno, diciembre, 2022. * Datum WGS 84 Huso 18 S.

3.5.2.3 Sistematización

A partir de los datos obtenidos desde la revisión bibliográfica y desde el trabajo de terreno, se establecieron las principales categorías que permitieron organizar e interpretar la información para este componente, la cual se divide en dos aspectos, los que se definen a continuación:

3.5.2.3.1 Caracterización del Componente y Generación de Cartografía

Con base en la información recabada durante la campaña de terreno y en gabinete, se generó la cartografía asociada a la red hidrográfica superficial local, la cual permite conocer la relación que posee el Proyecto con este componente, mejorando la información predispuesta en las fuentes de información secundaria.

La caracterización de este componente y la cartografía se realizaron conforme a los lineamientos de las guías y pautas de evaluación ambiental del recurso hídrico, considerando entregar la caracterización general del área de estudio, en términos de la definición de cauces, meteorología

atingente, otros cuerpos de agua o formas del recurso hídrico, derechos de agua, regulación y nivel freático de las aguas subterráneas, junto a otros factores que puedan ser influyentes al Proyecto.

3.5.2.3.2 Evaluación de la Interacción con el Recurso Hídrico

La evaluación de interacciones entre el recurso hídrico se realiza en función de la cartografía y antecedentes recabado al interior del área de influencia, definiendo en función del tipo de obra que interactúa con el recurso hídrico el tipo de alteración que pueda producir sobre éste, en términos de sus características físicas, químicas y sedimentológicas, la magnitud de la intervención y temporalidad.

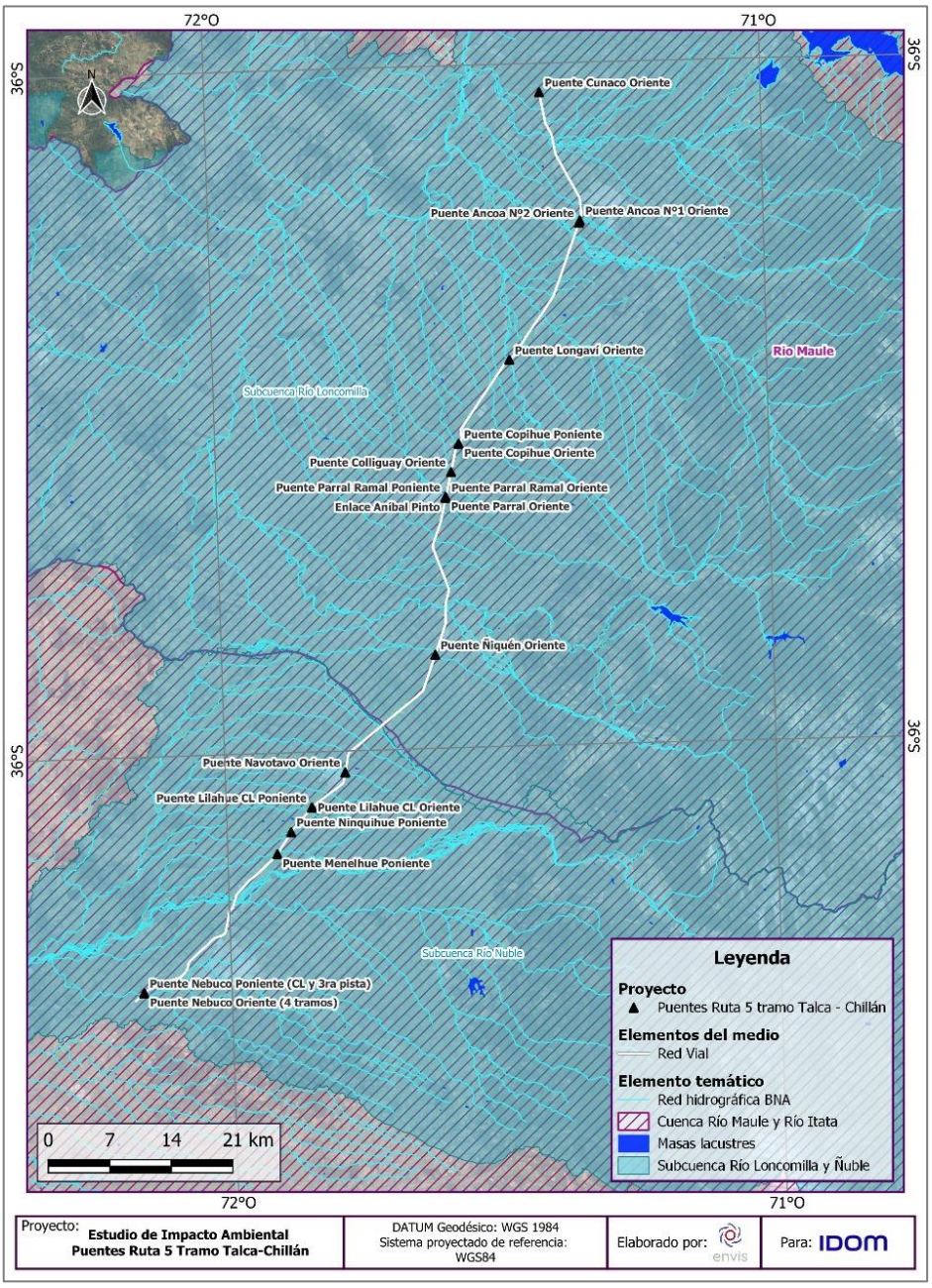
3.5.3 RESULTADOS

3.5.3.1 Hidrología

3.5.3.1.1 Hidrografía Superficial

En términos hidrográficos y según el catálogo de cuencas del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (en adelante DARH) de la DGA, el Proyecto y su Área de Influencia se encuentran emplazados en las cuencas del Río Maule y Río Itata (correspondientes a los códigos 073 y 081 del Inventario Público de Cuencas Hidrográficas (DGA), respectivamente), en las subcuencas del Río Loncomilla y Ñuble en donde se distribuyen tal como se presenta en la figura siguiente:

Figura 3- 25: Ubicación hidrográfica del Proyecto



Fuente: ENVIS, 2024.

En la Tabla siguiente, se presentan de forma específica la ubicación hidrográfica de cada Puente en relación con las subcuencas y subsubcuencas en cada caso según el catálogo del DARH.

Tabla 3- 54: Ubicación del Proyecto en relación con las cuencas, subcuencas y subsubcuencas del catálogo DARH.

N°	Puente	Cuenca	Subcuenca	Subsubcuenca[5]
1	Cunaco Oriente	Río Maule	Río Loncomilla	Río Putagán
2	Ancoa N°1 Oriente			Río Achibueno entre Río Ancoa y Río Loncomilla
3	Ancoa N°2 Oriente			
4	Longaví Oriente			Río Longaví entre Río Bullileo y Río Loncomilla (excepto Río Liguay)
5	Copihue Oriente			Río Perquilauquén Entre Estero Torreón y Río Longaví
6	Copihue Poniente			
7	Colliguay Oriente			Estero Torreón
8	Parral Oriente			
9	Parral Ramal Oriente			
10	Parral Ramal Poniente			
11	Ñiquén Oriente			Río Ñiquén
12	Navotavo Oriente	Río Itata	Río Ñuble	Río Changaral
13	Lilahue Oriente Calle Local			
14	Lilahue Poniente Calle Local			
15	Ninquihue Poniente			Río Ñuble entre Río Cato y Río Chillán
16	Menelhue Poniente			Río Ñuble entre Estero Pangue y Río Cato
17	Nebuco Oriente			Río Chillán entre Estero Peladillas y Río Ñuble
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)			

Fuente: ENVIS, 2023.

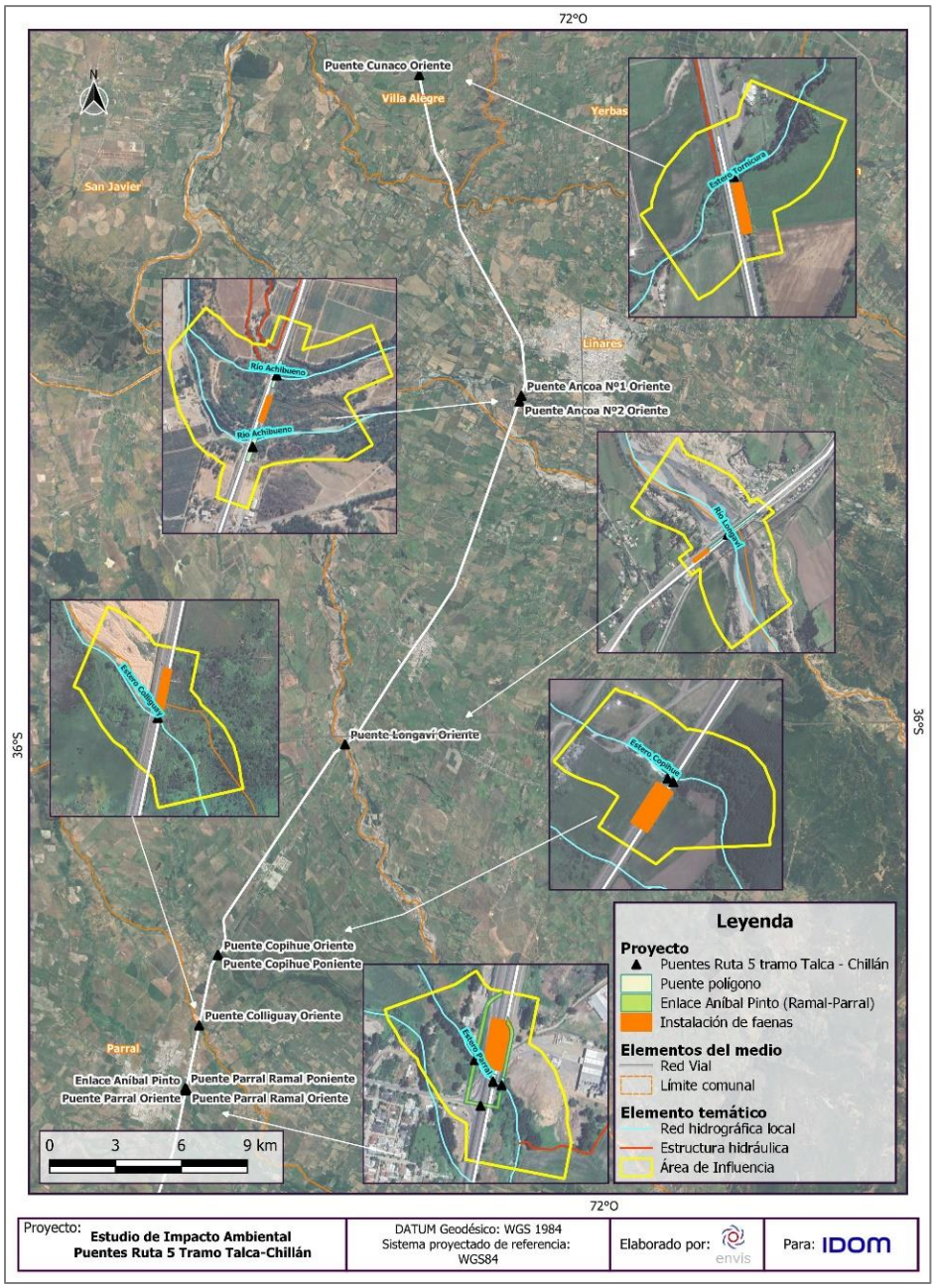
La cuenca del río Maule comprende un área aproximada de 20.295 km^2 siendo la cuarta en extensión del país, cuyo cauce principal correspondiente al río Maule, nace en la cordillera de los Andes al oriente de la cuenca, al norponiente de la laguna de igual nombre. Su desarrollo es principalmente norponiente, atravesando en su recorrido el embalse Colbún, con distintos afluentes en su recorrido, siendo alguno de los principales el río Loncomilla y el río Claro en el sector de la depresión intermedia. La desembocadura de la cuenca se encuentra al norponiente, en donde el río vierte sus aguas al mar después de un recorrido de más de 250 km.

En relación con la cuenca del río Itata, esta comprende un área aproximada de 11.294 km^2, con un desarrollo principal en dirección poniente desde el sector sureste de la cuenca en donde nace, recibiendo distintos afluentes en su recorrido y siendo el principal el río Ñuble, aproximadamente 85 km aguas debajo de su nacimiento, y el cual (río Ñuble) se desarrolla paralelamente desde el sector noreste. La desembocadura de la cuenca se encuentra al norponiente, en donde el río vierte sus aguas al mar después de un recorrido de más de 150 km.

A nivel local y según lo expuesto en el capítulo 2 (Determinación y Justificación del Área de Influencia), los puentes del Proyecto se relacionan con distintos esteros y ríos que se buscan atravesar con dichas estructuras. A pesar de ello, la información secundaria (proveniente del Banco Nacional de Aguas, BNA) no posee un nivel de detalle suficiente que permita la correcta caracterización de los cauces naturales como infraestructura (cauces artificiales u otros) en los sectores inmediatos a las obras, sin “existir” ciertos cauces o canales acorde a esta cartografía.

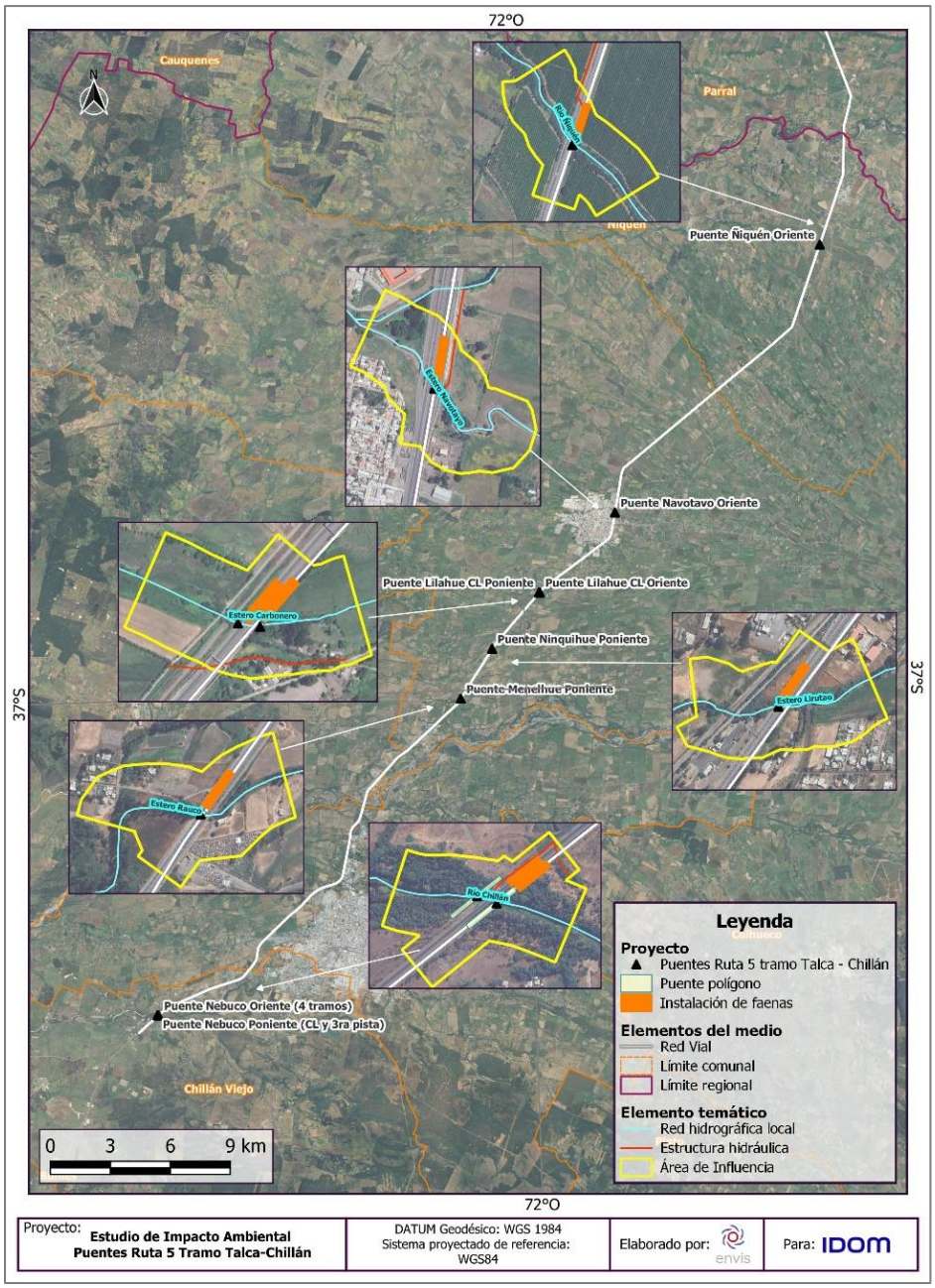
Por lo anterior, para complementar la red hidrográfica superficial, se consideran los resultados de la visita a terreno realizada entre el 12 y 15 de diciembre de 2022 (para un mayor detalle, ver Anexo 3-2 Hidrología e Hidrogeología), a partir de la cual fue posible conocer y caracterizar la red hidrográfica local, tanto natural como artificial, a través del registro fotográfico y recorrido general del sector de los puentes. Del mismo modo, fue posible rectificar la cartografía existente, mejorando ésta en función de lo observado en terreno y en imágenes satelitales. Las figuras siguientes se resumen la hidrografía local a considerar en el Proyecto, que permite entender las interacciones del Proyecto con la componente superficial del recurso hídrico.

Figura 3- 26: Red hidrográfica local definida a partir de visita a terreno, puentes sector Norte.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 27: Red hidrográfica local definida a partir de visita a terreno, puentes sector Sur.



Fuente: ENVIS, 2024.

A partir de lo observado en las figuras previas, es posible caracterizar en términos locales la red hidrográfica al interior del AI de cada puente, lo cual se presenta en la Tabla siguiente. Para mayor detalle en relación con los cauces y puentes, así como las características de escurrimiento, lecho y vegetación, ver Anexo 3-2 Hidrología e Hidrogeología el respectivo componente.

Tabla 3- 55: Cauces naturales y obras hidráulicas relacionadas al AI del Proyecto.

N°	Puente	Cauce natural	Características
1	Cunaco Oriente	Estero Tornicura	Cauce natural que se desarrolla en dirección surponiente, con aguas permanentes que tributan al Estero Batuco a aproximadamente 2,5 km del puente. Inmediatamente aguas abajo del puente (aproximadamente 20 m) existe canal en tierra que tributa al Estero Tornicura de aproximadamente 2 m x 2 m de ancho y alto.
2	Ancoa N°1 Oriente	Río Ancoa	Cauce natural que se desarrolla en dirección poniente a través de dos ramales con aguas permanentes que atraviesan ambos puentes, y que tributan sus aguas al río Achibueno el que se desarrolla a aproximadamente 2,5 km de los puentes. Inmediatamente aguas abajo del puente Ancoa N°1 (aproximadamente 60 m aguas abajo del puente), existen 2 canales en tierra que se desconoce su estado actual (no fue registrado en terreno), pero se presume un uso de riego. Paralelo al puente y debajo de la carpeta, existe estructura (presuntamente sifón) cubierta de hormigón de cuyo uso se desconoce, de aproximadamente 3 m de ancho.
3	Ancoa N°2 Oriente		
4	Longaví Oriente	Río Longaví	Cauce natural que constituye un humedal clasificado como no urbano según el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (2015), cuyo curso de agua se desarrolla en dirección norte, con aguas permanentes que tributan al Río Perquilauquén a más de 25 km del Puente. Inmediatamente aguas abajo del Puente poniente, existe una presa/muro de enrocado de transversal al cauce de 200 m de largo, que controla los escurrimientos en el sector del puente, funcionando como barrera vertedora o filtrante (según el nivel de las aguas.
5	Copihue Oriente	Estero Copihue	Cauce natural que se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que tributan al Estero Bureo a aproximadamente 23 km del puente. En el AI no se desarrollan

N°	Puente	Cauce natural	Características
6	Copihue Poniente		u observan otro tipo de estructuras o cauces.
7	Colliguay Oriente	Estero Colliguay	Cauce natural que se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que tributan al Estero Parral a aproximadamente 12 km del puente. En el AI no se desarrollan u observan otro tipo de estructuras o cauces.
8	Parral Oriente	Estero Parral	Cauce natural que constituye un humedal clasificado como urbano según el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (2015), cuyo curso de agua se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que confluyen al Estero Torreón a aproximadamente 22 km del puente. Aguas arriba del puente (aproximadamente 130 m) se identifica la existencia de un canal denominado Molino La Patagua según la información de la CNR) afluente al Estero, aunque se desconoce sus dimensiones y más información al respecto. Al mismo tiempo se observa un cauce al poniente del AI, aunque este no guarda relación con la estructura del puente del proyecto ni del cauce natural.
9	Parral Ramal Oriente		
10	Parral Ramal Poniente		
11	Ñiquén Oriente	Río Ñiquén	Cauce natural que se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que tributan al Río Perquilauquén a más de 25 km del puente. Al norte del AI se observa un canal en tierra y sin agua, aunque con base en la inspección en terreno, se visualizó que no hay interacción con el río.
12	Navotavo Oriente	Estero Navotavo	Cauce natural que constituye un humedal clasificado como urbano según el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (2015), cuyo curso de agua se desarrolla en dirección poniente, con aguas permanentes que tributan al Estero Las Mercedes a más de 14 km del puente. Aguas arriba del puente existe un canal trapezoidal de hormigón de 1,2 x 1,3 m (ancho basal y alto), que descarga los excesos de aguas al río Ñiquén 250 m aguas abajo del puente por efecto de crecidas de un estero ubicado al Norte de dicha estructura.
13	Lilahue Oriente Calle Local	Estero Carbonero	Cauce natural que se desarrolla en dirección poniente, con aguas permanentes que tributan al río Changaral a más de 20 km del puente. Al sur del AI se observa un canal paralelo al Estero Carbonero, aunque este no guarda relación directa con el cauce o los puentes.
14	Lilahue Poniente Calle Local		
15	Ninquihue Poniente	Estero Lirutao	Cauce natural que se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que tributan al Río Changaral a aproximadamente 20 km del puente. En el AI no se desarrollan

N°	Puente	Cauce natural	Características
			u observan otro tipo de estructuras o cauces.
16	Menelhue Poniente	Estero Rauco	Cauce natural que se desarrolla en dirección norponiente, con aguas permanentes que tributan al río Ñuble a aproximadamente 20 km del puente. En el AI no se desarrollan u observan otro tipo de estructuras o cauces.
17	Nebuco Oriente	Río Chillán	Cauce natural que constituye un humedal clasificado como urbano según el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (2015), cuyo curso de agua se desarrolla en dirección poniente, con aguas permanentes que tributan al río Ñuble a aproximadamente 15 km del puente. Inmediatamente aguas abajo de los puentes se visualiza un canal proveniente del norte y con aguas permanentes, que vierte su caudal al río Chillán, con un ancho aproximado de 2,5 x 2,5 m (ancho basal y alto).
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)		

Fuente: ENVIS, 2023.

En relación con otras formas del recurso hídrico, tales como glaciares, lagos, salares, entre otros, según las fuentes bibliográficas consultadas (Inventario de glaciares, lagos y embalses del IDE (Infraestructura de Datos Geoespaciales) no existen tales formas en el área de influencia del proyecto (ver tabla siguiente).

Tabla 3- 56: Otras formas del recurso hídrico superficial y su distancia al AI.

N°	Puente	Recurso hídrico superficial	Distancia (km)	Dirección
1	Cunaco Oriente	Embalse Machicura	25,8	Oriente
2	Ancoa N°1 Oriente	Embalse Machicura	26,7	Nororiente
3	Ancoa N°2 Oriente	Embalse Machicura	26,7	Nororiente
4	Longaví Oriente	Embalse Digua	32,6	Suroriente
5	Copihue Oriente	Embalse Digua	29,1	Suroriente

N°	Puente	Recurso hídrico superficial	Distancia (km)	Dirección
6	Copihue Poniente	Embalse Digua	29,1	Suroriente
7	Colliguay Oriente	Embalse Digua	27,9	Suroriente
8	Parral Oriente	Embalse Digua	26,4	Suroriente
9	Parral Ramal Oriente	Embalse Digua	26,4	Suroriente
10	Parral Ramal Poniente	Embalse Digua	26,4	Suroriente
11	Ñiquén Oriente	Embalse Digua	25,9	Poniente
12	Navotavo Oriente	Embalse Coihueco	27,6	Suroriente
13	Lilahue Oriente Calle Local	Embalse Coihueco	25,9	Suroriente
14	Lilahue Poniente Calle Local	Embalse Coihueco	25,9	Suroriente
15	Ninquihue Poniente	Embalse Coihueco	26,1	Suroriente
16	Menelhue Poniente	Embalse Coihueco	26,2	Suroriente
17	Nebuco Oriente	Laguna de Santa Elena	23,6	Sur
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Laguna de Santa Elena	23,6	Sur

Fuente: ENVIS, 2023.

Es relevante señalar que, según el Inventario Nacional de Humedales de Chile del MMA, tres (3) cauces por donde se emplazan los puentes del Proyecto se circunscriben a la definición de humedal urbano o parcialmente urbano, según como lo indica la Ley N°21.202 “Modifica Diversos Cuerpos Legales con el Objetivo de Proteger los Humedales Urbanos”, cuya publicación fue realizada el día 23 de enero de 2020. Con respecto a los tres (3) cauces señalados previamente, corresponden específicamente a:

Estero Parral: Cauce que escurre por la zona urbana de la comuna de Parral, y que la Ruta 5 atraviesa en la actualidad con los puentes Parral Oriente y Parral Ramal Poniente, estructuras

que el Proyecto reemplazará por nuevos puentes, y, además, se proyecta a la construcción del nuevo puente Parral Ramal Oriente en la calle de servicio proyectada.

Estero Cochepérez (Estero Navotavo): Curso de agua que escurre por la zona urbana de la comuna y ciudad de San Carlos. El cauce es atravesado en la actualidad por el puente Navotavo Oriente y cuya estructura será reemplazada por el Proyecto mediante un nuevo puente en el mismo emplazamiento.

Río Chillán: Cauce que escurre por la zona urbana de la comuna de Chillán Viejo y que la Ruta 5 atraviesa en la actualidad con el puente Nebuco Oriente, estructura que el Proyecto reemplazará por un nuevo puente y, además, se proyecta la construcción del nuevo puente Nebuco Poniente Calle Local en la calle servicio proyectada.

A modo de apoyo a lo anterior, el Ordinario N°20229910238 del 17 de enero de 2022 emitido por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), cuyo contenido principal es impartir instrucciones en relación con la aplicación de los literales p) y s) del artículo 10 de la Ley N°19.300 que, puntualmente en la página 11 punto 2. Analiza la pertinencia del ingreso al SEIA en el marco del literal s) del artículo 10 de la Ley N°19.300, indicando que este literal fue concebido para proteger los humedales urbanos desde una arista principalmente ecosistémica, para así de este modo considerar la progresiva afectación que pudiesen tener de origen antrópico. Bajo esta lógica desde la arista técnica, los humedales que se encuentran en el área de emplazamiento del Proyecto podrían sufrir alteración de la vegetación azonal hídrica y ripariana, las obras podrían intervenir la cubierta vegetal de turberas y la flora y fauna contenida en el humedal sufrir invasión, deterioro o menoscabo.

3.5.3.1.2 Hidrometeorología

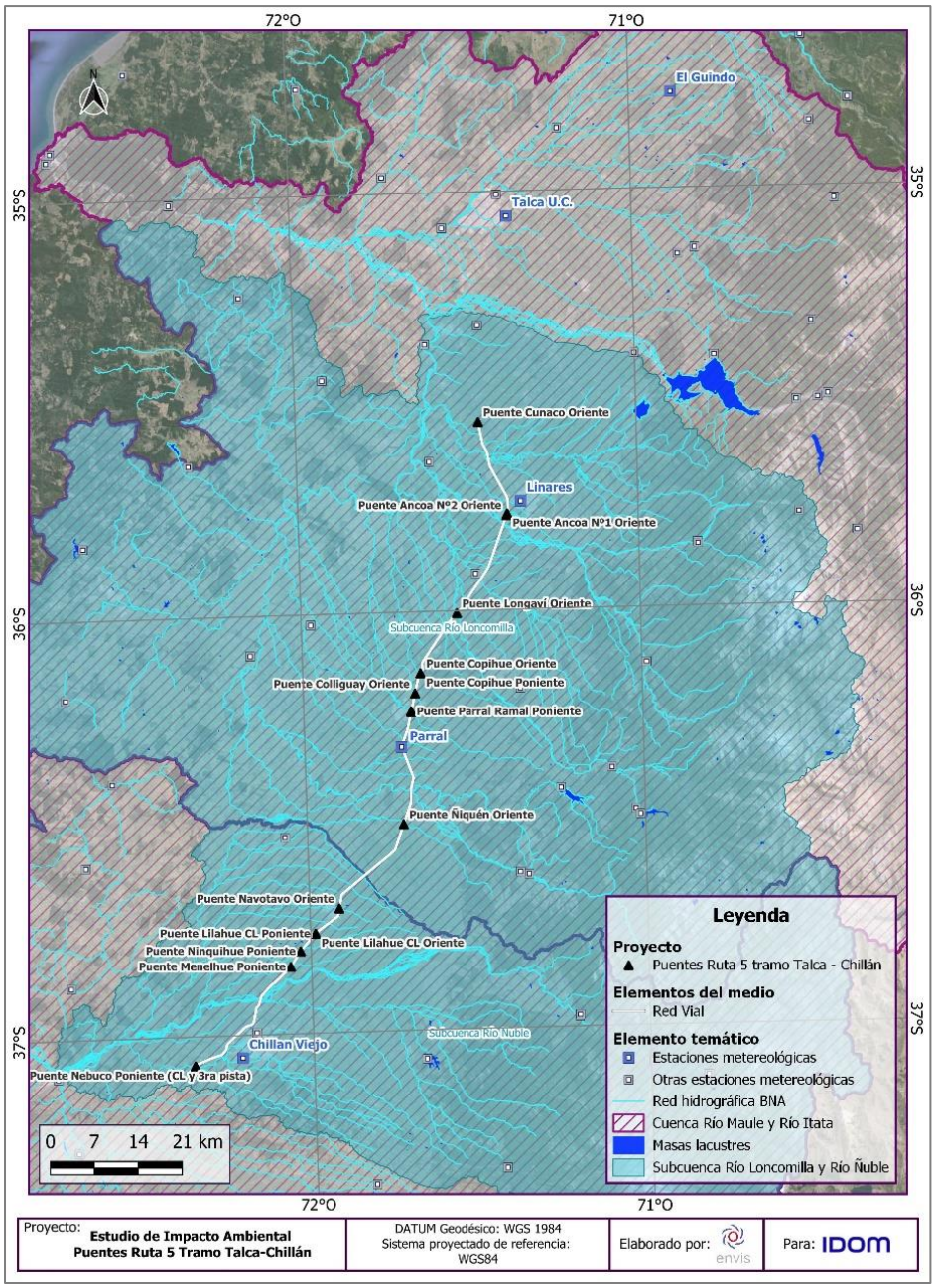
En el análisis hidrometeorológico se consideró la revisión de precipitaciones, temperatura y evapotranspiración de las cuencas en las que se emplaza el Proyecto y el AI. A continuación, se revisa en mayor detalle cada una de las variables mencionadas con el objeto de entender la hidrometeorología en el AI del Proyecto.

- Precipitaciones

Para el análisis de las precipitaciones se considera la revisión de estaciones meteorológicas y de fuentes públicas de información correspondientes (en este caso) a la base de datos de la DGA, cuya descarga se realiza a partir de la información predispuesta en el Explorador Climático perteneciente al Center of Climate and Resilience Research (CR^2). Las estaciones consideradas

en el análisis se presentan en la Figura siguiente, cuya elección se realizó a partir de la ubicación relativa a los puentes (más cercanas), y al mismo tiempo, considerando la longitud de los registros en cada una de ellas, buscando aquellas con una mayor cantidad de datos.

Figura 3- 28: Ubicación de estaciones meteorológicas en relación con el Proyecto.



Fuente: ENVIS, 2024.

En función de las estaciones seleccionadas, en la siguiente Tabla se resume las principales características de cada una.

Tabla 3- 57: Información de estaciones meteorológicas consideradas en el análisis.

Nombre	El Guindo	Talca U.C.	Linares	Parral	Chillán Viejo
Cuenca	Río Maule	Río Maule	Río Maule	Río Maule	Río Itata
Altitud (m s.n.m.)	250	130	157	175	115
Latitud	35,2578	35,4358	35,8381	36,1878	36,6319
Longitud	71,3239	71,6197	71,5953	71,8283	72,1267
Inicio	1964	1964*	1967	1964	1977
Vigencia	Vigente	Vigente	Vigente	Vigente	Vigente

Fuente: ENVIS, 2023. *: Se consideró datos de estación “Talca” para completar registros de estación Talca U.C.

Con la información recabada de cada estación se procedió a estimar la precipitación en el AI de cada puente, lo cual se realiza a partir de la estimación de un gradiente latitudinal entre las distintas estaciones expuestas y a lo largo de la Ruta 5 en el tramo Talca - Chillán, que se utilizará para estimar la precipitación a nivel mensual y anual en cada AI, por medio de la ponderación de la latitud del centroide del AI en la curva de precipitación ajustada.

Precipitación Media Mensual

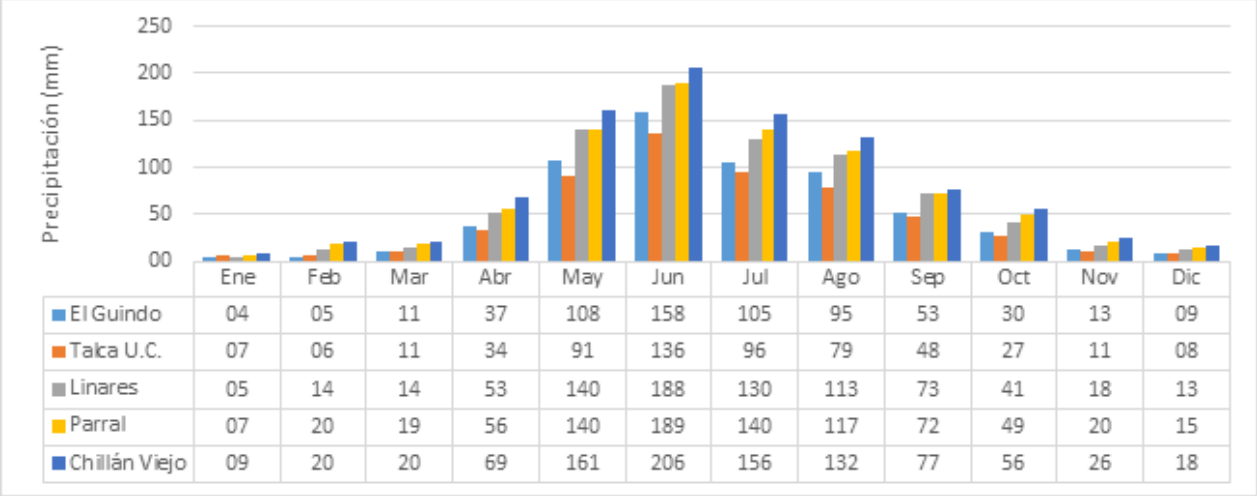
En función de lo anterior, a partir del procesamiento a nivel mensual de las precipitaciones en las estaciones seleccionadas, se genera el Gráfico 3-59 en donde se exponen los montos obtenidos por mes y estación. Cabe destacar que la estimación de dichos montos promedios de precipitación mensual se realizó a partir de los últimos 32 años de información (1990 – 2022) en todas las estaciones, considerando solo aquellos meses que posean más de 25 días con información.

La razón de seleccionar los últimos 32 años y no el total del registro responde a lo poco representativo que sería de las características climáticas actuales en el AI considerar años anteriores; mientras que el criterio de considerar al menos 25 días con registros busca disminuir los efectos que puede tener la información faltante en la estimación de precipitaciones

mensuales, al mismo tiempo de evitar la eliminación de información valiosa por no contar con registros completos de información.

La Figura siguiente expone el ajuste lineal de las precipitaciones obtenidas por mes respecto a la ubicación latitudinal de las estaciones, mientras que la Tabla siguiente expone los coeficientes de dichos ajustes, que se utilizarán de base para la estimación de las precipitaciones en cada puente.

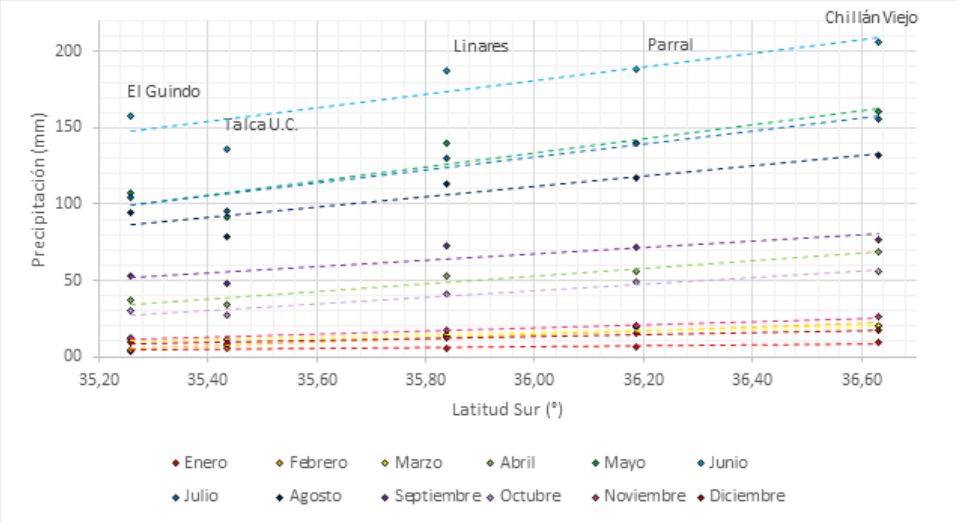
Gráfico 3- 67: Precipitaciones medias mensuales en estaciones meteorológicas.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
El Guindo	04	05	11	37	108	158	105	95	53	30	13	09
Talca U.C.	07	06	11	34	91	136	96	79	48	27	11	08
Linares	05	14	14	53	140	188	130	113	73	41	18	13
Parral	07	20	19	56	140	189	140	117	72	49	20	15
Chillán Viejo	09	20	20	69	161	206	156	132	77	56	26	18

Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 68: Ajuste lineal de precipitaciones en estaciones meteorológicas según latitud de ellas.



Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 58: Coeficientes de ajuste lineal por mes, de estaciones seleccionadas.

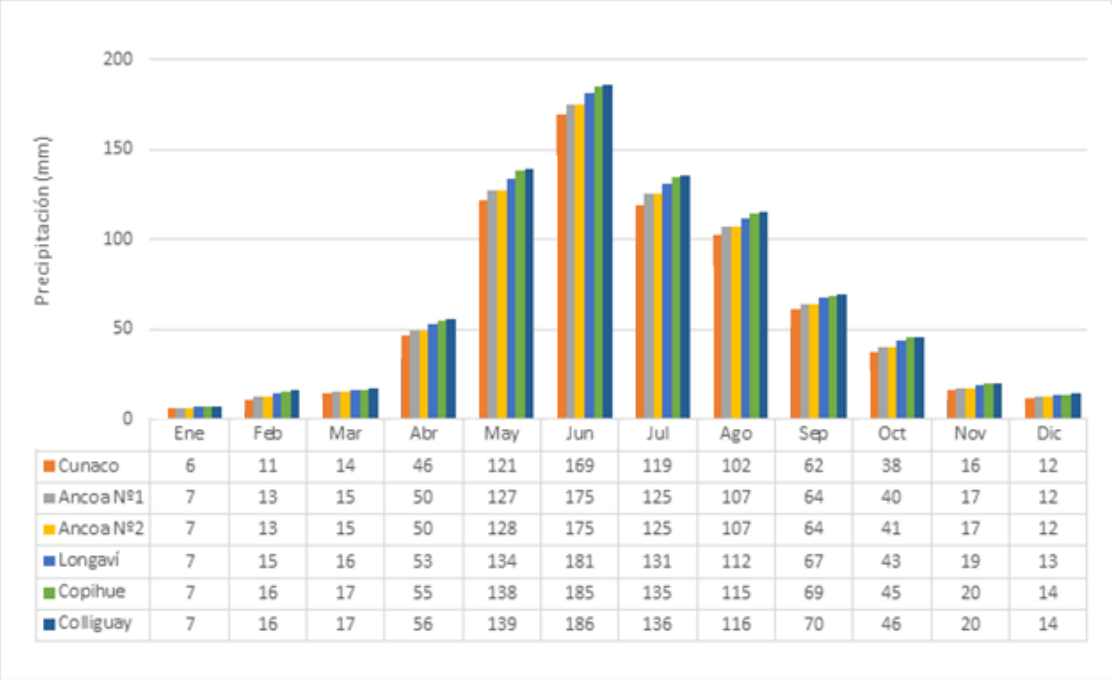
Coeficiente	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
m	3,03	12,66	7,12	24,74	45,67	44,00	42,82	34,10	20,80	21,23	10,56	7,02
n	-102	-441	-240	-838	-1510	-1403	-1411	-1116	-682	-721	-361	-239

Fuente: ENVIS, 2023.

Del ajuste generado, se determinan las precipitaciones en el AI de cada puente, a partir de la latitud de cada uno de ellos, siendo estos valores los expuestos en los gráficos siguientes. Cabe destacar que en la nomenclatura de dichas figuras se simplificaron los nombres de las estructuras para facilitar la presentación de los resultados, particularmente en el caso de los Puentes Copihue Oriente y Poniente, Lilahue Oriente y Poniente Calle Local, Parral Oriente, Ramal Oriente y Poniente y Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), en donde se desprende implícitamente que las precipitaciones son equivalentes para las múltiples estructuras

que se localizan cercanas (a modo de ejemplo, que la Precipitación en “Copihue” corresponde a la precipitación en el Puente Copihue Oriente y en el Puente Copihue Poniente).

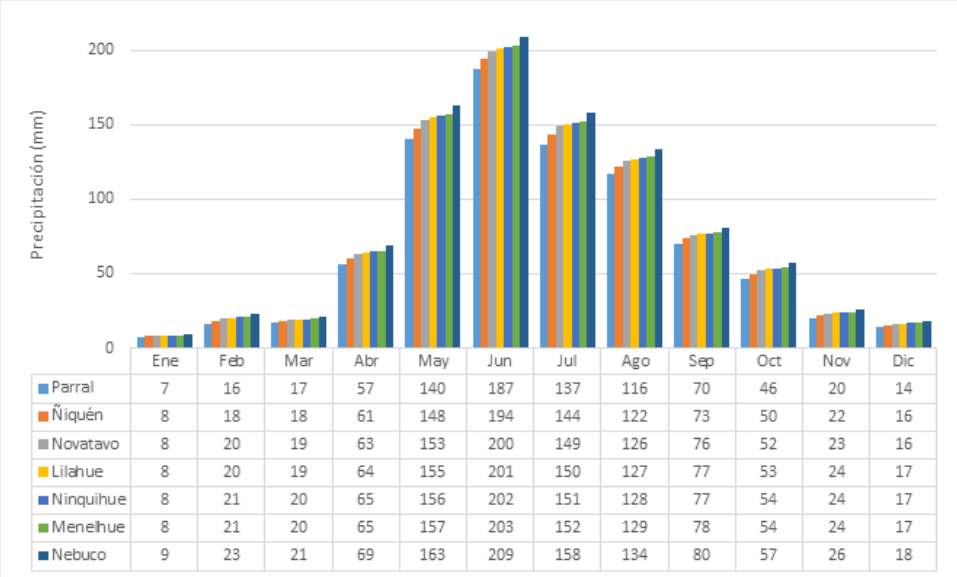
Gráfico 3- 69: Precipitaciones medias mensuales en AI de los 7 puentes ubicados en el Sector Norte del Proyecto.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cunaco	6	11	14	46	121	169	119	102	62	38	16	12
Ancoa Nº1	7	13	15	50	127	175	125	107	64	40	17	12
Ancoa Nº2	7	13	15	50	128	175	125	107	64	41	17	12
Longaví	7	15	16	53	134	181	131	112	67	43	19	13
Copihue	7	16	17	55	138	185	135	115	69	45	20	14
Colliguay	7	16	17	56	139	186	136	116	70	46	20	14

Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 70: Precipitaciones medias mensuales en AI de los 7 puentes ubicados en el Sector Sur del Proyecto.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Parral	7	16	17	57	140	187	137	116	70	46	20	14
Ñiquén	8	18	18	61	148	194	144	122	73	50	22	16
Novatavo	8	20	19	63	153	200	149	126	76	52	23	16
Lilahue	8	20	19	64	155	201	150	127	77	53	24	17
Ninquihue	8	21	20	65	156	202	151	128	77	54	24	17
Menelhue	8	21	20	65	157	203	152	129	78	54	24	17
Nebuco	9	23	21	69	163	209	158	134	80	57	26	18

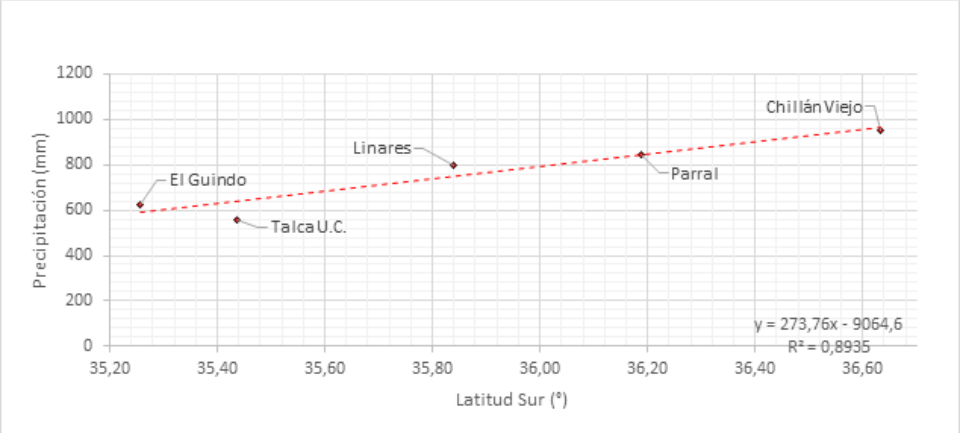
Fuente: ENVIS, 2023.

A partir de los resultados obtenidos, se desprende que a medida que la latitud aumenta, existe un aumento general y proporcional de las precipitaciones, con valores máximos en el mes de junio y mínimos en los meses de enero (tal como se aprecia en el gráfico anterior), que van desde los 6 mm en el AI del Puente Cunaco Oriente (enero), hasta los 209 mm en el AI de los Puentes Nebuco Oriente y Nebuco Poniente (tercera pista y calle local) en el mes de junio. Ellas se distribuyen principalmente entre los meses de mayo a agosto.

Precipitación Media Anual

De forma similar al caso anterior, la precipitación media anual en cada AI del Proyecto se determina a partir de la generación de un ajuste lineal en las estaciones del Proyecto, obteniendo los montos anuales por estación presente en el gráfico siguiente, en donde se incluye además el ajuste gráfico de las estaciones y la ecuación de dicho ajuste.

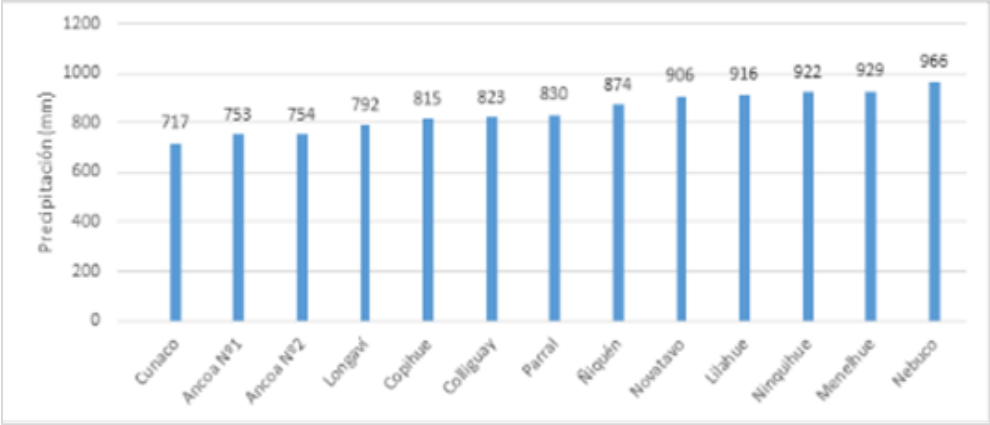
Gráfico 3- 71: Precipitaciones medias anuales y ajuste lineal de estaciones meteorológicas.



Fuente: ENVIS, 2023.

Con lo anterior, en el gráfico siguiente se presentan las precipitaciones medias anuales por puente, lo que se realiza a partir del ajuste lineal expuesto en el Gráfico previo. De igual forma que el caso anterior, se considera una simplificación en los nombres de los puentes, para facilitar la comprensión de la figura.

Gráfico 3- 72: Precipitaciones medias anuales en AI de Puentes.



Fuente: ENVIS, 2023.

A nivel anual se nota la misma tendencia que el análisis mensual, existiendo un aumento en los montos de precipitación a medida que aumenta la latitud en dirección sur, con valores que van desde los 717 a los 966 mm, en el AI del Puente Cunaco Oriente y Puentes Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (respectivamente).

Precipitaciones Extremas

A partir de la información de las estaciones expuestas en la Tabla siguiente, se realiza un análisis de las precipitaciones máximas diarias con el objeto de identificar tendencias y entender el comportamiento de las tormentas en el AI de los puentes. A diferencia de las subsecciones anteriores, en los eventos extremos no es posible definir un gradiente latitudinal que sea representativo de cada puente, ya que estos tienden a comportarse y generarse en distintos periodos, sin existir (muchas veces) una correlación entre los máximos anuales de dos series distintas, ya que (a modo de ejemplo) la tormenta que pudo haber generado un máximo anual en la “Estación A” no necesariamente generaría el máximo de la “Estación B”.

Por lo anterior, para la interpretación de estos eventos y la consideración dentro del AI de cada puente, se supondrá que una estación es representativa de un conjunto de puentes según su ubicación relativa a estos. Con lo anterior se genera la siguiente Tabla en donde se expone dicha estación en relación con cada puente, mientras que en el siguiente gráfico se exponen las series anuales de máximas precipitaciones diarias por estación.

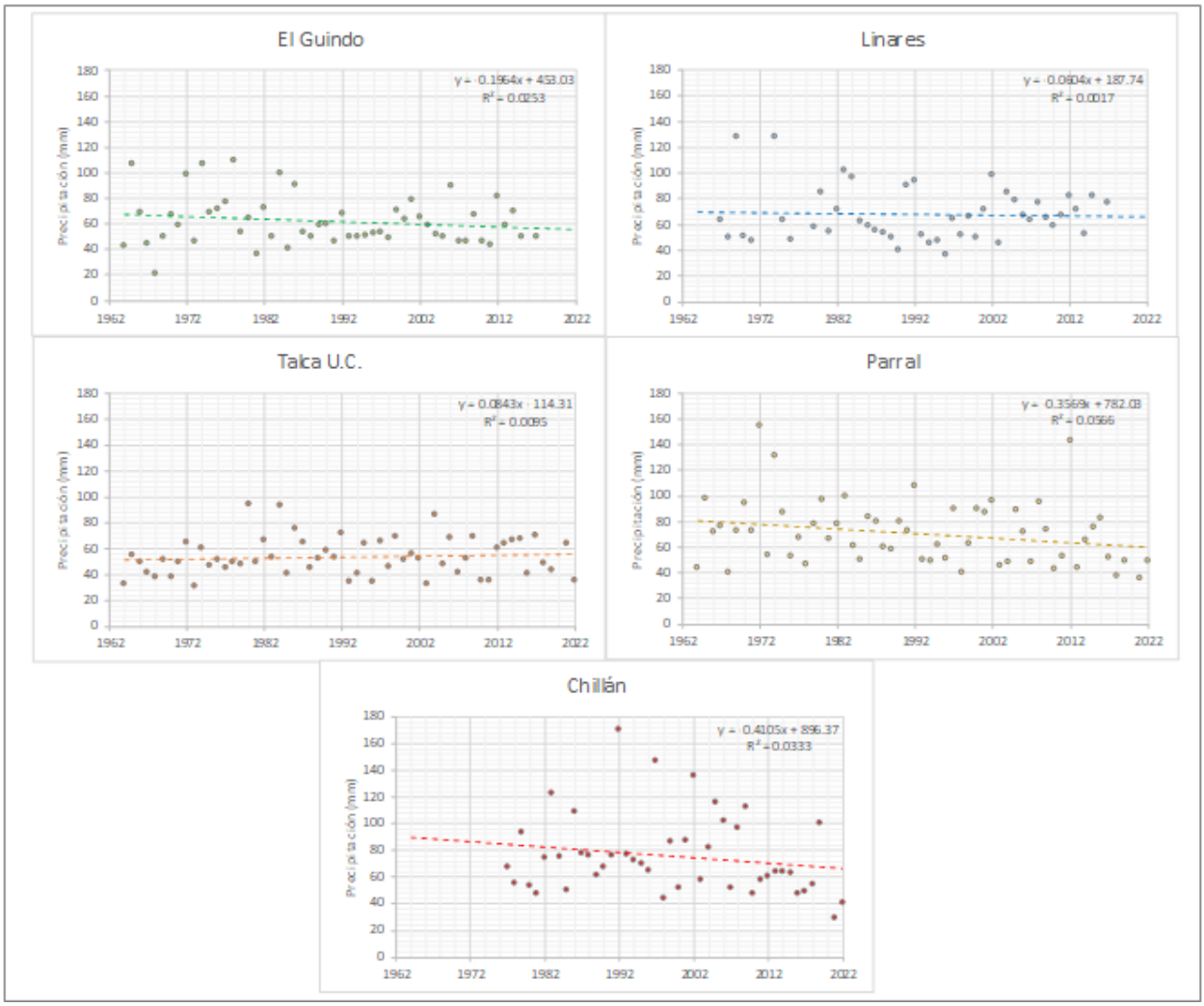
Tabla 3- 59: Estaciones meteorológicas representativas según ubicación de puentes.

N°	Puente	Estación meteorológica
1	Cunaco Oriente	Linares
2	Ancoa N°1 Oriente	Linares
3	Ancoa N°2 Oriente	Linares
4	Longaví Oriente	Linares/Parral
5	Copihue Oriente	Parral
6	Copihue Poniente	Parral
7	Colliguay Oriente	Parral

N°	Puente	Estación meteorológica
8	Parral Oriente	Parral
19	Parral Ramal Oriente	Parral
10	Parral Ramal Poniente	Parral
11	Ñiquén Oriente	Parral
12	Navotavo Oriente	Parral/Chillán Viejo
13	Lilahue Oriente Calle Local	Chillán Viejo
14	Lilahue Poniente Calle Local	Chillán Viejo
15	Ninquihue Poniente	Chillán Viejo
16	Menelhue Poniente	Chillán Viejo
17	Nebuco Oriente	Chillán Viejo
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Chillán Viejo

Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 73: Series anuales de máximas precipitaciones diarias en estaciones seleccionadas.



Fuente: ENVIS, 2023.

Respecto a los valores obtenidos, tanto en las estaciones El Guindo, Talca U.C. y Linares no se observa una tendencia en los eventos extremos, fluctuando estos (en términos generales) entre los 40 y 100 mm como una serie estacionaria. Situación distinta ocurre en la estación Parral y

Chillán, en donde se observa una tendencia a la baja de las precipitaciones, cuyos valores si bien fluctúan en un rango similar, estos tienden a disminuir con el paso de los años.

De igual forma, en los gráficos anteriores es posible apreciar que no existe una correlación clara entre las estaciones, ya que en general los eventos más extremos de las series no ocurren en los mismos años, entendiéndose que esto se puede deber a los cambios latitudinales.

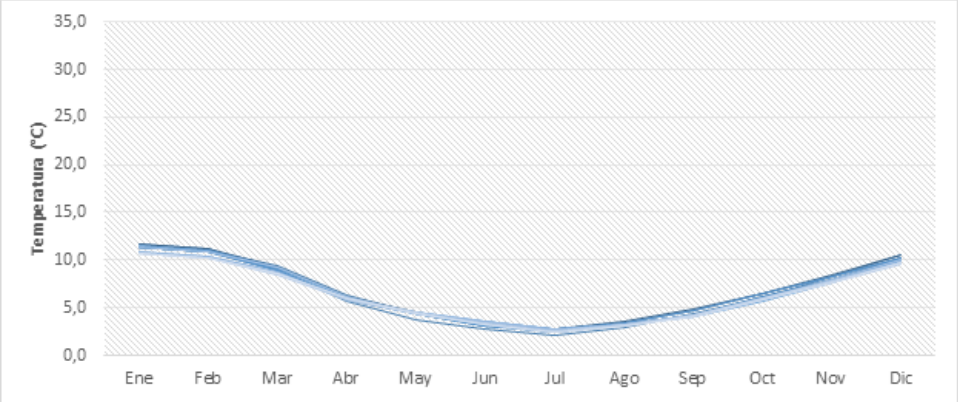
- Temperatura

Para determinar las temperaturas medias, mínimas y máximas a nivel mensual en la AI del Proyecto se consideró el uso del producto grillado CR2Met, que contiene información meteorológica (precipitación, temperaturas medias y extremas) en una grilla rectangular de 0,05º latitud-longitud (aproximadamente 5 km) para el territorio de Chile continental y el periodo 1979-2019.

Los productos de temperatura y temperaturas extremas (máximas y mínimas diurnas) se construyeron a partir de información local (topografía y observaciones de temperatura) y de variables de gran escala (ERA-Interim), considerando además datos de temperatura superficial estimada mediante imágenes satelitales (MODIS LST).

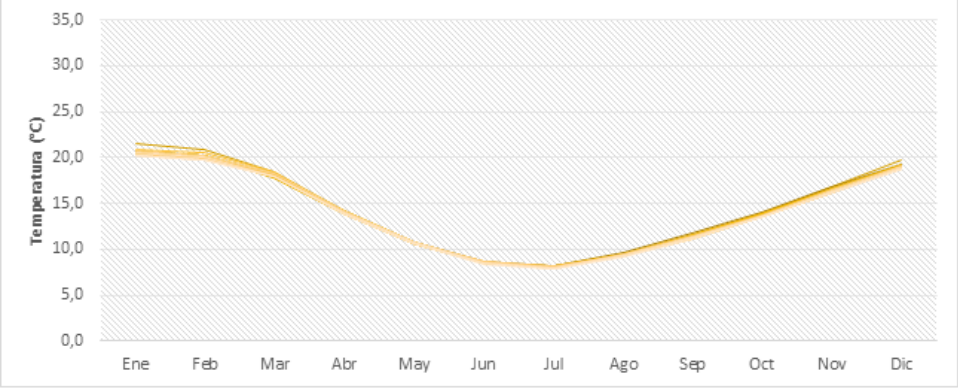
Es por ello que, a partir de la grilla del producto (y a través del lenguaje de programación R) se determinaron las temperaturas medias, máximas y mínimas a nivel mensual, a través de considerar la celda de la grilla más cercana a cada AI como representativa de ésta. Lo anterior se realizó descargando la información dispuesta en la celda, para luego promediar cada valor mensual. Los siguientes gráficos exponen las temperaturas mínimas, medias y máximas en cada uno de los puentes.

Gráfico 3- 74: Temperaturas medias mensuales mínimas en Puentes.



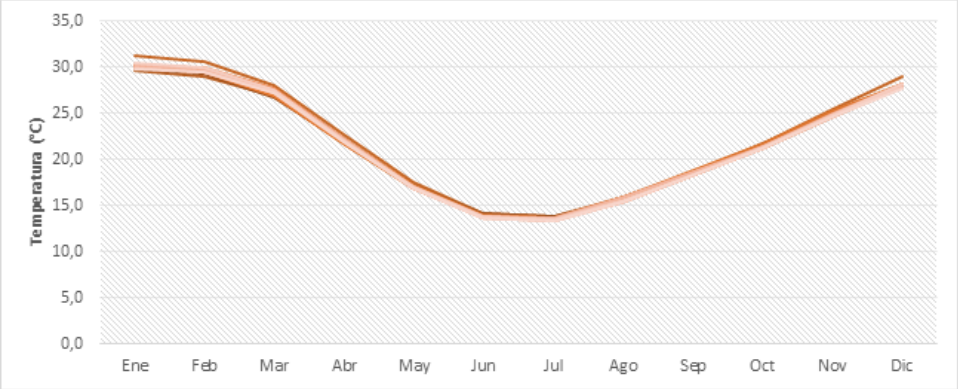
Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 75: Temperaturas medias mensuales medias en Puentes.



Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 76: Temperaturas medias mensuales máximas en Puentes.



Fuente: ENVIS, 2023.

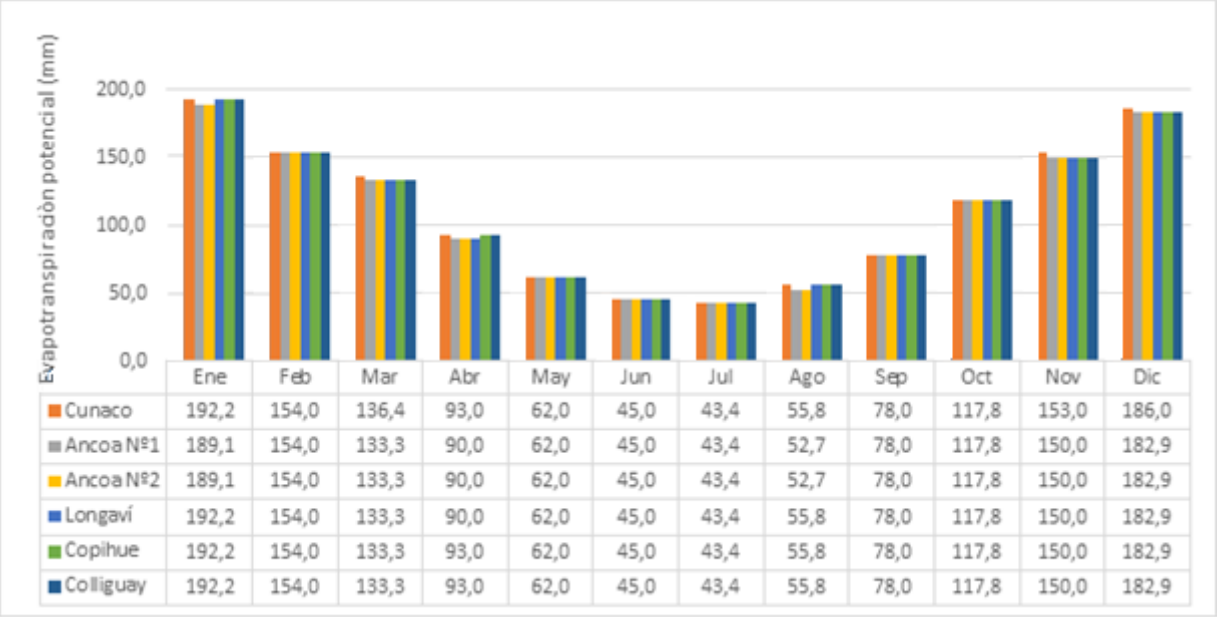
De las figuras expuestas anteriormente no se notan diferencias importantes entre los distintos puentes, con variaciones menores a 1°C en todos los casos, que no implicarían un cambio de temperatura media importante. Al respecto se observa un valor medio de 12°C a lo largo del año, siendo los meses de enero y julio aquellos meses con mayores y menores temperaturas (respectivamente), con valores promedios de 30 y 2°C.

- Evapotranspiración

La evapotranspiración es la consideración conjunta de la evaporación y la transpiración, dado que resulta difícil separar ambas y en general interesa medir la cantidad total de agua que se va a la atmósfera.

Para la determinación de la evapotranspiración en el AI de cada Puente, se considera la información disponible de esta variable en el Sistema de Información Integral de Riego de la CNR, el cual posee una grilla de evapotranspiración de 1x1 km para distintas regiones del país obtenida a partir del estudio CNR (2015), que incluyó series de datos hidrometeorológicos de aproximadamente 600 estaciones de distintas instituciones y un periodo de análisis de 1980 a 2010. Según lo comentado, los siguientes Gráficos resumen la evapotranspiración mensual en los distintos puentes evaluados.

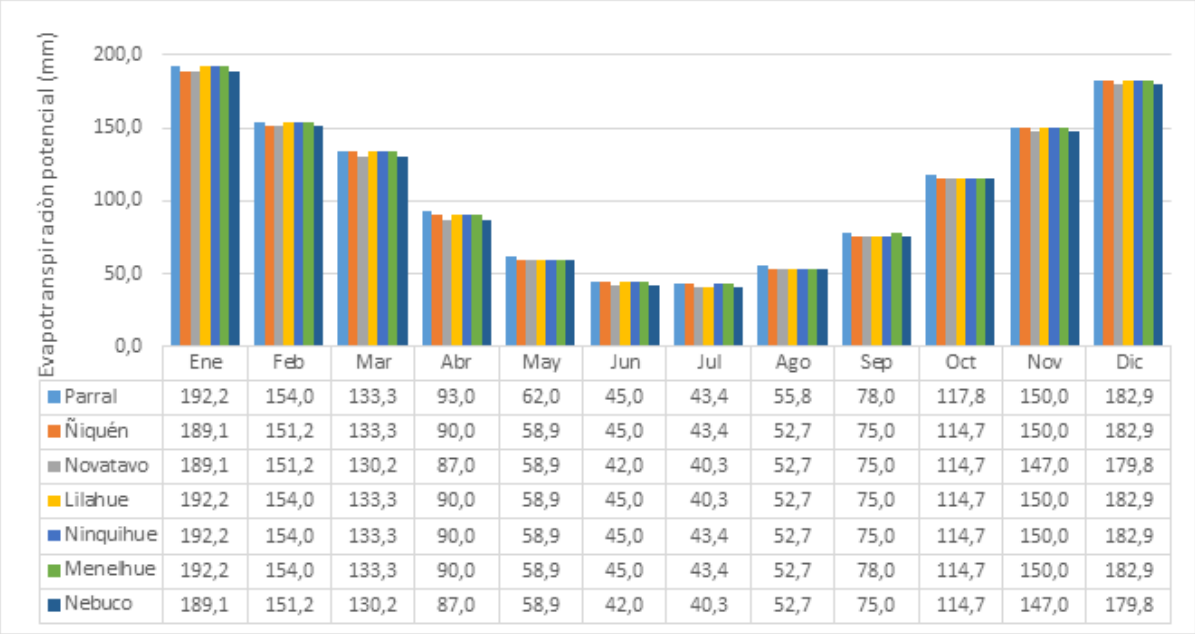
Gráfico 3- 77: Evapotranspiración media mensual en 7 puentes ubicados en sector Norte del Proyecto.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cunaco	192,2	154,0	136,4	93,0	62,0	45,0	43,4	55,8	78,0	117,8	153,0	186,0
Ancoa Nº1	189,1	154,0	133,3	90,0	62,0	45,0	43,4	52,7	78,0	117,8	150,0	182,9
Ancoa Nº2	189,1	154,0	133,3	90,0	62,0	45,0	43,4	52,7	78,0	117,8	150,0	182,9
Longaví	192,2	154,0	133,3	90,0	62,0	45,0	43,4	55,8	78,0	117,8	150,0	182,9
Copihue	192,2	154,0	133,3	93,0	62,0	45,0	43,4	55,8	78,0	117,8	150,0	182,9
Colliguay	192,2	154,0	133,3	93,0	62,0	45,0	43,4	55,8	78,0	117,8	150,0	182,9

Fuente: ENVIS, 2023.

Gráfico 3- 78: Evapotranspiración media mensual en 7 puentes ubicados en sector Sur del Proyecto.



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Parral	192,2	154,0	133,3	93,0	62,0	45,0	43,4	55,8	78,0	117,8	150,0	182,9
Ñiquén	189,1	151,2	133,3	90,0	58,9	45,0	43,4	52,7	75,0	114,7	150,0	182,9
Novatavo	189,1	151,2	130,2	87,0	58,9	42,0	40,3	52,7	75,0	114,7	147,0	179,8
Lilahue	192,2	154,0	133,3	90,0	58,9	45,0	40,3	52,7	75,0	114,7	150,0	182,9
Ninquihue	192,2	154,0	133,3	90,0	58,9	45,0	43,4	52,7	75,0	114,7	150,0	182,9
Menelhue	192,2	154,0	133,3	90,0	58,9	45,0	43,4	52,7	78,0	114,7	150,0	182,9
Nebuco	189,1	151,2	130,2	87,0	58,9	42,0	40,3	52,7	75,0	114,7	147,0	179,8

Fuente: ENVIS, 2023.

A partir de los resultados obtenidos del portal ESIIR se observa en general valores similares (y equivalentes en muchos casos), sin existir una tendencia o variación importante latitudinalmente, con valores que fluctúan a nivel anual entre los 1.290 – 1.340 mm. A nivel mensual los cambios son más notorios, con valores mínimos en la temporada de invierno y máximos en verano, fluctuando entre 40 y 190 mm para julio y enero, respectivamente.

3.5.3.1.3 Hidrometeorología en escenario de Cambio Climático

Según lo indicado en el artículo N°40 de la Ley Marco de Cambio Climático N°21.455, los proyectos o actividades que se sometan a evaluación de impacto ambiental considerarán la variable de cambio climático en los componentes del medio ambiente que sean pertinentes, conforme lo disponga el reglamento respectivo. Así mismo, esta ley presenta un Marco jurídico para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, con la finalidad de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050. Además, se establecen instrumentos de gestión a nivel nacional, regional y local, entregando herramientas a la ciudadanía para su participación en el SEIA.

En este contexto, el Servicio de Evaluación Ambiental a través de la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA (SEA, 2023) busca entregar criterios e instaurar una metodología para la evaluación ambiental de proyectos y actividades ante los efectos adversos del cambio climático. En términos prácticos, para la evaluación ambiental en el SEIA se recomienda la utilización del Explorador de Amenazas Climáticas para conocer el nivel de amenaza del sitio donde se pretende localizar el proyecto y también del Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim), desarrollado por el Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2) y el Centro de Cambio Global (CCG-Universidad Católica de Chile), donde se presenta a nivel de comunas los fatores que constituyen el Riesgo Climático asociado a 52 cadenas de impactos.

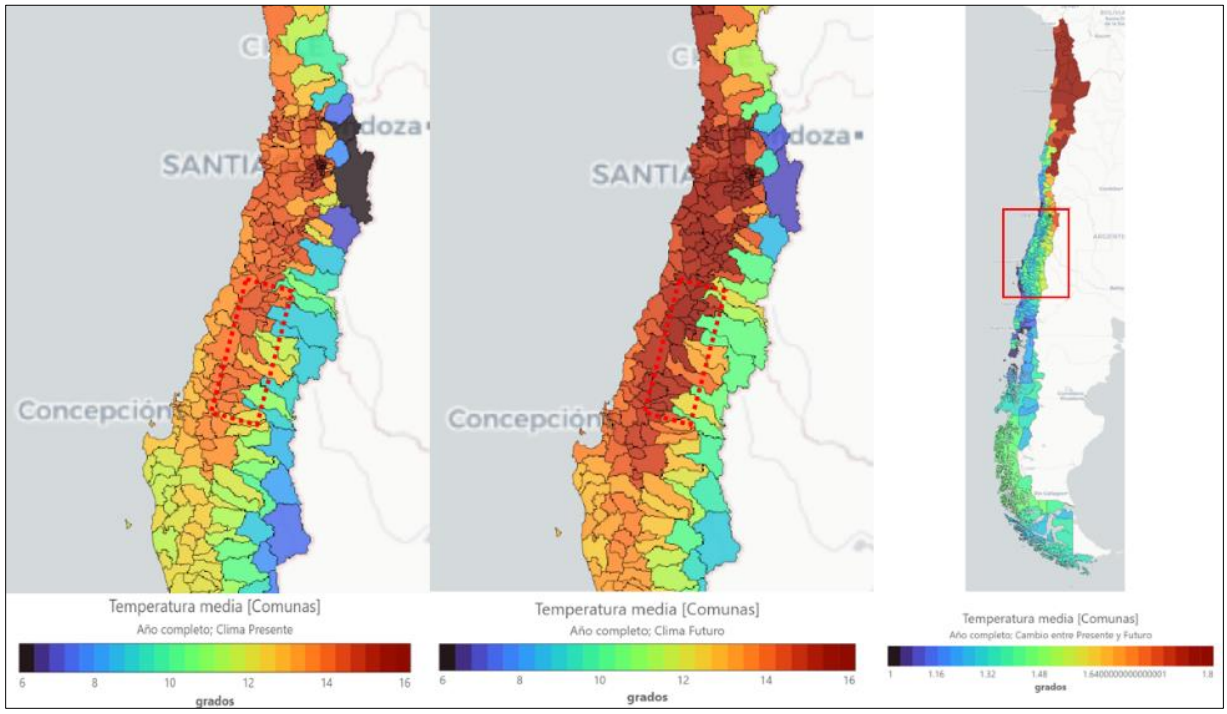
El Explorador de amenazas climáticas es una herramienta que permite visualizar y descargar índices climáticos sobre el territorio nacional para el periodo de referencia (1980-2010) y periodo futuro (2035-2065), además permite visualizar el cambio entre el presente y el futuro. Los índices climáticos cuantifican la ocurrencia de ciertas condiciones meteorológicas en base a la distribución diaria de variables atmosféricas que son registradas diariamente en estaciones meteorológicas y que, en el contexto de este proyecto, han sido obtenidas de simulaciones numéricas de modelos climáticos.

Dicho esto, los índices climáticos de interés para el área de influencia del proyecto, con información disponible en el Explorador de Amenazas Climáticas son los siguientes: temperatura media, promedio de temperatura máxima diaria, frecuencia de sequía, evapotranspiración potencial, precipitación máxima diaria y días de precipitación muy intensa. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los índices climáticos en el periodo histórico reciente según el clima observado y también según el clima futuro basado en un escenario de intensas emisiones de gases con efecto invernadero.

- Temperatura media:

En la siguiente Figura, se presenta la temperatura media para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además de su diferencia. Respecto al mapa histórico, la temperatura media del año completo fluctúa de 12 a 14 °[C], mientras que en el mapa futuro el rango varía desde los 14 a 16 °C aproximadamente. Observándose un cambio de 1.2 a 1.3 °C entre presente y futuro.

Figura 3- 29: Temperatura media para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.

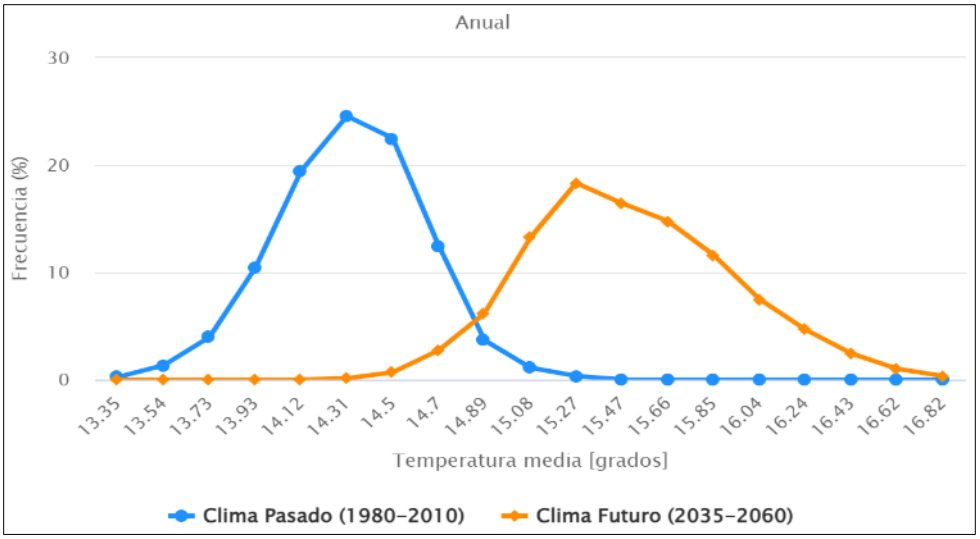


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA, 2023.ca

En específico, en los gráficos que se presentan a continuación, se destaca el caso de las comunas de Talca y Chillán, ya que corresponden a las comunas más grandes demográficamente de la Región del Maule y Región de Ñuble, respectivamente, que se encuentran cercanas al área de influencia del proyecto. En el caso de Talca, la temperatura media para el periodo histórico es de 14,41 °C y para el periodo futuro es de 15,62 °C. Mientras

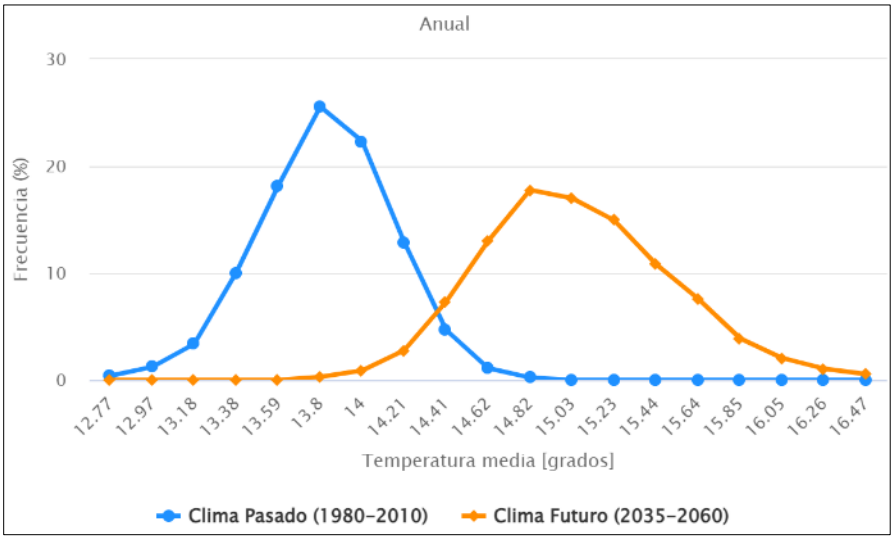
que para Chillán la temperatura media para el periodo histórico es de 13,93 °C y para el periodo futuro es de 15,41 °C.

Gráfico 3- 79: Temperatura media para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA, 2023.

Gráfico 3- 80: Temperatura media para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán.

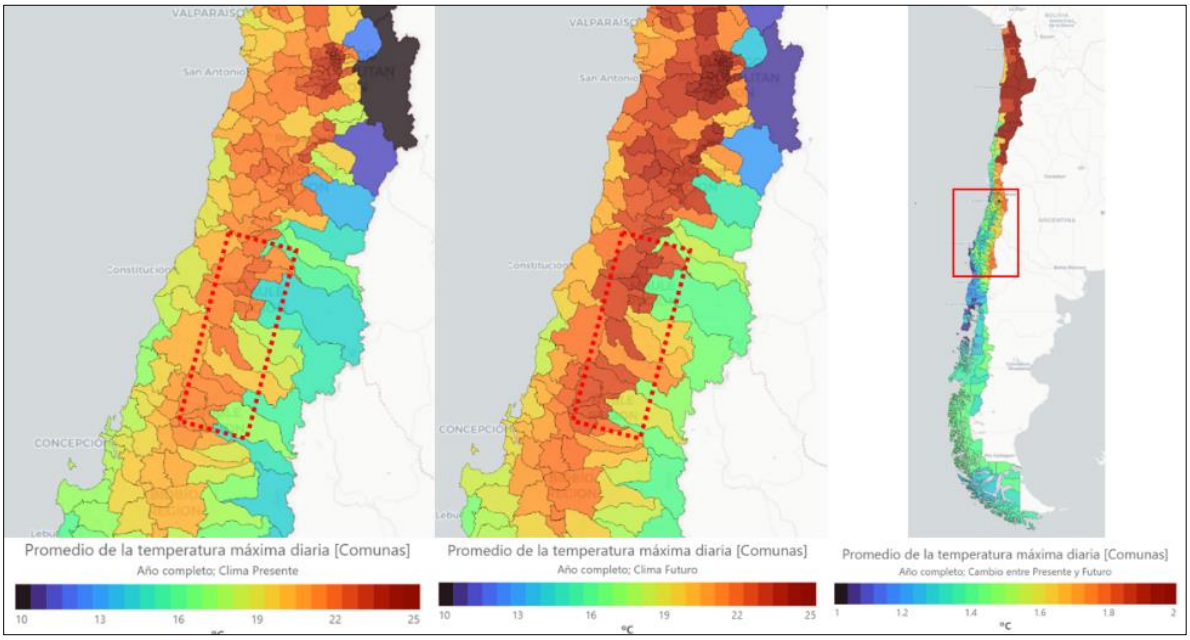


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA, 2023.

- Promedio de temperatura máxima diaria:

En la siguiente Figura, se presenta la temperatura máxima diaria para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además de su diferencia. Respecto al mapa histórico, la temperatura máxima del año completo fluctúa desde los 18 a 22 °C, mientras que en el mapa futuro el rango varía desde los 22 a 24 °C aproximadamente. Observándose un cambio de 1.2 a 1.4 °C entre presente y futuro.

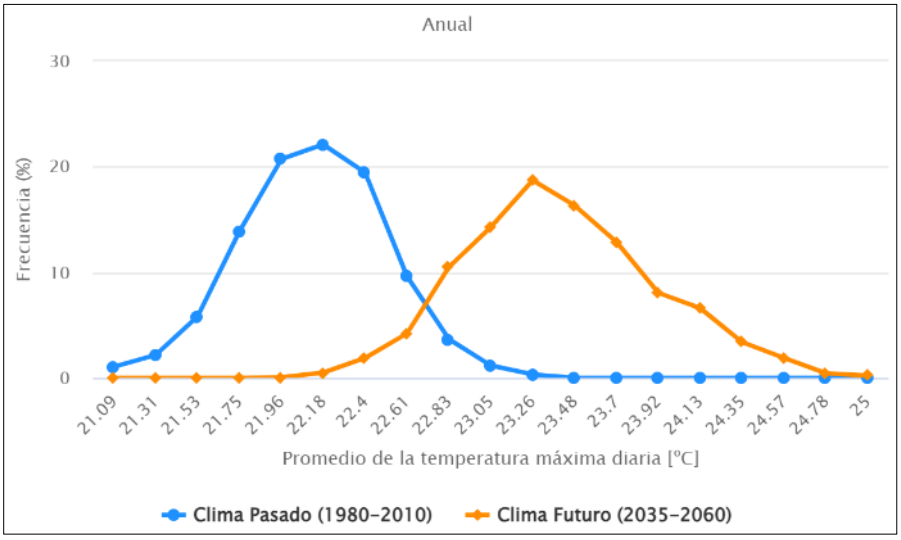
Figura 3- 30: Temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

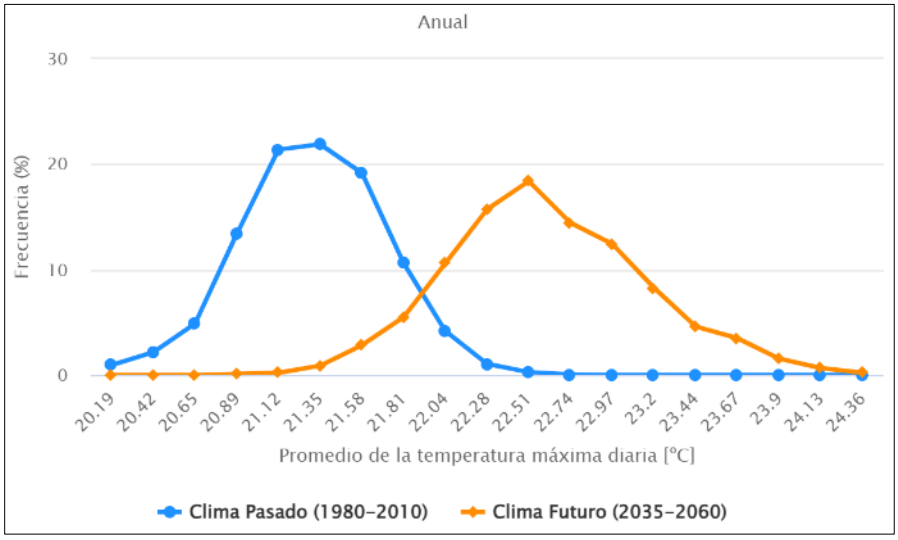
En los siguientes gráficos, se presentan las proyecciones para las comunas de Talca y Chillán, que se encuentran cercanas al área de influencia del proyecto, se observa que, en el caso de Talca, la temperatura máxima para el periodo histórico es de 22,24 °C y para el periodo futuro es de 23,52 °C. Mientras que para Chillán la temperatura máxima para el periodo histórico es de 21,42 °C y para el periodo futuro es de 22,69 °C.

Gráfico 3- 81: Promedio temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

Gráfico 3- 82: Promedio temperatura máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán.

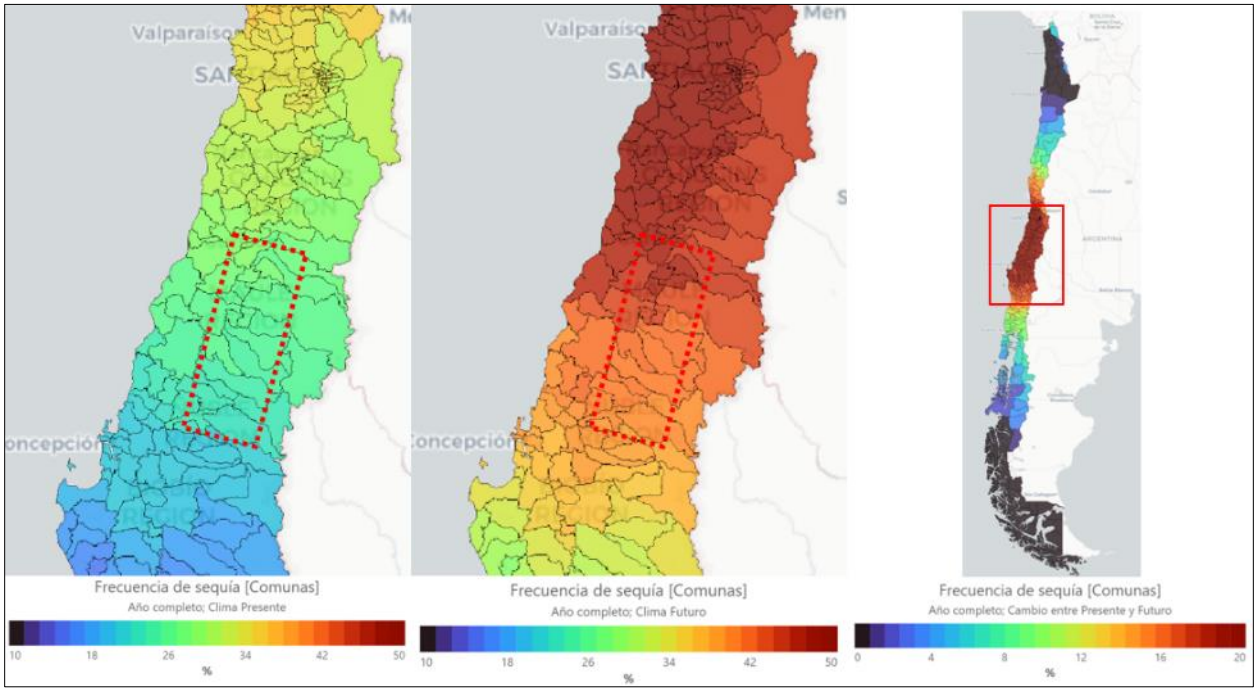


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

- Frecuencia de sequía:

En la siguiente Figura, se presenta la frecuencia de sequía del año completo para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además, de su diferencia. Respecto al mapa histórico, la frecuencia de sequía fluctúa del 15% al 25% mientras que en el mapa futuro el rango varía desde un 36% a 47% aproximadamente. Observándose un cambio del 20% entre presente y futuro. Para el caso de las comunas de Talca y Chillán, que se encuentran cercanas al área de influencia del proyecto, se observa que, en el caso de Talca, la frecuencia de sequía para el periodo histórico es de 20,33% y para el periodo futuro es de 46,00%. Mientras que para Chillán la frecuencia de sequía para el periodo histórico es de 16,67% y para el periodo futuro es de 37,59%.

Figura 3- 31: Frecuencia de sequía para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.

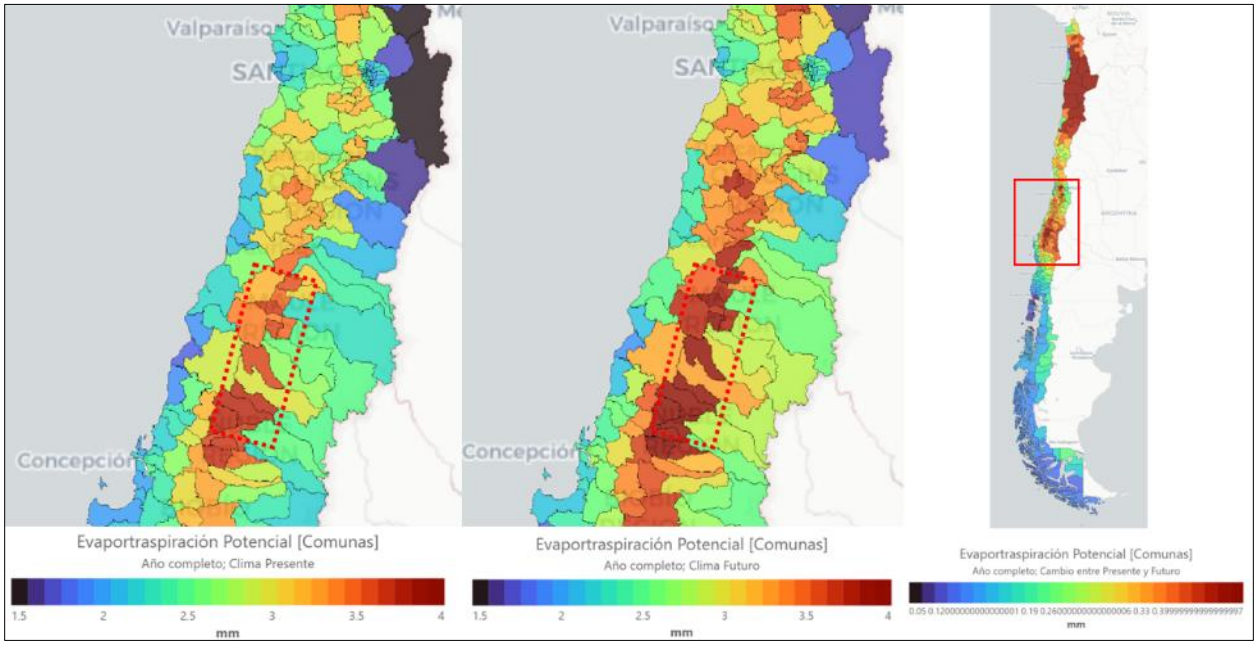


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

- Evapotranspiración potencial:

En la siguiente Figura, se presenta la evapotranspiración potencial del año completo para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además, de su diferencia. Respecto al mapa histórico, la evapotranspiración potencial fluctúa desde los 2,5 mm hasta los 4 mm mientras que en el mapa futuro el rango varía desde los 2,9 mm hasta los 4,2 mm, observándose un cambio del 0,3 mm entre presente y futuro aproximadamente. Para el caso de las comunas de Talca y Chillán, que se encuentran cercanas al área de influencia del proyecto, se observa que, en el caso de Talca, la evapotranspiración potencial para el periodo histórico es de 3,49 mm y para el periodo futuro es de 3,79 mm, mientras que para Chillán la evapotranspiración potencial para el periodo histórico es de 3,62 mm y para el periodo futuro es de 3,96 mm.

Figura 3- 32: Evapotranspiración potencial para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.

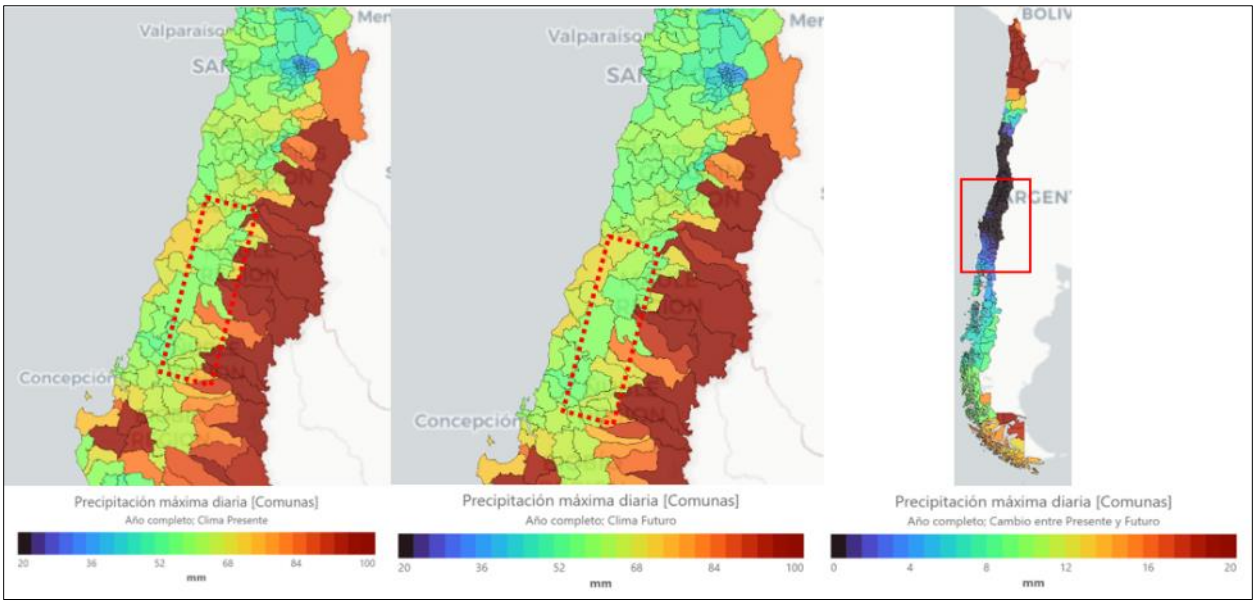


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

- Precipitación máxima diaria:

En la siguiente Figura, se presenta la precipitación máxima del año completo para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además, de su diferencia. Se observa que para ambos casos la precipitación máxima fluctúa desde los 50 a 65 mm existiendo una diferencia de -2% a 1% aproximadamente.

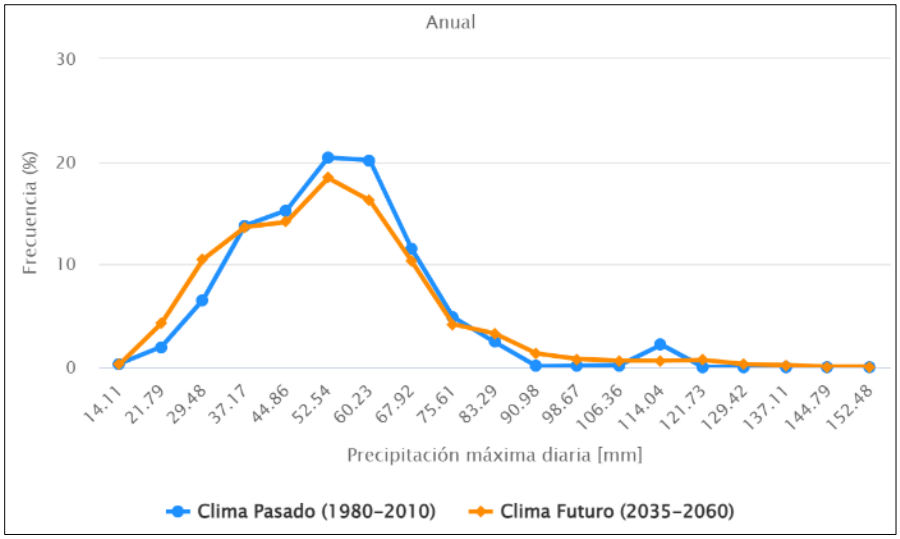
Figura 3- 33: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

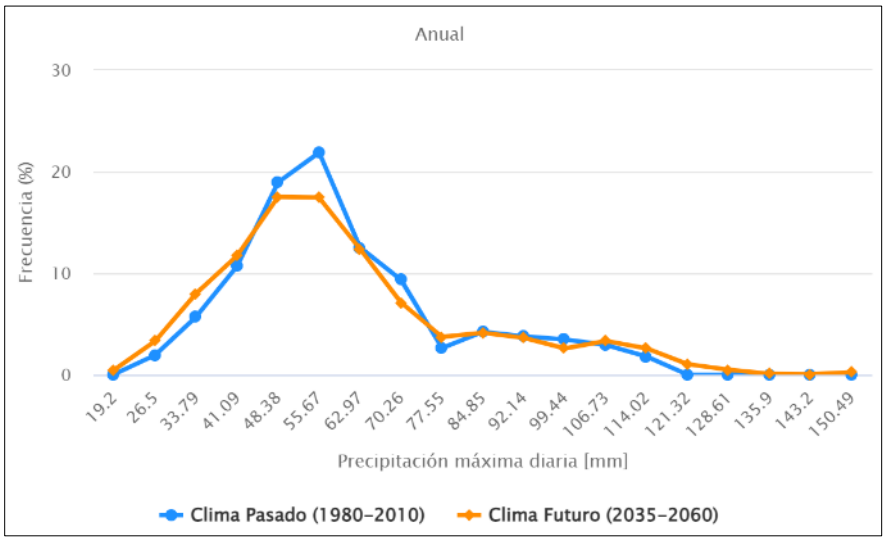
Según las proyecciones que se presentan en los gráficos para las comunas de Talca y Chillán, que se encuentran cercanas al área de influencia del proyecto, se observa que, en el caso de Talca, la precipitación máxima diaria para el periodo histórico es de 57,66 mm y para el periodo futuro es de 56,47 mm, mientras que para Chillán la precipitación máxima diaria para el periodo histórico es de 63,95 mm y para el periodo futuro es de 64,41 mm.

Gráfico 3- 83: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Talca.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

Gráfico 3- 84: Precipitación máxima diaria para periodo histórico y futuro de la comuna de Chillán.

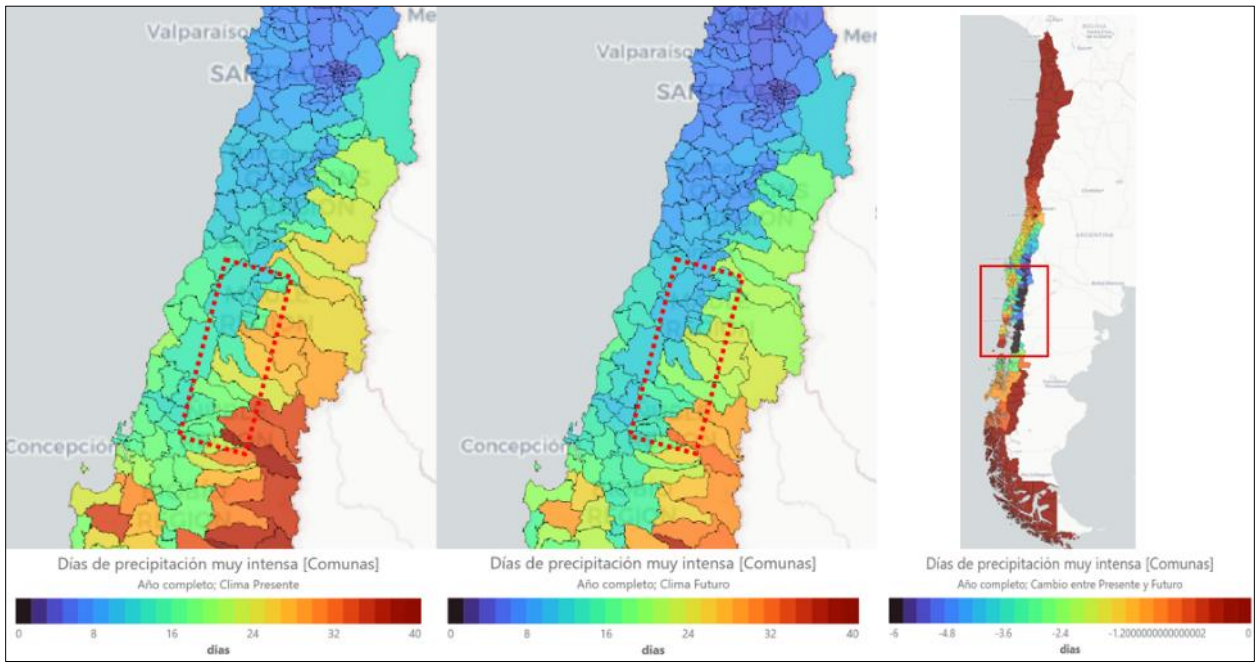


Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

- Días de precipitación muy intensa:

En la siguiente Figura, se presentan los días de precipitación muy intensa para el año completo para el periodo histórico reciente (1980-2010) y un periodo futuro cercano (2035-2065), además, de su diferencia. Respecto al mapa histórico, los días de precipitación muy intensa fluctúan desde los 11 a 23 días, mientras que en el mapa futuro el rango varía desde los 9 a 19 días aproximadamente, observándose un cambio de -3 a -4 días entre presente y futuro aproximadamente.

Figura 3- 34: Días de precipitación muy intensa para periodo histórico y futuro asociado al área de emplazamiento del Proyecto.



Fuente: ARClim Explorador de amenazas climáticas, MMA.

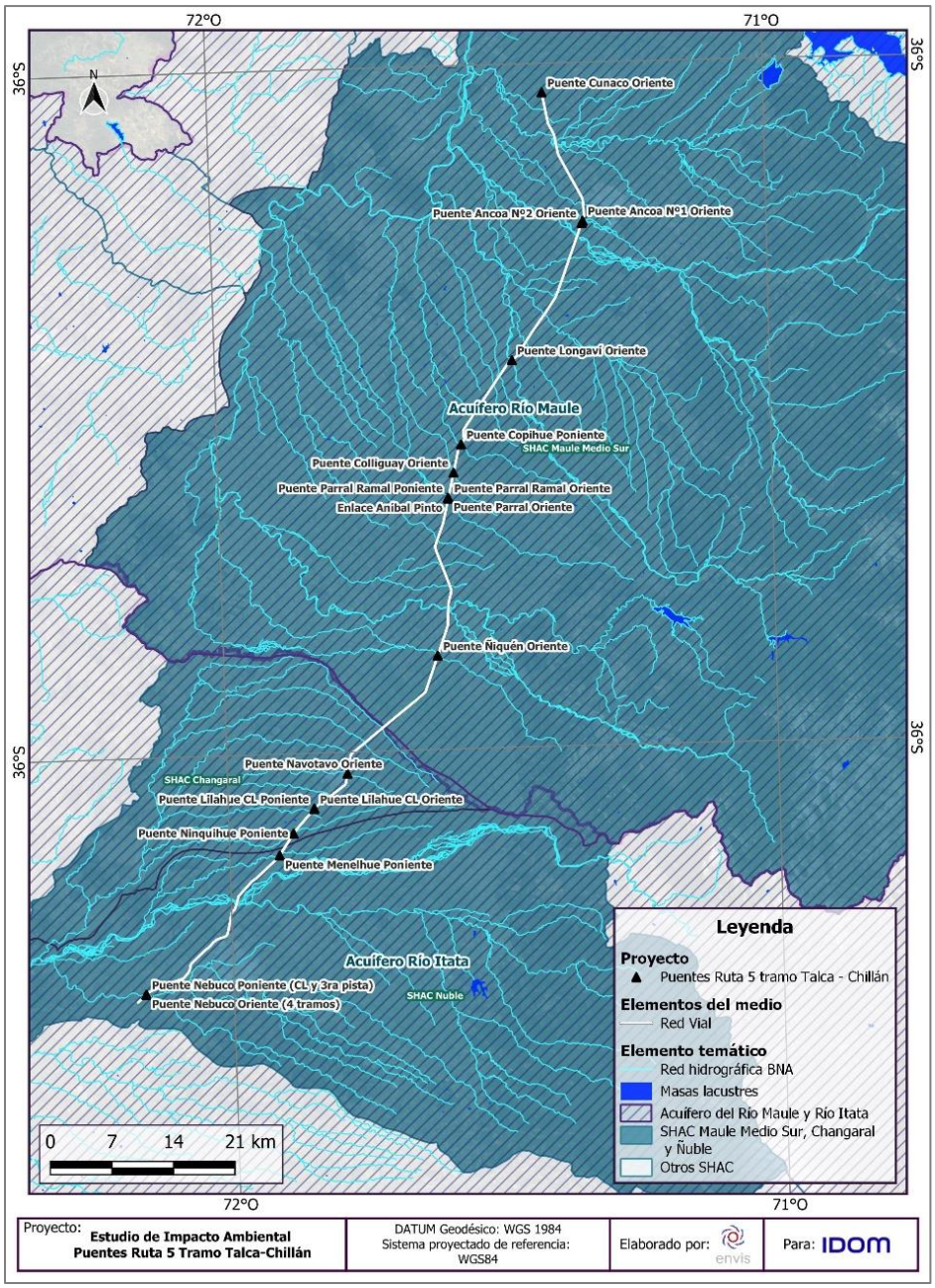
3.5.3.2 Hidrogeología

3.5.3.2.1 Acuíferos y Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC)

Se define Acuífero como una formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y que permite que circule a través de ella con facilidad, mientras que un SHAC se define como acuífero o una parte de éste, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión, en forma independiente (DGA, 2019).

En términos generales según la información predispuesta en la mapoteca de la DGA, el AI se emplazan en el acuífero del río Maule y Río Itata, particularmente en los SHAC del Maule Medio Sur, Changaral y Ñuble (ver siguiente figura). Los acuíferos poseen una superficie similar a los de las cuencas que se emplazan, con 21.134 km^2 y 11.356 km^2 (respectivamente), mientras que los SHAC mantienen una superficie aproximada de 3.209 km^2, 7.864 km^2, 718 km^2 y 2.353 km^2 (respectivamente), emplazándose principalmente entre las regiones del Maule y Ñuble.

Figura 3- 35: Ubicación hidrogeológica del Proyecto.



Fuente: Elaborado por ENVIS (2024), en base a DGA (2018, 2019).

3.5.3.2.2 Caracterización Geológica

- Generalidades

Las regiones del Maule y Ñuble poseen tres (3) morfologías principales la Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de los Andes. Se reconocen en las tres regiones rocas metamórficas, intrusivas, depósitos volcano-sedimentarios, depósitos sedimentarios consolidados y depósitos no consolidados (DGA, 2014 en DGA, 2018).

La Cordillera de la Costa se define como una unidad independiente, con la aparición de la Depresión Central desde Santiago hacia el sur. En su borde occidental, se compone principalmente de basamento cristalino y metamórfico paleozoico, mientras que hacia el este afloran rocas intrusivas del Mesozoico Inferior, en su extremo oriental la Cordillera de la Costa presenta mayores elevaciones. El borde oriental está compuesto de secuencias estratificadas volcánicas y sedimentarias Mesozoicas (Thomas, 1958; Wall et al., 1999; Sellés y Gana, 2001; Bravo, 2001; SERNAGEOMIN, 2003). Además, afloran rocas metamórficas en el área que pertenecen al período Silúlico-Carbonífero, ubicándose en una franja N-S hacia el sector costero (DGA, 2014 en DGA, 2018).

La Depresión Central, ubicada entre los 33ºS y los 40ºS, consiste en una cuenca rellena de depósitos aluviales y volcánicos Pleistocenos a Holocenos (Thiele, 1980, Araneda et al., 2000, Rauld, 2002), su basamento corresponde a rocas Mesozoicas y Cenozoicas, distribuidas en el sector occidental y oriental, respectivamente, el basamento es observable en cerros islas y cordones que cortan la depresión (Farías *et al.,* 2008). El límite oriental de la depresión se encuentra en contacto, aparentemente por falla, con niveles basales de la Formación Abanico (Falla Infiernillo, según Fock *et al.* (2006)) o por discordancia erosiva (Fock, 2005, en DGA, 2018).

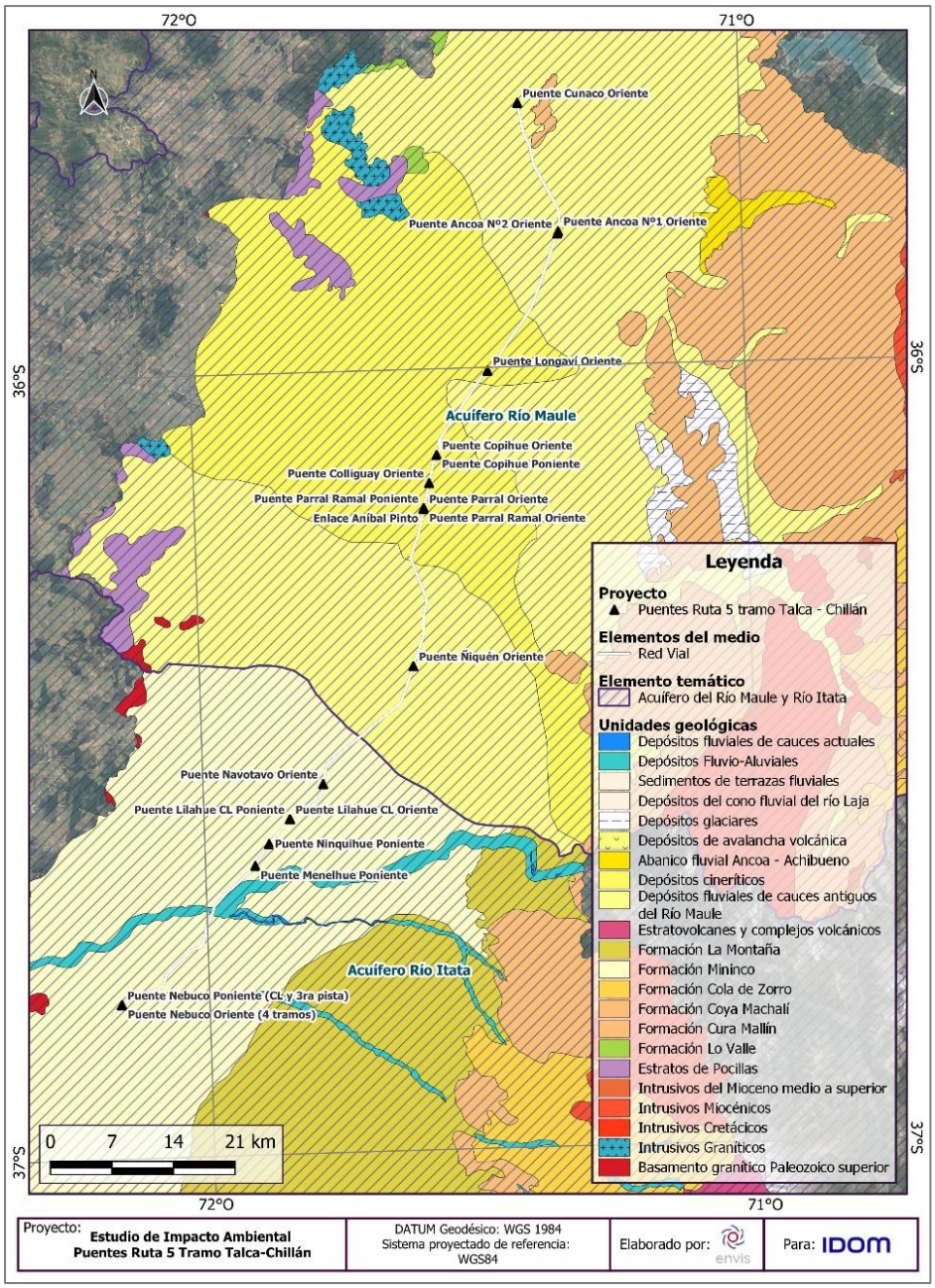
La Cordillera Principal consiste en su parte occidental por rocas Cenozoicas de la Formación Abanico, deformadas y plegadas, rocas de la Formación Cola de Zorro y secuencias volcánicas levemente plegadas provenientes del arco volcánico actual, mientras que la vertiente oriental de la Cordillera Principal chilena consiste en rocas de la Formación Abanico y secuencias Mesozoicas fuertemente deformadas (Fock, 2005; Farías et al., 2008), estas rocas se encuentran en contacto por un sistema de fallas de vergencia Este (Falla el Fierro; Davidson *et al.,* 1972) y retrocorrimientos.

Es importante destacar los sedimentos no consolidados de edad Cuaternario depositados en ambientes de origen fluvial, fluvioglacial, glacial, coluvial y lacustre los cuales rellenan las

cuencas. Existiendo además en la Cordillera de la Costa terrazas marinas desarrolladas probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno (DGA, 2014 en DGA, 2018).

En la Figura que se presenta a continuación, se observa el mapa geológico de la zona en la que se encuentra emplazado el Proyecto y, después, se describe detalladamente cada una de las unidades litológicas:

Figura 3- 36: Unidades geológicas de acuíferos Río Maule y Río Itata.



Fuente: Elaborado por ENVIS (2024), en base a DGA (2018).

Para la descripción de unidades litológicas se señala que, se utiliza la abreviación “Ma” para referirse a “Millones de años” y “Fm.” para “Formación”, definiendo esta última como: Unidad litoestratigráfica formal caracterizada por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) y características espaciotemporales que las diferencian de las unidades adyacentes.

- Unidades Intrusivas y Metamórficas

Pzg Basamento granítico Paleozoico Superior

Unidad descrita informalmente como Batolito de la Costa por Gonzalez-Bonorino (1970). Por relaciones estratigráficas se le otorga una edad Paleozoico superior – Triásico Inferior, lo cual coincide con sus dataciones que señalan 320 Ma como edad de cristalización, y 208 y 218 Ma como edad de enfriamiento por exhumación (Hervé, 1976).

Esta unidad da origen a gran parte del relieve de las serranías intermedias (poniente de la depresión intermedia) con una extensión dominante N-S con alturas medias de 600 a 800 m de altitud m s.n.m. (DGA, 2010).

El complejo plutónico se caracteriza por presentar composiciones principalmente entre tonalita y granodiorita con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito (Gonzalez-Bonorino, 1970 y Hervé et al., 1976 en Gajardo, 1981). Estas rocas han sido sometidas a intensos fenómenos cataclásticos, lo cual se evidencia en el fracturamiento de sus cristales de cuarzo y feldespeto. Esta unidad se encuentra en relación de contacto por intrusión con el Basamento Metamórfico, e infrayace en discordancia por erosión a las rocas triásicas (Gajardo, 1981).

Jig Intrusivos graníticos

En esta unidad se incluyen una serie de cuerpos intrusivos aislados de escasa distribución. Se caracteriza por presentar composiciones predominantes granodioríticas y dioríticas.

Las rocas de esta unidad afloran en el cerro El Peñón al poniente de Talca, y por petrografía pueden correlacionarse con el Granito Montecillos de posible edad jurásica (DGA, 2010).

Kiag Intrusivos cretácicos

Unidad que comprende Intrusiones dioríticas y monzodioríticas de piroxenos y horblenda, con presencia menor de granodioritas, monzogranitos de horblenda y biotita. Se ubican en la zona

oriental de la Cordillera de la Costa en una franja con orientación NNE-SSW y representan altos topográficos mayores a los intrusivos carboníferos-pérmicos (DGA, 2011).

Ming Intrusivos del Mioceno medio a superior

Unidad que comprende pequeños stocks, filones y filones-manto con variada forma, dimensión y composición. En general, está caracterizada por presentar sienogranitos, monzogranitos, granodioritas, tonalitas, dioritas y monzodioritas cuarcíferas (DGA, 2011).

Mg Intrusivos miocénicos

Unidad que comprende al Batolito Santa Gertrudis-Bullileo, un extenso complejo plutónico de orientación N-S. Está caracterizada por presentar monzogranitos, granodioritas, monzonitas cuarcíferas, monzodioritas cuarcíferas y dioritas cuarcíferas. (DGA, 2011).

- Unidades Sedimentarias

Tr1m Estratos de Pocillas (Triásico Superior)

La Formación Patagua fue descrita como una unidad marina por Muñoz Cristi y González Pacheco (1953) en el Cerro Quilvo al este de la localidad de Pocillas (36° 11'S). Posteriormente Hervé et al. (1976) y Moreno y Parada (1976) describieron la misma sucesión rocosa con el nombre Estratos de Pocillas. Muñoz Cristi y González Pacheco (1953) le otorgan una edad triásica por su similitud con sedimentos del valle del Bío-Bío y otras localidades de la Cordillera de la Costa en las provincias de Talca y Cauquenes. Posteriormente se encontraron restos de plantas que confirman la edad Triásico Superior (Troncoso, 2007).

La unidad se caracteriza por presentar una secuencia sedimentaria y volcánica compuesta de pizarras arcillosas, pedernal, conglomerados de cuarzo, areniscas y rocas volcánicas. Ningún autor menciona espesores, pero concuerdan en que esta formación sobreyace en discordancia erosiva a rocas graníticas paleozoicas y que está instruida por un cuerpo granítico-diorítico y por hipabisales dacíticos. (Muñoz Cristi y González Pacheco, 1953; Hervé et al., 1976, en Troncoso, 2007). Posteriormente otros autores especifican las rocas volcánicas como lavas y brechas andesíticas, brechas volcánicas, riolitas y alternancias de andesitas porfídicas (Moreno et al., 1976; Lagno, 1979, en DGA, 2011).

KTlv Formación Lo Valle (Cretácico Superior)

La Formación Lo Valle fue descrita por Thomas (1958) a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de la Costa entre los 32° y 35°15'S. Vergara y Drake (1979) al datar un stock granítico que instruye esta unidad, le otorgan una edad máxima de 80 Ma, y Vergara (verbal) obtiene una datación de 90 Ma por lo cual se le otorga una edad Cretácico Superior (Nasi y Thiele, 1982).

La unidad se caracteriza por presentar principalmente rocas volcánicas y está compuesta por una sección basal de conglomerados y areniscas sobre la cual yacen lavas andesíticas a riolíticas, ignimbritas y brechas con intercalaciones tobáceas y areniscas epiclásticas (Nasi y Thiele, 1982). Thomas (1958) describe esta unidad con 700 m de potencia, sin embargo, otros autores mencionan espesores de hasta 3500 m (Nasi y Thiele, 1982). Esta unidad se encuentra sobreyaciendo en discordancia angular a la Fm. Veta Negra y subyaciendo concordantemente a la Fm. Abanico (Nasi y Thiele, 1982).

OM2c Formación Cura – Mallín (Oligoceno tardío – Mioceno temprano)

La Formación Cura – Mallín fue descrita por González y Vergara (1962) en el estero del mismo nombre, e identificada por Muñoz y Niemeyer (1984) desde los 36°S hasta los 39°S. Las edades reportadas para esta unidad son 19,8 – 14,5 Ma en la Laguna del Laja (Herriot, 2006), 24,6 - 22.8 Ma en Andacollo (Jordan et al., 2001) y 19,9-10,7 Ma en Lonquimay (Suarez y Emparan, 1995), por lo cual se le asigna una edad Oligoceno tardío – Mioceno temprano (Díaz, 2021).

La unidad se caracteriza por presentar una sucesión de rocas sedimentarias continentales con intercalaciones de rocas volcánicas y porfiritas cuarcíferas. Se compone principalmente de areniscas, lutitas y conglomerados con rocas piroclásticas de manera subordinada y con predominancia de rocas de ambiente lacustre. Inicialmente se reporta que algunos niveles de lutita poseen fósiles de ostrácodos, y posteriormente en el sector de Lonquimay se encuentran diversos fósiles de vertebrados, incluyendo mamíferos y aves. Su límite inferior está constituido por grauvacas, conglomerados y areniscas tobáceas con abundantes clastos líticos y granos de feldespatos pertenecientes a la formación cristalina subyacente (González y Vergara, 1964; Burns et al., 2006, en Díaz, 2021). Se ha descrito una potencia promedio de 1200 m, presentando zonas con hasta 3000 m, y otras donde no supera los 400 m (Jordan et al., 2001; Burns et al., 2006, de Díaz, 2021). Esta formación sobreyace en inconformidad al basamento metamórfico y subyace en discordancia a la Formación Cola de Zorro a los 36°S, y en concordancia y de forma transicional a la Formación Trapa-Trapa entre los 36°S y los 37,5°S (González y Vergara, 1962).

Según diversos autores, esta unidad es correlacionable con la Fm. Abanico descrita por Aguirre (1960) a los 33°S, con la Fm. Colbún descrita por Karzulovic et al. (1979) entre los 35°30’ y 36°S, y con la Fm. Coya-Machalí descrita por Klohn (1960).

KTcm Formación Coya – Machalí (Oligoceno tardío – Mioceno medio)

La Formación Coya – Machalí fue definida por Klohn (1960) entre los pueblos de Coya y Machalí, al este de la ciudad de Rancagua. Posteriormente algunos autores la han incluido dentro de la Formación Abanico definida por Aguirre (1960), por su continuidad hacia el norte y hacia el sur donde la extienden González y Vergara (1964). Más recientemente, Piquer et al. (2017) considera edades y litologías diferentes a las de la Formación Abanico, por lo que sugiere separarlas. Klohn (1960) le otorga una edad Maastrichtiana, sin embargo, más recientemente se han datado edades de 23,2 Ma (Charrier y Munizaga, 1979), 22,49 Ma (Zurita, 1999) y 15,48 – 12,62 Ma (Piquer et al., 2017), por lo que se le asigna una edad Oligoceno tardío – Mioceno medio (Díaz, 2021)

La unidad se caracteriza por presentar principalmente rocas volcánicas con intercalaciones sedimentarias en una franja N-S, que se compone de coladas de lava, brechas y tobas andesíticas y riolíticas, con intercalaciones de brechas, conglomerados, areniscas y limolitas oscuras. El espesor descrito es de 1791 m de potencia, pero al no observarse una sección completa, en base a varios perfiles parciales se estima que podría alcanzar los 3000 m (Klohn, 1960). Esta formación sobreyace en discordancia a diversas formaciones más antiguas, siendo la más cercana cronológicamente, la Formación Colimapu y en su techo la sobreyace en discordancia, la Formación Farellones (Klohn, 1960).

Según diversos autores, esta unidad es correlacionable con la Fm. Abanico descrita por Aguirre (1960) a los 33°S, con la Fm. Colbún descrita por Karzulovic et al. (1979) entre los 35°30’ y 36°S, y con la Fm. Curamallín descrita por González y Vergara (1964) entre los 36° y 39°S.

PPlm. Fm Mininco (Plioceno – Cuaternario)

La Formación Mininco fue descrita por Muñoz Cristi (1960) dentro de la Depresión Central donde la Carretera Panamericana cruza el río del mismo nombre, quien le otorga una edad cuaternaria, pero reconociendo que su depositación pudo iniciar en el Plioceno.

La unidad se caracteriza por presentar sedimentos lacustres y fluviales periglaciales compuestos de areniscas tobáceas, limolitas y conglomerados con intercalaciones de arcillolitas y tobas. Su espesor es indeterminado debido a que no se observa su base y su techo está oculto por la Fm. La Montaña y las arenas del cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Gajardo (1981) correlaciona esta unidad hacia el norte con la Fm. Lircay definida también por Muñoz Cristi (1960).

PPl3 Fm. Cola de Zorro (Plioceno – Pleistoceno)

La Formación Cola de Zorro fue descrita por González y Vergara (1962), y reconocida por Vergara y Muñoz (1982) principalmente en la región limítrofe Chile-Argentina entre los 36° - 39°S. Por su relación con la Fm. Malla Malla, la presencia de fallas y su gran erosión glacial, Gonzales y Vergara (1962) le otorgan una edad Plioceno – Pleistoceno.

La unidad se caracteriza por presentar rocas principalmente volcánicas compuestas de lavas y rocas piroclásticas basálticas y andesíticas-basálticas en disposición horizontal a subhorizontal. Sobreyace en discordancia angular diversas formaciones más antiguas, como la Fm. Malla Malla, Fm. Abanico, Fm. Baños del Flaco, entre otras, y teniendo normalmente como techo la superficie de erosión actual, y localmente subyaciendo discordantemente coladas y piroclastos de la actividad volcánica actual. Su espesor es indeterminado debido a la ausencia de un límite superior, sin embargo, en su localidad tipo se describen 800 m (González y Vergara, 1962) y otros autores han descrito hasta 1200 m (Vergara y Muñoz, 1962).

PlHlm. Fm. La Montaña (Pleistoceno – Holoceno)

La Formación La Montaña fue descrita Inicialmente como Formación Morrena de la Montaña por Muñoz Cristi (1960), quien le otorga una edad cuaternaria, pero sin describir una justificación.

Esta unidad conforma una serranía baja, de lomajes redondeados que se distribuye de la zona precordillerana hacia el oeste en la Depresión Central y abarca desde Talca hacia el sur.

La unidad se caracteriza por presentar depósitos morrénicos de escasa compactación representados por sedimentos arcillosos no consolidados que contienen de forma caótica y mal seleccionada, fragmentos de rocas volcánicas, basálticas y graníticas con distinto grado de redondeamiento, y de alteración, que varían entre los 7 y 40 cm en promedio, pero con algunos clastos de hasta 5 m. En estos conjuntos además se encuentran intercalaciones bien

estratificadas de arcillas, arenas y ceniza volcánica. Estos depósitos se disponen en discordancia erosiva sobre rocas mesozoicas y cenozoicas, y sobre la Fm. Mininco. Su techo corresponde a la actual superficie de erosión, y es localmente cubierta por suelos agrícolas y por las arenas del Cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Q3i Estratovolcanes y complejos volcánicos

Unidad asociada a los complejos volcánicos Nevados de Chillán, Nevados de Longaví y Lomas Blancas.

La unidad se caracteriza por presentar brechas y lavas andesítico-basálticas negras a gris-rojizas, que sobreyacen en discordancia erosiva a la Formación Cola de Zorro y cuyo techo corresponde a la superficie de erosión actual (DGA, 2011).

Qfcam Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule

Esta unidad se caracteriza por presentar una potente secuencia sedimentaria que constituye un llano elongado en dirección noroeste, entre la zona de El Colorado y las inmediaciones de Pelarco. Se estima que los procesos de erosión que dieron origen a este depósito se habrían desarrollado a partir del Pleistoceno.

En general, la sección superior de este depósito, hasta los 85 m de profundidad, consiste principalmente en materiales clásticos gruesos, como ripio, gravas y gravas arenosas con algunas intercalaciones limo-arcillosas. La secuencia basal, entre los 85 y 237 m de profundidad, consiste en una alternancia rítmica de limos y arcillas con importante contenido cinerítico (DGA 2010).

Qc Depósitos cineríticos

Esta unidad ampliamente distribuida ocupa casi la totalidad llano interfluvial de los ríos Claro y Lircay y se caracteriza por presentar depósitos cineríticos compuestos, en su generalidad, de capas de cenizas y tobas de lapilli, en cuya composición se hallan esquirlas vítreas, cristales de plagioclasa y fragmentos de pómez. Estos depósitos, normalmente, se presentan bastante compactos, duros y bien cementados (DGA 2010).

Q3av Depósitos de avalancha volcánica

Unidad que comprende depósitos asociados al colapso parcial de edificios volcánicos. Se caracteriza por presentar clastos de composición riolítica a andesítica con tamaños que varían desde sedimentos finos hasta gravas gruesas (DGA, 2011).

Hcrl Depósitos del cono fluvial del río Laja

Unidad descrita por Brüggen (1950) que se extiende al sur de los 37°S, y que fue interpretada como depósitos del río Laja por SERPLAC-VIII Región (1976).

La unidad está caracterizada por sedimentos compuestos de material piroclástico provenientes del volcán Antuco y los centros adyacentes. Estos depósitos adoptan formas de dunas antiguas y de depósitos horizontales que rellenan cuencas con espesores de hasta 6 m (Gajardo, 1981).

Q1t Sedimentos de terrazas fluviales (Holoceno)

Unidad que comprende los depósitos de gravas y arenas en niveles de terrazas de los principales ríos. Se compone de gravas y ripios con clastos redondeados a subredondeados de andesitas y granitos con diámetros de entre 8 y 30 cm, y de una fracción variable de arenas y limos. El espesor de estos depósitos alcanza hasta los 20 m de potencia (DGA, 2011).

Q1g Depósitos glaciares

Unidad que comprende una variedad de depósitos descritos a continuación.

Depósitos fluvio-glaciales que forman terrazas discontinuas en las riberas de los principales cauces, y que se constituyen de materiales bien estratificados, mal seleccionados e inmaduros que se componen de clastos de tamaño bloque, grava y arena, inmersos en una matriz areno-arcillosa.

Depósitos de origen glacial compuesto de morrenas mayores asociadas a una glaciación antigua, y morrenas menores asociadas a los glaciares actuales. Estos depósitos están parcialmente desmembrados por la erosión o cubiertos por depósitos fluviales.

Depósitos morrénicos correspondientes al último período glacial que poseen una típica morfología de lomajes suaves que están compuestas de clastos angulosos predominantemente de volcánicos, inmersos en una matriz arenosa. Se han reconocido potencias mayores a 100 m (DGA, 2011).

Qafaa Abanico fluvial Ancoa – Achibueno

Esta unidad comprende un extenso abanico fluvial en el punto de descarga de los ríos Ancoa y Achibueno.

El depósito se caracteriza por materiales clásticos gruesos donde abundan conglomerados de bolones, ripios y gravas, con escaso contenido de arenas. Los clastos son heterocomposicionales, con predominio de brechas y andesitas provenientes de la Formación Coya Machalí, los cuales disminuyen su tamaño gradualmente en su avance hacia el este. Este depósito se observa suelto, muy poroso y altamente permeable en superficie. (DGA, 2010).

Q1fa Depósitos Fluvio-Aluviales

Unidad que comprende el material no consolidados compuestos de gravas, ripios y arenas que conforman el relleno de los cauces de ríos y esteros. Estos depósitos están asociados a los paleocauces. (DGA, 2011).

Qfa Depósitos fluviales de cauces actuales

Esta unidad corresponde a los depósitos de ripios, gravas y gravas arenosas uniformemente distribuidos dentro y en la vecindad inmediata del cauce actual de los principales ríos.

El depósito se caracteriza por consistir en clastos mayores inmersos en una escasa matriz de arenas gruesas a gravilla que conforman numerosas islas o bancos dispuestos a todo lo ancho y largo de los cauces. Los clastos son heterocomposicionales predominantemente volcánicos y graníticos que disminuyen en tamaño hacia el Valle Central. Estos depósitos se encuentran débilmente compactados y tienen buena selección (DGA, 2010).

3.5.3.2.3 Unidades y Parámetros Hidrogeológicos

La definición de unidades hidrogeológicas (UH) tiene como objetivo caracterizar o conceptualizar tendencias del comportamiento de las aguas subterráneas en una cuenca. Estas unidades se pueden definir después de realizar un estudio geológico y pueden o no incluir más de una unidad geológica o viceversa.

En Chile los rellenos sedimentarios cuaternarios (volcanoclásticos, sedimentarios fluviales, fluvioglaciales, aluviales, aluvionales, lacustres, eólicos y laháricos) son de importancia hidrogeológica, debido a que son acuíferos de elevada productividad, es decir, que pueden proporcionar importantes cantidades de aguas donde se concentran en estos depósitos (DGA, 2018).

En la Región del Maule se reconocen 14 acuíferos (DGA, 2018). Sin embargo, para efectos de este informe se realizará una descripción detallada de la unidad hidrogeológica que contienen al acuífero sobre el cual se emplaza el Proyecto: Acuífero Maule medio.

Mientras que en la Región del Ñuble se reconoce un único gran acuífero (Acuífero Itata). Esta gran unidad hidrogeológica, presenta variaciones de permeabilidad tanto laterales como en profundidad. Debido a esta característica es posible reconocer dos subunidades, definidas por la DGA (2011) como Unidad A y Unidad B.

Adicionalmente, se señala que la mayoría de los acuíferos que se ubican dentro del territorio nacional se han dividido en Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC). Por definición, un SHAC es un acuífero o parte de un acuífero, cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión de forma independiente (DGA, 2013). En otras palabras, la división de un acuífero en uno o más SHAC permite estudiar su comportamiento hidrogeológico y administrar el recurso hídrico asociado de manera independiente.

- Acuífero Maule Medio

Para la descripción del acuífero Maule medio es necesario precisar la siguiente definición: El Acuífero Maule se divide en acuíferos Maule Alto, Medio y Bajo, siendo solo Maule Medio un acuífero SHAC, mientras que Maule Alto y Bajo son acuíferos preliminares.

En este acuífero se distinguen unidades de rocas o materiales consolidados y unidades de depósitos no consolidados, estos últimos son los de mayor interés desde el punto de vista hidrogeológico. Las unidades de rocas presentes en la zona de estudio son: basamento granítico paleozoico superior (Pzg), stocks aplíticos (Tr/Jsa), Intrusivos Graníticos (Jig), Formación Coya-Machalí (KTcm), Formación Lo Valle (KTlv), Cuerpos Intrusivos Subvolcánicos (Tisv). Mientras que, en los depósitos no consolidados se engloban todas las unidades sedimentarias que conforman el relleno del Valle Central en la Región del Maule; éstas incluyen una gran variedad de depósitos que, según su granulometría, varían desde ripios de bolones hasta arcillas;

genéticamente, son el resultado de procesos deposicionales fluviales aluviales y fluvioaluviales cuaternarios (DGA, 2018).

Para este acuífero se identifican cuatro unidades hidrogeológicas principales (Espinoza, 2005 en DGA, 2018):

Primera unidad: Corresponden a depósitos fluviales actuales, terrazas fluviales, abanico fluvial actual del Maule, depósitos coluviales, forman acuíferos libres principalmente, niveles variables entre 3 y 30 m y caudales específicos entre 1 y 20 L/s/m.

Segunda unidad: Son depósitos cineríticos, fluvioaluviales, interserranos, abanico de Linares, con niveles estáticos variables y caudales específicos entre 1 y 20 L/s/m.

Tercera unidad: Está compuesta por depósitos cineríticos, fluviales, abanico actual del Maule. Condiciona acuíferos confinados, niveles someros, a veces surgentes.

Cuarta unidad: Corresponde a rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias. Las cuales no presentan acuíferos conocidos.

En el estudio “modelación hidrogeológica cuenca Río Maule” (DGA, 2011) se concluyó que, en general, el acuífero de la cuenca del Maule presenta características homogéneas, salvo en la zona de los cauces aledaña a la Cordillera de la Costa donde se observa la presencia de lentes arcillosos producto de la depositación de sedimentos finos arrastrados por los ríos y que se encuentran con la barrera que representa la Cordillera de la Costa, lo que permite concluir la existencia de al menos cuatro (4) estratos.

Existen acuíferos libres en gran parte del área de estudio, presentándose en todos los tipos de depósitos. En los depósitos fluviales actuales, en las terrazas actuales y en los abanicos del río Maule (actuales y antiguos) se presentan abarcando el depósito en su totalidad, con excepción de algunas zonas en que existen antecedentes estratigráficos locales que indican presencia de acuíferos confinados, semiconfinados y cubiertos, de poca extensión (Espinoza, 2005 en DGA, 2018).

Los acuíferos cubiertos se encuentran principalmente en los depósitos cineríticos, donde alcanzan una gran extensión areal. Se encuentran en la zona norte de la zona de estudio y en las cercanías de Talca (Espinoza, 2005 en DGA, 2018).

Los acuíferos confinados aparecen de forma puntual en los depósitos cineríticos, al sur del río Lircay, en terrazas fluviales del río Lircay y en el abanico del Maule, al sur de Villa Alegre. (Espinoza, 2005 en DGA, 2018).

Los acuíferos semiconfinados se encuentran también en los depósitos cineríticos, donde capas superficiales de cenizas de espesor variable cubren a las unidades acuíferas. Estos depósitos se ubican en el extremo norte del área de estudio, al norte de los esteros Pangue y Pelarco. También se encuentran cubriendo un área extensa del abanico de Linares, así también se encuentran presentes en otros depósitos puntuales, como las terrazas fluviales, el abanico del Maule y abanico fluvial antiguo del Maule (Espinoza, 2005 en DGA, 2018).

En el caso de los parámetros hidráulicos identificados en este acuífero, el estudio presentado por DGA (2018), presenta datos de recarga en función del balance hídrico, transmisividad y permeabilidad, como se presenta en las siguientes tablas:

Tabla 3- 60: Situación de recarga neta y demanda comprometida para cada sector hidrogeológico.

Sector Hidrogeológico	Recarga Neta (m^3/s)	Demanda Comprometida(m^3/s)
Maule Medio Sur	43	13

Fuente: DGA (2018).

Tabla 3- 61: Parámetros hidráulicos acuífero Maule Medio.

Sector	T (m^2/d)	K (m/s)
Río Maule desde conf. c/río Claro hacia aguas arriba y río Loncomilla hasta Villa Alegre	110	$7,3*10^{-5}$
Río Putagán- Linares- Yerbas Buenas- Colbún	760	$2,9*10^{-4}$
Río Loncomilla- Río Perquilauquén hasta conf. c/río Purapel -Río Ñiquén	360	$1,4*10^{-4}$

Fuente: DGA (2018).

Los resultados del balance hídrico realizado en el 2011 muestran que para el acuífero de la depresión intermedia del río Maule, la recarga neta es de 58 m^3/s. Los valores de permeabilidad en toda la cuenca del río Maule son bastante similares, en torno a los $2*10^{-4}$ m/s, salvo en el sector sur de la cuenca donde se presentan valores inferiores al resto de la región (DGA, 2010-2011). En relación con los coeficientes de almacenamiento, no existen datos de terreno para calcularlo (DGA, 2010 en DGA, 2018).

- Acuífero Itata

A lo largo de toda la cuenca del río Itata, donde afloran las unidades geológicas terciarias superiores y cuaternarias, se reconoce la existencia de un solo acuífero de carácter freático. Este gran acuífero, está subdividido en seis subacuíferos de acuerdo con sus características de relleno permeable, presente o constituyente (DGA, 2011 en DGA, 2019).

- *Sub Acuífero 1*: Unidad PPlm Formación Mininco (Plioceno-Cuaternario).
- *Sub Acuífero 2*: Unidad PlHlm Formación La Montaña (Pleistoceno-Holoceno).
- *Sub Acuífero 3*: Unidad Plt3 Depósitos Piroclásticos (Pleistoceno).
- *Sub Acuífero 4*: Unidad Q1g Depósitos glaciares: Depósitos Morrénicos, Fluvioglaciares y Glacilacustres (Pleistoceno-Holoceno).
- *Sub Acuífero 5*: Unidad Q3av Depósitos de avalancha volcánica (Cuaternario).
- *Sub Acuífero 6*:
- Q1: Depósitos fluvio-aluviales actuales (Pleistoceno-Holoceno)
- Q1c: Depósitos coluviales (Pleistoceno-Holoceno)
- Q1fa: Depósitos fluvio-aluviales (Pleistoceno-Holoceno)
- Q1m: Terrazas Marinas (Pleistoceno-Holoceno)
- Q1t: Sedimentos de terrazas fluviales (Holoceno)

Como se mencionó anteriormente, este gran acuífero está contenido en dos unidades hidrogeológicas, definidas por la DGA (2011) como Unidad A, y Unidad B. La Unidad A representa los sectores con media a alta permeabilidad, siendo la fracción más acotada del acuífero. La Unidad B corresponde a los sectores con permeabilidad media a baja que son con creces los más representativos de este gran acuífero.

Ambas unidades geológicas se caracterizan precisamente, por estar conformadas muy especialmente por depósitos finos, que imprimen al acuífero una permeabilidad general media a baja. Sólo en sectores relativamente reducidos en extensión se advierte la presencia de sedimentos de granulometría media con escasos finos que permitieron definir la Unidad A.

Además, es necesario destacar que directamente en los sectores por donde circulan los ríos de la zona (Ñuble, Cato, Chillán, Diguillín e Itata), existen depósitos fluvioaluviales de permeabilidad media alta, que no es posible incluir por la escala de trabajo, pero que en conjunto con los otros rellenos constituyen el mismo macroacuífero.

Respecto a la unidad de baja a media permeabilidad es conveniente aclarar que esto no constituye condiciones de borde al escurrimiento subterráneo. A modo de ejemplo, uno de los antecedentes recopilados por la DGA (2011, en DGA, 2019), muestra un pozo de 210 m de

profundidad emplazado totalmente en la Unidad B, en el cual fue posible extraer un caudal de 38 lt/s.

Con base en una clasificación realizada por Terzaghi y Peck (1973, en DGA, 2019), es posible establecer rangos de permeabilidad para las unidades definidas. La Unidad A, podría tener permeabilidades entre 10^{-3} cm/s e iguales o superiores a 10^{-1} cm/s. Para la Unidad B los rangos podrían variar entre 10^{-3} cm/s y 10^{-6} cm/s. Es importante destacar que este parámetro es extremadamente variable entre un sector y otro, por lo que estos valores solo pueden ser tomados a modo de referencia. Mientras que los valores de transmisividad se presentan de forma variable dentro de la misma cuenca presentando valores entre <150 - >450 m^2/d (DGA, 2019).

Respecto a su emplazamiento en profundidad, se considera que, el espesor promedio total del relleno sedimentario permeable debiese fluctuar entre los 150 y 200 m. Dejando en claro, que existen altas probabilidades de que las potencias superen esos valores, acorde a las profundidades donde se ubica la roca basal (DGA, 2011, en DGA, 2019).

3.5.3.2.4 Niveles Freáticos

Para el análisis de los niveles freáticos en el AI del Proyecto se consideró el resultado del Plan Estratégico de los Recursos Hídricos (PEGH) de la Región del Maule DGA (2021), en el cual se realizó un modelo hidrogeológico del que se obtuvieron niveles freáticos en el sector intermedio del acuífero del Río Maule. En el caso del acuífero del Río Itata no existe esta clase de resultados, por lo cual se recurrió a mediciones en pozos de Agua Potable Rural (APR) (del estudio DGA (2019), considerando como representativo del AI de cada puente el o los pozos con mediciones más cercanas, a través de una interpolación con funciones bicúbicas de las mediciones existentes.

Si bien la realización de ambos métodos en conjunto no genera una congruencia entre ambos acuíferos (existiendo un mayor detalle a través de los datos del PEGH del Maule), permite tener una primera aproximación del posible nivel freático a nivel de AI y la caracterización del recurso hídrico subterráneo. Se destaca de igual forma que los niveles serán esperablemente superiores en los cauces (más superficiales), dado el régimen permanente que presentaban las aguas, que alimentan el acuífero en el cual se encuentran. La siguiente Tabla resume el nivel freático por puente, mientras que la siguiente figura se exponen las profundidades del nivel freático.

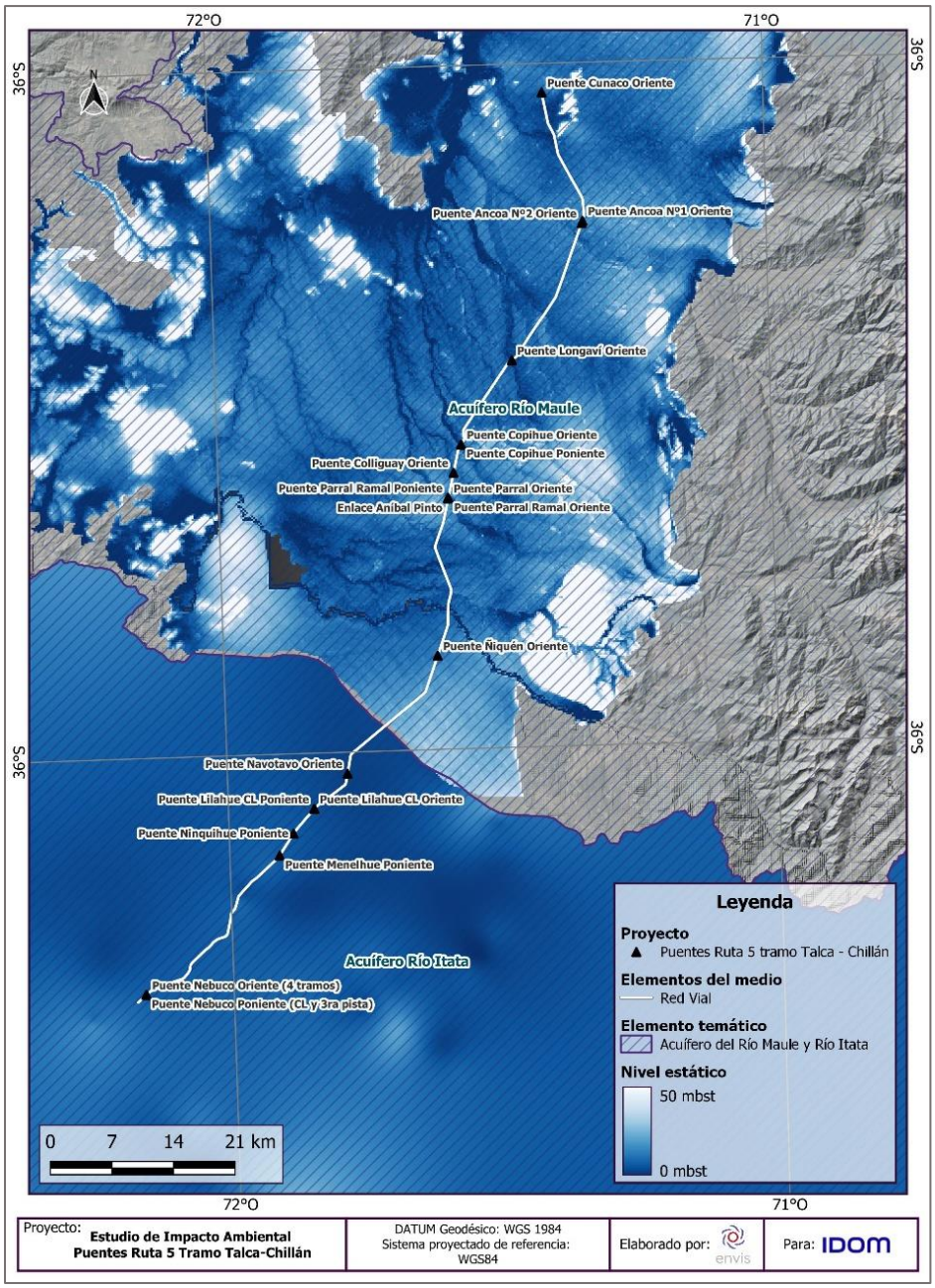
Tabla 3- 62: Nivel freático en AI de cada puente.

N°	Puente	Nivel freático (m b.s.t.)
1	Cunaco Oriente	9,9
2	Ancoa N°1 Oriente	13,8
3	Ancoa N°2 Oriente	14,7
4	Longaví Oriente	1,5
5	Copihue Oriente	2,1
6	Copihue Poniente	2,1
7	Colliguay Oriente	5,4
8	Parral Oriente	9,2
9	Parral Ramal Oriente	9,2
10	Parral Ramal Poniente	9,2
11	Ñiquén Oriente	15,7
12	Navotavo Oriente	3,3
13	Lilahue Oriente Calle Local	5,2
14	Lilahue Poniente Calle Local	5,2
15	Ninquihue Poniente	6,7
16	Menelhue Poniente	7,7
17	Nebuco Oriente	8,2
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	8,2

m b.s.t.: metros bajo la superficie terrestre

Fuente: ENVIS, 2023.

Figura 3- 37: Niveles freáticos a lo largo de la Ruta 5 Tramo Talca – Chillán.



Fuente: ENVIS, 2024.

3.5.3.2.5 Análisis de Vulnerabilidad de Acuífero

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) define vulnerabilidad como “una medida cualitativa o cuantitativa, en general expresada mediante un índice sin dimensiones, de la mayor o menor facilidad con que se puede infligir ese perjuicio”. Para determinar la vulnerabilidad de acuíferos se emplean métodos que relacionan la profundidad del nivel estático y la litología de la zona no saturada, algunos de ellos son el Método GOD o Método BGR (Espinoza, 2005 en DGA, 2018; DGA; 2004).

Los niveles de vulnerabilidad estipulados por SERNAGEOMIN (Espinoza, 2005) se dividen en las siguientes categorías:

Tabla 3- 63: Descripción de cada categoría de vulnerabilidad.

Categoría	Descripción
Muy alta/Extrema	Vulnerable a la mayoría de los contaminantes del agua, con impacto rápido en muchos escenarios de polución.
Alta	Vulnerable a muchos contaminantes (a excepción de aquellos fuertemente absorbidos o rápidamente transformados) en muchos escenarios de polución.
Moderada	Vulnerable a algunos contaminantes, pero sólo cuando hay descargas continuas o lixiviados.
Baja	Sólo vulnerable a contaminantes conservativos, en el largo plazo, cuando son descargados continuamente.
Nula	Capas confinantes presentes, sin flujo vertical de agua subterránea de importancia.

Fuente: Espinoza, 2005.

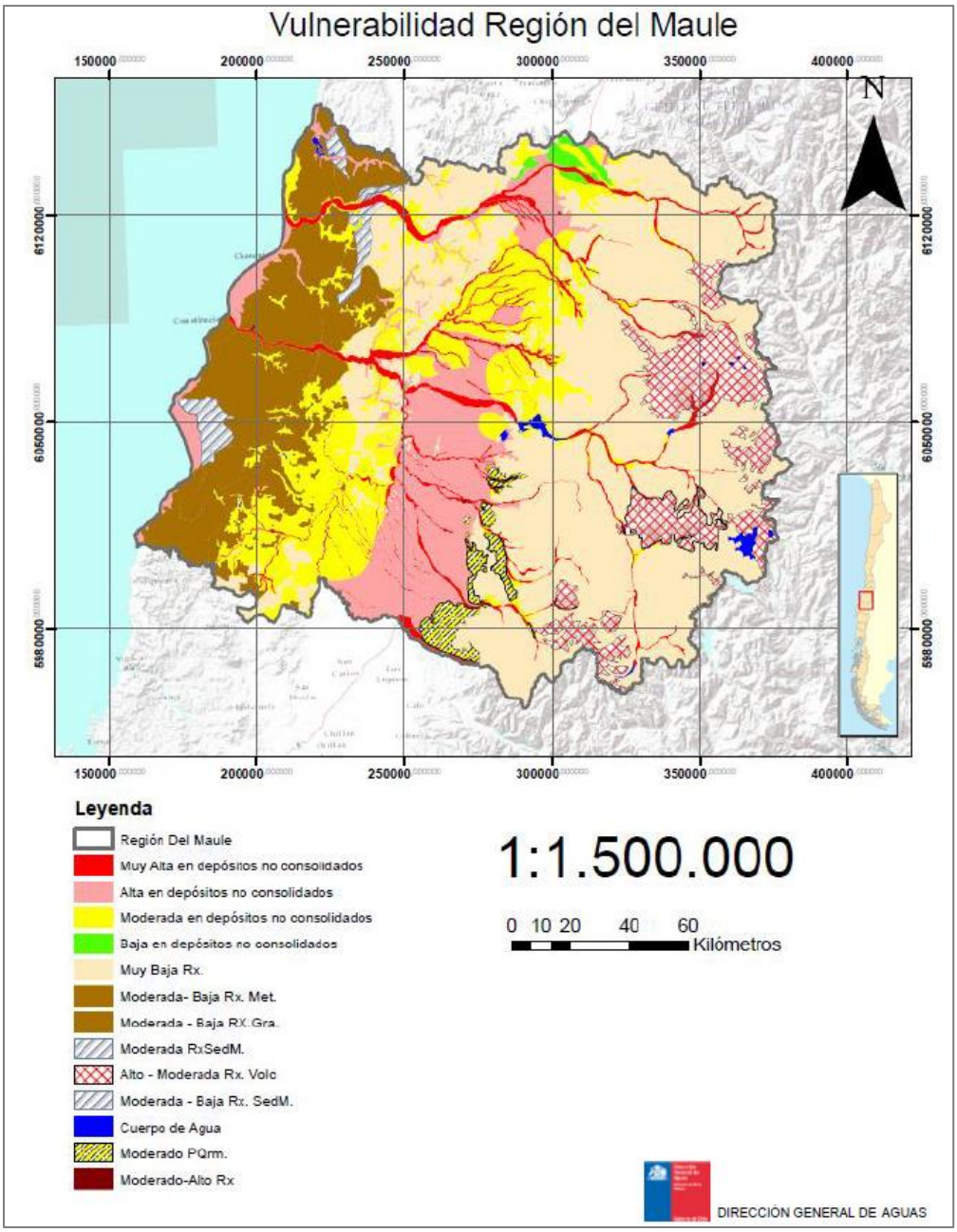
En el largo plazo todos los acuíferos son vulnerables a contaminantes persistentes en el tiempo y no degradables, inclusive aquéllos que presentan una baja vulnerabilidad a la contaminación. Estos últimos tienden a ser los más difíciles de limpiar una vez contaminados, por lo que no existen sectores en el acuífero en los que el agua subterránea no se vea afectada por la presencia de contaminantes conservativos y persistentes (Wall et al., 2006).

Generalmente hay cierta correspondencia entre una alta vulnerabilidad de los acuíferos con las unidades hidrogeológicas de alta importancia, esto debido a que en parte la vulnerabilidad es

dependiente de la permeabilidad de éste, por lo que no es de extrañar que las mayores vulnerabilidades se localicen en la Depresión Intermedia, y en sectores en donde se desarrollan los cauces más importantes de las cuencas.

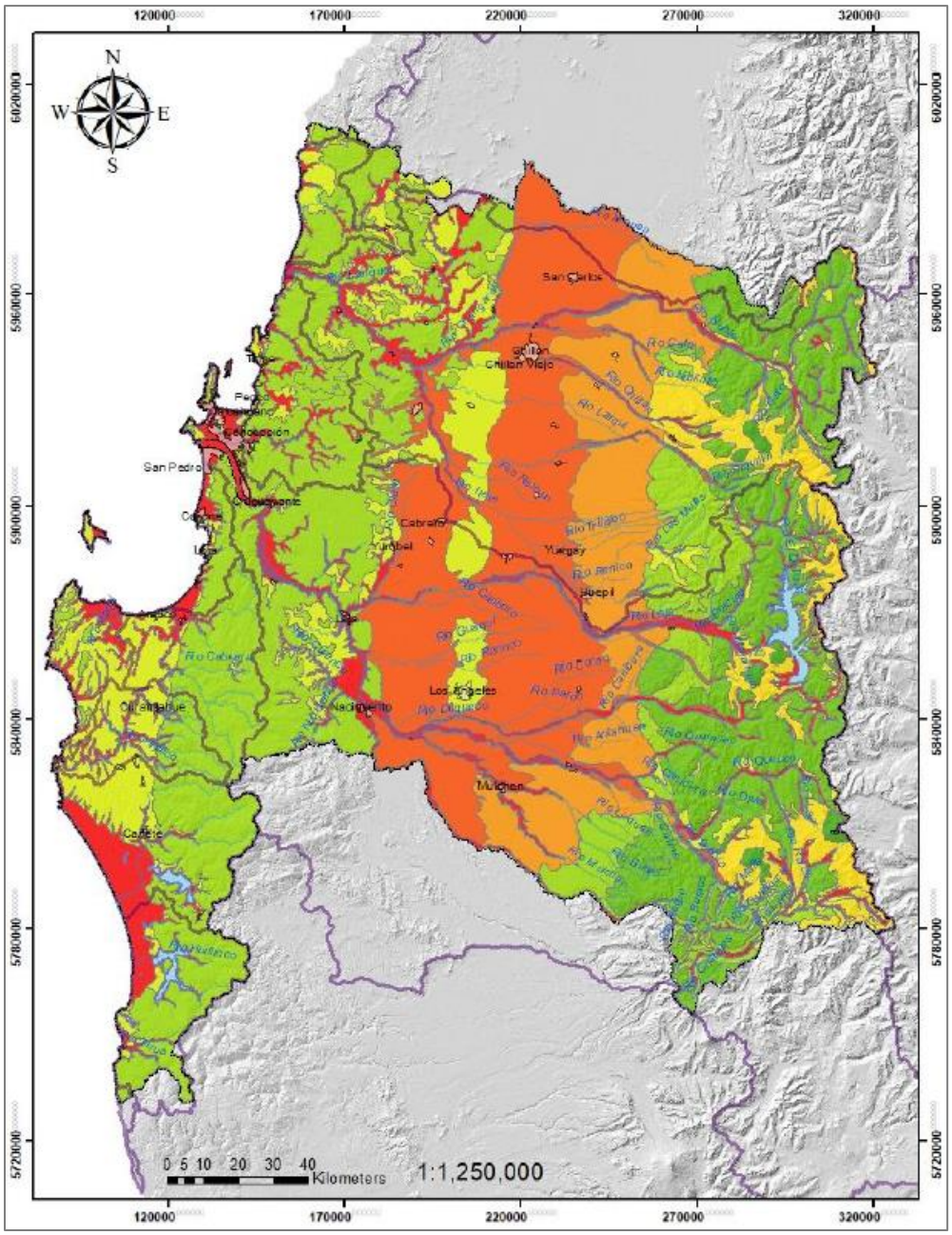
Considerando lo anterior, en las siguientes figuras se exponen la vulnerabilidad en la Región del Maule y del Biobío, obtenidas de DGA (2018, 2019), pero generadas de SERNAGEOMIN (2005) y Wall et al. (2006).

Figura 3- 38: Vulnerabilidad en la Región del Maule.



Fuente: DGA (2018).

Figura 3- 39: Vulnerabilidad en la Región del Bío-Bío.



Fuente: DGA (2019).

A partir de las figuras anteriores y la transposición del AI de cada puente, es posible confeccionar la siguiente Tabla en donde se presenta la vulnerabilidad de cada sector.

Tabla 3- 64: Vulnerabilidad de acuíferos.

N°	Puente	Vulnerabilidad
1	Cunaco Oriente	Alta
2	Ancoa N°1 Oriente	Muy alta
3	Ancoa N°2 Oriente	Muy alta
4	Longaví Oriente	Muy alta
5	Copihue Oriente	Muy alta
6	Copihue Poniente	Muy alta
7	Colliguay Oriente	Muy alta
8	Parral Oriente	Muy alta
9	Parral Ramal Oriente	Muy alta
10	Parral Ramal Poniente	Muy alta
11	Ñiquén Oriente	Alta
12	Navotavo Oriente	Alta
13	Lilahue Oriente Calle Local	Alta
14	Lilahue Poniente Calle Local	Alta
15	Ninquihue Poniente	Alta
16	Menelhue Poniente	Alta
17	Nebuco Oriente	Muy alta
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

De lo anterior, es posible apreciar que en general existe una vulnerabilidad Alta/Muy alta, lo cual guarda relación debido a la ubicación del Proyecto, en donde existe una mayor facilidad de transporte y absorción de contaminantes al SHAC. Si bien algunos fueron declarados con vulnerabilidad alta, se cree que esto se debe a la resolución de las figuras anteriores, sin

considerar cauces de menor envergadura que pueden implicar las mismas condiciones que los catalogados con vulnerabilidad Muy alta/extrema.

3.5.3.2.6 Calidad de las Aguas Subterráneas

Para la caracterización de la calidad de las aguas, se consideró el análisis de los resultados de los estudios realizados por DGA (2018, 2019), en donde se determinó la calidad de las aguas subterráneas para las regiones del Maule, Ñuble y Biobío a través de pozos de monitoreo y la información predispuesta por ellos, en su totalidad proveniente de Aguas Potables Rurales (APR). Dicha caracterización consideró distintos pozos de muestreo y el análisis en función de un Índice de Calidad determinado a partir del estudio de diagnóstico y clasificación de acuíferos (DGA, 2009).

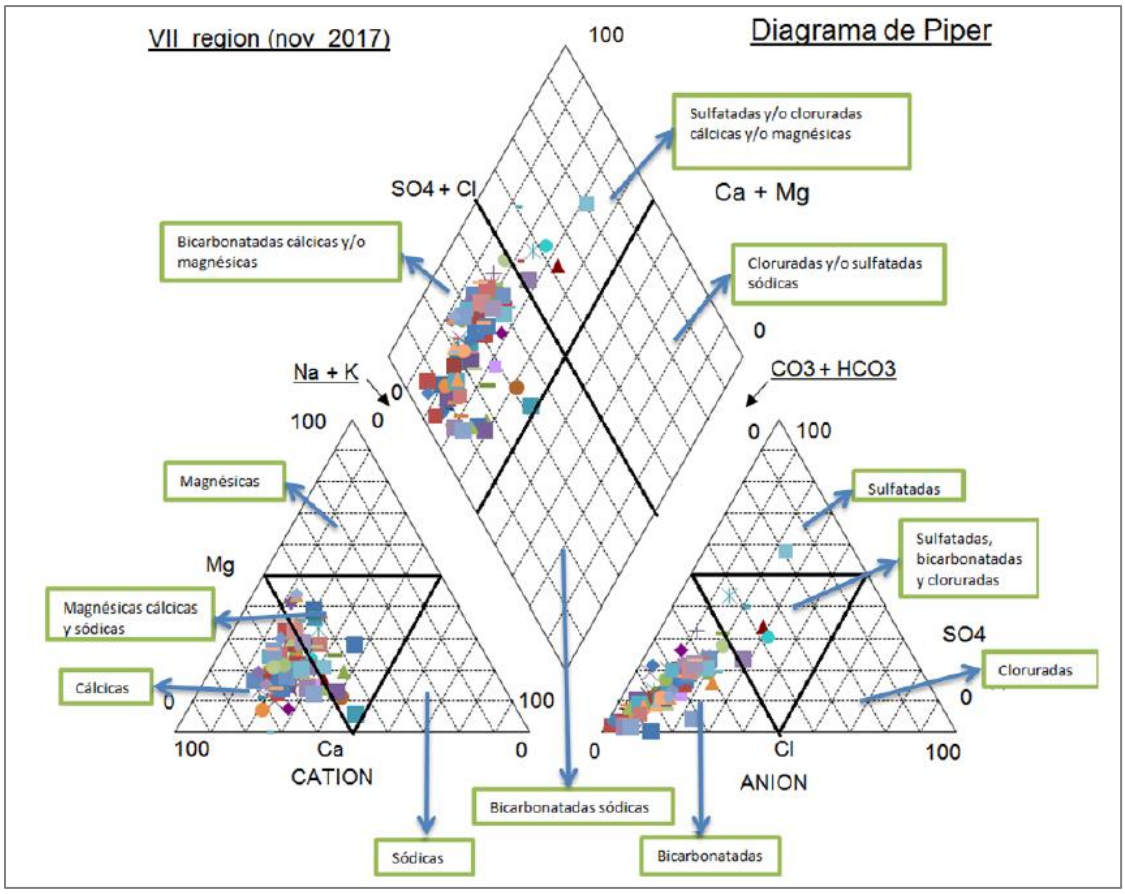
Con el objetivo de tener una caracterización y clasificación general de la composición química de las aguas subterráneas, se elaboraron diagramas de Piper para cada acuífero estudiado. Estos diagramas representan los componentes químicos mayoritarios (Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio, Bicarbonato, Sulfato y Cloruro) presentes en forma natural en las aguas subterráneas (DGA, 2018).

Para este informe, se realiza una revisión de las características hidroquímicas utilizando diagramas de Piper para los acuíferos Maule Medio e Itata.

- Acuífero Maule Medio

De acuerdo con el “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la Región del Maule” (DGA, 2018), se realizaron estudios hidroquímicos para 90 APR presentes en el acuífero Maule medio. La caracterización de sus componentes mayoritarios se presenta en la figura que se muestra a continuación:

Figura 3- 40: Diagrama de Piper acuífero del Maule medio



Fuente: DGA (2018).

A partir del Diagrama de Piper es posible observar que la composición química de las aguas subterráneas del acuífero Maule medio es bastante homogénea, donde predomina una composición bicarbonatada cálcica/magnésicas y en algunos pares de muestras se puede observar una composición sulfatada cálcica.

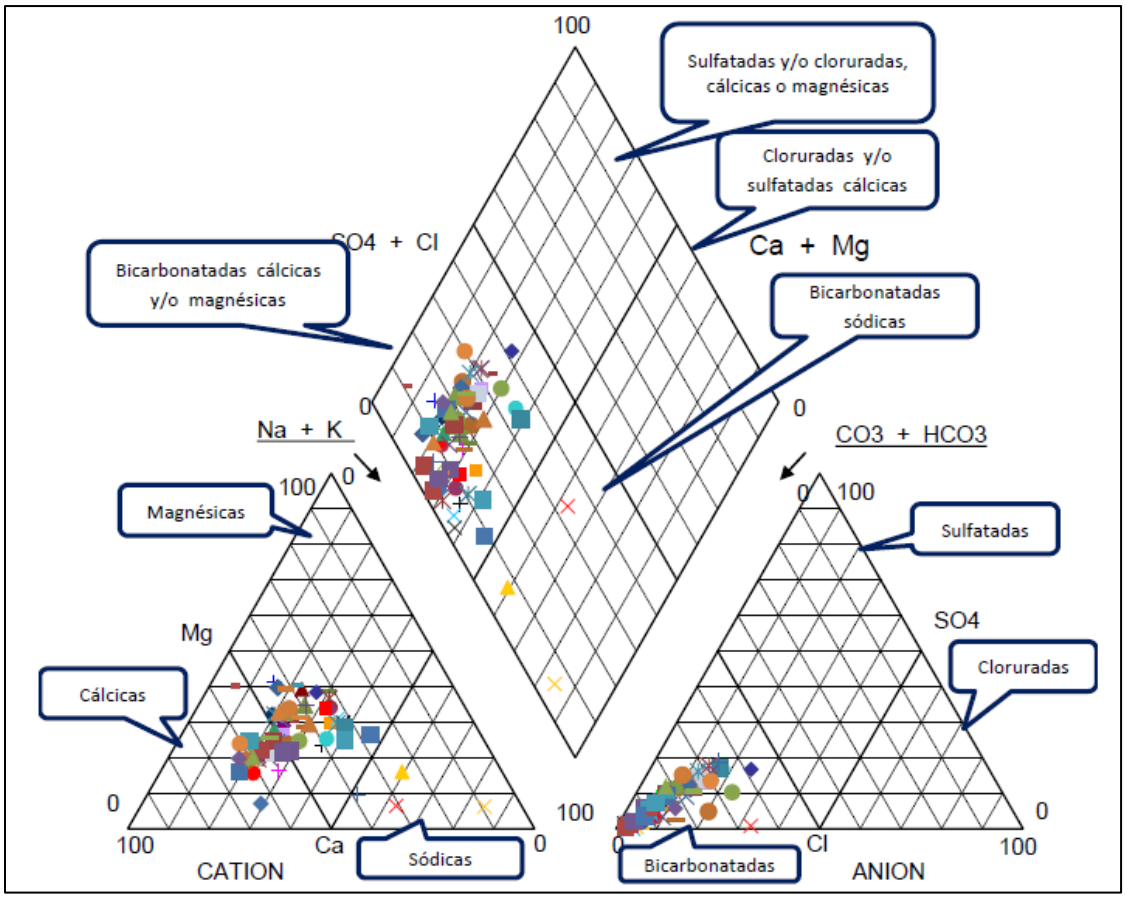
De forma detallada, en el Maule Medio Norte, todos los ríos que nacen en la cordillera como lo son el Río Claro, Río Colorado, Río Palos de San Pablo y Río Lircay vienen cargados de aguas bicarbonatadas cálcicas, esto debido a que se encuentran en la zona de recarga proveniente de

las aguas de lluvia. Al avanzar hacia el valle tiende a aumentar la concentración de magnesio, por lo que las aguas sufren un metamorfismo a bicarbonatadas cálcicas y magnésicas. En el Maule Medio Sur, los ríos que alimentan la cuenca (Río Blanco, Río Longaví, Río Melado, Río Achibueno, Río Ancoa y Río Los cipreses), poseen aguas clasificadas como bicarbonatadas cálcicas, al igual que en el Maule Medio Norte, las aguas mutan a aguas bicarbonatadas cálcicas y magnésicas (DGA, 2018).

- Acuífero Itata

Del “Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío” (DGA, 2019), se realizaron estudios hidroquímicos para 68 APR presentes en el acuífero Itata. La caracterización de sus componentes mayoritarios se presenta en la Figura a continuación:

Figura 3- 41: Diagrama de Piper acuífero Itata.



Fuente: DGA (2019).

A partir del Diagrama de Piper es posible observar que la composición química de las aguas subterráneas del acuífero Itata es bastante homogénea, donde predomina una composición bicarbonatada cálcica/magnésicas y excepcionalmente, en tres muestras se puede observar una composición bicarbonatada sódica.

Las muestras con composición sódica, *a priori*, no son aptas para el consumo ni para el riego considerando que las concentraciones de sodio se encuentran sobre el límite permitido por la normativa chilena (límite Na^+= 35%, porcentaje de sodio respecto al total de cationes (Na + Ca + Mg + K), según NCh N°1333). Los pozos con composición bicarbonatada sódica corresponden

a APR CHILLANCITO DE QUILLON (N°16), APR COLTON QUILLAY (N°21) y APR GENERAL CRUZ SAN PEDRO (N°23).

A partir de las características hidroquímicas, se puede inferir que la composición bicarbonatada de las muestras puede proceder de la disolución del CO_2 atmosférico o del suelo por parte del agua de lluvia, lo que se sustenta también en la amplia distribución a nivel de cuenca de dicha "personalidad hidroquímica". Por otra parte, esta composición podría proceder de la hidrólisis de silicatos ayudada por el CO_2 (Custodio y Llamas, 1976), esta última hipótesis es concordante con la litología presente aguas arriba en donde abundan las lavas basálticas a dacíticas, rocas piroclásticas, así como también intrusivos monzograníticos, granodioríticos, monzoníticos, dioríticos y tonalíticos.

- Índice De Calidad De Agua

Para determinar la calidad de las aguas subterráneas se emplea la metodología propuesta por la DGA (2009). La metodología contempla trabajar con dos grupos de parámetros hidroquímicos que permitan la clasificación de sectores en los acuíferos respecto a la calidad de sus aguas.

El primer grupo está conformado por los parámetros químicos: Sólidos Disueltos Totales (SDT), Cloruros (Cl), Sulfatos (SO_4), Calcio (Ca), Sodio (Na) y Magnesio (Mg), que corresponden a parámetros comúnmente realizados en cualquier muestra de agua y que además son utilizados en la mayoría de las metodologías internacionales. Estos parámetros se encuentran siempre disueltos en las aguas en forma natural, y el aumento de sus concentraciones puede deberse a efectos antrópicos. El segundo grupo está conformado por parámetros químicos que dan cuenta de la singularidad de cada acuífero y está conformado por un máximo de tres parámetros: la concentración de Nitratos (NO_3), más la concentración de dos elementos minoritarios que pueden escogerse en forma libre para cada acuífero, siempre y cuando reflejen las particularidades específicas de éste, ya sea por causas naturales o artificiales.

Para el cálculo del Índice de Calidad (IC) se requiere que inicialmente la información química sea evaluada mediante el balance iónico, límites de detección y valores anómalos, lo que permitirá trabajar con datos confiables y establecer comparaciones con normativas vigentes, tanto a nivel nacional como internacional. Esto, además de considerar su temporalidad y la unidad hidrogeológica de interés, con el fin de confeccionar mapas que permitan realizar un diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas a través del IC por pozo y por sector acuífero.

Después de validar la calidad de los datos se debe calcular el Índice de Calidad Individual (IC individual) para cada uno de los parámetros, fijos y locales. Éste se obtiene mediante la interpolación lineal de las concentraciones contrastadas con los valores de corte definidos para cada parámetro (VC1, VC2, VC3 y VC4), obteniendo un IC individual de valor discreto entre 1 y 5, que corresponden a las cinco (5) categorías de calidad del parámetro, de mejor a peor, respectivamente, tal y como se indica en la siguiente tabla:

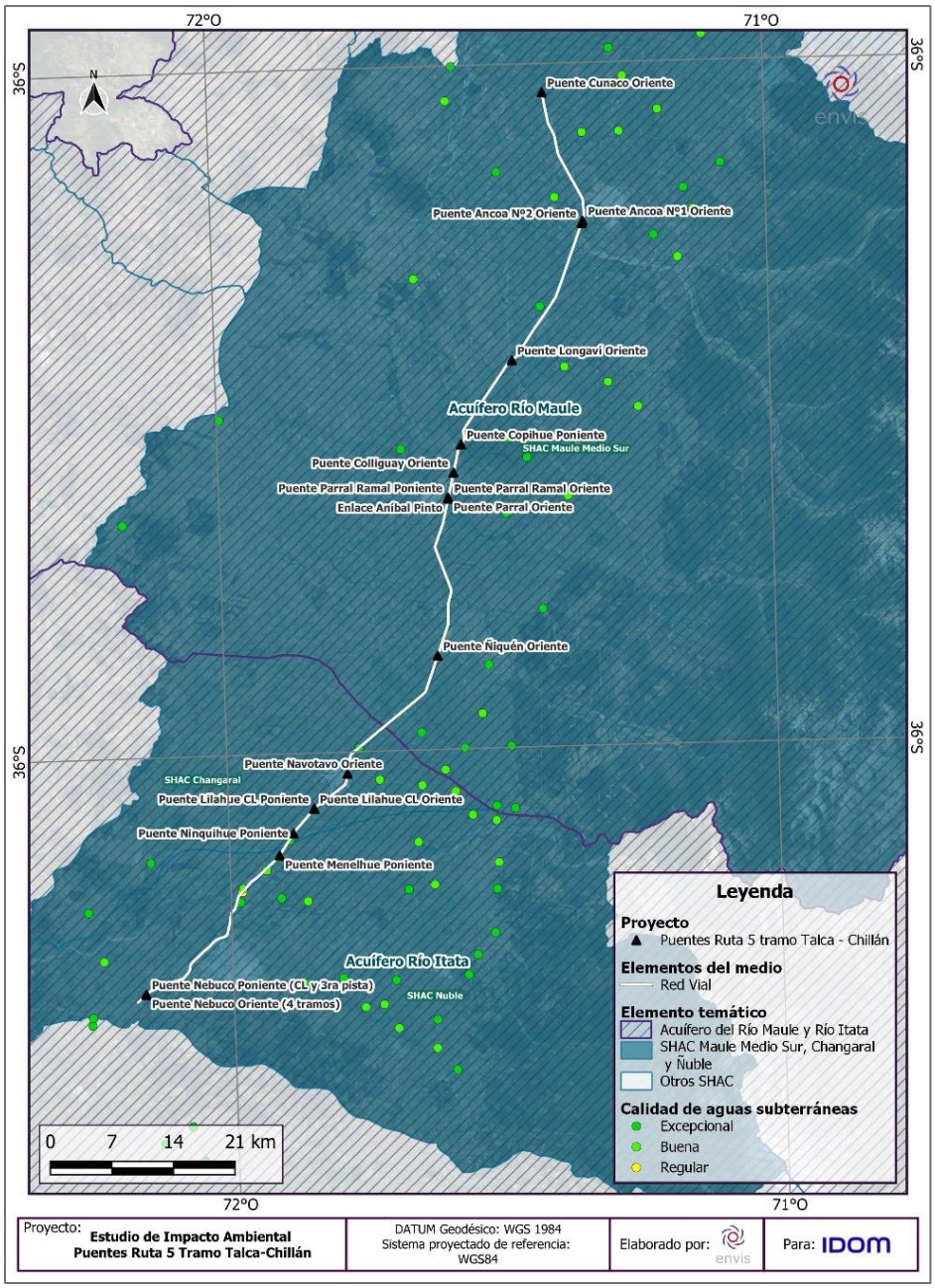
Tabla 3- 65: Relación entre clases de calidad y valores de corte.

Índice de Calidad (IC)	Valor de Corte (VC)	Observaciones
Excepcional	VC1	Según Indicaciones de OMS respecto a la calidad de agua de uso humano.
Buena	VC2	Norma Chilena con respecto a calidad de aguas.
Regular	VC3	Norma para actividad agrícola, y norma chilena de riego.
Insuficiente	VC4	Puede ser tratada para alcanzar la calidad de agua potable definida por la norma establecida.
Deficiente	VC5	Aguas que no se pueden tratar. De ser posibles serían mediante procesos muy costosos o complejos.

Fuente: DGA (2009).

En los estudios realizados por DGA en los acuíferos de la Región del Maule (2018) y Ñuble (2019), se aplica la metodología para determinar el Índice de Calidad de Aguas (DGA, 2009) a 162 muestras, de las cuales cuatro (4) muestras presentan calidad de agua regular (2,5%), 66 muestras presentan calidad buena (40,7%) y 92 muestras son carácter excepcional (56,8%). Las variaciones en la calidad de aguas pueden observarse en la siguiente figura:

Figura 3- 42: Puntos con información respecto a la calidad de las aguas.



Fuente: DGA (2018, 2019).

De los resultados del análisis, se desprende que no existen caracterización de las aguas subterráneas al interior de las AI, por lo cual se considera el o los resultados más próximos que permitan entender la calidad de las aguas. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla siguiente, en donde además se expone la distancia de la medición al centroide de cada puente.

Tabla 3- 66: Calidad de las aguas subterráneas en relación con la distancia del Puente.

N°	Puente	Calidad del agua	Distancia al puente (km)
1	Cunaco Oriente	Buena	6,4
2	Ancoa N°1 Oriente	Buena	4,0
3	Ancoa N°2 Oriente	Buena	4,0
4	Longaví Oriente	Buena	6,0
5	Copihue Oriente	Excepcional	6,7
6	Copihue Poniente	Excepcional	6,7
7	Colliguay Oriente	Excepcional	6,4
8	Parral Oriente	Excepcional	6,5
9	Parral Ramal Oriente	Excepcional	6,5
10	Parral Ramal Poniente	Excepcional	6,5
11	Ñiquén Oriente	Excepcional	5,9
12	Navotavo Oriente	Excepcional	3,1
13	Lilahue Oriente Calle Local	Excepcional	4,6
14	Lilahue Poniente Calle Local	Excepcional	4,6
15	Ninquihue Poniente	Excepcional	0,9
16	Menelhue Poniente	Buena	2,2
17	Nebuco Oriente	Excepcional	6,5
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Excepcional	6,5

Fuente: ENVIS, 2023.

Por último, se expone de manera general que, en las cercanías a los puentes del Proyecto la calidad de las aguas es de carácter excepcional, existiendo solo cinco (5) pozos (cercanos al AI) en donde la calidad de las aguas subterráneas es Buena. De igual forma, en ningún caso se catalogaron las aguas como Regulares, Insuficientes o Deficientes, existiendo solo 3 pozos de monitoreo que presentaron un estado Regular a nivel de acuífero dos ubicados en el acuífero del Maule y uno en el acuífero del Itata).

3.5.3.3 Normativa

3.5.3.3.1 Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Se realizó una revisión general de los derechos de aprovechamiento de aguas disponibles en el portal de la DGA (con fecha de corte el 26 de diciembre de 2022). A partir de su identificación y el procesamiento de la información, se elaboró las siguientes figuras en donde se presentan los derechos de agua existentes en las cercanías de la Ruta 5 en el Tramo Talca – Chillán, particularmente en el AI de cada uno de los puentes definidos.

A partir de la revisión de los antecedentes se desprende que a nivel de las cuencas Río Maule y río Itata existen al menos 8.800 derechos[6], en donde aproximadamente un 76% corresponden a derechos de agua subterráneos y aproximadamente un 24% a derechos superficiales. Respecto al tipo de uso de ellos, el 89% corresponde a usos consuntivos y el restante a no consuntivos. Considerando el AI del Proyecto, se corrobora la inexistencia de derechos de agua al interior de esta, presentándose en la siguiente Tabla el derecho de agua más cercano, el tipo, fuente y distancia al Proyecto (con el fin de aclarar dichas distancias).

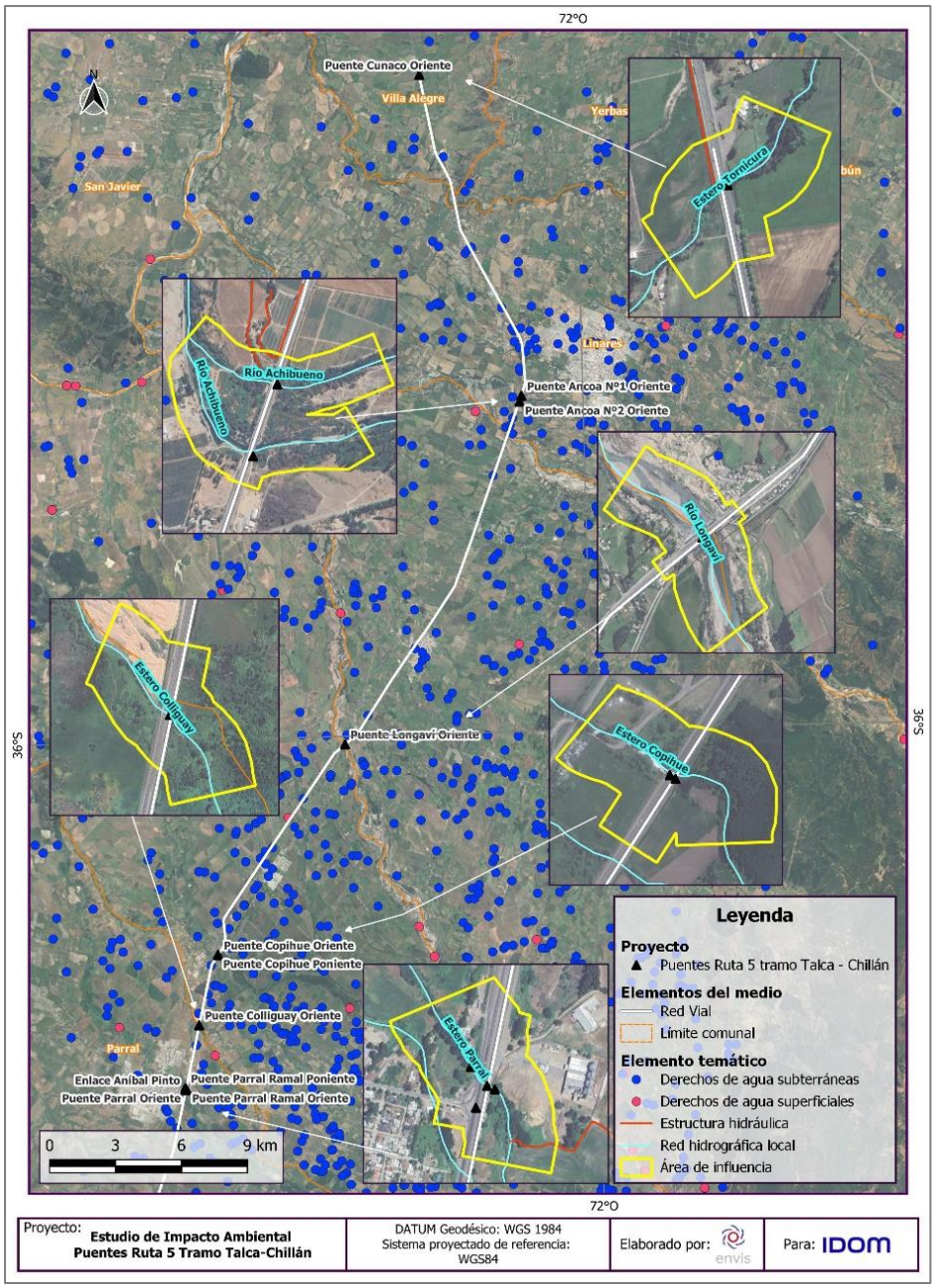
Tabla 3- 67: Derechos de aguas más cercanos a los Puentes y sus características.

N°	Puente	Derecho de Agua	Uso	Distancia al puente (m)	Dirección
1	Cunaco Oriente	Subterráneo	Consuntivo	1.500	Aguas arriba
2	Ancoa N°1 Oriente	Subterráneo	Consuntivo	400	Aguas Abajo
3	Ancoa N°2 Oriente	Subterráneo	Consuntivo	360	Aguas Abajo

N°	Puente	Derecho de Agua	Uso	Distancia al puente (m)	Dirección
4	Longaví Oriente	Subterráneo	Consuntivo	440	Aguas Abajo
5	Copihue Oriente	Subterráneo	Consuntivo	620	Aguas Arriba
6	Copihue Poniente	Subterráneo	Consuntivo	620	Aguas Arriba
7	Colliguay Oriente	Subterráneo	Consuntivo	540	Aguas Abajo
8	Parral Oriente	Subterráneo	Consuntivo	930	Aguas Arriba
9	Parral Ramal Oriente	Subterráneo	Consuntivo	930	Aguas Arriba
10	Parral Ramal Poniente	Subterráneo	Consuntivo	930	Aguas Arriba
11	Ñiquén Oriente	Subterráneo	Consuntivo	880	Aguas Arriba
12	Navotavo Oriente	Subterráneo	Consuntivo	630	Aguas Arriba
13	Lilahue Oriente Calle Local	Subterráneo	Consuntivo	440	Aguas Abajo
14	Lilahue Poniente Calle Local	Subterráneo	Consuntivo	440	Aguas Abajo
15	Ninquihue Poniente	Subterráneo	Consuntivo	330	Aguas Abajo
16	Menelhue Poniente	Subterráneo	Consuntivo	830	Aguas Arriba
17	Nebuco Oriente	Subterráneo	Consuntivo	340	Aguas Arriba
18	Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Subterráneo	Consuntivo	340	Aguas Arriba

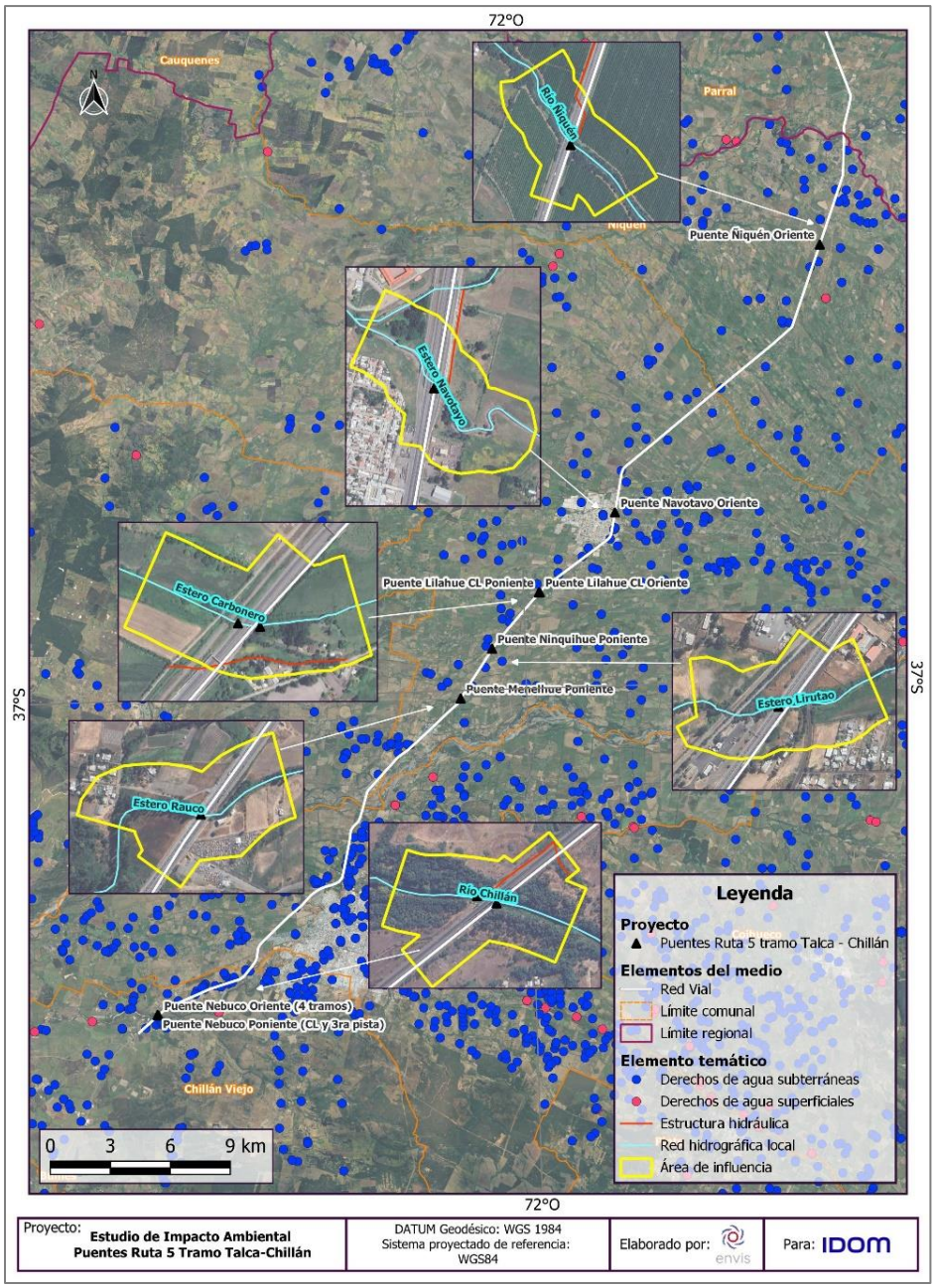
Fuente: ENVIS, 2023.

Figura 3- 43: Derechos de agua existentes en el AI, Sector Norte de los puentes.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 44: Derechos de agua existentes en el AI, Sector Sur de los puentes



Fuente: ENVIS, 2024.

A partir de lo expuesto, se desprende que los derechos de agua más cercano corresponden todos a derechos consuntivos asociado a aguas subterráneas, encontrándose todos a más de 300 m de la estructura principal del Proyecto (puentes).

3.5.3.3.2 Declaración de Agotamiento

Las zonas de agotamiento corresponden (según el Art. 282 del Código de aguas) a sectores en donde no podrán concederse nuevos derechos consuntivos permanentes debido el agotamiento de las fuentes naturales de aguas, sean cauces naturales, lagos, lagunas u otros. La declaración de estas zonas la realiza el director general de aguas en casos justificados, por medio de juntas de vigilancias respectivas o de cualquier interesado. La revocación deberá estar fundada en antecedentes que demuestren que no se ocasionará perjuicio a los derechos permanentes y eventuales constituidos (Artículo 282 del Código de Aguas).

En particular en las Cuencas del Río Maule y Río Itata no existen (ni han existido) declaraciones de agotamiento de aguas según los registros de la DGA, siendo la más cercana la del Río Laja desde sus nacientes, que se ubica a más de 80 km al sureste del AI más cercana del Proyecto.

3.5.3.3.3 Decretos de Escasez

Los decretos de escasez se dictan con el objeto de proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía, dando atribuciones a la DGA para establecer criterios y delimitaciones para las autorizaciones de extracción de aguas. La definición de escasez se realiza en áreas donde las condiciones hidrometeorológicas indican una situación de severa sequía, en base a un análisis que demuestra condiciones menores a las definidas como límites o umbrales por la Dirección General de Aguas (DGA) (Resolución N°1331 año 2022 del MOP). La delimitación territorial de estas zonas puede ser cuenca, región, provincia o comuna; con una duración máxima (del decreto) de un año, prorrogable sucesivamente.

Actualmente en la Región del Maule como en la Región de Ñuble (regiones en las cuales se emplazan las cuencas del río Maule y río Itata) no existen decretos de escasez. Sin perjuicio de

lo anterior, al Norte de la cuenca del río Maule, se encuentra declarada zona de escasez hídrica la provincia de Curicó (Decreto N°174 del 14 de octubre de 2022).

De igual forma, al revisar los registros de decretos anteriores, se observa que en el año 2022 el Decreto N°26 del 25 de febrero declaró la Región del Maule en escasez hídrica, el cual se había prorrogado del año 2021 según el Decreto N°177 del 25 de agosto, situación que casi es continua desde el año 2015 a la fecha. Si bien estos decretos ya cumplieron la duración establecida, debido a la situación de sequía que enfrenta el país no se descarta la existencia de futuros decretos que puedan afectar o considerar la Región del Maule, y con ello, el sector en el cual se emplaza el AI del Proyecto.

En el caso de la cuenca del río Itata, no existen decretos de escasez activos, sin observarse además algún decreto asociado a la zona.

Áreas de Restricción y Zonas de prohibición

De acuerdo con el artículo 65 del código de aguas, las áreas de restricción corresponden a aquellos SHAC en los que exista riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él. Cuando los antecedentes sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción, la DGA deberá así decretarlo.

Las áreas de prohibición corresponden a sectores en los cuales no se pueden generar nuevas explotaciones, lo cual ocurre cuando la demanda comprometida iguale o supere toda la disponibilidad determinada por la DGA para la constitución de derechos de aprovechamiento tanto definitivos como provisionales.

En el acuífero del río Maule existe un área de restricción dado por la Resolución N°92 de la DGA del 16 de marzo del año 2015, asociado al SHAC de los Esteros Belco y Arenal (sector poniente del acuífero), dado que la demanda de aguas subterráneas comprometida copa la oferta de recurso hídrico, estimándose que existe el riesgo de grave disminución del acuífero. Si bien esta restricción se encuentra al interior del acuífero, este no afectaría el AI del Proyecto, dado que no corresponde a los mismos SHAC.

En relación con el acuífero del Río Itata, en este no existen restricciones asociadas a algún SHAC. Al mismo tiempo, en ninguno de los dos (2) acuíferos existen zonas de prohibición, aunque de forma similar a lo expuesto anteriormente, en el no se puede descartar que exista una

futura área de restricción en alguno de los SHAC que se emplaza el Proyecto, dado por las condiciones de sequía y el aumento de la demanda de aguas.

3.5.3.4 Relación del Proyecto con el Recurso Hídrico

A partir de la identificación del recurso hídrico en sus distintas formas y regulaciones en las secciones anteriores, es posible determinar la relación que guarda este con el Proyecto. Al respecto, es posible realizar las siguientes aseveraciones:

Aguas superficiales: El área de influencia de los puentes guarda una estrecha relación con las aguas superficiales, particularmente por el tipo de obra, la que consiste en atravieso de cauces naturales, particularmente los 18 puentes atraviesan 12 cauces de distinta relevancia (ancho y escurrimiento), pero que en todos los casos mantenían aguas permanentes según se observó en la visita a terreno al lugar.

De igual forma, guarda relación con algunos cauces artificiales (canales) y otras estructuras hidráulicas de distinta envergadura que se emplazan en algunos puentes y al interior del AI definida. En particular se encuentran canales afluentes al: Estero Tornicura (Puente Cunaco Oriente), río Ancoa (Puente Ancoa Oriente N°1), Estero Parral (Puentes Parral Oriente, Ramal Oriente y Poniente), Estero Navotavo (Puente Navotavo Oriente) y río Chillán (Puentes Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local); finalmente en el río Longaví se aprecia un enrocado transversal al cauce que interviene y modifica el escurrimiento del cauce (aguas abajo del Puente Longaví Oriente).

Otras fuentes de agua superficiales: En el interior del AI definida para cada puente no existen otras formas superficiales de agua que se desarrollen, sin existir glaciares, humedales, lagos, salares, entre otros de la cartografía oficial existente en la DGA, IDE, MMA; los que puedan verse intervenidos por las acciones y obras del Proyecto. El más cercano de este tipo de recursos, corresponde al Embalse Machicura, ubicada aproximadamente a 25,8 km al Oriente del centroide del AI del puente Cunaco Oriente. En los demás casos las distancias son superiores a los 26 km.

Aguas subterráneas: En término de aguas subterráneas los puentes no se encuentran directamente relacionados con la superficie freática según los estudios revisados, siendo la cota más cercana a la superficie de alrededor de 1,5 m b.s.t. (metros bajo la superficie terrestre). A pesar de lo anterior, en función de la resolución de los productos utilizados se cree estaría subestimando estos valores, dado que todos los cauces mantenían aguas permanentes durante

diciembre, lo que implicaría una mayor probabilidad de encontrar los niveles más someros, y por ende más cercanos a la superficie. Lo anterior se corrobora en parte con el nivel de vulnerabilidad observado, siendo al menos Alto en todas las AI.

Derechos de aguas: En el AI definida no se observan derechos de agua que puedan verse intervenidos por las actividades del Proyecto, estando al menos a 300 m de la construcción del puente el derecho de agua más cercano (puente Ninquihue), y todos de carácter subterráneo y consuntivos.

3.5.4 CONCLUSIONES

El presente estudio corresponde a la Línea de Base de las componentes hidrológicas e hidrogeológicas, con el objeto de definir y caracterizar el recurso hídrico en el Área de Influencia del Proyecto. Su realización consideró la revisión de distintas pautas, normas y estudios, junto a información secundaria y primaria que permite la caracterización del agua en sus distintas formas. A partir del análisis realizado, se desprenden las siguientes conclusiones:

- El Proyecto mantiene una fuerte relación con la componente hidrográfica superficial dado el tipo de obras que se buscan implementar. El desarrollo del Proyecto implica el atravieso de quebradas, esteros y ríos, totalizando 12 cauces naturales a atravesar e intervenir. Además de ellos se identifica infraestructura hidráulica en alguno de los puentes (sifón invertido, canal, enrocado transversal).
- No existen otras formas del recurso hídrico superficial que se emplacen cercano al Proyecto, tales como humedales, lagos, glaciares, salares, entre otros; existiendo solo los mencionados en el punto anterior. La forma más cercana y distinta a la red hidrográfica mencionada, corresponde al Embalse Machicura, ubicada aproximadamente a 25,8 km al Oriente del centroide del AI del puente Cunaco Oriente.
- En términos hidrometeorológicos se observa un régimen de precipitación con sus mayores montos en el periodo de invierno, y con un gradiente latitudinal que implica mayores montos de precipitación a medida que se recorren los puentes en dirección sur. En términos de la magnitud de la componente evapotranspiración y temperatura, no se observa una diferencia relevante entre las mediciones en los distintos puentes, manteniéndose cuasi constantes a lo largo del eje latitudinal del tramo Talca – Chillán.

- En las AI de los puentes los niveles freáticos fluctúan entre 1,5 y 15,7 m b.s.t. según el puente analizado, encontrándose en zonas de Alta y Muy alta vulnerabilidad, con una calidad de las aguas subterráneas mayoritariamente excepcional.
- No existen derechos de agua al interior de las AI definidas en cada puente, encontrándose los más cercanos a más de 300 m del AI, siendo todos del tipo consuntivo y subterráneo.
- Actualmente no existen declaraciones de agotamiento, áreas de restricción, zonas de prohibición, decretos de escasez o zonas de prohibición en los SHAC que se emplaza el Proyecto.

De acuerdo a lo analizado en la Línea de Base de la componente Hidrología e Hidrogeología, se concluye que el Proyecto presenta sensibilidades ambientales relacionadas principalmente a la intercepciones con cauces naturales y/o artificiales, así como también con obras hidráulicas cercanas, estas sensibilidades pueden significar remociones de sedimentos, socavaciones, modificaciones de cauces, desvíos de las aguas o afectaciones en la calidad de las aguas en la etapa de construcción o posteriores del Proyecto. A continuación, se presenta el detalle de las sensibilidades identificadas por cada puente para la componente Hidrología e Hidrogeología:

Tabla 3- 68:Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Hidrología e Hidrogeología.

Nombre Puente	Descripción de la sensibilidad
Cunaco Oriente	Interseca con Estero Tornicura.
Ancoa N°1 Oriente	Interseca con Río Ancoa. Según el Inventario Nacional de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente (MMA, 2023) este cauce clasifica como un humedal no urbano.
Ancoa N°2 Oriente	Interseca con Río Ancoa y se observa pequeña laguna a escasos metros (65 m aproximadamente) del puente Ancoa N°2 (aguas abajo de la intervención). Según el Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2023) este cauce clasifica como un humedal no urbano.
Longaví Oriente	Interseca con Río Longaví, que según Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2023) se encuentra clasificado como

Nombre Puente	Descripción de la sensibilidad
	humedal no urbano. Se identifica obra hidráulica aguas abajo del puente correspondiente a un muro de enrocado (dique). Se señala que en esta zona los niveles freáticos son someros (~1,5m de profundidad)
Copihue Oriente	Interseca con Estero Copihue
Copihue Poniente	Interseca con Estero Copihue
Colliguay Oriente	Interseca con Estero Colliguay
Parral Oriente	Interseca con Estero Parral, cuyas características lo clasifican como humedal urbano según Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2023). Detectándose una posible afectación antrópica a la vegetación, flora y fauna del humedal producto de la construcción/ reemplazo de las obras del Proyecto.
Parral Ramal Oriente	
Parral Ramal Poniente	
Ñiquén Oriente	Interseca con Río Ñiquén
Navotavo Oriente	Interseca con Estero Navotavo, que clasifica como humedal urbano según Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2023). Detectándose una posible afectación antrópica a la vegetación, flora y fauna del humedal producto de la construcción/ reemplazo de las obras del Proyecto.
Lilahue Oriente Calle Local	Interseca con Estero Carbonero.
Lilahue Poniente Calle Local	Interseca con Estero Carbonero.
Ninquihue Poniente	Interseca con Estero Lirutao
Menelhue Poniente	Interseca con Estero Rauco
Nebuco Oriente	

Nombre Puente	Descripción de la sensibilidad
Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Interseca con Río Chillán, que constituye como un humedal clasificado como urbano según Inventario Nacional de Humedales (MMA, 2023). Detectándose una posible afectación antrópica a la vegetación, flora y fauna del humedal producto de la construcción/ reemplazo de las obras del Proyecto. Desde el punto de vista meteorológico, en el AI de este puente se identificaron precipitaciones medias de hasta 209 [mm]. Se observa afloramiento de agua subterránea (vertiente) en su ladera norte.

Fuente: ENVIS, 2023.

3.5.5 BIBLIOGRAFÍA

Charrier, R., Pinto, L. & Rodríguez, M. P. (2007). *Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile*. En: Moreno, T., Gibbons, W. (Eds). The Geology of Chile. Geological Society, London, p. 21–114.

CNR. (2015). *Evapotranspiración de referencia para la determinación de demandas de riego en Chile.* https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/26480

Díaz B, C. C. (2021). *Análisis de facies de las unidades volcánicas y sedimentarias oligo-miocenas en el cordón Cerro las Vizcachas (35° 45'-35° 50'S), Región del Maule, Chile* (Memoria, Universidad Andrés Bello).

DGA (2010). *Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del Río Maule.*

DGA (2011). *Estudio hidrogeológico cuencas Biobío e Itata.*

https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/5428

DGA (2018). *Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de la región del Maule.* https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/6935

DGA (2019). *Diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas de las regiones de Ñuble y del Biobío.* https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/6993

Gajardo, A. (1981). *Hoja de Concepción-Chillan, Región del Bío-Bío*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mapas Geológicos Preliminares 4: 32 p., escala 1:250.000.

González, O. & Vergara, M. (1964*). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Sur*. Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicaciones, No. 24.

Klohn, C. (1960). *Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Provincias de Santiago, Colchagua y Curicó*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín Nº8, 95 p.

SEA. (2017). *Guía para la descripción del área de influencia*. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/05/03/guia_area_de_influencia_ajuste_10.pdf

SEA. (2022). *Criterio de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación del recurso hídrico.* https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2022/09/21/05_dt_recurso_hidrico.pdf

Thiele, R. & Nasi, R. (1982*). Evolución tectónica de los Andes a la latitud de 33 y 34 Sur (Chile Central) durante el Mesozoico*. Revista Geológica de Chile No. 16, p. 81-99

Troncoso, A., & Herbsth, R. (2007). *Cuatro flórulas del Triásico Superior del centro sur de Chile (Cerro Ranguilí, Cerro Quilvo, Cerro Gupo y Río Quillén)*. Ameghiniana, 44(4), p. 661-672.

Vergara, M.; Muñoz, J. (1982). *La Formación Colade Zorro de la Alta Cordillera Andina chilena (36°-39° Lat. S.), sus características petrográficas y petrológicas: una revisión*. Revista Geológica de Chile, No. 17, p. 31-46.

3.6 LÍNEA BASE CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS

3.6.1 OBJETIVOS

3.6.1.1 Objetivo General

Describir y caracterizar el componente ambiental Calidad de agua superficial en el Área de Influencia (AI) del Proyecto “Construcción de Nuevos Puentes en los subsectores C y D del Sector Ruta 5 Sur” para el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

3.6.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar la calidad de las aguas bajo la norma NCh1333 para uso de regadío y vida acuática en el Área de Influencia (AI) del Proyecto, para la estación del año de primavera 2022.
- Evaluar el estado trófico de los cursos de agua superficiales asociados al Área de Influencia (AI) del Proyecto, considerando los valores de nutrientes totales nitrógeno y fósforo para la estación de primavera del 2022 y otoño 2023.
- Caracterizar la calidad de Sedimentos en el área de influencia (AI) del Proyecto.
- Describir los puntos de muestreo realizados en la campaña de terreno primaveral, en base a variables de tipo hidromorfológicas y de condición de hábitat.

3.6.2 METODOLOGÍA

3.6.2.1 Diseño de Muestreo

El Proyecto consiste en la construcción y operación de 18 puentes (obras permanentes) y 16 Instalaciones de Faena (obras temporales). Se realizó un diseño de muestreo en gabinete mediante inspección en *Google Earth Pro*, de cada uno de los puentes, bajo las siguientes consideraciones:

- Se inspecciona cada atravieso donde se ejecutarán intervenciones, estableciendo dos (2) puntos de muestreo: un primer punto que da cuenta de la intervención (localizado lo más directamente sobre ésta) en el puente aguas arriba; y un segundo punto de

muestreo aguas abajo de la intervención, que es esperable actúa como control, y/o verificar una potencial recuperación (SEA, 2022).

- Algunos puentes poseen atraviesos a intervenir asociados al mismo curso de agua, localizados en la vereda oriente y poniente de este, de tal manera que fue posible considerarlos en conjunto para su caracterización, estableciendo así los dos (2) puntos de muestreo establecidos.
- Para cada punto de muestreo se consideró un área buffer de 200 m, con la finalidad de representar las condiciones del ecosistema y realizar observaciones para la descripción de cada punto de muestreo, considerando sus variables hidromorfológicas y conectividades longitudinales y transversales que abarcan la zona ripariana. Finalmente, cada área es determinada según las condiciones *in situ*, observadas en terreno.
- Accesibilidad al punto de muestreo y condiciones de prevención de riesgo para el equipo de muestreo.
- La georreferencia definitiva se determinó en la campaña de terreno mediante un GPS, Garmin etrex 22 X (en Datum WGS84, Huso 18 y 19 Sur).

Dado lo especificado anteriormente se estableció un total de 26 puntos de muestreo, que abarcaron los 18 puentes a intervenir.

3.6.2.2 Calidad de Agua

Para el análisis de la calidad de agua superficial para cada punto de muestreo se realizó un registro de variables fisicoquímicas en condiciones *in situ*; y una recolección de muestras de agua superficial, para ser analizada en el laboratorio químico acreditado a la NCh17025.
Se analizaron componentes químicos para evaluar la calidad de agua superficial de acuerdo con tres (3) criterios:

- Norma NCh 1333 Of.78 requisitos para uso de riego, para recreación con contacto directo y para aguas destinadas a vida acuática.
- Coliformes fecales, por potencial contaminación orgánica proveniente de alguna descarga (NCh 1333, agua recreación con contacto directo).
- Nutrientes totales para evaluación de trofía del sistema (según Smith *et al*., 1999).

3.6.2.2.1 Registro de Variables *In Situ*

Se registraron variables *in situ*, que dan cuenta de la condición del ecosistema, como también de los requisitos según la NCh 1333 para aguas destinadas a vida acuática. Estas variables fueron registradas mediante un equipo multiparámetro Hanna modelo HI 9829 con características especificadas en la siguiente Tabla. Los electrodos del equipo fueron calibrados previo uso en terreno, con soluciones de referencia, según indica el sistema de aseguramiento de la calidad QA/QC bajo la NCh–ISO 17025. El equipo fue calibrado con soluciones patrones para cada una de las variables aplicadas y debe ser verificado cada dos años, tiempo que dura la certificación (Anexo -3: Certificado de calibración).

Tabla 3- 69: Parámetros registrados *in situ* en cada punto de muestreo.

Parámetro	Unidad	Características
pH (*)	Unidad	Rango:0 a 14. Resolución 0,01. Exactitud ± 0,1.
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	Rango: 0 a 50 mg/L Resolución ± 0,01 mg/L. Exactitud ± 0,2 mg/L
Saturación de oxígeno	(%)	Rango 0-500 % L Resolución ± 0,1 %. Exactitud ± 1,5 %
Temperatura (*)	°C	Rango -5 °C a 60 °C. Resolución 0,1 ° C. Exactitud ± 0,5 °C.
Conductividad eléctrica	µS/cm	Rango 0 a 1990 uS/cm. Resolución 10 uS/cm. Exactitud ± 2%.
Profundidad columna agua	cm	Varilla graduada

Fuente: ENVIS, 2023. (*) variables de la NCh1333, Tabla 4: aguas destinadas para vida acuática.

Para interpretar los rangos de unidad de pH, se aplicó la clasificación propuesta por de Hounslow (1995), indicada en la Tabla siguiente:

Tabla 3- 70: Clasificación según rango de unidad de pH.

Clasificación	Rango
Fuertemente ácido	<4,0

Clasificación	Rango
Moderadamente ácido	4,0-6,5
Neutro	6,5-7,8
Moderadamente alcalino	7,8-9,0
Fuertemente alcalino	>9,0

Fuente: Hounslow, 1995.

3.6.2.2.2 Recolección y Análisis en Laboratorio de Agua Superficial

En cada punto de muestreo se recolectó agua superficial y se ingresaron al laboratorio químico para su análisis Hidrolab que está acreditado a la NCh 17025 Of. 2005.

Para realizar el muestreo se consideraron las técnicas empleadas, control de la calidad y representatividad de las muestras en los sistemas fluviales, considerando las siguientes normativas:

- NCh-ISO5667/1:2017. Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.
- NCh-ISO5667/14:2015. Guía para la garantía de calidad y control de calidad de las muestras de agua del medioambiente y manejo.
- NCh-ISO5667/6:2015. Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.

Una vez recolectada las muestras en los envases proporcionados por el laboratorio acreditado con sus respectivos preservantes fueron almacenados, conservados y transportados en contenedores aislantes, en cadena de frío con sus respectivas cadenas de custodia, según indica la normativa NCh 411/3 Of. 96. Las muestras se recolectan y en un plazo alrededor de 24 horas son ingresadas al laboratorio de análisis.
La metodología analítica aplicada fue la estipulada en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (2018), en el laboratorio acreditado según la NCh 17025, Of. 2005. Las variables determinadas para el análisis químico se muestran en la Tabla siguiente, con sus respectivos límites de detección (LD) y método analítico. Se incluye además el componente RAS

que se calcula a partir de la concentración de los iones sodio, calcio y magnesio (norma referencial NCh 1333).

Tabla 3- 71: Metodología variables NCh1333, Of. 78: Uso riego, vida acuática y contacto directo.

Variables	Símbolo	L.D.	Método analítico	Variables	Símbolo	L.D.	Método analítico
Turbiedad (*)		0,5 NTU	SM 2130-B	Sólidos disueltos totales	SDT	5 mg/L	SM 2540 C
Formas Nitrogenadas							
Nitrógeno Kjeldahl	N. Kjel.	0,1 mg/L	SM 4500 C	N-Nitrato	$N\text{-}NO_3^{-2}$	0,225 mg/L	PE-2090
N.-Nitrito	$N\text{- }NO_2^-$	0,03 mg/L	SM 4500 B	N-total	N. Tot.	0,1 mg/L	IT-689
Cationes-Aniones							
Calcio	Ca^{+2}	0,2 mg/L	SM3030 F	Magnesio	Mg^{+2}	0,2 mg/L	SM3030 F
Potasio	K^+	0,2 mg/L	SM3030 F	Sodio	Na^+	0,2 mg/L	SM3030 F
Alcalinidad (**)	$CaCO_3$	1 mg/L	SM 2330-B	Dureza total	$CaCO_3$	1 mg/L	SM 2340-B
Cloruro	Cl^-	3 mg/L	SM 4500B	Cianuro	CN^{--}	0,02 mg/L	SM 4500C E
Sulfato	SO_4^{-2}	5 mg/L	SM 4500 C	Fluoruro	F^{--}	0,1 mg/L	SM 4500FC
Relaciones de interés							
RAS	--	0,1 mg/L	--	Sodio porcentual	%	--	--
Microbiología ((NCh1333, Tabla 3)							
Coliformes fecales	Col.Fec.	NMP/100mL	1,8 NMP/100mL	SM 9221 E.1			

Variables	Símbolo	L.D.	Método analítico	Variables	Símbolo	L.D.	Método analítico
Metales totales (NCh1333, Tabla 1)							
Arsénico	As	0,01 mg/L	SM 3030F,3114B	Aluminio	Al	0.01 mg/L	SM3030F,3120B
Bario	Ba	0.002 mg/L	SM3030F,3120B	Berilio	Be	0.001 mg/L	SM3030F,3120B
Boro	Bo	0.02 mg/L	SM3030F,3120B	Cadmio	Cd	0.001 mg/L	SM3030F,3120B
Cinc	Zn	0.002 mg/L	SM3030F,3120B	Cobalto	Co	0.005 mg/L	SM3030F,3120B
Cobre	Cu	0.005 mg/L	SM3030F,3120B	Cromo	Cr	0.005 mg/L	SM3030F,3120B
Hierro	Fe	0.02 mg/L	SM3030F,3120B	Litio	Li	0.003 mg/L	SM3030F,3120B
Mercurio	Hg	0.001 mg/L	SM 3112 B	Manganeso	Mn	0.001 mg/L	SM3030F,3120B
Níquel	Ni	0.005 mg/L	SM3030F,3120B	Molibdeno	Mo	0.005 mg/L	SM3030F,3120B
Plomo	Pb	0.02 mg/L	SM3030F,3120B	Plata	Ag	0.002 mg/L	SM3030F,3120B
Vanadio	Va	0.008 mg/L	SM3030F,3120B	Selenio	Se	0.005 mg/L	SM3030F,3114C

Fuente: ENVIS, 2023. (*) NCh1333, Tabla 3 contacto directo; (**) NCh1333, Tabla 4 aguas destinadas a vida acuática. RAS: medida del efecto de sodio (dada por la relación entre iones sodio, calcio y magnesio).

3.6.2.2.3 Evaluación de Trofía

Los sistemas acuáticos pueden sufrir un incremento de nutrientes (nitrógeno y fósforo) por actividades antrópicas, causando un proceso denominado Eutroficación, lo que provoca una degradación del sistema, proliferan las algas y/o plantas acuáticas, se acumula materia orgánica, se reduce la transparencia de la columna de agua, entre otros.

Para poder evaluar los niveles de eutroficación se determinó la concentración de nutrientes, según los valores propuestos por Dodds *et al*, 1998 (en Smith *et a*l. 1999), mostrado en la Tabla siguiente:

Tabla 3- 72: Clasificación de trofía.

Estado trófico	N-total (mg/m^3)	P-total (mg/m^3)	Observación
Oligotrófico	< 700	< 25	Niveles bajos
Mesotrófico	700 - 1.500	25- 75	
Eutrófico	> 1.500	> 75	Niveles altos

Fuente: Dodds *et al.,* 1998 en Smith *et al.,* 1999.

3.6.2.3 Calidad de Sedimentos

Se determinó las características físicas y químicas de los sedimentos, para lo cual se recolectaron muestras y fueron transportadas al laboratorio de análisis acreditado a la normativa NCh17025.

3.6.2.3.1 Recolección de muestras

En cada punto de muestreo se recolectaron muestras de sedimentos para su posterior análisis en Laboratorio, bajo el procedimiento de acuerdo con las directrices de la NCh 411/12:2018 (Instituto Nacional de Normalización, 2018); NCh-ISO5667/1:2017.
Se seleccionó un sector del tramo, con condiciones propicias para la acumulación de sedimentos, tales como sectores de menor velocidad, preferentemente en sectores cóncavos. En cada punto de muestreo se recolectó sedimentos mediante una pala plástica de la capa superficial del lecho (0-5 cm) considerando la interfaz agua-sedimento. El material fue vertido en frascos etiquetados de 1 kg, facilitado por el laboratorio de análisis. Las muestras fueron transportadas bajo cadena de frío según NCh 411/3 Of. 96., para su posterior análisis en el laboratorio Hidrolab, acreditado a la NCh-ISO 17025.

3.6.2.3.2 Análisis de laboratorio

Se caracterizaron los sedimentos mediante parámetros fisicoquímicos, bajo la metodología basada en APHA 2018, compuesta por macroelementos y metales totales, indicado en la tabla a continuación:

Tabla 3- 73: Análisis fisicoquímico de sedimentos

Parámetro	Unidad	LD	Método analítico
Macroelementos			
Sodio (B)	mg/kg	5,00	EPA 6010D
Potasio (B)	mg/kg	5,00	EPA 6010D
Calcio (B)	mg/kg	5,00	EPA 6010D
Magnesio (B)	mg/kg	5,00	EPA 6010D
Componentes- Hidrocarburos			
Aceites y grasa	Aceites y grasa	Aceites y grasa	Aceites y grasa
Hidrocarburos fijos	Hidrocarburos fijos	Hidrocarburos fijos	Hidrocarburos fijos
Hidrocarburos totales	Hidrocarburos totales	Hidrocarburos totales	Hidrocarburos totales
Hidrocarburos volátiles	Hidrocarburos volátiles	Hidrocarburos volátiles	Hidrocarburos volátiles
Humedad	Humedad	Humedad	Humedad
Materia orgánica	Materia orgánica	Materia orgánica	Materia orgánica
Componentes-Hidrocarburos	Componentes-Hidrocarburos	Componentes-Hidrocarburos	Componentes-Hidrocarburos
Metales totales			
Aluminio (B)	mg/kg	0,25	EPA 6010 D
Antimonio (B)	mg/kg	1,25	EPA 6010 D
Arsénico	mg/kg	0,025	EPA 7471 B

Parámetro	Unidad	LD	Método analítico
Macroelementos			
Bario (B)	mg/kg	0,05	EPA 6010 D
Berilio (B)	mg/kg	0,125	EPA 6010 D
Bismuto (B)	mg/kg	0.5	EPA 6010 D
Boro (B)	mg/kg	0.5	EPA 6010 D
Cadmio (B)	mg/kg	0.025	EPA 6010 D
Cinc (B)	mg/kg	0.05	EPA 6010 D
Cobalto (B)	mg/kg	0.125	EPA 6010 D
Cobre (B)	mg/kg	0.125	EPA 6010 D
Cromo (B)	mg/kg	0.125	EPA 6010 D
Estaño (B)	mg/kg	1.25	EPA 6010 D
Estroncio (B)	mg/kg	0.025	EPA 6010 D
Hierro (B)	mg/kg	0.5	EPA 6010 D
Litio (B)	mg/kg	0.075	EPA 6010 D
Manganeso (B)	mg/kg	0.025	EPA 6010 D
Mercurio	mg/kg	0.025	EPA 7471B
Molibdeno(B)	mg/kg	0.125	EPA 6010 D
Níquel (B)	mg/kg	0.125	EPA 6010 D
Plata (B)	mg/kg	0.05	EPA 6010 D
Plomo (B)	mg/kg	0.5	EPA 6010 D
Sílice	mg/kg	1.0	EPA 6010 D

Parámetro	Unidad	LD	Método analítico
Macroelementos			
Silíceo (B)	mg/kg	0.5	EPA 6010 D
Vanadio (B)	mg/kg	0.2	EPA 6010 D

Fuente: ENVIS, 2023.

- ***Análisis Granulométrico***

Se determinó la granulometría en base al tamaño de tamiz, siguiendo una un conjunto de clasificaciones para rocas sedimentarias (Catalán & Catalán, 1987), acorde con escalas usadas para granulometría de suelo (Gayosso) y escalas internacionales de partículas sedimentarias (Wentworth, 1922). Se indica la metodología y clasificación granulométrica en la tabla a continuación:

Tabla 3- 74: Análisis granulométrico

Tamiz	Unidad	Metodología	Clasificación (*)
Tamiz N°010-2 mm	%	PFQ-086 Rev.0	Arena muy gruesa
Tamiz N°018-1 mm	%	PFQ-086 Rev.0	Arena gruesa
Tamiz N°035-500µm	%	PFQ-086 Rev.0	Arena media
Tamiz N°070-212 µm	%	PFQ-086 Rev.0	Arena fina
Tamiz N°120-125 µm	%	PFQ-086 Rev.0	Arena muy fina
Tamiz N°230-63 µm	%	PFQ-086 Rev.0	Limo
Tamiz <N°230-63 µm	%	PFQ-086 Rev.0	<Limo

Fuente: Catalán y Catalán, 1987.

3.6.2.3.3 Evaluación de calidad de sedimentos

Con la caracterización de los sedimentos se procede a realizar una evaluación de estos, de acuerdo con los resultados de su calidad para efectos en ecosistemas acuáticos. Esto se lleva a cabo usando referencias internacionales, dado que no se dispone en el país de una norma nacional para la interpretación de sedimentos.

Los sedimentos son parte constituyente del recurso natural renovable (suelo), formado por componentes orgánicos y minerales, donde se manifiestan procesos fisicoquímico-biológico, y son sustrato y hábitat de comunidades bentónicas contribuyendo al desarrollo de la biota mediante interacciones tróficas (SEA, 2015). Esta matriz puede comportarse como sumidero o también como fuente de contaminación, según las condiciones físicas y químicas. Al comportarse como fuente pueden provocar efectos adversos sobre la biota, por ejemplo, transfiriendo compuestos tóxicos bioacumulables, como metales pesados, que se manifiesta en el intercambio de masa en la zona de interfase sedimento - columna de agua (CENMA-MOP/DGA,2010).

Considerando lo anteriormente expuesto, se analiza la concentración de algunos metales para la protección de la vida acuática, contrastando con referencias internacionales, como lo es la norma “Canadian Council Ministers of the Environmental (CCME), 2016” que establece dos niveles de concentraciones de algunos metales, para la protección de la vida acuática bajos dos criterios:

- Concentración límite de metales que establece efectos adversos poco probable, ISQGs (Interim Freshwater Sediment Quality Guideline), sobre la biota.
- Concentración límite de metales que establece efectos adversos de ocurrencia altamente probable sobre la vida acuática, PEL (probable effect level).

3.6.2.4 Descripción de Estaciones de Muestreo

Las actividades humanas constituyen estresores de los ecosistemas fluviales, que pueden alterar la estructura y función de estos, con consecuencias sobre su estado de condición. Se describió cada una de las estaciones de muestreo, mediante una inspección visual y observaciones en base a variables hidromorfológicas.

Inspección visual

Se recorrió el tramo y se levantó diversa información que consistió en lo siguiente:

- Observaciones de morfología del tramo.
- Apariencia visual de la columna de agua, actividades antrópicas con potencial efecto en la calidad de agua.

Variables de Hidromorfología

Estas condicionan la estructura de un sistema fluvial, la cual influye en la diversidad de hábitat disponible para el desarrollo de las comunidades biológicas y procesos a nivel de ecosistemas, como por ejemplo ciclos de nutrientes, fuentes de energía, corredor biológico, entre otros. Una manera de evaluar la hidromorfología es a través de métricas, con las cuales se pueden generar índices. Uno de ellos es el Índice de hábitat fluvial, IHF, ampliamente usado para valorar la capacidad del hábitat físico para albergar biota acuática (Pardo *et al*., 2002; Prat *et al*., 2009). Este consiste en la evaluación de siete (7) métricas indicadas en la Tabla siguiente:

Tabla 3- 75: Métricas para valorar el índice de hábitat fluvial IHF.

Métricas para evaluación de IHF
Inclusión de rápidos -sedimentación
Frecuencia de rápidos: ancho río
Composición de sustrato (Bain *et.al*., 1985)
Regímenes de velocidad y profundidad
Porcentaje de sombra en el cauce
Elementos de heterogeneidad
Cobertura de vegetación

Fuente: ENVIS, 2023.

Cada una de las métricas se valora por punto de muestreo, se obtiene un puntaje resultante de la sumatoria de éstas, que representa un nivel de calidad de hábitat fluvial. Los rangos se distribuyen desde condiciones de muy buena a muy mala calidad. Éstas representan desde altos valores que refleja un ambiente heterogéneo, con gran capacidad de albergar diversidad biológica y por el contrario bajos valores significan ambientes homogéneos, que restringen la biodiversidad (ver siguiente Tabla).

Tabla 3- 76: Niveles y rangos de calidad, de índice de hábitat fluvial, IHF.

Niveles de calidad	Rangos de calidad
Muy Buena	81-100
Buena	61-80
Regular	41-60
Mala	21-40
Muy mala	0-30

Fuente: Pardo *et al*., 2002.

Dentro de las métricas se evaluó el tipo de sustrato dominante, usando las categorías de tamaño propuestas por Bain *et al.*, 1985 (ver siguiente Tabla).

Tabla 3- 77: Clasificación según tipo de sustrato.

Clasificación	Tamaño de partícula [mm]
Limo arcilla	‹2
Arena	2
Grava	2-16
Guijarros	17-64
Bolones	65-256
Roca	›256
Roca irregular	---

Fuente: Bain *et al.,* 1985.

3.6.2.5 Revisión Proyectos Ingresados en el SEIA

Se realizó una revisión en la plataforma del Servicio Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), se seleccionaron los proyectos ingresados a partir del año 2014, en un entorno cercano al Proyecto. Se revisaron las Líneas de Base para analizar información existente en relación con calidad de aguas superficiales en los cauces relacionados con el proyecto.

3.6.3 RESULTADOS

Se exponen los resultados de la Línea de base de Calidad de aguas y de Sedimentos desarrollados en dos campañas de muestreo realizadas de la siguiente manera:

- Calidad de agua superficial: Dos campañas, la primera en primavera del 28 de noviembre al 4 de diciembre, año 2022; la segunda campaña en otoño del 10 al 17 de abril, 2023.
- Sedimentos: Una sola campaña en otoño del 10 al 17 de abril, 2023.

3.6.3.1 Diseño de Muestreo

El diseño de muestreo referencial se corroboró durante el desarrollo del terreno, según los criterios especificados en la metodología. Se inspeccionaron los diversos tramos, localizando secciones accesibles, considerando el área buffer de 200 m, aguas arriba y aguas abajo del punto de intervención. En algunas ocasiones no fue posible considerar esta área buffer por las condiciones propias del tramo, por presencia de alteraciones de cauce que alteran su conectividad y dificultades de accesos. En la segunda campaña en otoño, hubo reemplazo de la estación E1, por definición de obras del proyecto.

Se procedió a georreferenciar cada punto de muestreo con equipo GPS Garmin etrex 22X, (Datum WGS84, Huso 18 y 19 Sur). Las coordenadas se indican en la siguiente Tabla siguiente y la distribución de éstas se muestra en la siguiente figura:

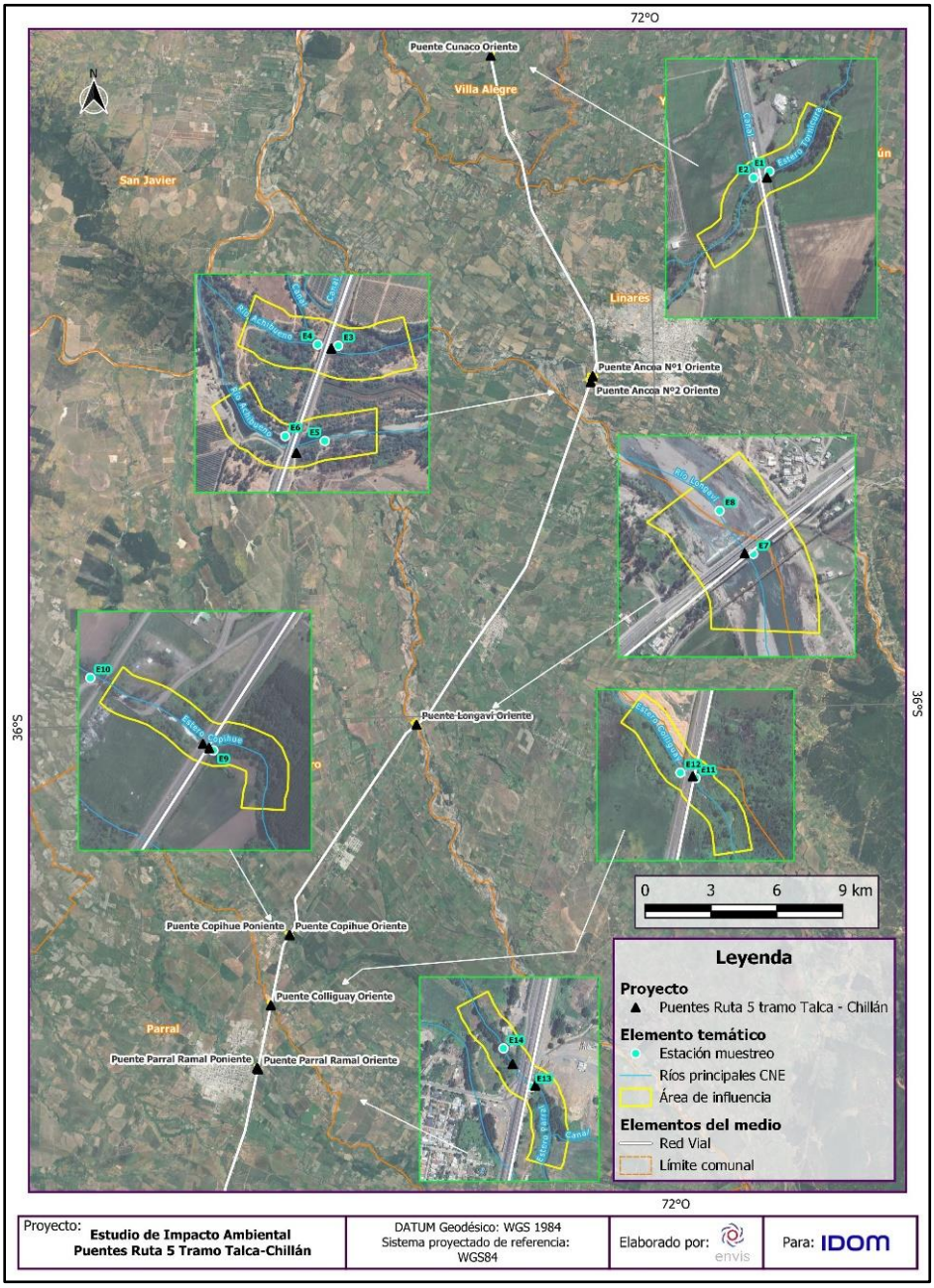
Tabla 3- 78: Coordenadas de puntos de muestreo (WGS84, Huso 18 y 19 Sur).

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Coordenadas WGS-84 referenciales	
				Este	Norte
1	Cunaco Oriente	E1	Estero Tornicura	257801	6042748
		E2	Estero Tornicura	257766	6042734
2	Ancoa N° 1 Oriente	E3	Rio Ancoa	262462	6028138
		E4	Rio Ancoa	262410	6028141
3	Ancoa Nº2 Oriente	E5	Rio Ancoa	262428	6027898
		E6	Rio Ancoa	262328	6027910
4	Longaví Oriente	E7	Río Longaví	254437	6012254
		E8	Río Longaví	254353	6012362
5	Copihue Oriente y Poniente	E9	Estero Copihue	248649	6002664
		E10	Estero Copihue	248415	6002802
6	Colliguay Oriente	E11	Estero Colliguay	247784	5999464
		E12	Estero Colliguay	247748	5999477
7	Parral Oriente, Ramal Oriente y Poniente	E13	Estero Parral	247189	5996557
		E14	Estero Parral	247124	5996646
8	Ñiquén Oriente	E15	Río Ñiquén	245994	5978645
		E16	Río Ñiquén	245910	5978755

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Coordenadas WGS-84 referenciales	
				Este	Norte
9	Navotavo Oriente	E17	Estero Coche Perez/ Navotavo	235756	5965165
		E18	Estero Coche Perez/ Navotavo	235597	5965353
10	Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	E19	Estero Carbonero	231967	5961221
		E20	Estero Carbonero	231891	5961234
11	Ninquihue Poniente	E21	Estero Lirutao	767178	5958506
		E22	Estero Lirutao	767048	5958492
12	Menelhue Poniente	E23	Estero Rauco	765461	5956137
		E24	Estero Rauco	765300	5956137
13	Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)	E25	Río Chillán	749485	5941156
		E26	Río Chillán	749221	5941254

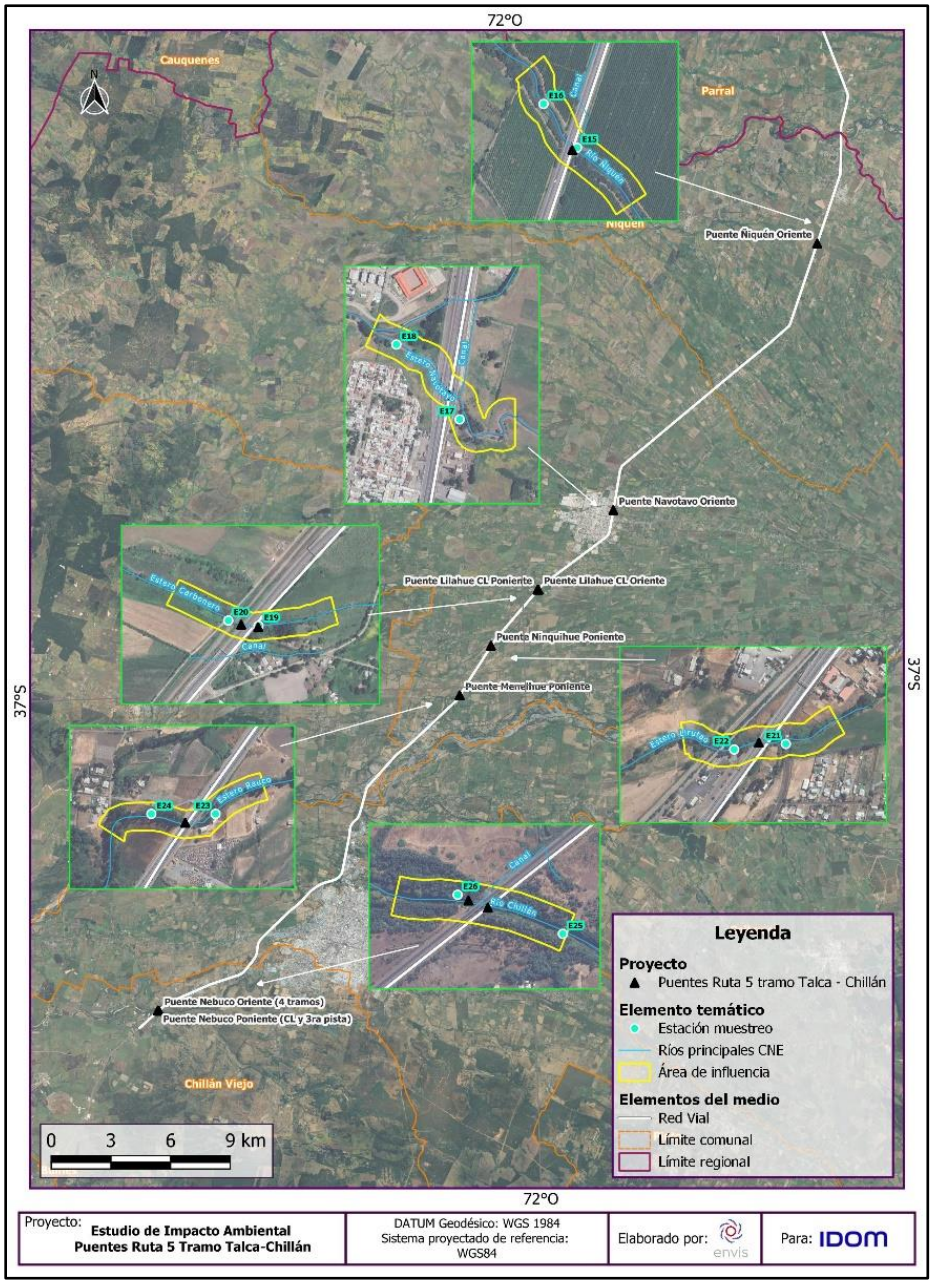
Fuente: ENVIS, 2023

Figura 3- 45: Diseño de muestreo, Sector Norte de los puentes.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 46: Diseño de muestreo, Sector Sur de los puentes.



Fuente: ENVIS, 2024.

Para cada punto de muestreo se consideró un área buffer de 200 m a lo largo del cauce, de manera de representar las condiciones del ecosistema, y observaciones para descripción de cada punto de muestreo. Además, se realizaron observaciones de variables hidromorfológicas, conectividades longitudinales y transversales que abarcan la zona ripariana y actividades antrópicas. Cada área buffer finalmente determinada en terreno fue en función de las condiciones *in situ*, observadas.

3.6.3.2 Calidad de Agua

A continuación, se indican los resultados tanto de las variables registradas *in situ* como de los de análisis de laboratorio (Anexo 3-3 Calidad de Agua: Certificados de laboratorio). Estos resultados fueron comparados con la norma vigente *NCh1333* para los usos que ésta indica: desarrollo de vida acuática, contacto directo y regadío. Se muestran gráficos para la campaña de primavera 2022 y otoño 2023, referido a cada punto de muestreo.

3.6.3.2.1 Registro de Variables *In Situ*

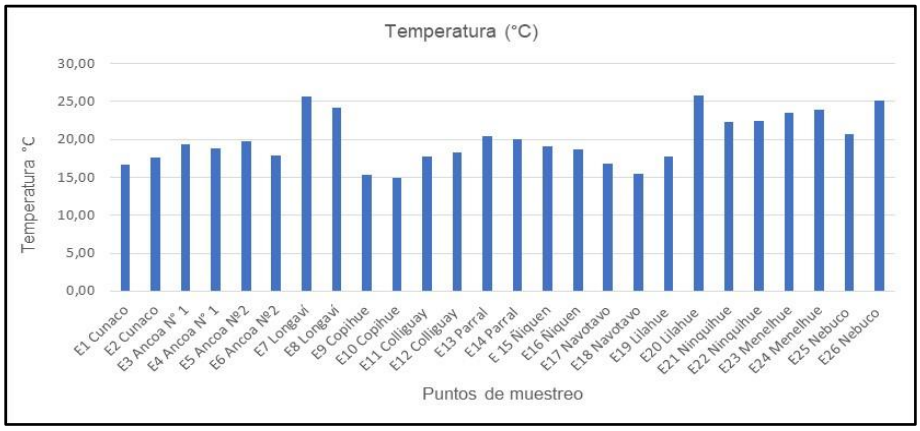
Los registros *in situ* son el resultado de tres (3) registros promediados, medidos en cada punto de muestreo.

1. Temperatura (°C)

Primavera 2022

Los valores promedios de temperatura fluctuaron desde alrededor de 15°C a 25 °C, considerando todos los puntos de muestreo. El valor más bajo fue en estero Copihue (Puente Copihue, E10) y el más alto alcanzó los 25,8 °C en el estero Carbonero (Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local, E20).

Gráfico 3- 85: Temperatura de agua superficial por punto de muestreo, primavera 2022.

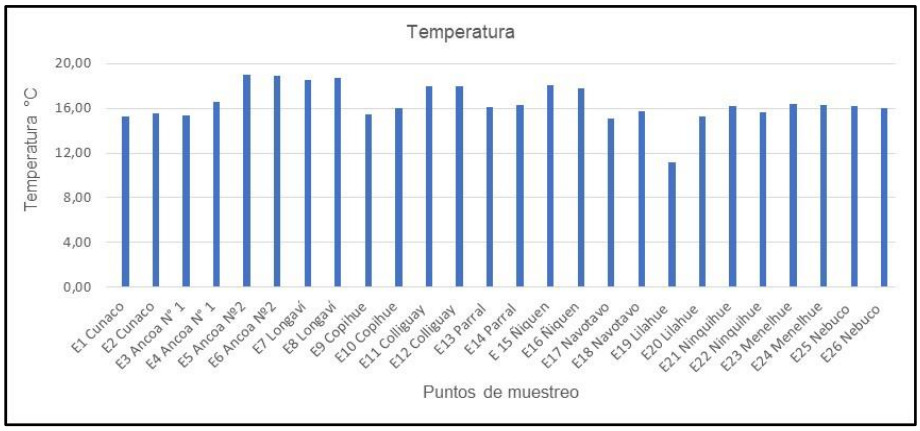


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Los valores promedios de temperatura fluctuaron entre 11°C a 18 °C, considerando todos los puntos de muestreo. El valor más bajo fue en estero Carbonero en E19, puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local.

Gráfico 3- 86: Temperatura de agua superficial por punto de muestreo, otoño 2023



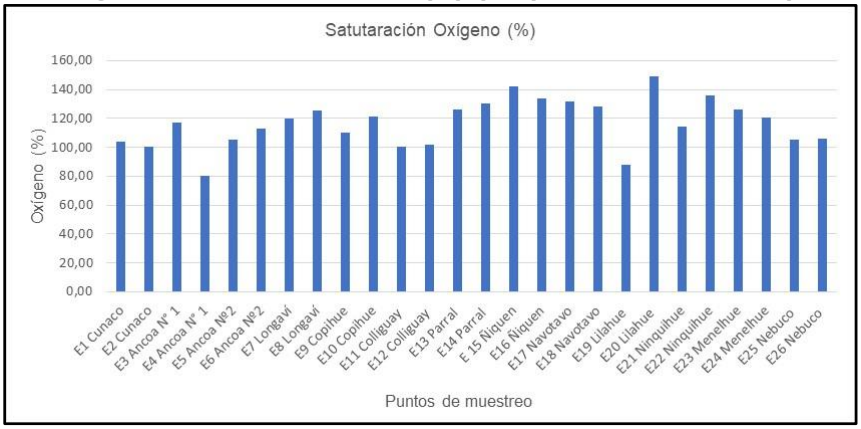
Fuente: ENVIS, 2023.

2. Oxígeno: saturación oxígeno y oxígeno disuelto

Primavera 2022

Los puntos de muestreo mostraron una buena saturación de oxígeno, entre un 80% (puente Ancoa 1, E4) a 158% (puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local, E20), ver siguiente gráfico.

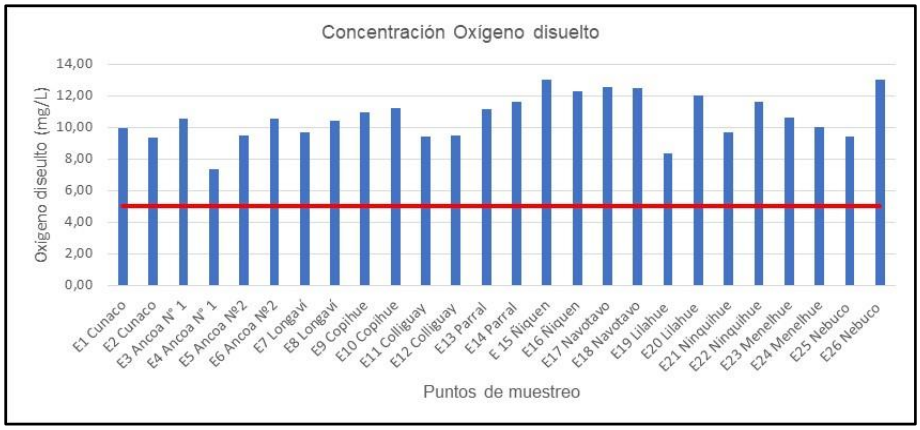
Gráfico 3- 87: Oxígeno disuelto, saturación (%), por punto de muestreo, primavera 2022.



Fuente: ENVIS, 2023.

La concentración de oxígeno disuelto resultó sobre la norma NCh1333, para desarrollo de vida acuática (5 mg/L). Esta fluctuó entre 7,3 mg/L en río Ancoa (puente Ancoa 1, E3) a 13 mg/L río Chillán (puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local E26).

Gráfico 3- 88: Oxígeno disuelto (mg/L), por punto de muestreo, primavera 2022.



Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

La saturación de oxígeno en los puntos de muestreo fluctuó entre un 80 % en río Ancoa E4 puente Ancoa N°1 a 125 %, en E17 estero Coche Pérez, puente Navotavo.

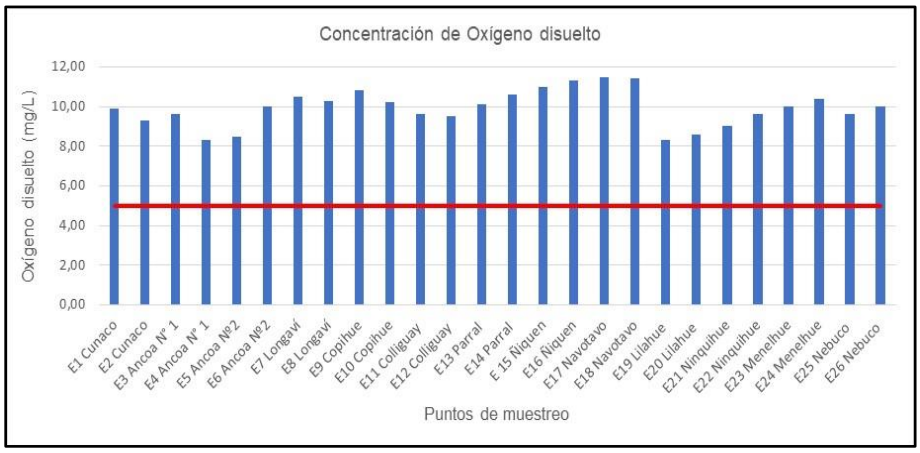
Gráfico 3- 89: Oxígeno saturación (%) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

La concentración de oxígeno disuelto estuvo sobre lo requerido por la NCh1333, para desarrollo de vida acuática (5 mg/L). Este fluctuó entre 8,3 mg/L, río Ancoa (puente Ancoa 1, E4) y estero Carbonero, puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E19, a 10,8 mg/L en estero Copihue, (puente Copihue E 9).

Gráfico 3- 90: Oxígeno disuelto (mg/L), por punto de muestreo otoño 2023



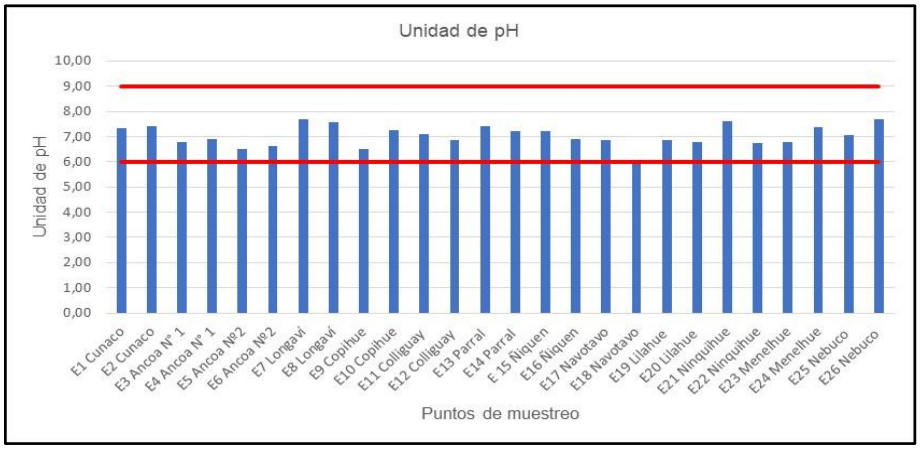
Fuente: ENVIS, 2023.

3. Unidad de pH

Primavera 2022

Para la unidad de pH se observaron valores predominantemente neutros (entre 6,5 a 7,8 de acuerdo con la clasificación de Hounslow (1995). Los rangos fluctuaron a partir de 6,5 a 7,7 unidades de pH, lo cual, de acuerdo con lo establecido por la NCh1333, las aguas cumplen el requisito para el desarrollo de vida acuática (rango entre 6,0 a 9 unidades). Por otra parte, también cumplieron las condiciones de NCh1333 para recreación con contacto directo (rango entre 6,5-8,3), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 91: Unidad de pH por punto de muestreo, primavera 2022.

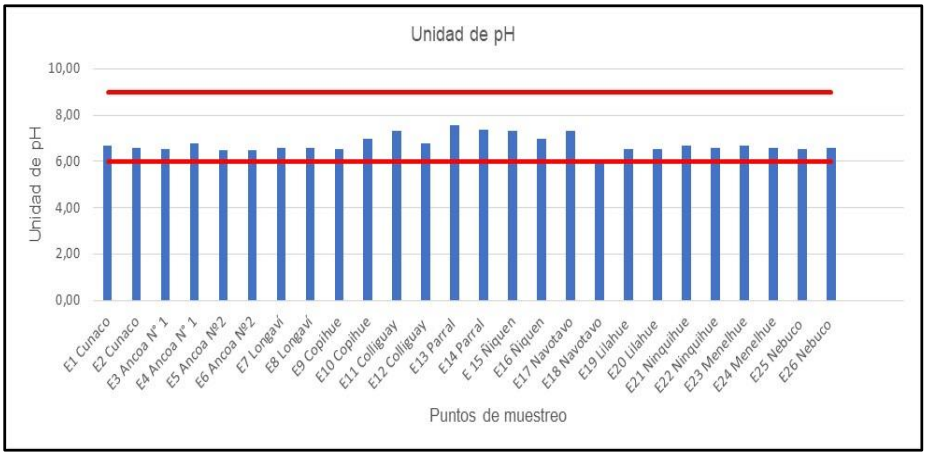


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Para la unidad de pH se observaron valores predominantemente neutros (entre 6,5 a 7,8 de acuerdo con la clasificación de Hounslow (1995). Los rangos fluctuaron a partir de 6,5 a 7,6 unidades de pH, lo cual, de acuerdo con lo establecido por la NCh1333, las aguas cumplen el requisito para el desarrollo de vida acuática (rango entre 6,0 a 9 unidades). Por otra parte, también cumplieron las condiciones de NCh1333 para recreación con contacto directo (rango entre 6,5-8,3).

Gráfico 3- 92: Unidad de pH por punto de muestreo, otoño 2023



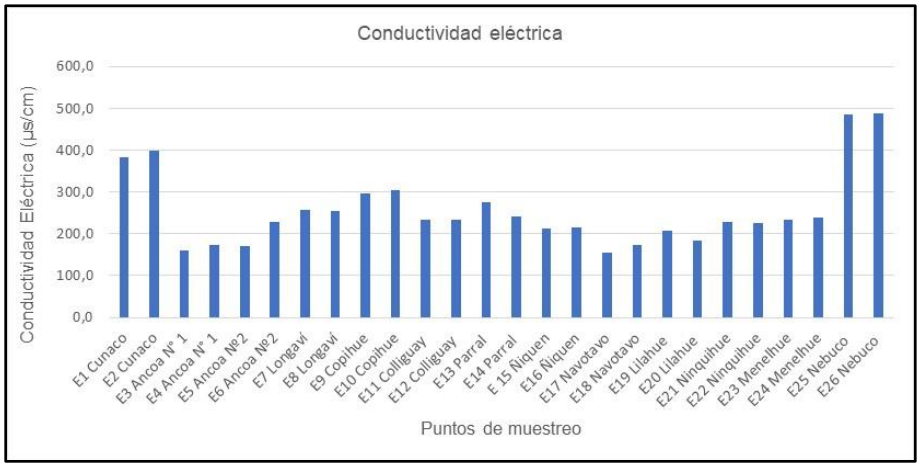
Fuente: ENVIS, 2023.

4. Conductividad eléctrica (µS/cm)

Primavera 2022

La Conductividad eléctrica, fluctuó entre 154 a 487 (µS/cm), los valores más bajos correspondieron a rio Ancoa (puente Ancoa, E3, E4 y E5) y estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17 y E18) con valores entre 155 (µS/cm) a 174 (µS/cm). Los valores más altos correspondieron a estero Tornicura (puente Cunaco, E2) y río Chillan (Puente Nebuco Oriente y Puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26) con valores entre 400 µS/cm a 487 µS/cm, ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 93: Conductividad eléctrica (µS/cm) por punto de muestreo, primavera 2022.

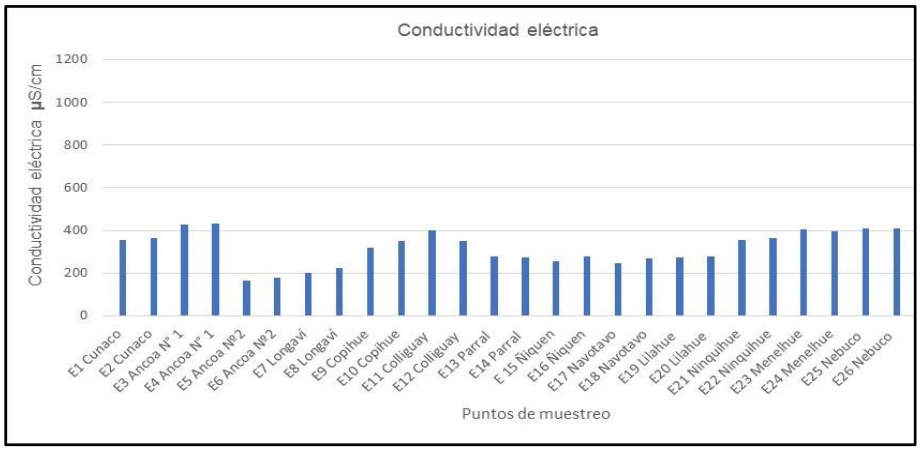


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

La Conductividad eléctrica, fluctuó ampliamente entre 165 a 1041 (µS/cm), los valores más bajos correspondieron a rio Ancoa (puente Ancoa N°1, E3 y E4). Los valores de conductividad eléctrica más altos se presentaron en río Chillán (puente Nebuco tercera pista y calle local E25 y E26) con valores entre 997-1041 (µS/cm).

Gráfico 3- 94: Conductividad eléctrica (µS/cm) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.3.2.2 Evaluación de la Calidad de Agua según NCh 1333

Se valoraron parámetros en laboratorio, de acuerdo con la normativa vigente NCh1333 para calidad de agua considerando uso de regadío, desarrollo de vida acuática y contacto directo.

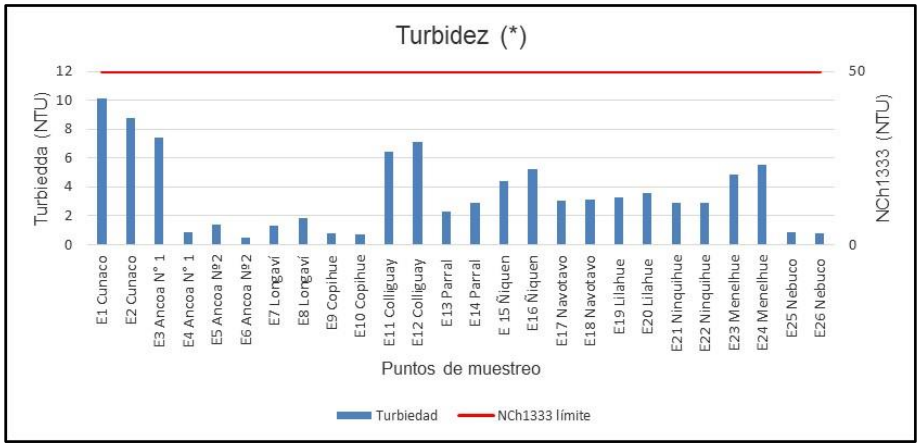
A continuación, se exponen los diversos parámetros físicos y químicos y se indica los que por su concentración resultaron superar el valor de la norma referencial NCH1333 para distintos usos (regadío, vida acuática y contacto directo), según corresponda. Los certificados de laboratorio se adjuntan en el Anexo 3-3 Calidad de agua, del presente capítulo.

1. Turbidez-Sólidos

Primavera 2022

Las concentraciones de turbiedad están relacionadas con las aguas para uso de contacto directo de acuerdo con la NCh1333. Los resultados indicaron que los valores fueron más bien de baja concentración, entre 0,8 NTU para río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local) a 10 NTU para estero Tornicura (puente Cunaco, E1), comparado de acuerdo con los límites que establece la NCh1333 para contacto directo (50 NTU), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 95: Turbidez (NTU) por punto de muestreo.

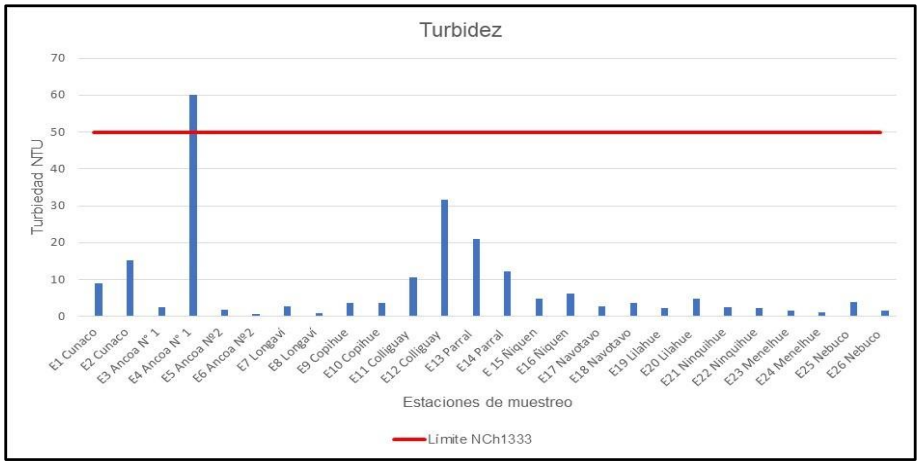


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de turbiedad estuvieron relativamente bajas, a excepción de dos estaciones de muestreo que superaron los límites que establece la NCh1333 para contacto directo (50 NTU), esto fue para E4, Ancoa N°1 con 60 NTU. El resto de las estaciones de muestreo fueron bajas con valores que fluctuaron entre 15 NTU (E2 Cunaco) a 0,57 NTU en E6 Ancoa N°2.

Gráfico 3- 96: Gráfico 1. Turbidez (NTU) por punto de muestreo, otoño 2023



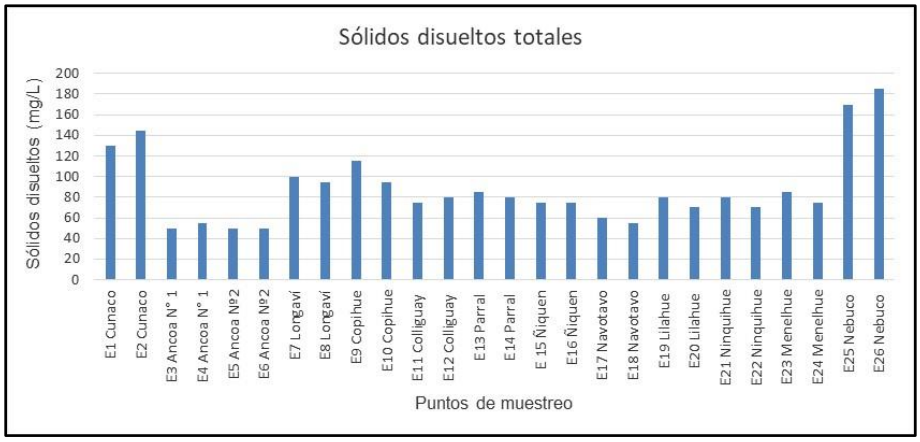
Fuente: ENVIS, 2023.

- Sólidos disueltos totales (mg/L)

Primavera 2022

Los sólidos disueltos totales registraron valores bajos, siendo el más alto de185 mg/L para el río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26), con relación a la norma. La NCH1333 relaciona la conductividad eléctrica con los valores de sólidos totales disueltos (≤ 500 mg/L según salinidad), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 97: Sólidos disueltos (mg/L) por punto de muestreo.

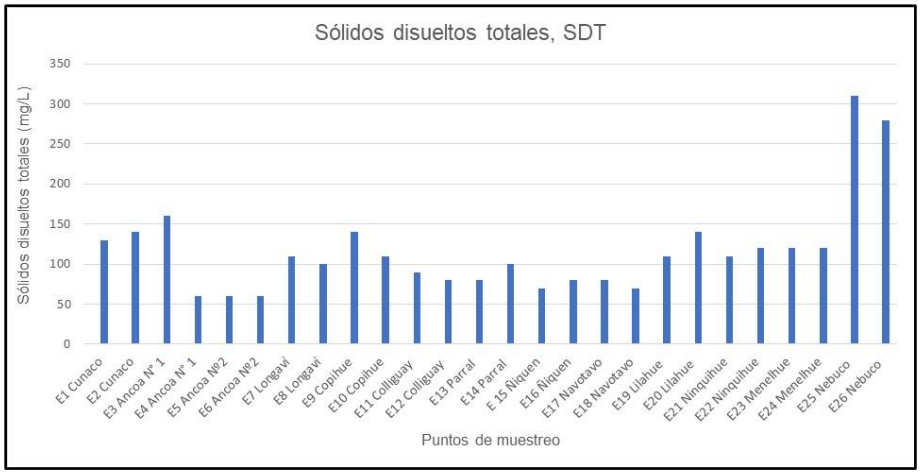


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Los SDT registraron valores bajos, siendo los valores más altos en Puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con rangos entre 310 mg/L (E 25) a 280 mg/L (E26). Luego los registros bajaron hasta incluso 60 mg/L en el sector entre Ancoa N° 1 (E3) y Ancoa N°2 (E5 y E6). La norma NCH1333 considera valores de sólidos totales disueltos (≤ 500 mg/L según salinidad), para indicar ausencia de efectos perjudiciales para uso de regadío.

Gráfico 3- 98: Sólidos disueltos (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

2. Concentración de Iones

- Cationes (mg/L)

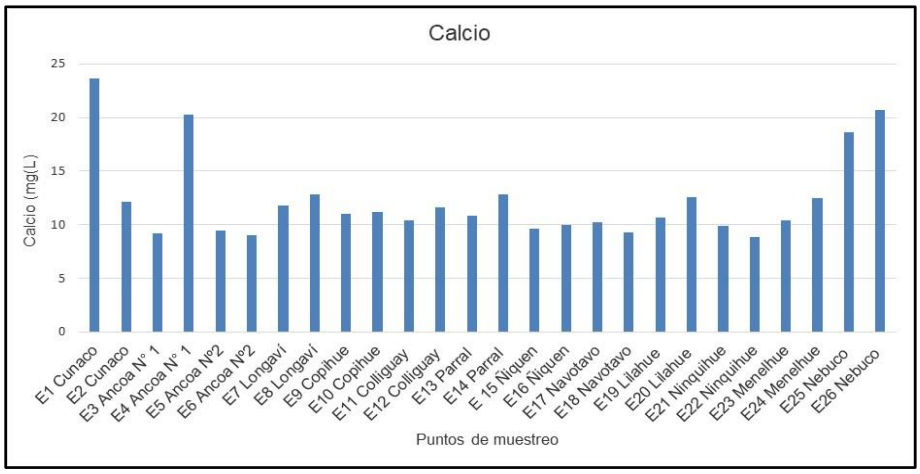
Los cationes corresponden a la concentración de iones calcio, magnesio, potasio y sodio. En general se presentaron las más altas concentraciones para el catión calcio seguido de sodio y luego de magnesio, para ambas campañas con ciertas excepciones.

- Calcio iónico (mg/L):

Primavera 2022

Los valores de calcio fluctuaron entre 8,9 mg/L para estero Lirutao (puente Ninquihue, E22) a valores más altos entre 18,6 mg/L río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 a 23,6 mg/L para estero Tornicura (puente Cunaco, E1), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 99: **Calcio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.**

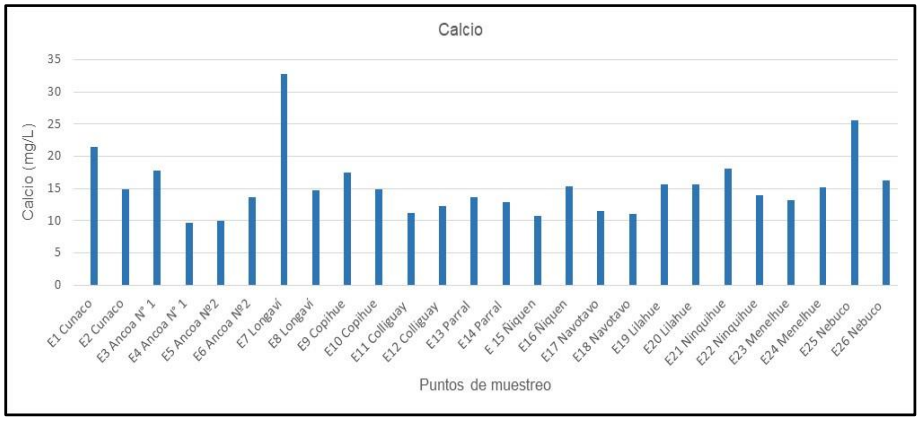


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Los valores de calcio fluctuaron a partir de 9,5 para E4 en río Ancoa (puente Ancoa N°1) a valores hasta los 20 mg/L para puente Cunaco en E1, estero Tornicura, a valores por sobre 25 mg/L en puente Nebuco tercera pista y calle local E25 (río Chillán) y 32,7 mg/L en Longaví E7 (río Longaví).

Gráfico 3- 100: **Calcio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023**



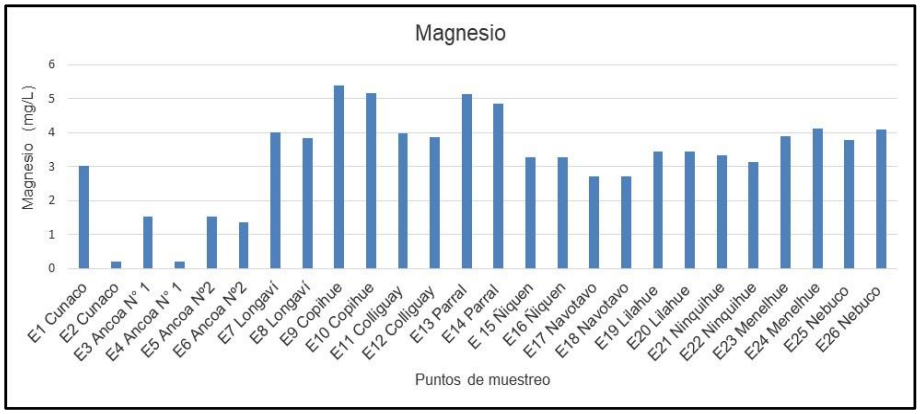
Fuente: ENVIS, 2023.

- Magnesio iónico (mg/L):

Primavera 2022

Los valores de magnesio fluctuaron entre 1,36 mg/L para rio Ancoa (puente Ancoa 2, E6), a 4,84 -5,38 mg/L asociado al estero Copihue (puente Copihue, E9 y E10) y estero Parral (puente Parral, E13 y E14). Hubo también puntos de muestreo con una muy baja concentración incluso bajo el límite de detección (LD<0,2 mg/L) de la metodología aplicada, esto fue en estero Tornicura (puente Cunaco Oriente E2) y rio Ancoa (puente Ancoa 1 Oriente, E6), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 101: Magnesio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

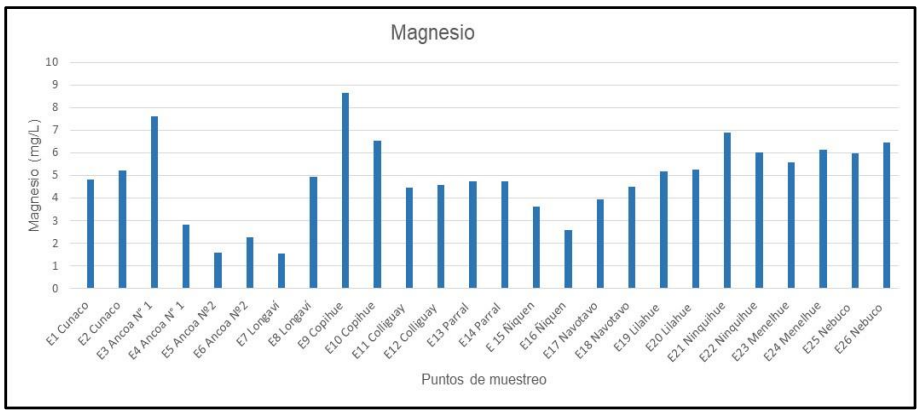


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Los valores de magnesio fluctuaron desde valores bien bajos, igual o menor a los 2,6 mg/L en el tramo Ancoa N°2 (E5 y E6) en río Ancoa y E7 en estero Longaví. Los mayores valores se presentaron cercano a los 7 mg/L en Ancoa N°1, en E3 (7,63 mg/L) en río Ancoa, y el mayor valor registrado fue de 8,7 mg/L, para el estero Copihue en E9 (puente Copihue). El resto de los valores fluctuaron entre 2,6 mg/L para E16 en río Ñiquén (puente Ñiquén) a 6,5 mg/L para E9 (puente Copihue).

Gráfico 3- 102: Magnesio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



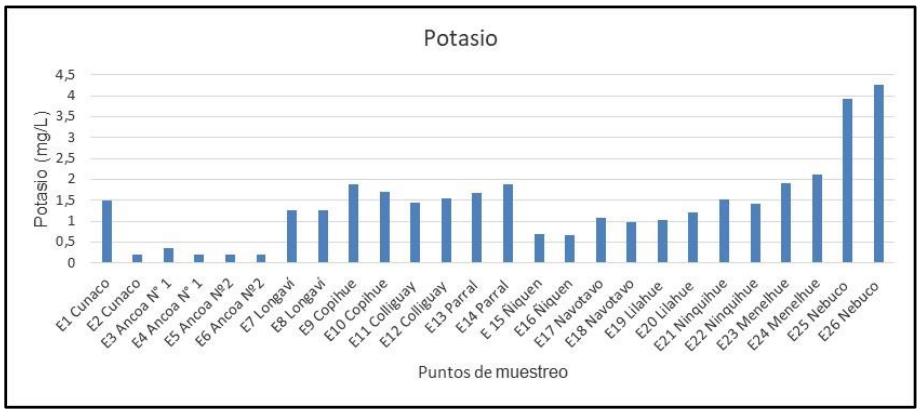
Fuente: ENVIS, 2023.

- Potasio (mg/L)

Primavera 2022

El potasio fluctuó con los valores más bajos no superando los 0,7 mg/L para Ancoa N°2 en río Ancoa (E5 y E6), E7 en río Longaví y E8 en río Ñiquén. Luego un segundo grupo fluctuó entre 1,5 mg/L a 3,8 mg/L en diversos cauces. El mayor valor se presentó en río Chillán con valores altos respecto al resto de los sistemas fluviales con concentraciones alrededor de los 10 mg/L para E25 y E26 en río Chillán.

Gráfico 3- 103: Potasio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

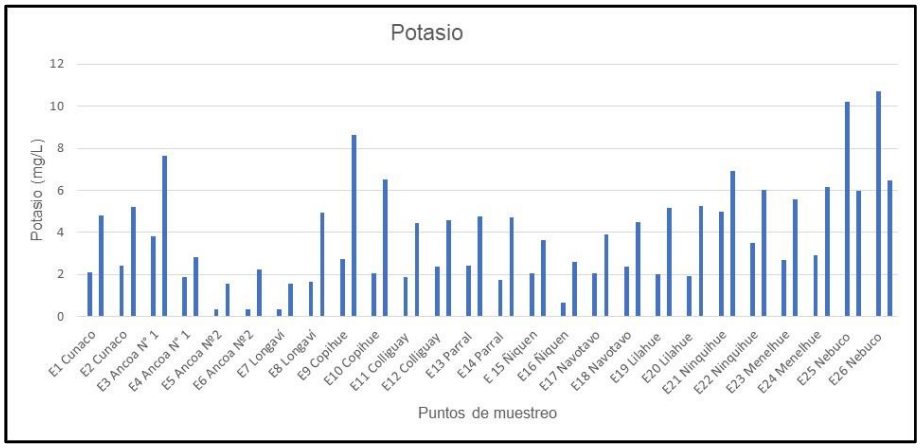


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

El potasio fluctuó alrededor de 0,33 (mg/L) a 0,36 mg/L para E5 y E6, en río Ancoa, puente Ancoa N° 2 y en río Longaví E7, y de 0,69 (mg/L) en E16 río Ñiquén. Posteriormente valores más altos por sobre 2 (mg/L) a 4,98 (mg/L) en estero Lirutao E 21, hasta un máximo de alrededor de 10 (mg/L) para el puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) en río Chillán E25 y E26.

Gráfico 3- 104: Potasio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



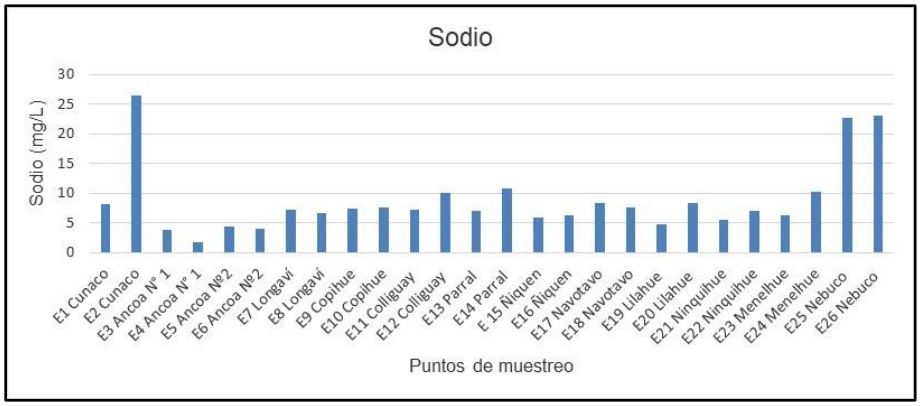
Fuente: ENVIS, 2023.

- Sodio (mg/L)

Primavera 2022

El sodio presentó una amplia fluctuación desde 1,78 mg/L en río Ancoa (puente Ancoa 1, E4), a valores por sobre 20 mg/L, en río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 Y E26), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 105: Sodio iónico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

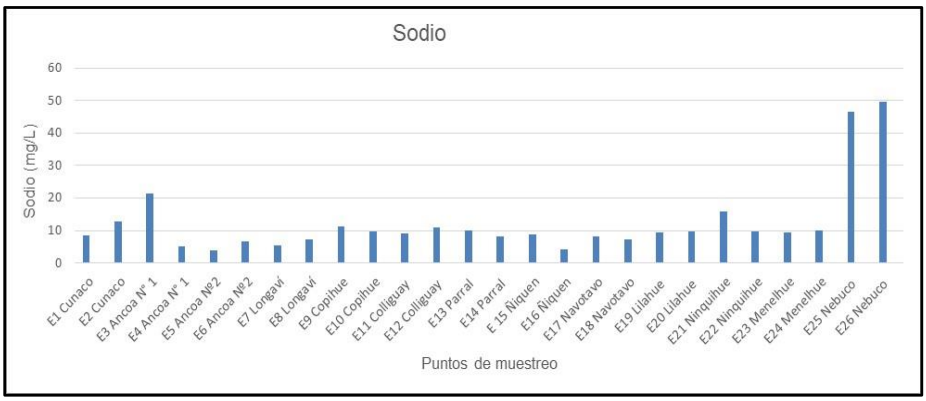


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

El sodio fluctuó ampliamente, desde 4 a 5 (mg/L) para sector de Ancoa en río Ancoa, hasta 47 mg/ a 50 (mg/L) en el puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) en río Chillán E25 y E26.

Gráfico 3- 106: Sodio iónico (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.



Fuente: ENVIS, 2023.

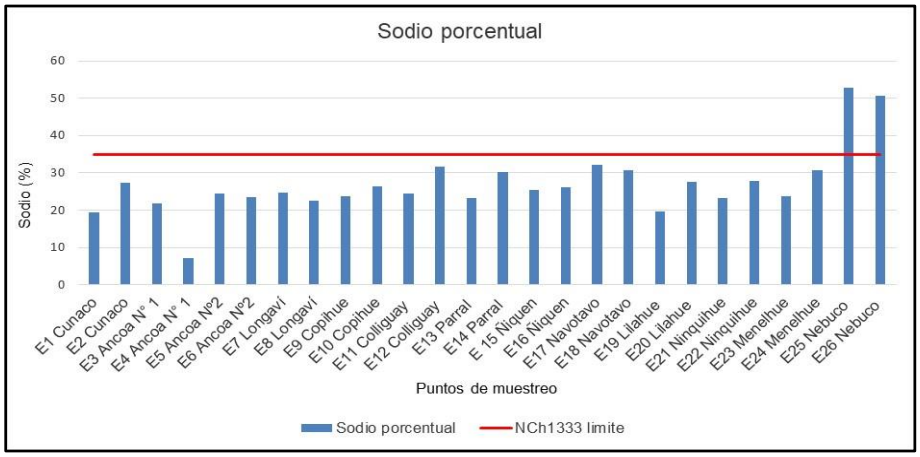
- Sodio porcentual (%)

El sodio porcentual representa la relación entre la concentración de ion sodio y los cationes.

Primavera 2022

Todos los valores se presentaron bajo lo que indica la NCh1333 (35 %), a excepción de dos (2) sectores, representado por río Chillán con valores entre 50,6 % a 52,8 % (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26).

Gráfico 3- 107: Sodio porcentual (%), por punto de muestreo.

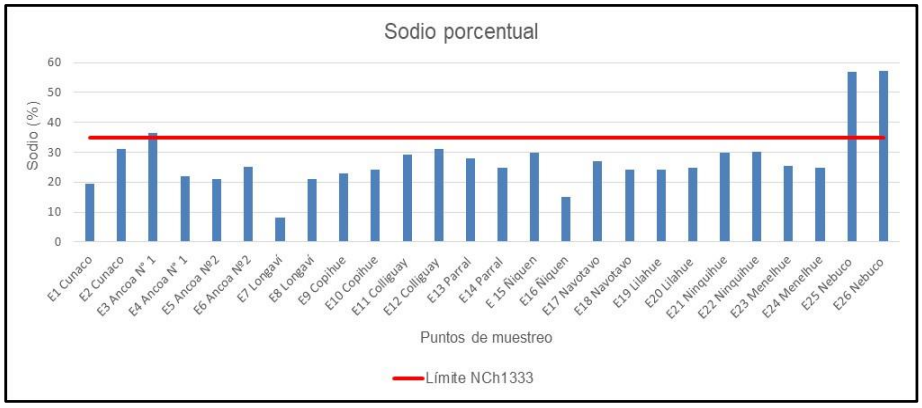


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Todos los valores se presentaron bajo lo que indica la NCh1333 (35 %), a excepción del sector, representado por río Chillán con valores entre 50,6 % a 52,8 % (puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local, E25 y E26).

Gráfico 3- 108: Sodio porcentual (%), por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

- Aniones

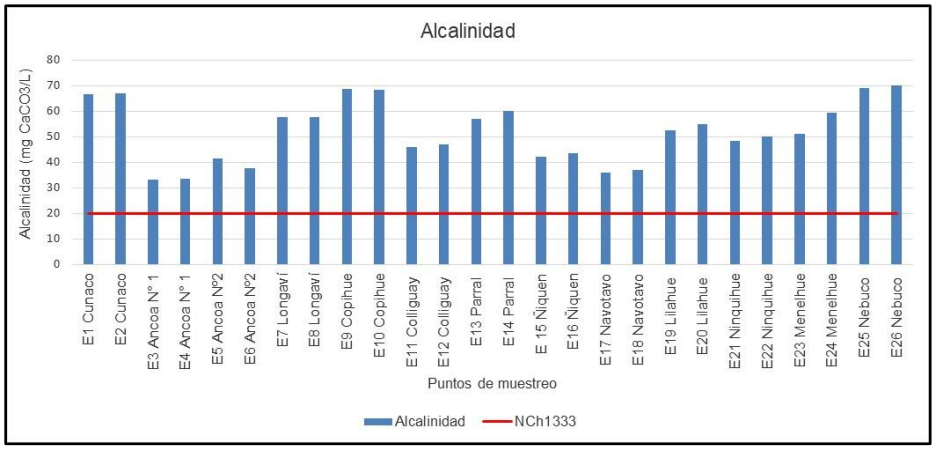
Los aniones consisten en las concentraciones de alcalinidad, cianuro, cloruro, fluoruro y sulfato.

- Alcalinidad total (mg/L)

Primavera 2022

La alcalinidad total resultó de altas concentraciones lo suficiente para satisfacer los requerimientos que indica la NCh1333 (>20 mg/L $CaCO_3$), detectando valores alrededor de 33 (mg/L $CaCO_3$) en el río Ancoa (puente Ancoa 1, E3 y E4), hasta alrededor de 70 (mg/L $CaCO_3$) para río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 109: Alcalinidad (mg/L) por punto de muestreo.

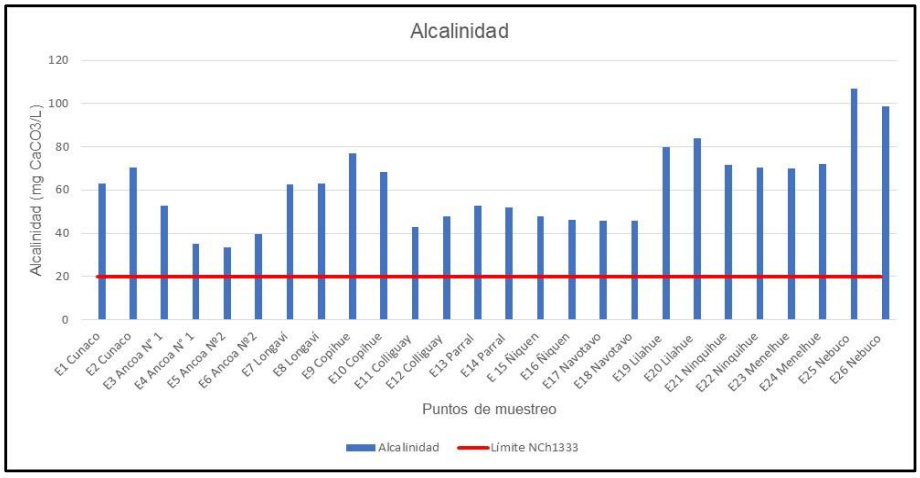


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

La alcalinidad total resultó con concentraciones lo suficiente para satisfacer los requerimientos que indica la NCh1333 (>20 mg/L CaCO3), detectando valores a partir de 33,6 (mg/L CaCO3) en el río Ancoa (puente Ancoa N°2 E5), hasta alrededor de 80 (mg/L CaCO3) para estero Carbonero, (puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E19 y E20).

Gráfico 3- 110: Alcalinidad (mg/L $CaCO_3$) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

- Fluoruro (mg/L)

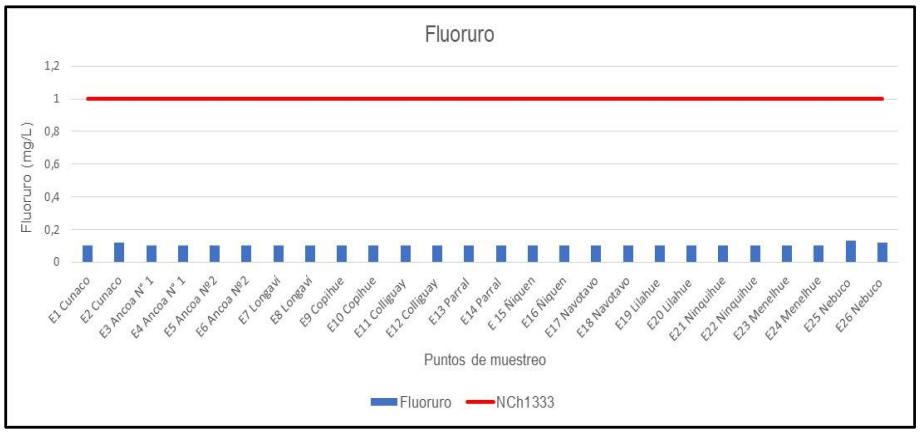
Primavera 2022

Todos los valores para fluoruro resultaron de muy bajas concentraciones, bajo el límite de detección (0,02 mg/L) de la metodología aplicada, no siendo detectado.

Otoño 2023

Similar a primavera los valores resultaron también con concentraciones bajas, <LD (0,1 mg/L). Sin embargo, hubo una excepción para río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con concentraciones de 0,12 mg/L para E25 y E26.

Gráfico 3- 111: Fluoruro (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



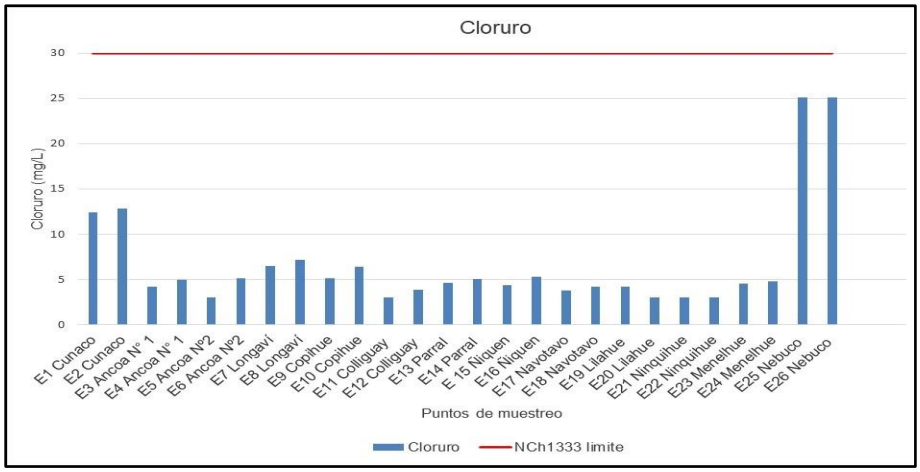
Fuente: ENVIS, 2023.

- Cloruro (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de cloruro se presentaron muy bajas, alcanzando a lo más alrededor de 25 mg/L en río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26), todos los valores bajo el límite permitido por la norma NCh1333 (200 mg/L) para uso de agua para regadío, ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 112: Cloruro (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

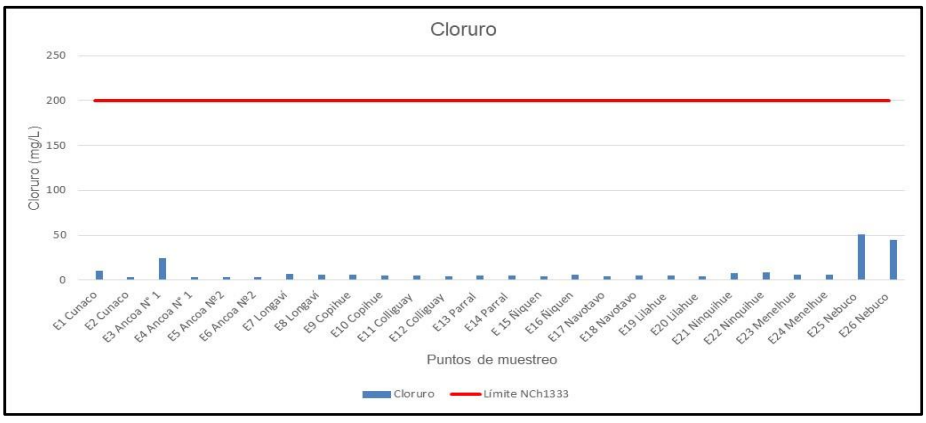


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de cloruro se presentaron muy bajas, entre 3 mg/l a 23 mg/L a altas concentraciones registradas en el rio Chillán, entre 51 a 45 mg/L para el río Chillán en E25 y E26. Todos los valores sin embargo se presentaron bajo el valor límite permitido por la norma NCh1333 (200 mg/L) para uso de agua para regadío.

Gráfico 3- 113: Cloruro (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



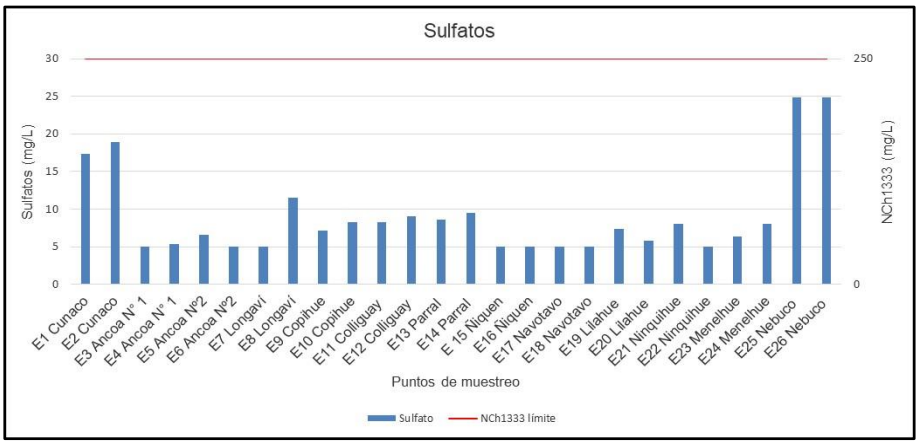
Fuente: ENVIS, 2023.

- Sulfato (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de sulfato respondieron similar al Cloruro, las concentraciones se presentaron muy bajas, alcanzando a lo más alrededor de 25 mg/L en río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26), todos los valores bajo el límite permitido por la norma NCh1333 (250 mg/L) para uso de agua para regadío, ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 114: Sulfato (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

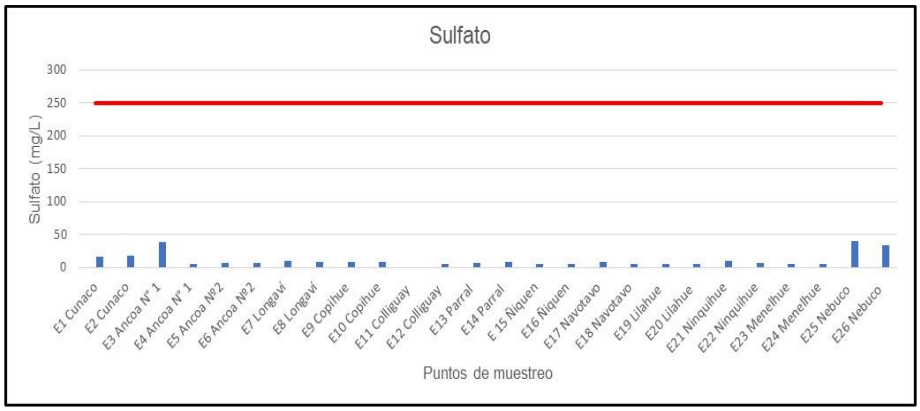


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Los valores de sulfato estuvieron entre 5 mg/L a 17 mg/L para las estaciones de muestreo, a excepción de tres estaciones de muestreo con valores más altos de sulfatos que fueron río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con valores entre 40 mg/L a 34 mg/L para E25 y E26 respectivamente. Similar al Cloruro todos los valores se presentaron bajo el límite permitido por la NCh1333 (250 mg/L) para uso de agua para regadío.

Gráfico 3- 115: Sulfato (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



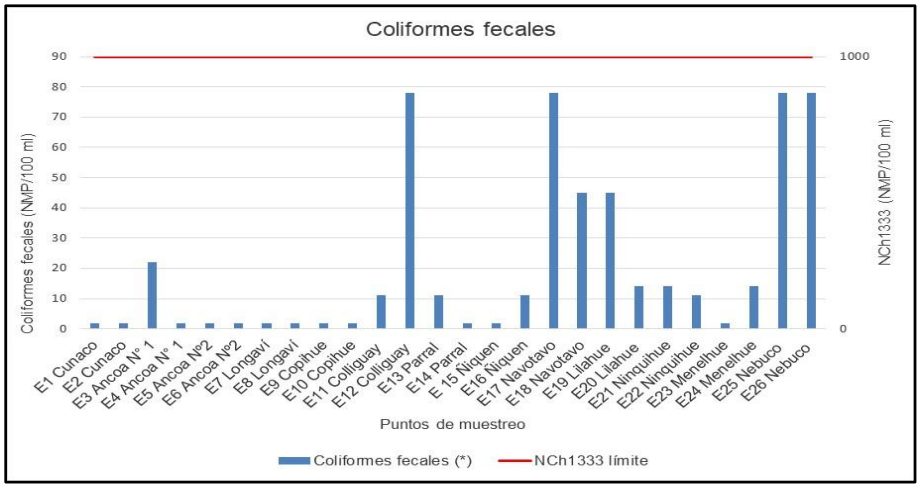
Fuente: ENVIS, 2023.

3. Coliformes fecales

Primavera 2022

Las concentraciones de Coliformes fecales fueron muy bajas, todas bajo el límite que indica la NCh1333 (1000 NMP/100 ml). Las más altas concentraciones fueron de 78 (NMP/100 ml), y se presentaron en cuatro (4) puntos de muestreo, uno en estero Colliguay (puente Colliguay, E12), el segundo en estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17) y los dos últimos en río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 116: Coliformes fecales (NMP/100 ml) por punto de muestreo, primavera 2022.

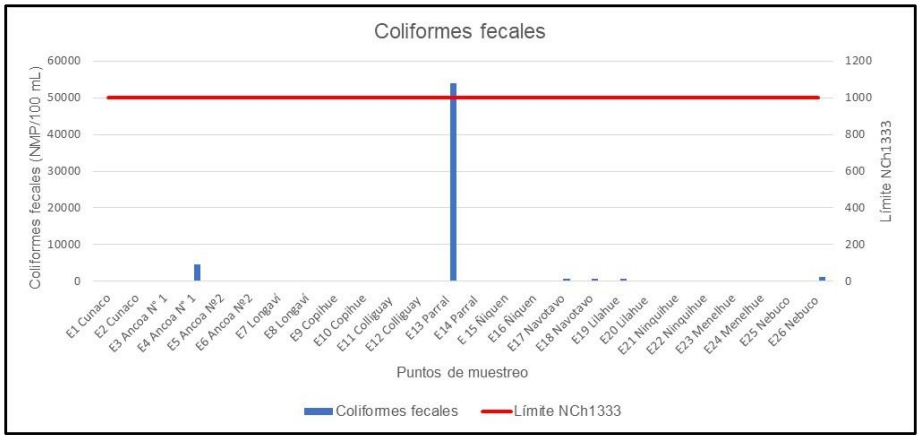


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de Coliformes fecales se presentaron muy bajas, la mayoría bajo el límite de detección (<1,8 NMP/100 ml), a excepción de algunas estaciones de muestreo que presentaron bajas concentraciones fluctuando entre 68 NMP/100 ml a 170 NMP/100 ml. Particularmente se destaca el estero Coche Pérez en puente Navotavo y estero Carbonero en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local con las estaciones E17, E18 y E19 con concentraciones por sobre el resto de las estaciones con 790 NMP/100 ml, pero todos los casos bajo el límite que indica la NCh1333 (1000 NMP/100 ml). Hubo excepciones con concentraciones muy altas por sobre lo indicado por la norma referencial, tal es el caso del estero Parral en puente Parral con 54.000 NMP/100 ml.

Gráfico 3- 117: Coliformes fecales (NMP/100 ml) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

4. Metales totales

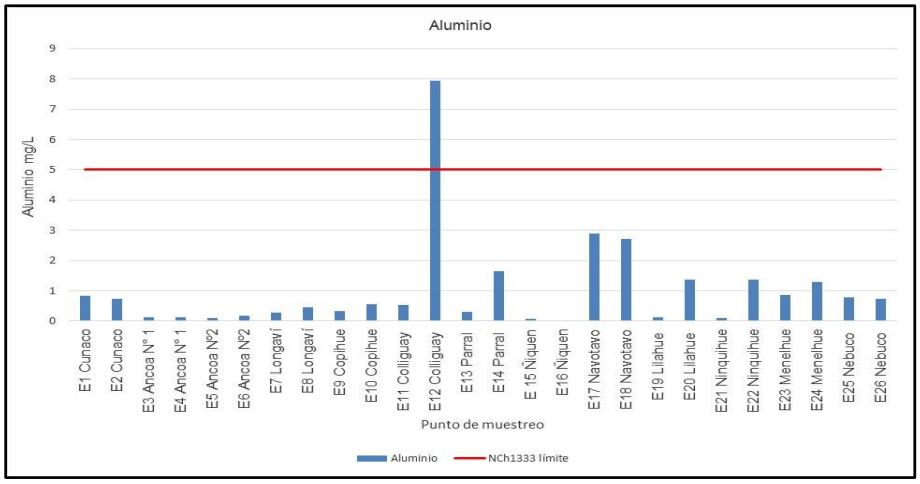
De todos los metales analizados algunos fueron detectados en sus concentraciones, y otros se presentaron bajo el límite de detección de la metodología analítica aplicada. A continuación, se presentan los gráficos respecto a los metales los cuales fue posible determinar su concentración.

- Aluminio total (mg/L)

Primavera 2022

Se registraron en general valores bajos de acuerdo con el límite permitido por la norma referencial NCH1333 para uso de regadío (5mg/L). Los valores fluctuaron entre 0,096 (mg/L) para río Ancoa (puente Ancoa 2, E5) a 2,8 (mg/L) para río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E25 y E26). Sin embargo, hubo un punto de muestreo con alta concentración de 7,95 (mg/L), que logró superar el límite de la norma que fue en el estero Colliguay (puente Colliguay, E12), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 118: Aluminio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

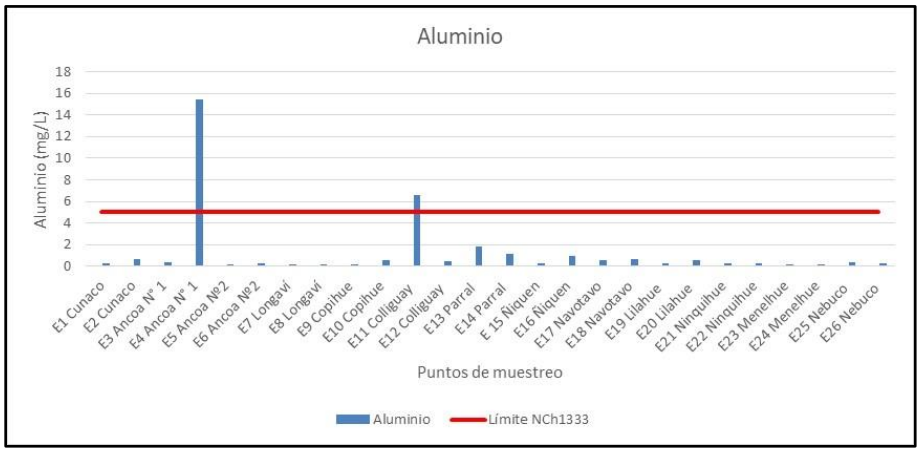


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Se registraron valores bajos según el límite permitido por la norma NCH1333 para uso de regadío (5 mg/L). Los valores de la mayoría de los puntos de muestreo no superaron 1 (mg/L), con la excepción del estero Parral que fluctuó entre 1,1 (mg/L) a 1,83 mg/L) para E13 y E14. Se observó en tres tramos concentraciones fueron altas, sobre el valor permitido por NCh1333, que fueron en E4 río Ancoa, Puente Ancoa N°1 (15,5 mg/L) y en E11 estero Colliguay con 6,6 (mg/L).

Gráfico 3- 119: Aluminio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



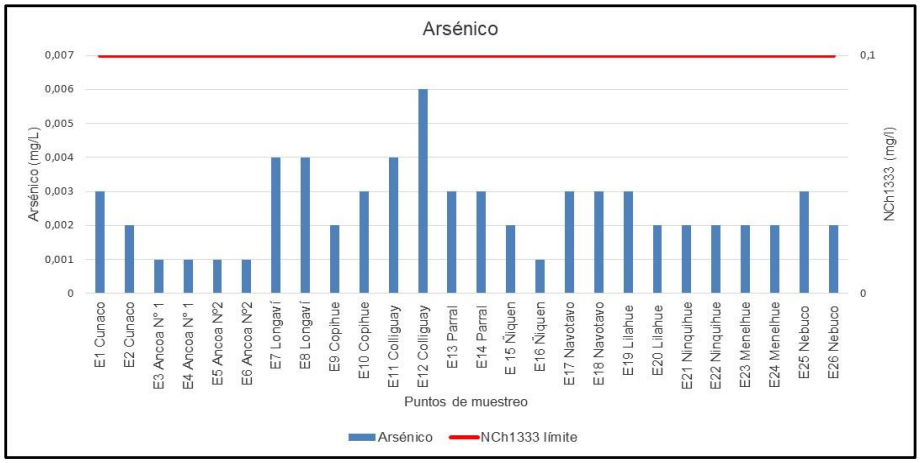
Fuente: ENVIS, 2023.

- Arsénico total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de arsénico fueron bajas para todos los puntos de muestreo, ninguno superó los límites permitidos por la NCh1333 (0,1 mg/L) para uso de regadío. Los valores fluctuaron entre un mínimo de 0,002 (mg/L), a un máximo de 0,006 (mg/L), en estero Colliguay (puente Colliguay, E12). También hubo valores <LD (0,001 mg/L) en río Ancoa (Ancoa 1, E3 y E4; Ancoa 2, E5 y E6), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 120: Arsénico total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

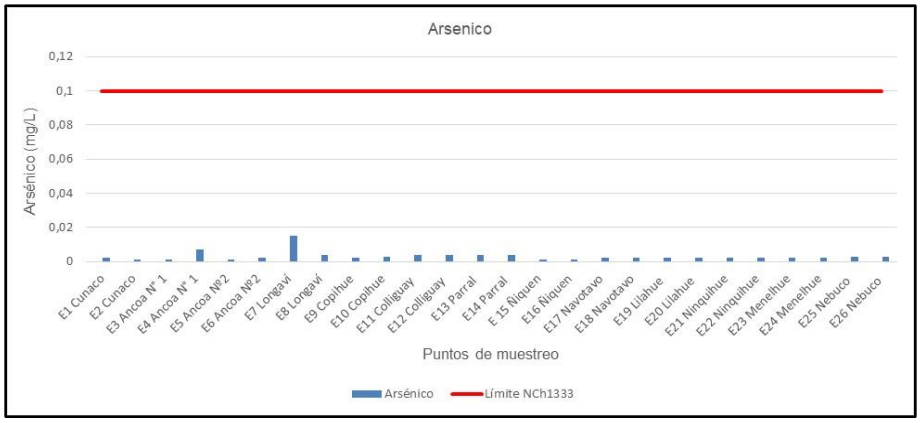


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de arsénico fueron muy bajas para todos los puntos de muestreo, ninguno superó los límites permitidos por la NCh1333 (0,1 mg/L) para uso de regadío. Los valores fluctuaron entre valores no detectados <LD de la metodología aplicada (<0,001 mg/L) para el tramo de puente Cunaco en E2 y Ancoa N°1 en E3 y Ñiquén en E15 y E16. Para el resto de las estaciones los valores detectados fluctuaron entre 0,002 (mg/L) a 0,004 (mg/L).

Gráfico 3- 121: Arsénico total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



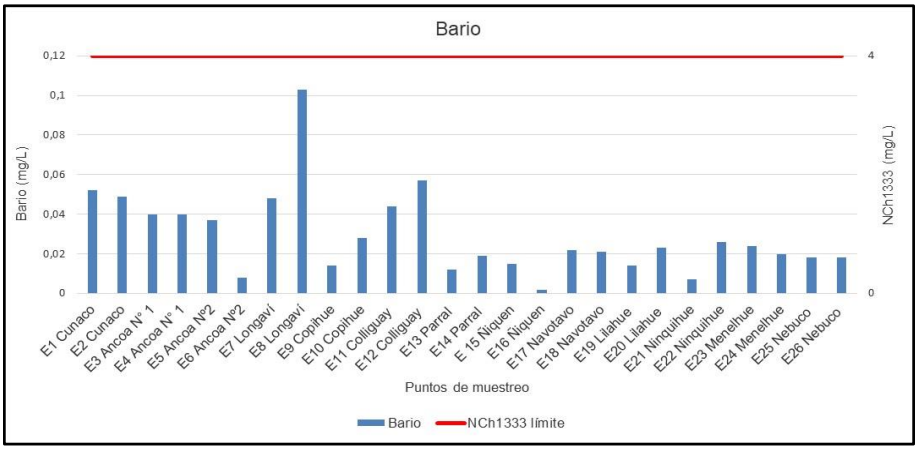
Fuente: ENVIS, 2023.

- Bario total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de Bario fueron muy bajas no logrando superar los límites establecidos por la NCh1333 (4 mg/L) para uso de regadío. El máximo valor registrado fue de 0,103 (mg/L) en río Longaví (puente Longaví, E8). También hubo puntos de muestreo no detectados por resultar <LD (0,002 mg/L), que fueron en río Ñiquén (puente Ñiquén, E16) y estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 122: Bario total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

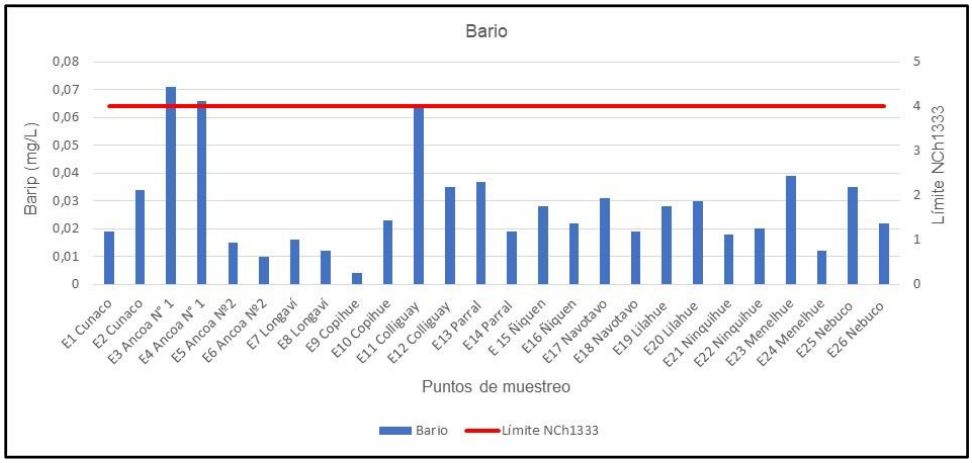


Fuente: ENVIS, 2023.

<u>Otoño 2023</u>

Las concentraciones de Bario fueron, generalmente, muy bajas no logrando superar los límites establecidos por la NCh1333 (4 mg/L) para uso de regadío. Los valores de las concentraciones fluctuaron entre 0,01 en E6, río Ancoa puente Ancoa N°2, a un máximo valor registrado en E3 y E4 en Ancoa N°2 con valores entre 0,07 (mg/L).

Gráfico 3- 123: Bario total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



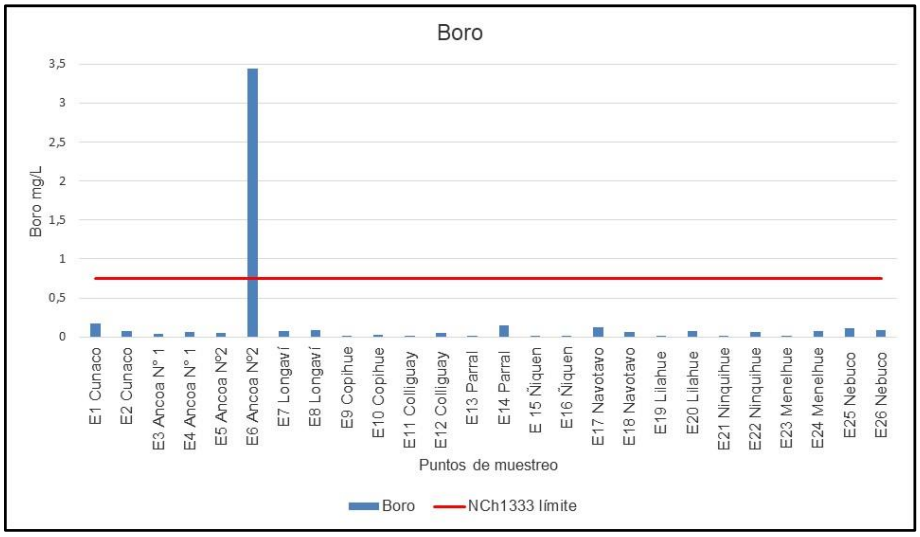
Fuente: ENVIS, 2023.

- Boro total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de boro fueron muy bajas a excepción del punto de muestreo en río Ancoa (puente Ancoa 2, E6), con concentraciones de 3,44 (mg/L) lo cual superó el límite de la norma referencial para uso de regadío (0,75 mg/L). Todos los valores fueron detectados a excepción de siete (7) puntos de muestreo que registraron valores <LD (0,02 mg/L), estos fueron en estero Copihue (puente Copihue, E9), en estero Colliguay (puente Colliguay, E11), en estero Parral (puente Parral, E13) en río Ñiquén (puente Ñiquén, E15 y E16) en estero Lirutao (puente Ninquihue, E21) y estero Rauco (puente Menelhue, E23), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 124: Boro total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

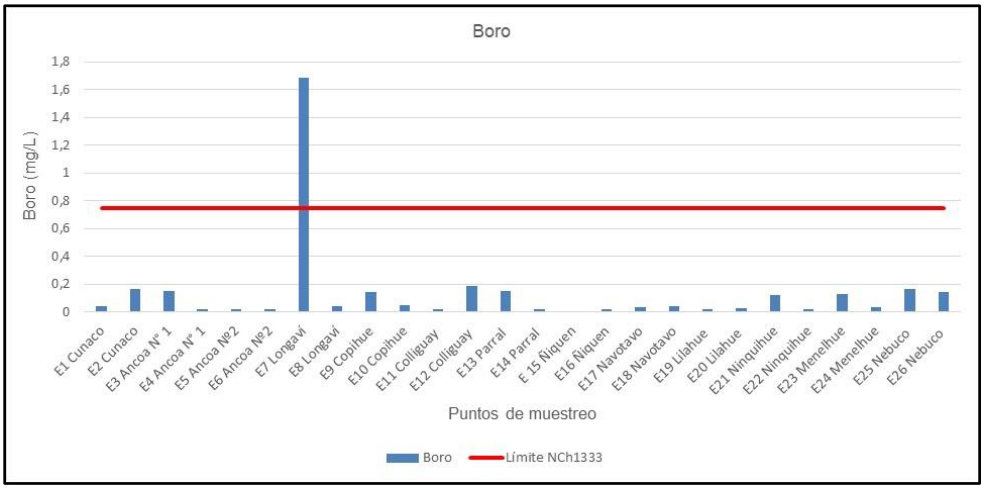


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de boro fueron muy bajas, de hecho, algunos valores no fueron detectados <LD (0,02 mg/L). Los valores detectados fluctuaron entre 0,04 (mg/L) a 0,185 (mg/L) para el resto de las estaciones a excepción de un solo caso en que la concentración fue muy elevada alcanzando los 1,7 (mg/L) superando el valor permitido por la norma referencial para uso de regadío, en E7, río Longaví.

Gráfico 3- 125: Boro total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.



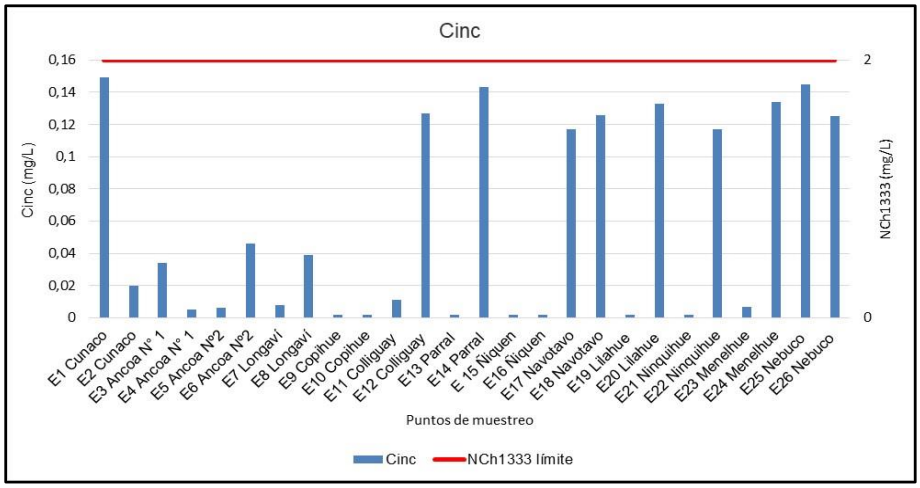
Fuente: ENVIS, 2023.

- Cinc total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de cinc fueron todas detectadas, resultando todas las concentraciones muy bajas, ninguna superó el límite establecido por la norma referencial para uso de regadío (2 mg/L). El valor más alto fue alrededor de 0,14 (mg/L), el cual se detectó en tres (3) puntos de muestreo, estero Tornicura (puente Cunaco E1), estero Parral (puente Parral E14) y estero Rauco (puente Menelhue, E24), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 126: Cinc total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

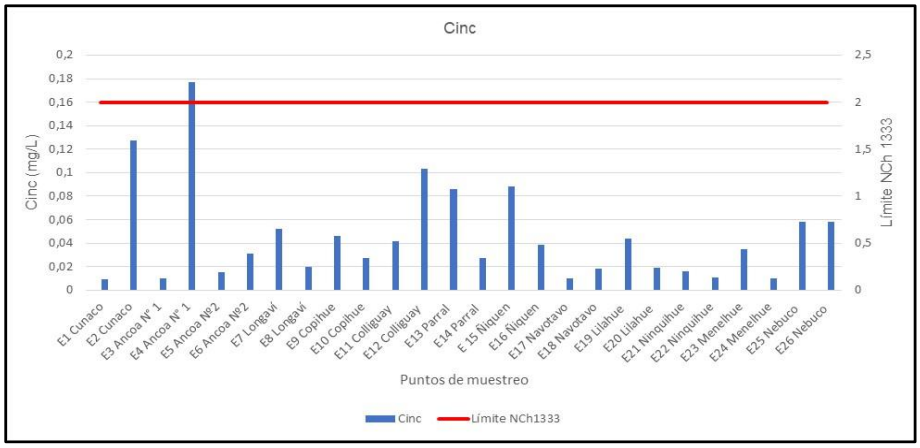


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de cinc fueron todas detectadas, resultando todas las concentraciones bajas. Los valores extremos fluctuaron entre 0,01 (mg/L) en varios puntos de muestreo a 0,127 (mg/L) en E2 puente Cunaco y 0,177 (mg/L) en E4, puente Ancoa N°1.

Gráfico 3- 127: Cinc total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



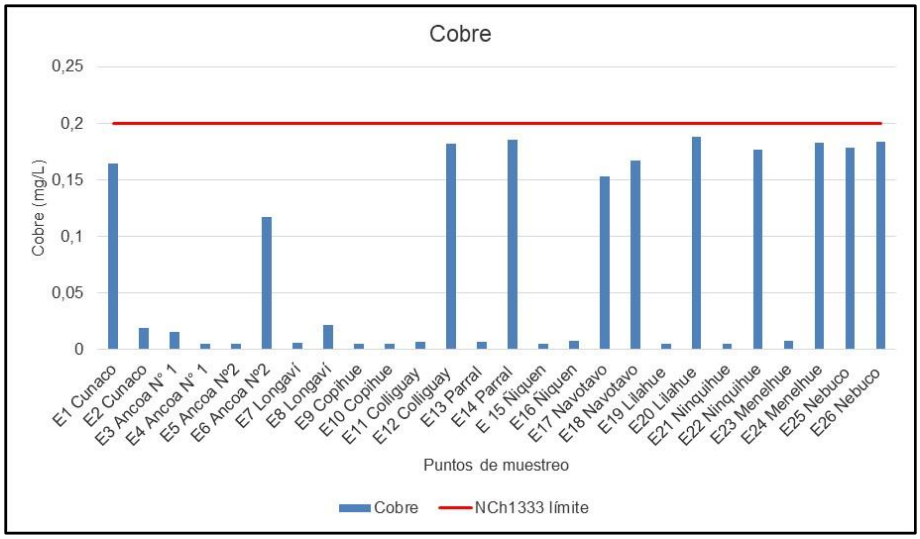
Fuente: ENVIS, 2023.

- *Cobre total (mg/L)*

Primavera 2022

Las concentraciones de cobre fueron todas detectadas, pero ninguna de ellas superó el límite establecido por la norma referencial para uso de regadío (0,2 mg/L). El valor más alto fue alrededor de 0,18 (mg/L), el cual se detectó en cinco (5) puntos de muestreo, que fueron los siguientes: estero Colliguay (puente Colliguay, E12) con 0,182 (mg/L), estero Parral (puente Parral, E14) con 0,185 (mg/L), estero Carbonero (puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local, E20) con 0,188 (mg/L), estero Rauco (puente Ninquihue, E24) con 0,183 (mg/L) y río Chillán (puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local, E26) con 0,184 (mg/L), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 128: Cobre total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

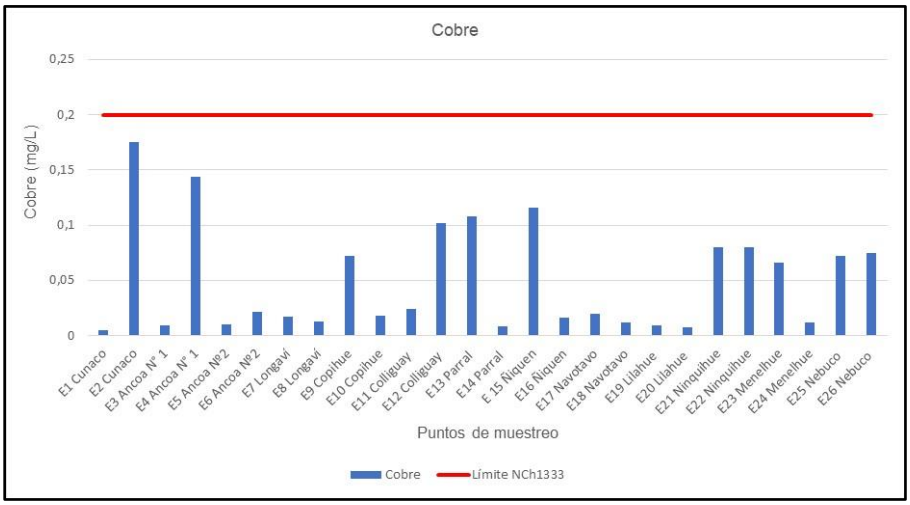


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de cobre fueron todas detectadas a excepción del estero Tornicura en Cunaco, E1 (<0,005). Ninguna de ellas superó el límite establecido por la norma referencial para uso de regadío (0,2 mg/L). El valor fluctuó entre 0,007 (mg/L) en E22 estero Lirutao, puente Ninquihue a un valor de 0,175 (mg/L) en E2, estero Tornicura en puente Cunaco.

Gráfico 3- 129: Cobre total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



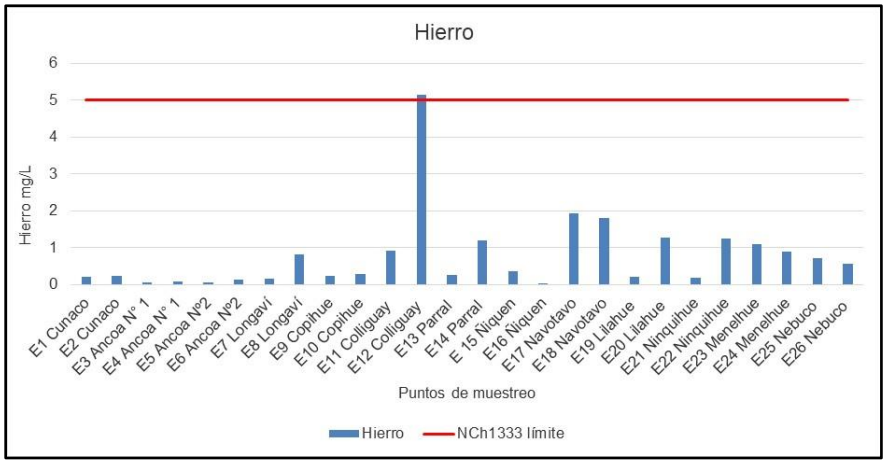
Fuente: ENVIS, 2023.

- Hierro total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de hierro fueron todas detectadas, a excepción de río Ñiquén (puente Ñiquén E16) con una concentración <LD (0,02 (mg/L). De todos los puntos de muestreo sólo uno superó el límite establecido por la norma referencial para uso de regadío (5 mg/L), que fue en estero Colliguay (puente Colliguay, E12). El valor más alto del resto de los puntos bajo la norma referencial fue entre 1,78 (mg/L) y 1,93 (mg/L) en estero Coche Perez (puente Navotavo, E17 y E18), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 130: Hierro total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

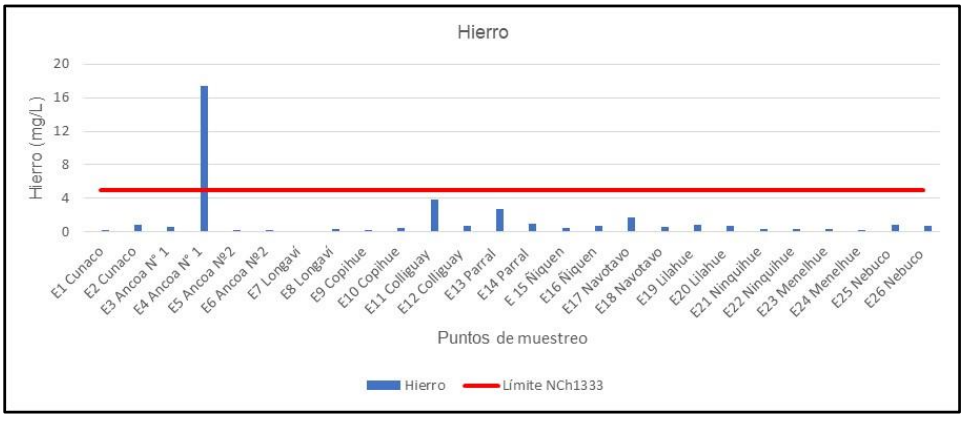


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de hierro fueron todas detectadas, con la mayoría de los puntos de muestreo bajo el valor límite establecido por la norma referencial para uso de regadío (5 mg/L). Hubo una excepción que sobrepasó este valor referencial, con 17,4 (mg/L) para río Ancoa en E4 puente Ancoa N° 1.

Gráfico 3- 131: Hierro total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



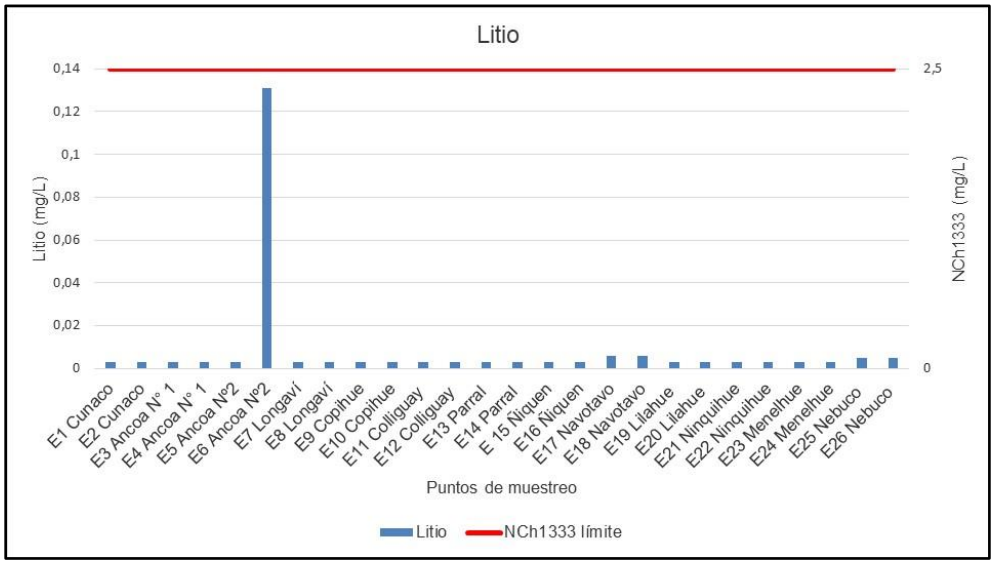
Fuente: ENVIS, 2023.

- Litio total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de litio fueron muy bajas, la mayoría <LD (0,003 mg/L), sólo se detectó la concentración en cinco (5) puntos de muestreo que fueron en río Ancoa con 0,131 (mg/L) (puente Ancoa 2, en E6); en estero Coche Perez con 0,006 (mg/L) que corresponde al puente Navotavo (E17 y E18) río Chillán con (0,005 mg/L) que corresponde a puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 132: Litio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

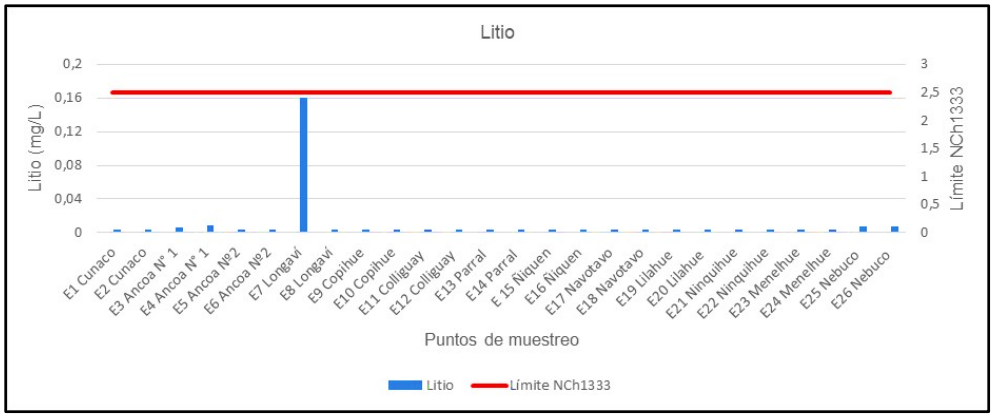


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de litio fueron muy bajas, la mayoría <LD (0,003 mg/L), sólo se detectó la concentración en cinco puntos de muestreo que fueron en río Ancoa en puente Ancoa N° 1 en E3 y E4 (0,006-0,009 mg/L), en río Longaví en E7 (0,161 mg/L) y en río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) en E25 y E26 (0,007 mg/L).

Gráfico 3- 133: Litio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



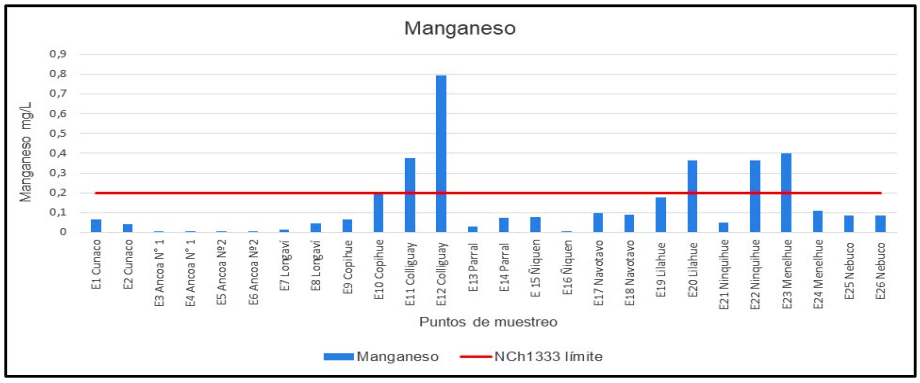
Fuente: ENVIS, 2023.

- Manganeso total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de manganeso fueron todas detectadas con un total de cinco (5) puntos de muestreo que superaron los límites permitidos por la norma referencial NCh1333 (0,2 mg/L). Los cauces que presentaron altas concentraciones fueron los siguiente: estero Colliguay con 0,374 (mg/L) y 0,793 (mg/L) correspondiente al puente Colliguay (E11 y E12); estero Carbonero con 0,365 (mg/L) correspondiente al puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (E20); el estero Lirutao con 3,362 (mg/L) en puente Ninquihue (E22) y el estero Rauco con 3,98 (mg/L), correspondiente al puente Menelhue (E23). El resto de los valores fluctuó entre 0,005 (mg/L) en río Ancoa (puente Ancoa 1, E3) a 0,192 (mg/L) en estero Copihue (puente Copihue, E10), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 134: Manganeso total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

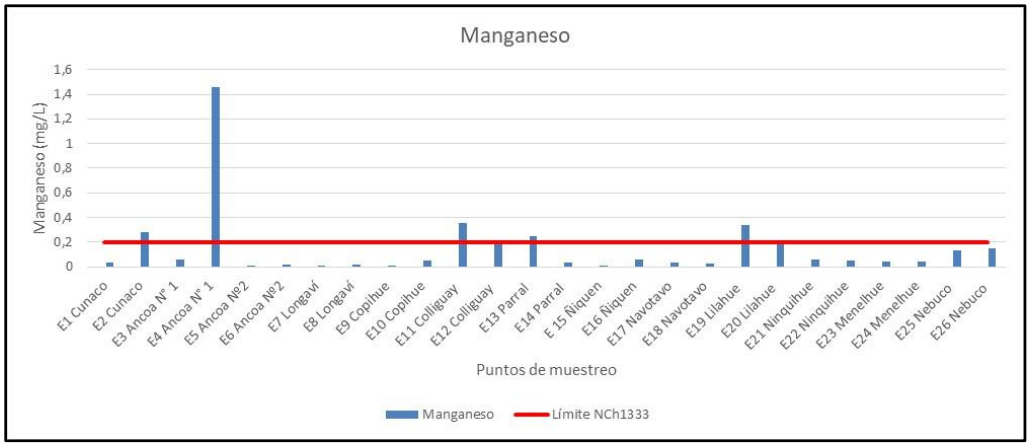


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de manganeso fueron todas detectadas con un total de cuatro puntos que superaron los límites permitidos por la norma referencial NCh1333 (0,2 mg/L) y tres puntos al límite de superación. Los cauces que presentaron altas concentraciones fueron los siguiente: estero Tornicura en puente Cunaco en E2 con 0,28 (mg/L), le sigue el estero Colliguay en puente homónimo en E11 con 0,35 (mg/L). Las estaciones tendenciales a superar el límite de la norma referencial fueron E12, Colliguay con 0,2,2 (mg/L), estero Parral en E13 con 0,25 (mg/L) y estero Carbonero en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local en E20 con 0,21 (mg/L). El resto de los valores resultaron bajos fluctuando desde 0,004 (mg/L) para varios cauces hasta 0,15 (mg/L) en río Chillán E25 y E26, puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local).

Gráfico 3- 135: Manganeso total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



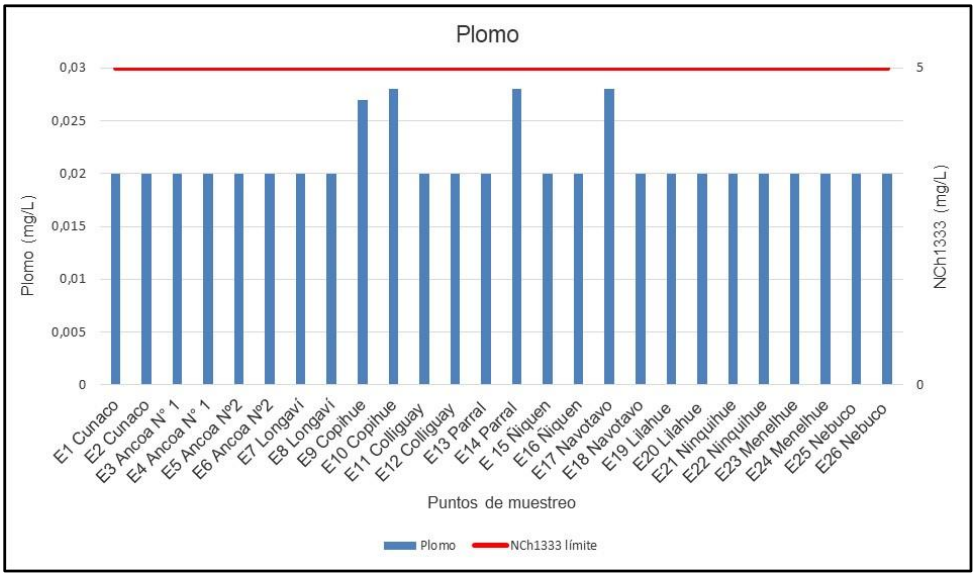
Fuente: ENVIS, 2023.

- Plomo total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de plomo resultaron muy bajas a lo más entre 0,027 (mg/L) a 0,028 (mg/L), en solo cuatro (4) puntos de muestreo en estero Copihue (puente Copihue, E9 y E10); en estero Parral (puente Parral E14) y estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17). El resto de las estaciones se presentaron <LD (0,02 mg/L). Ninguna de las estaciones superó el límite de permitido por la norma referencial NCh1333 (5 mg/L), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 136: **Plomo total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.**

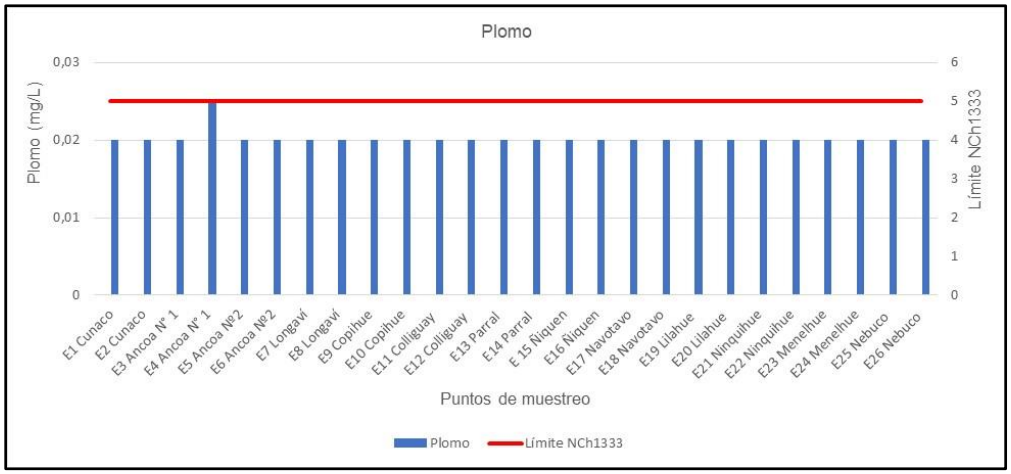


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de plomo resultaron muy bajas en los puntos de muestreo, <LD (0,027 mg/L) de la metodología aplicada. La única excepción fue en puente E4 Ancoa N°1 con 0,03 (mg/L). Todos los puntos bajo el límite requerido por la NCh1333 uso regadía (5 mg/L).

Gráfico 3- 137: Plomo total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



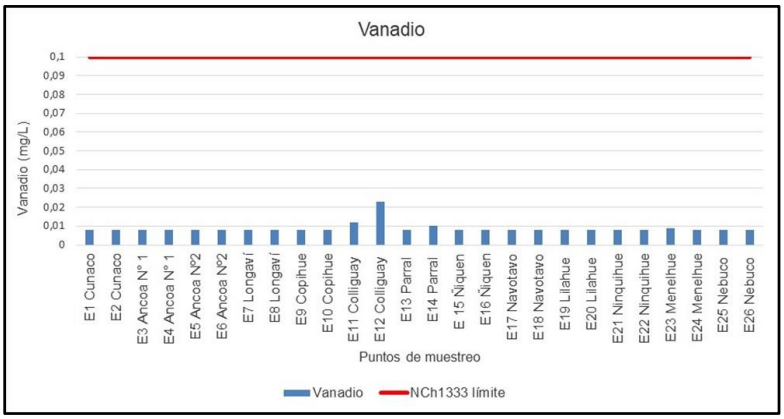
Fuente: ENVIS, 2023.

- Vanadio total (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de vanadio resultaron muy bajas, todos los puntos de muestreo se presentaron <LD (0,008 mg/L). Sólo fue detectado en el estero Colliguay (puente Colliguay, E12), sin superar el límite permitido por NCh1333 para uso de regadío (0,1 mg/L), ver siguiente gráfico.

Gráfico 3- 138: Vanadio total (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

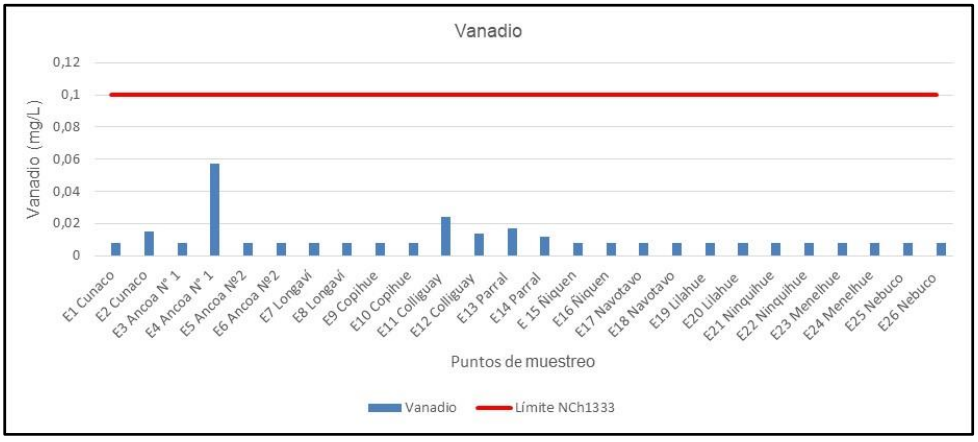


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de vanadio resultaron muy bajas, la mayoría de los puntos de muestreo se presentaron <LD (0,008 mg/L). Las excepciones fueron seis estaciones, destacando los valores en E4, puente Ancoa N°1 con 0,6 (mg/L). Todos los valores resultaron bajo el límite permitido por la NCh1333 para uso de regadío (0,1 mg/L).

Gráfico 3- 139: Vanadio total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

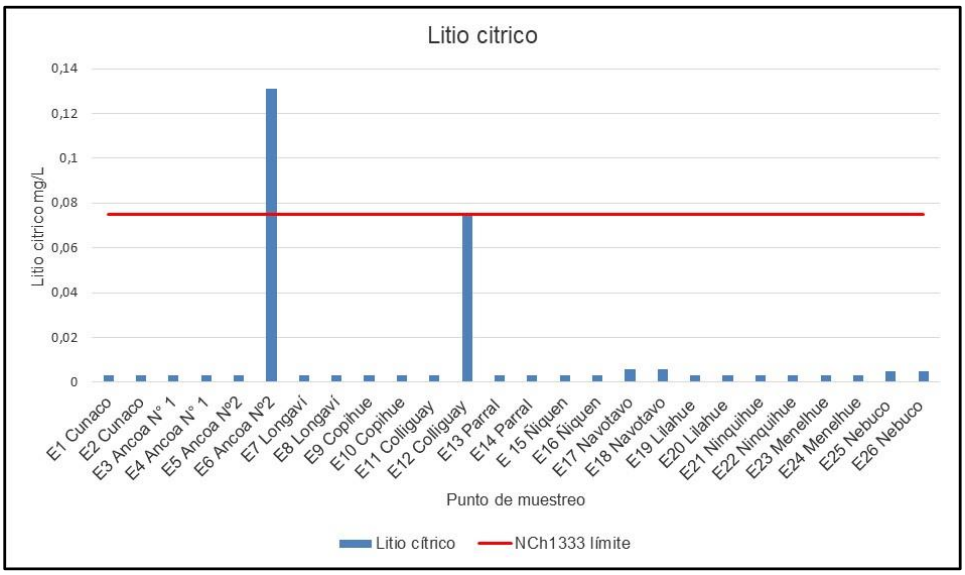
- Litio cítrico (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de litio cítrico resultaron en su mayoría muy bajas, <LD (0,003 (mg/L). Sólo fueron detectadas en seis puntos de muestreo, cuatro (4) de ellos presentaron valores bajo el límite permitido por la NCh1333 para uso de regadío (0,075 mg/L), que fueron estero Coche Pérez con una concentración de 0,006 (mg/L) asociado al puente Navotavo (E17 y E18) y el río Chillán con 0,005 (mg/L) correspondiente al puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local (E25 y E26). Sin embargo, se destacaron dos puntos de muestreo por su alta concentración, el primero con 0,131 (mg/L) en el río Ancoa (puente Ancoa 2, E6) que superó el límite de la NCH1333, y el segundo en el estero Colliguay con 0,075 (mg/L)

correspondiente al puente Colliguay (E12) que sin superar la norma presentó el mismo valor permitido por esta, ver gráfico siguiente:

Gráfico 3- 140: Litio cítrico (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

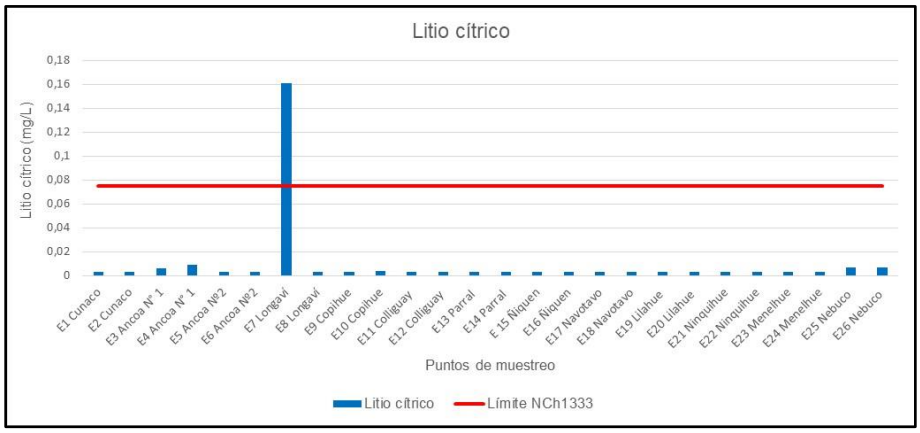


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de litio cítrico resultaron en su mayoría muy bajas, <LD (0,003 (mg/L). La mayor concentración resultó en el río Longaví en E7 con 0,161 (mg/L), que fue el único caso considerando todos los cauces en que el valor superó el límite permitido por la NCh1333 para uso regadío (0,075 mg/L).

Gráfico 3- 141: Litio cítrico total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



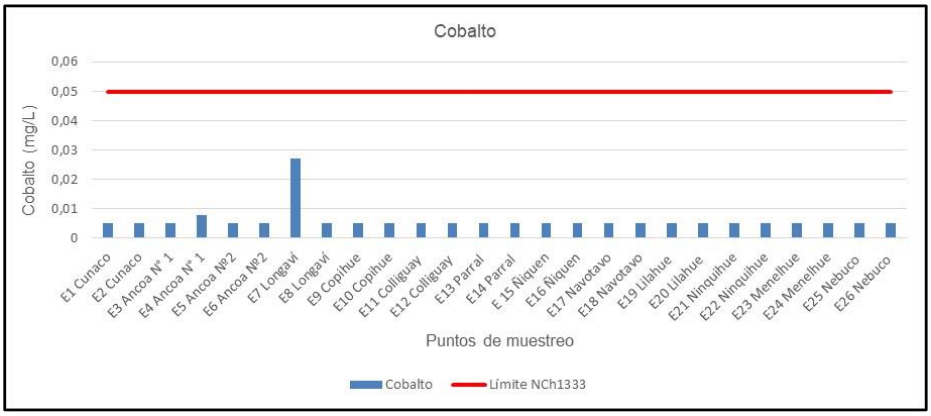
Fuente: ENVIS, 2023.

- Cobalto, (mg/L)

Otoño, 2023

Las concentraciones de cobalto resultaron en su mayoría muy bajas, <LD (0,005 (mg/L). Los mayores valores, corresponden a dos cauces, el primero en río Ancoa en puente Ancoa N° en E4 con 0,008 (mg/L) y finalmente en río Longaví con 0,027 (mg/L) en E7. Todos los valores bajo los límites permitido por la NCh1333 uso regadío (0,05 mg/L).

Gráfico 3- 142: Cobalto total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



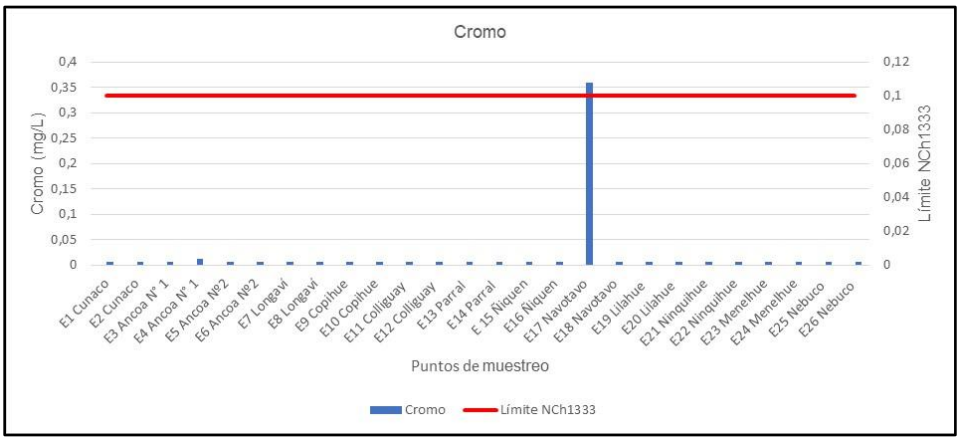
Fuente: ENVIS, 2023.

- Cromo (mg/L)

Otoño 2023

Los valores de cromo resultaron la mayoría <LD (0,005 mg/L) de acuerdo con la metodología aplicada. Hubo un tramo en que fue posible detectar la concentración de cromo, en puente Ancoa N°1 en río Ancoa con 0,011 (mg/L), e incrementó el valor a 0,36 (mg/L) en estero Coche Pérez, puente Navotavo, donde fue el único caso en que se superó el valor permitido por la NCh1333 uso regadío (0,1 mg/L).

Gráfico 3- 143: Cromo total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



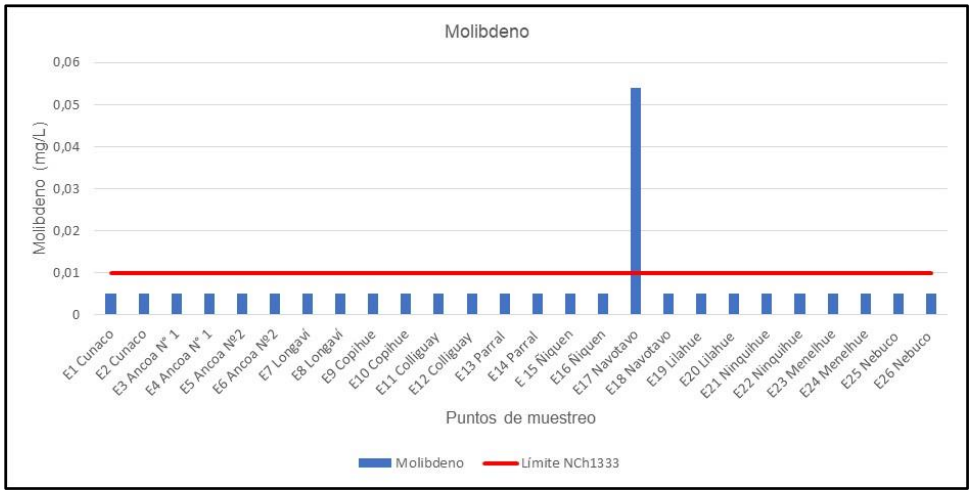
Fuente: ENVIS, 2023.

- Molibdeno (mg/L)

Otoño 2023

Los valores de molibdeno resultaron la mayoría <LD (0,005 mg/L) de acuerdo con la metodología aplicada. Hubo sólo un tramo posible de detectar su concentración, en E17 Navotavo con 0,054 (mg/L), único caso donde se superó el valor permitido por la NCh1333 uso regadío (0,01 mg/L).

Gráfico 3- 144: Molibdeno total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.



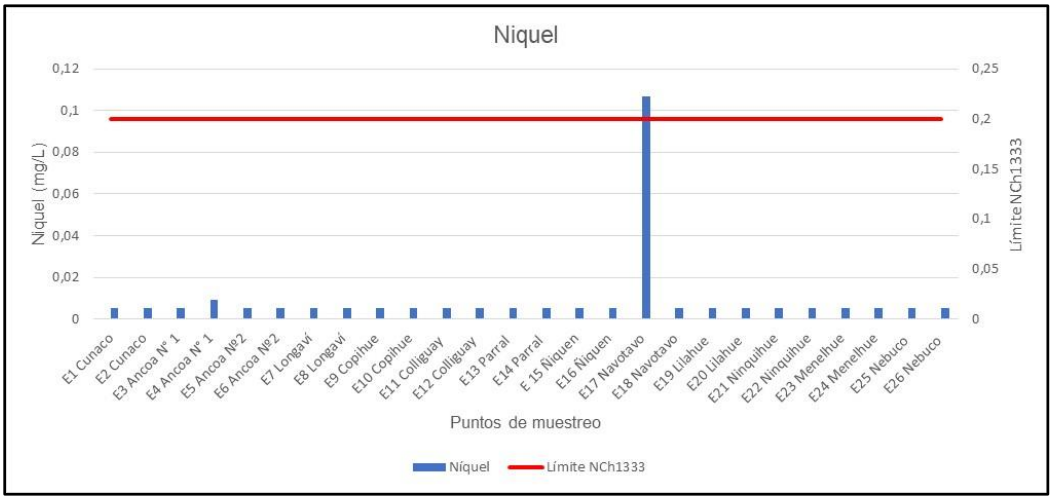
Fuente: ENVIS, 2023.

- Níquel (mg/L)

Otoño 2023

Los valores de níquel resultaron en su mayoría <LD (0,005 mg/L) de acuerdo con la metodología aplicada. Hubo sólo dos tramos en que fue posible detectar su concentración, en puente Ancoa N°1 en río Ancoa con 0,009 (mg/L), para finalmente incrementar el valor a 0,107 (mg/L) en estero Coche Pérez, puente Navotavo E17, para este último caso, fue el único caso donde se superó el valor permitido por la NCh1333 uso regadío (0,2 mg/L).

Gráfico 3- 145: Níquel total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



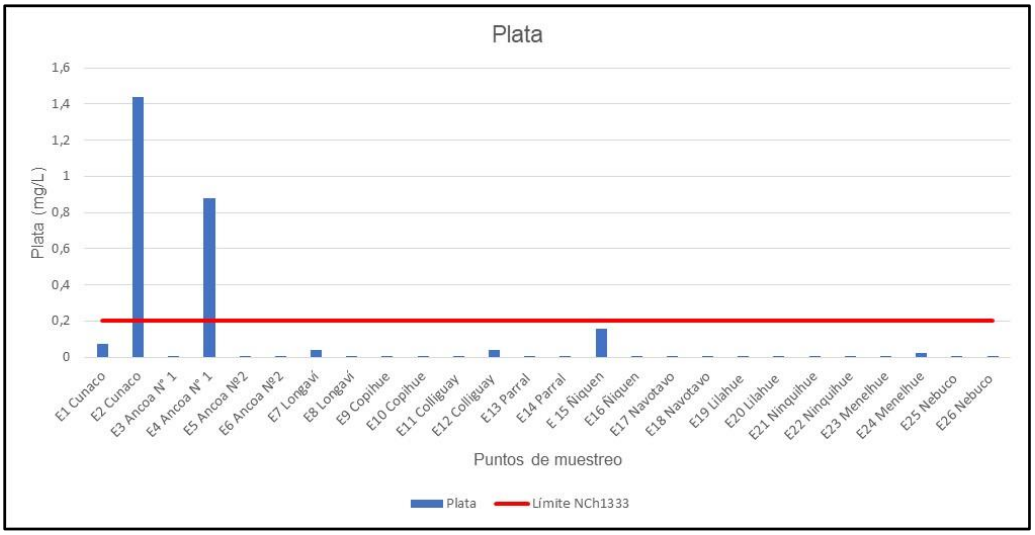
Fuente: ENVIS, 2023.

- Plata (mg/L)

Otoño 2023

Los valores de plata en su mayoría resultaron <LD (0,002 mg/L) de acuerdo con la metodología aplicada. Los valores detectados fluctuaron entre 0,003 (mg/L) en varios tramos a 0,07 (mg/L) con rangos bajo el límite permitido por la NCh1333 uso regadío (0,2 mg/L). Hubo dos excepciones con valores altos por sobre la NCH1333, que fueron en E2 puente Cunaco, estero Tornicura con 1,44 (mg/L) y en E4 puente Ancoa N°1 en río Ancoa con 0,88 (mg/L).

Gráfico 3- 146: Plata total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

- Metales totales < LD

Entre los metales hubo varios casos que resultaron con concentraciones < LD, por lo que no fue posible determinar su concentración bajo la metodología analítica aplicada.

Primavera 2022

Para la campaña de primavera no fue posible la detección de los siguientes metales indicados: berilio Be, cadmio Cd, cobalto, cromo Cr, mercurio Hg, molibdeno Mo, níquel Ni, plata Ag y selenio Se, ver tabla siguiente.

Tabla 3- 79: Metales bajo el límite de detección (LD), primavera 2022.

Punto muestreo	Metal	Berilio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Mercurio	Molibdeno	Níquel	Plata	Selenio
	Símbolo	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Mo	Ni	Ag	Se
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	NCH1333	0,1	0,01	0,05	0,1	0,001	0,01	0,2	0,2	0,02
	Cauce									
E1	Estero Tornicura	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E2	Estero Tornicura	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	0,019	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E3	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E4	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E5	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E6	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	0,008	< 0,005
E7	Río Longaví	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E8	Río Longaví	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E9	Estero Copihue	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E10	Estero Copihue	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E11	Estero Colliguay	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E12	Estero Colliguay	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E13	Estero Parral	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E14	Estero Parral	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E15	Río Ñiquén	< 0,001	0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E16	Río Ñiquén	0,001	0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005

Punto muestreo	Metal	Berilio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Mercurio	Molibdeno	Níquel	Plata	Selenio
	Símbolo	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Mo	Ni	Ag	Se
	Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	NCH1333	0,1	0,01	0,05	0,1	0,001	0,01	0,2	0,2	0,02
	Cauce									
E17	Estero Coche Pérez	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E18	Estero Coche Pérez	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E19	Estero Carbonero	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E20	Estero Carbonero	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E21	Estero Lirutao	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E22	Estero Lirutao	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E23	Estero Rauco	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E24	Estero Rauco	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E25	Río Chillán	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005
E26	Río Chillán	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,002	< 0,005

Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Para la campaña de otoño no fue posible la detección de los siguientes metales indicados: berilio Be, cadmio Cd, mercurio Hg, y selenio Se, ver tabla siguiente.

Tabla 3- 80: Metales bajo el límite de detección (LD), otoño 2023.

Punto muestreo	Metal	Berilio	Cadmio	Mercurio	Selenio
	Símbolo	Be	Cd	Hg	Se
	Unidad	mg Be/L	mg Cd/L	mg Hg/L	mg Se/L
	NCh1333	0,1	0,01	0,001	0,02
	Cauce				
E1	Estero Tornicura	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E2	Estero Tornicura	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E3	Rio Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E4	Rio Ancoa	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,005
E5	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E6	Río Ancoa	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E7	Río Longaví	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E8	Río Longaví	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E9	Estero Copihue	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E10	Estero Copihue	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E11	Estero Colliguay	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E12	Estero Colliguay	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E13	Estero Parral	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E14	Estero Parral	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E15	Río Ñiquén	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E16	Río Ñiquén	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E17	Estero Coche Pérez	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E18	Estero Coche Pérez	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E19	Estero Carbonero	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E20	Estero Carbonero	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E21	Estero Lirutao	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E22	Estero Lirutao	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E23	Estero Rauco	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005
E24	Estero Rauco	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005

Punto muestreo	Metal	Berilio	Cadmio	Mercurio	Selenio
	Símbolo	Be	Cd	Hg	Se
	Unidad	mg Be/L	mg Cd/L	mg Hg/L	mg Se/L
	NCh1333	0,1	0,01	0,001	0,02
	Cauce				
E25	**Río Chillán**	< 0,001	0,001	< 0,001	< 0,005
E26	**Río Chillán**	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,005

Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.3.2.3 Evaluación de Variables de Trofía

Se analizó la condición de trofía, considerando las variables de nutrientes nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT). Se compararon los resultados con los rangos de valores señalados por Smith *et al*. (1999) con el propósito de clasificar el estado trófico del ecosistema involucrado.

A continuación, se exponen las especies químicas que contribuyen al Nitrógeno total y posteriormente la aplicación de los rangos de trofía para los nutrientes.

1. Nitrógeno total

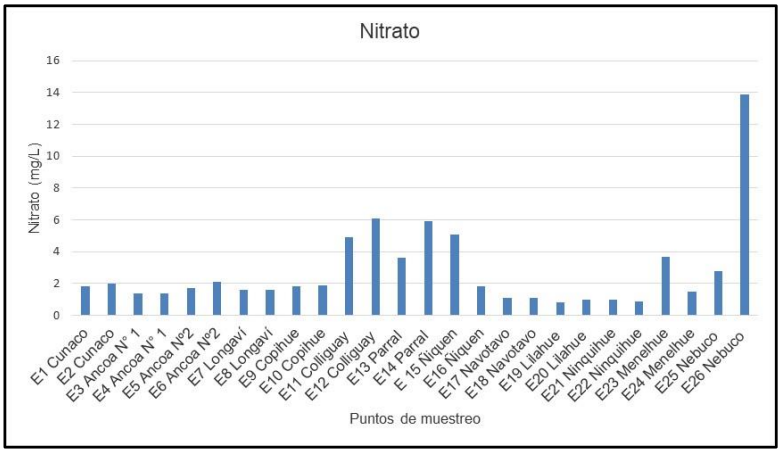
Se indican las especies químicas de nitrógeno que componen el nitrógeno total presente en cada uno de los cauces analizados:

- Nitrato (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de nitrato fueron variables la mayoría de ellas bajo los cuatro (4) (mg/L), a excepción a cuatro (4) cauces que fluctuaron desde 4,9 (mg/L) a 6,1 (mg/L) localizados en estero Colliguay (puente Colliguay E11 y E12), estero Parral (puente Parral, E14) y río Ñiquén (puente Ñiquén, E15). Se destaca el río Chillán (en puente Nebuco Oriente, E25) donde incrementó la concentración de nitrato a 13,9 (mg/L), ver siguiente gráfico:

Gráfico 3- 147: Nitrato (mg/L) por punto de muestreo, primavera 2022.

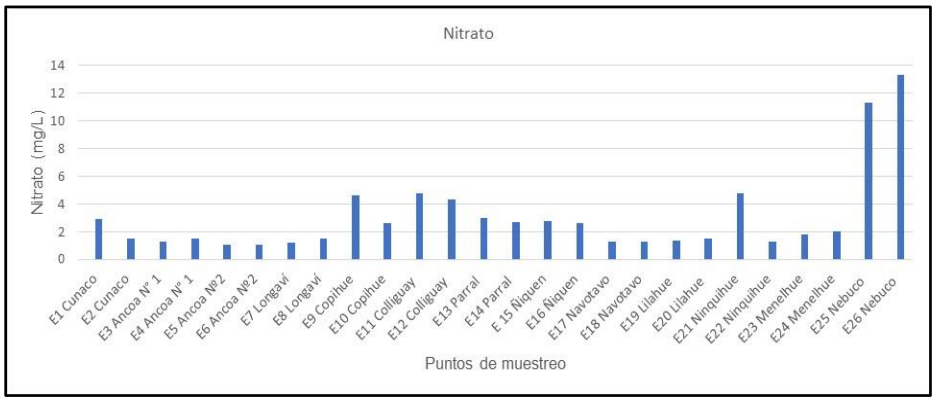


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de nitrato fueron variables la mayoría de ellas bajo los 3 (mg/L), para luego incrementar en E12 estero Colliguay con 4,3 (mg/L) seguido de E9 estero el Membrillo en puente Copihue con 4,6 (mg/L), para posteriormente incrementar considerablemente a 11 (mg/L) e incluso a 13 (mg/L) en el río Chillán en E25 y E26 en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local).

Gráfico 3- 148: Nitrato total (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023.



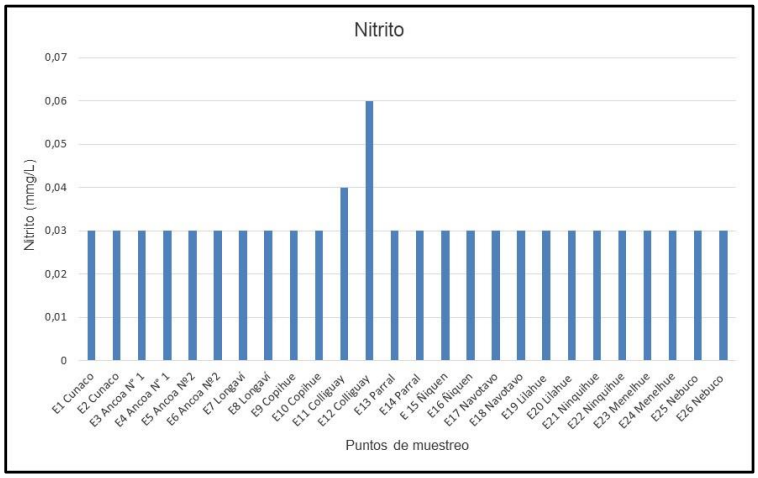
Fuente: ENVIS, 2023.

- Nitrito (mg/L)

Primavera 2022

Las concentraciones de nitrito fueron muy bajas la mayoría <LD (0,03 mg/L), a excepción del estero Colliguay (puente Colliguay), único cauce donde fue posible detectar su concentración, siendo de 0,04 (mg/L) y 0,06 (mg/L) en los puntos de muestreo E11 y E12 respectivamente (ver Gráfico siguiente):

Gráfico 3- 149: Nitrito (mg/L) por punto de muestreo.



Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Las concentraciones de nitrito fueron muy bajas, todas las estaciones de muestreo presentaron valores <LD (0,03 mg/L).

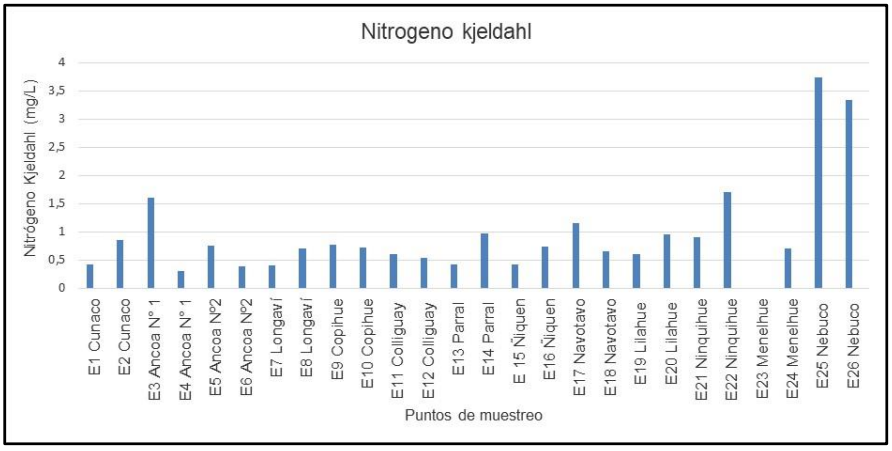
- Nitrógeno Kjeldahl (mg/L)

Primavera 2022

La mayoría de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl resultaron <1 (mg/L), a excepción de río Achibueno con 1,61 (mg/L) puente Ancoa 1 (E3), estero Coche Pérez con 1,15 (mg/L) en puente Navotavo (E17) y en estero Lirutao con 1,7 (mg/L) en puente Ninquihue (E22). Luego

incrementó considerablemente la concentración para el río Chillán entre 3,34 a 3,74 (mg/L) en puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y Calle Local (E25 y E26), ver gráfico siguiente:

Gráfico 3- 150: Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) por punto de muestreo.

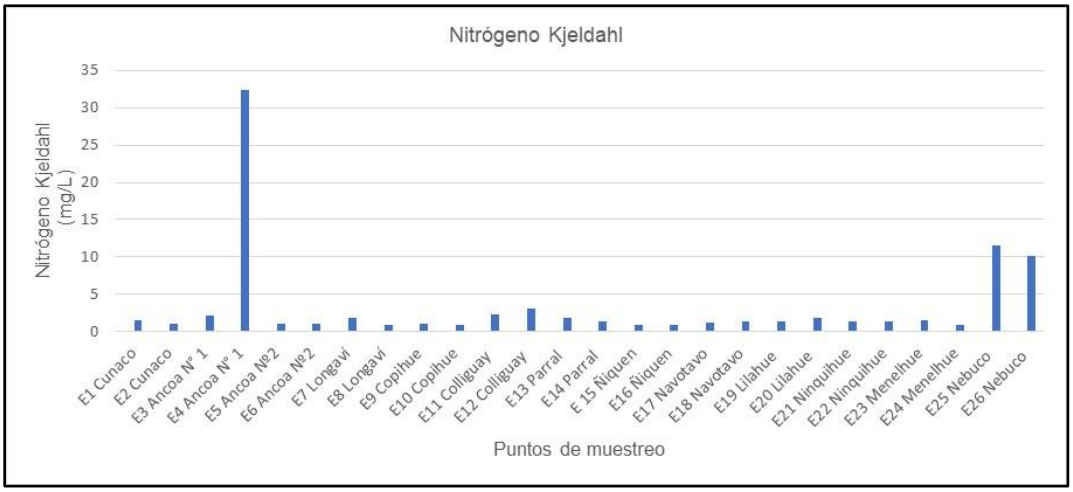


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

La mayoría de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl se determinaron bajo 2 (mg/L), a excepción de tres cauces, en E4 rio Achibueno puente Ancoa N°1 y un incremento sustancialmente en río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con 11,6 (mg/L) a 10 (mg/L) para E25 y E26.

Gráfico 3- 151: Nitrógeno Kjeldahl (mg/L) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

2. Evaluación de trofía

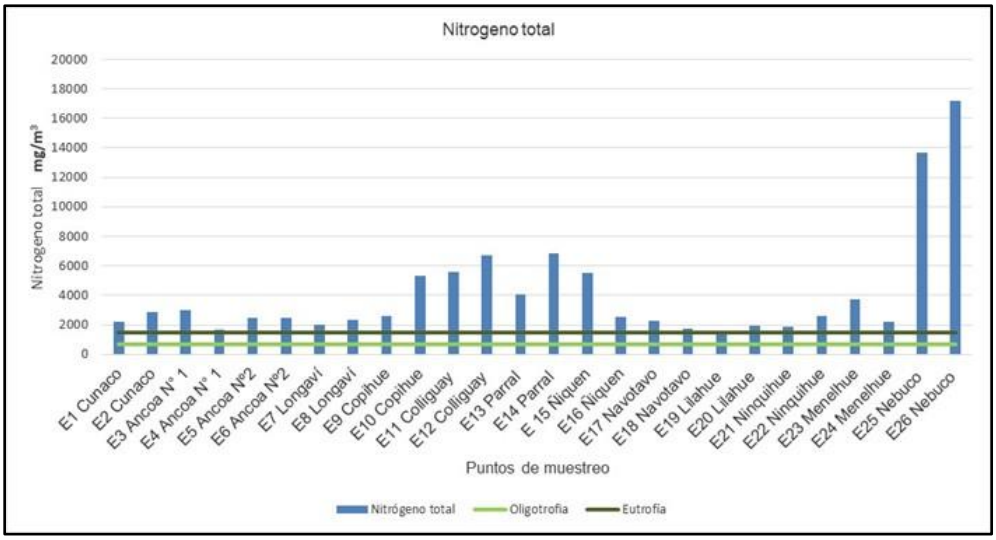
- Nitrógeno total (mg/m³)

Se valoró el nitrógeno total determinando la concentración de las diversas especies de nitrógeno presentes en la columna de agua, que fueron nitrógeno Kjeldahl (nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrito y nitrato.

Primavera 2022

De acuerdo con la concentración de nitrógeno total, todos los puntos de muestreo clasificaron en condición de eutrofia, alta concentración de nitrógeno total por sobre los 1500 (mg/m³), a excepción de una concentración que clasificó en condición de mesotrofía, el estero Carbonero con 1410 (mg/m³) en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (E19), ver gráfico siguiente:

Gráfico 3- 152: Nitrógeno total (mg/m^3) por punto de muestreo, primavera 2022.



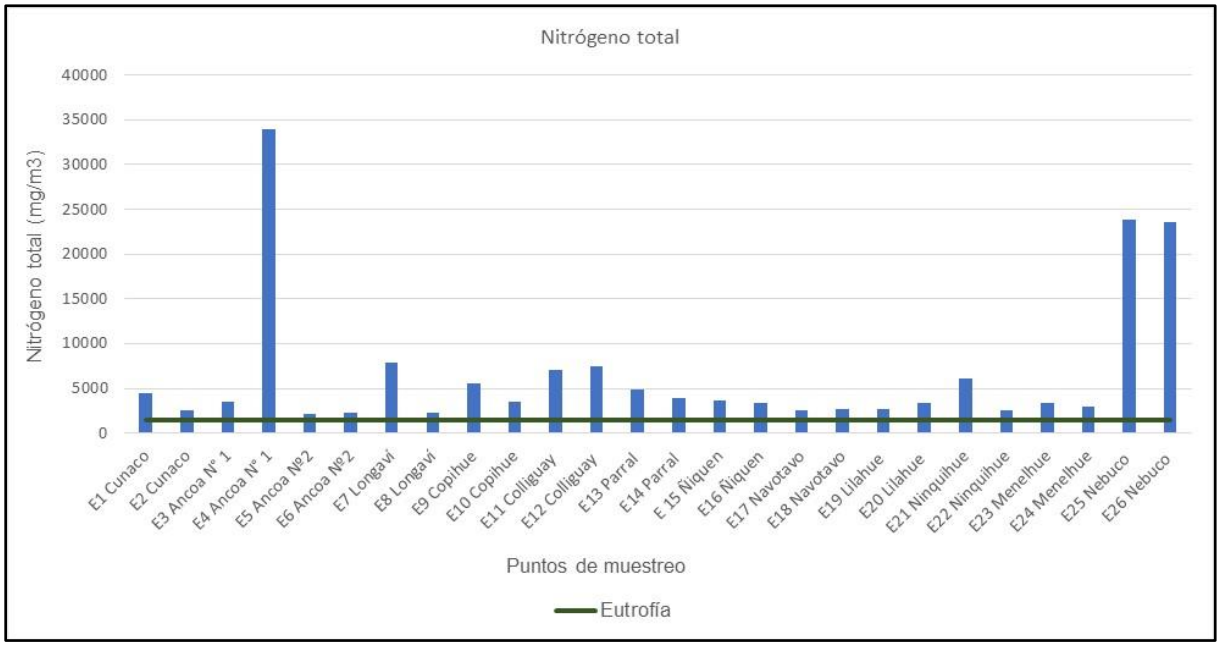
Clasificación	Oligotrofia	Mesotrofia	Eutrofia
Nitrógeno total (mg/m³)	< 700	700 – 1.500	> 1.500

Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Todos los puntos de muestreo presentaron concentraciones sobre 2000 (mg/m3), lo cual los clasifica a todos en condición de eutrofia según Smith, *et al* 1999 (1500 mg/m3). Más aún se puede observar tres cauces con una mayor concentración que ya sería una condición de hipereutrofía. Tal es el caso de E4, en río Ancoa en puente Ancoa N°1 con 33.990 (mg/m3), luego en E25 y E26 en río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) entre 23.600-23.800 (mg/m^3).

Gráfico 3- 153: Nitrógeno total (mg/m3) por punto de muestreo, otoño, 2023



Clasificación	Oligotrofia	Mesotrofia	Eutrofia
Nitrógeno total (mg/m³)	< 700	700 – 1.500	> 1.500

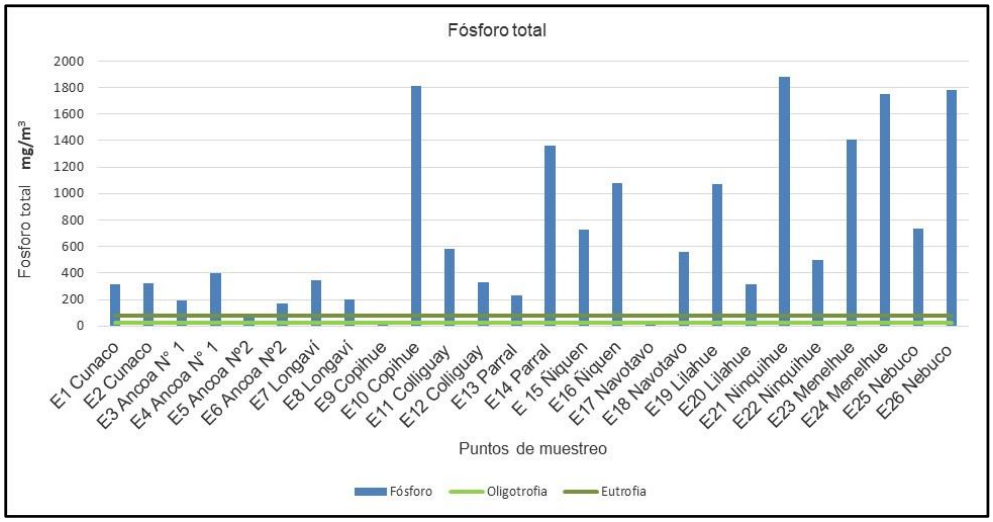
Fuente: ENVIS, 2023.

- Fósforo total (mg/m³)

Primavera 2022

Se valoró el fósforo total, y todos los puntos de muestreo clasificaron en condición de eutrofia, alta concentración de fósforo total por sobre los 75 (mg/m³). Esta condición cambió para dos (2) cauces donde la concentración fue < LD (0,003 mg/L). Los cauces fueron el estero Membrillo (puente Copihue E9) y estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17), que clasificaron en condición de oligotrofia (< 25 mg/m³), ver gráfico siguiente:

Gráfico 3- 154: Fósforo total (mg/m^3) por punto de muestreo, primavera 2022.



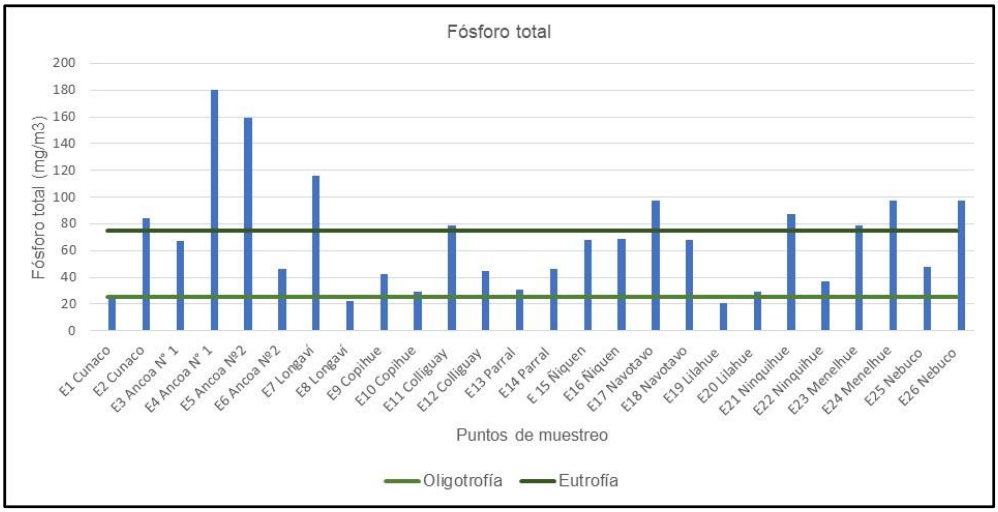
Clasificación	Oligotrofia	Mesotrofia	Eutrofia
Fósforo total (mg/m^3)	< 25	25 - 75	> 75

Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Se valoró el fósforo total, y se observó que se presentaron todos los niveles de trofía. En tres cauces se presentó una condición de oligotrofia (25 mg/m3), que fueron en puente Cunaco en estero Tornicura en E1 con justo 25 (mg/m3), en E8 río Longaví con 22 (mg/m3) y en E19 estero Carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local con 21 (mg/m3). Para el caso de mesotrofía (25-75 mg/m3), se presentaron la mayoría de los puntos de muestreo fluctuando entre 29 (mg/m3) a 69 (mg/m3) en E15 y E16 en río Ñiquén puente homónimo. Para las mayores concentraciones en condición de eutrofia (> 75 mg/m3), se detectaron una serie de cauces, con concentraciones que fluctuaron entre 79 (mg/m3) en E11 estero Colliguay puente homónimo a 97 (mg/m3) en E24 en estero Rauco puente Menelhue y en E6 río Chillán, puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local); luego incrementó por sobre 100 (mg/m3), en E7 río Longaví, río Ancoa en Ancoa N° 1 y 2 en E4 y E5.

Gráfico 3- 155: Fósforo total (mg/m3) por punto de muestreo, otoño 2023.



Clasificación	Oligotrofia	Mesotrofia	Eutrofia
Fósforo total (mg/m³)	< 25	25 - 75	> 75

Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.3.3 Caracterización – evaluación de sedimentos

3.2.2.1.3 Composición de sedimentos

Los sedimentos son parte constituyente del recurso natural renovable (suelo), formado por componentes orgánicos y minerales, donde se manifiestan procesos de tipo fisicoquímico-biológico, y constituyen sustrato y hábitat de comunidades bentónicas (SEA, 2015).

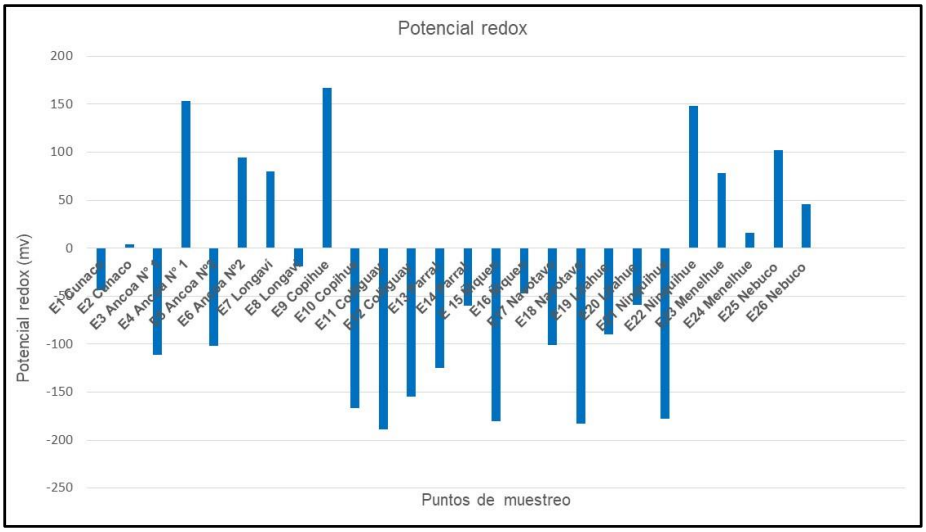
Se caracterizaron los sedimentos mediante análisis de macroelementos, aceites y grasas, hidrocarburos, metales totales, humedad, materia orgánica y granulometría que se exponen a continuación.

1. Potencial redox (mv)

Se registró el potencial redox (mv) como parámetro indicador del estado oxidativo de los sedimentos. En el grafico siguiente se muestra que la mayoría de los cauces indicaron un pot.

redox negativo, reflejando una condición reductora. Los sedimentos con Pot. redox positivo reflejan una condición oxidativa con un total de diez (10) cauces, donde se destacaron los que resultaron con un valor mayor a 150 mv. Estos fueron tres cauces, en rio Achibueno, puente Ancoa N° 1 con 153 (mv), en estero Membrillo E9 puente Copihue con 167 (mv) y en estero Lirutao E22 puente Ninquihue con 148 (mv).

Gráfico 3- 156: Potencial redox (mv) de sedimentos por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

2. Macroelementos

Los macroelementos se refieren a los componentes iónicos sodio, potasio, magnesio y calcio. En el gráfico siguiente, se observa que la concentración mayoritaria corresponde al ion calcio seguido de magnesio, posteriormente potasio y sodio.

En general las concentraciones de calcio fluctuaron entre valores más bajos se encuentra río Longaví (E7) con 5177 (mg/kg), seguido de 5269 (mg/kg) en estero Tornicura, puente Cunaco en E1, seguido de estero Cochepérez en Navotavo con 5398 (mg/kg) en E20 a sobre 6000 (mg/kg) para E19 en estero Carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local y río Chillán en Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (E25). Particularmente hubo un gran incremento en rio Ancoa en E3 Ancoa 1 con 9.917 y en E5 Ancoa N°2, con 16.888 (mg/kg).

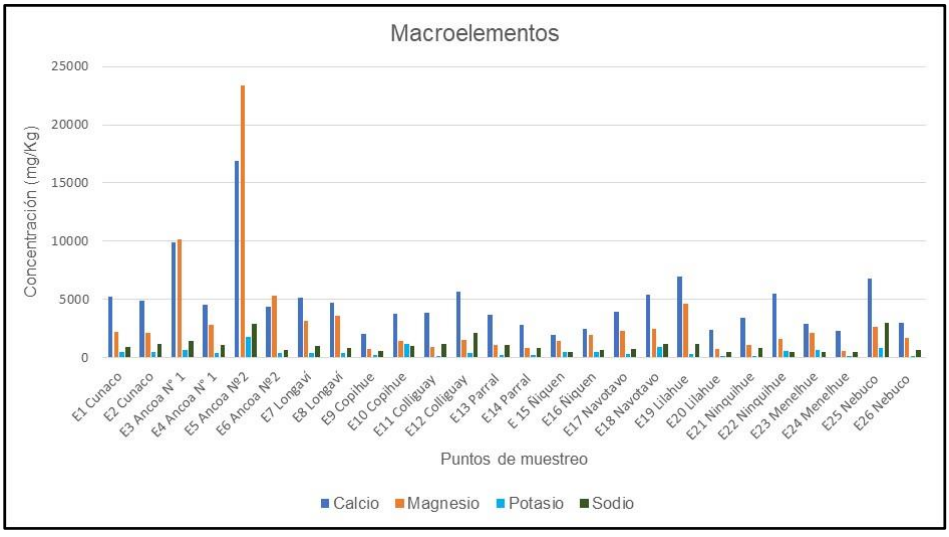
Para el ion magnesio las fluctuaciones observadas son a partir de 580 (mg/kg) no superando los 950 (mg/kg), para los cauces estero el Copihue en puente Copihue (E9), estero Colliguay en E11,

estero Parral en E16, en estero carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (E20) y en estero Rauco en puente Menelhue Poniente (E26). Luego hubo un incremento a lo más de 4.621 (mg/kg), en estero Carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (E19) y 5.282 en río Ancoa puente Ancoa N°2 Oriente (E6). Similar a Calcio hubo dos incrementos muy significativos en río Ancoa en puente Ancoa N°1 Oriente (E3) y Ancoa N°2 (E5) con 10.185 (mg/kg) y 23.369 (mg/kg), respectivamente.

Para el ion potasio la mayoría de las estaciones presentaron una concentración bajo los 1000 (mg/kg), a partir de 150 (mg/kg) en estero Carbonero (E20) puente Navotavo. Posteriormente en forma particular se observó mayor incremento en sólo dos cauces con 1.171 (mg/kg) para puente Copihue (E10) en estero Copihue y 1.764 (mg/kg) en río Ancoa en puente Ancoa N°2 (E 5).

Para el ion sodio hubo también la mayoría de los cauces bajo los 1000 (mg/kg), fluctuando desde 456 (mg/kg) en E24 puente Menelhue, estero Rauco hasta 913 (mg/kg) en E1, puente Cunaco en estero Tornicura. Posteriormente un menor número de cauces con concentraciones mayores desde 1027 (mg/kg) en río Longaví (E9), hasta 2092 (mg/kg) en E12, estero Colliguay puente homónimo.

Gráfico 3- 157: Macroelementos (mg/kg) por estación de muestreo, otoño 2023

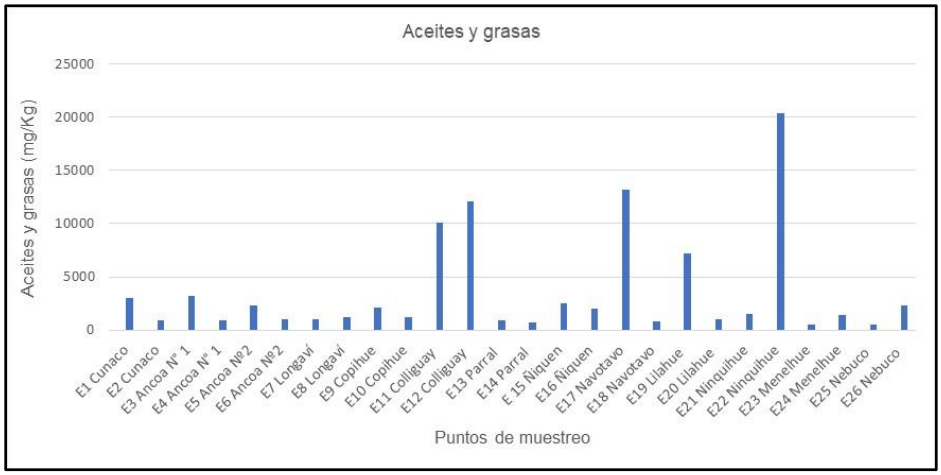


Fuente: ENVIS, 2023.

3. Aceites y grasas

En general las concentraciones de aceites y grasas presentaron una amplia variabilidad de concentraciones, con valores bajo los 1000 (mg/kg), a partir de 500 (mg/kg) en río Chillán puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (E25 y E26) a 978 (mg/kg) para rio Ancoa en puente Ancoa N° 1 (E3). Luego incrementó a partir de 1268 (mg/kg) en E10 puente Copihue estero El Copihue, y 7.240 (mg/kg) en E19 y 20 puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local en estero Carbonero. Particularmente hubo cauces con gran concentración como estero Colliguay en E11 y E12 con 10109 (mg/kg) y 12129 (mg/kg), para finalmente presentar una concentración de 20.344 (mg/kg) en estero Lirutao, puente Ninquihue E22.

Gráfico 3- 158: Aceites y grasas (mg/kg) por estación de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

4. Hidrocarburos

Los hidrocarburos evaluados fueron hidrocarburos fijos, volátiles y totales. La mayor contribución a los hidrocarburos totales fueron los H. fijos, ambas especies de hidrocarburos siguen la misma dinámica de concentraciones.

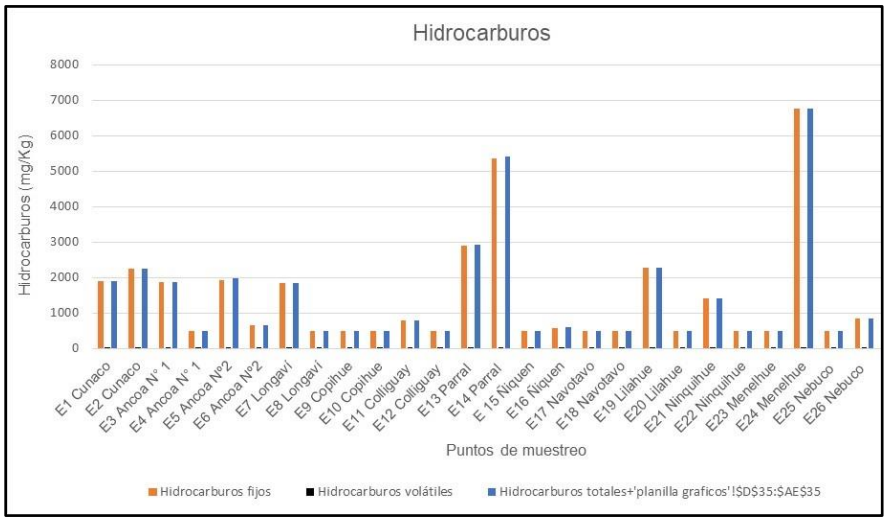
Para los H. fijos y H. totales varios cauces presentaron muy bajas concentraciones <LD de la técnica analítica aplicada (500 mg/kg) por lo cual no fue posible determinar su concentración. Estos fueron tanto para H. fijos y totales en los siguientes cauces: estero Tornicura en puente Cunaco (E2); río Ancoa en puente Ancoa N° 2 (E6), en río Longaví en E7 y E8; en estero El Copihue (E10) puente Copihue; en estero Colliguay (E11); en estero Parral (E13); en río Ñiquén (E15 y E16) y estero Coche Perez en puente Navotavo (E18); en estero Carbonero (E20 y E21) puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local; en estero Lirutao, puente Ninquihue Poniente (E23) en estero Rauco (E24) puente Menelhue Poniente y río Chillán (E25 y E26) puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local).

Las fluctuaciones para H. fijos y totales fueron similares presentando bajo los 1000 (mg/kg), en los siguientes cauces: rio Ancoa en puente Ancoa N° 1 (E4), luego en estero el Copihue (E9) en puente Copihue, luego también en estero Parral (E14), y en E24 correspondiente a estero Rauco en puente Menelhue.

Posteriormente las concentraciones incrementaron entre los 2000 (mg/kg) a 3000 (mg/kg) en estero Colliguay (E11) y E17 en Navotavo Estero Coche Pérez. Luego por sobre 5000 (mg/kg) en Colliguay, E12, y por sobre 6.500 (mg/kg) para Ninquihue en E22, estero Lirutao.

La concentración de hidrocarburos volátiles fue menor también hubo cauce <LD (0,5 mg/kg) en seis (6) de ellos: en estero Tornicura, puente Cunaco (E2); en río Longaví (E7 y E8), en estero Copihue (E9) puente Copihue, en estero Coche Pérez (E17), en estero Carbonero, puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (E20), en estero Rauco (E23 y E24). Luego se incrementó la concentración alcanzando sobre los 10 (mg/kg) para cuatro (4) cauces que fueron: en estero Copihue (E10) en puente Copihue Oriente y Poniente con 14,0 (mg/kg), seguido de río Chillán (E25) puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con 15,3 (mg/kg), luego en E11 estero Colliguay con 24,1 (mg/kg), y finalmente en rio Ancoa en puente Ancoa N° 1 (E3) con 30,7 (mg/kg).

Gráfico 3- 159: Hidrocarburos (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

5. Metales totales en sedimentos

- Metales totales normados

En términos de ecosistema la calidad de sedimentos es importante por su influencia en la calidad de la columna de agua, a través de la interacción interfaz sedimento-agua. Los sedimentos actúan como portadores y posibles fuentes de contaminación, comportándose como un reservorio de contaminantes (FDEP, 1994; Calmano, 1996). Bajo determinadas condiciones físicas y químicas estos pueden tener efectos adversos sobre la biota la cual serviría tanto como bioindicadora, como vehículo de transferencia de compuestos biotóxicos a lo largo de la cadena trófica por el proceso de bioacumulación (U.S. EPA, 1998). En este contexto para algunos metales pesados tóxicos a la biota existe una normativa internacional de referencia “Canadian Council Ministers of the Environmental (CCME), 2016”, que aplica, según dos criterios:

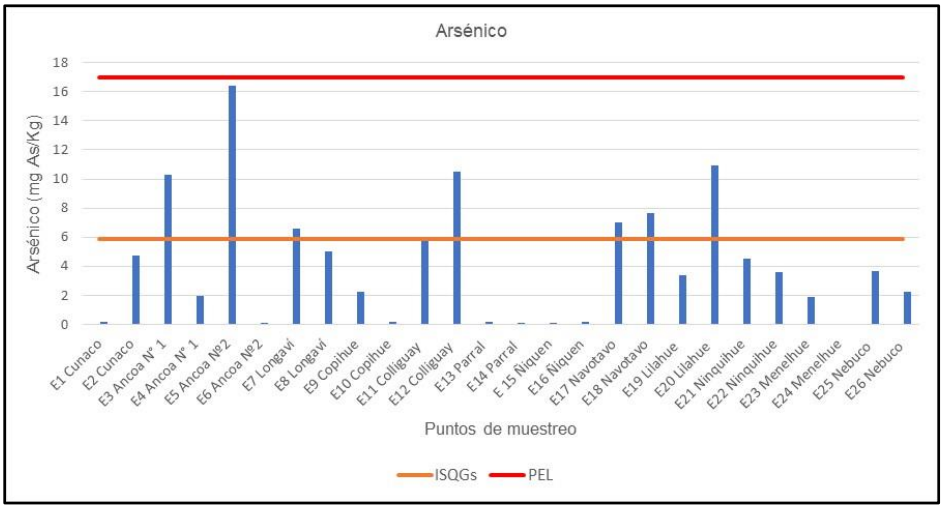
- Concentración límite de metales que establece efectos adversos poco probable, ISQGs (Interim Freshwater Sediment Quality Guideline), sobre la biota.
- Concentración límite de metales que establece efectos adversos de ocurrencia altamente probable sobre la vida acuática, PEL (probable effect level).

La normativa internacional CCME, establece límites para los siguientes metales totales: Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Plomo, Mercurio y Zinc, que se indican a continuación.

Arsénico total (mgAs/kg)

Las concentraciones de arsénico se presentaron desde 0,07 (mgAs/kg), en E24, estero Rauco puente Menelhue, hasta 16,4 (mgAs/kg), en río Ancoa en E5, puente Ancoa N°2. Ninguna de las concentraciones superó el límite para efectos altamente probables PEL (17 mg As/kg). Sin embargo, en seis (6) cauces se logró superar el límite para efectos adversos poco probables ISQGs (0,17 mgAs/kg), que fueron los siguientes: rio Ancoa en E3 (10,3 mg As/kg) puente Ancoa N° 1 y Ancoa N°2 en E5 (16,4 mg As/kg), en río Longaví E7 (6,6 mg As/kg), en estero Colliguay en E11 y E12 (5,9 -10,5 mg As/kg), en estero Coche Pérez, puente Navotavo E18 (7,7 mg As/kg) y en E20 estero Carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (11 mg As/kg).

Gráfico 3- 160: Arsénico, As (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023

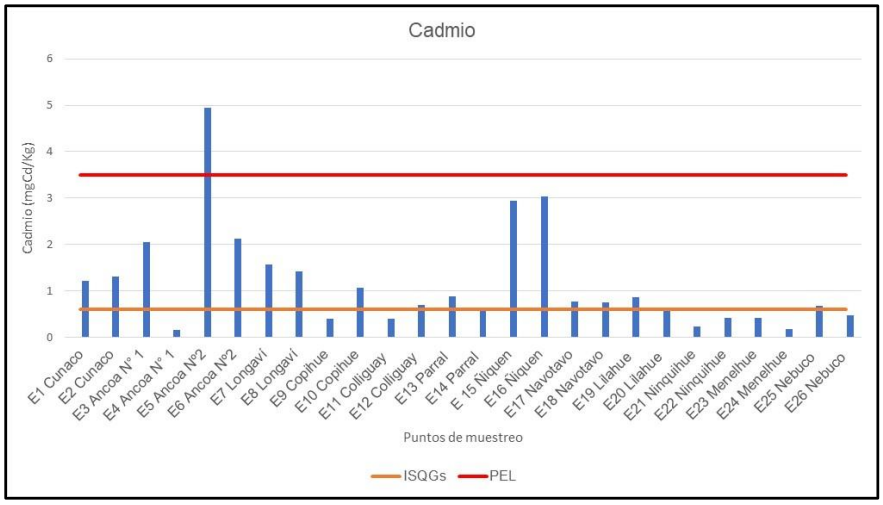


CCME, línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 5,9 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 17 (mg/kg). **Fuente:** ENVIS, 2023.

Cadmio (mgCd/kg)

Las concentraciones de cadmio fluctuaron entre 0,2 (mg Cd/kg) a 5 (mg Cd/kg). Para el primer caso de menores concentraciones se manifestaron en los cauces, rio Ancoa en E4 puente Ancoa N° 1, en E21 estero Lirutao puente Ninquihue y E24 estero Rauco puente Menelhue, y Ancoa N°2. Para el segundo caso de la mayor concentración esta se presentó en E5, rio Ancoa Ancoa N°2, siendo el único caso de alta concentración que incluso logró superar el límite para efectos poco probables ISQGs (0,6 mg Cd/kg). Estos fueron los siguientes: tangencialmente en E2 pues se logró 0,6 (mg Cd/kg), similar a la norma referencial; le siguen estero Tornicura, rio Ancoa, y río Longaví con los puntos de muestreo en puente Cunaco E1 y E2 (1,2-1,3 mg Cd/kg), puente Ancoa N° 1 E3 (2,1 mg Cd/kg), y puente Longaví en E7 y E8 (1,6-1,4 mg Cd/kg). Posteriormente también superó el límite ISQGs en estero Copihue en puente Copihue E10 (1,1 mg Cd/kg), estero Colliguay en E12 (0,7 mg Cd/kg) y estero Parral en E13 (0,9 mg Cd/kg). y en E14 con 0,6 mg Cd/kg), este último al límite de la norma referencial. Le sigue río Ñiquén (E15 y E16 con 2,9-3,0 mg Cd/kg), estero Coche Pérez (E17 y E18 con 0,8 mg Cd/kg), estero Carbonero en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local con 0,9 (mg Cd/kg) y río Chillán en E25 (0,7 mg Cd/kg), en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local).

Gráfico 3- 161: Cadmio, Cd (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023

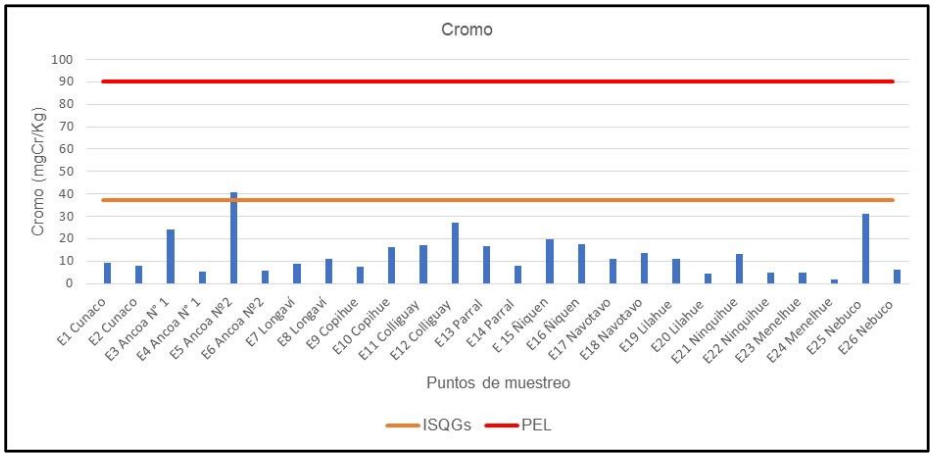


CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 0,6 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 3,5 (mg/kg). **Fuente:** ENVIS, 2023.

Cromo (mgCr/kg)

Las concentraciones de cromo se mantuvieron bajas respecto a la norma referencial CCME, para algún efecto adverso, a excepción de E5 con una concentración de 41,7 (mgCr/kg), donde sobrepasó los límites permitidos, para efecto poco probables para ISQGs (37,3 mgCr/kg). Los valores para los otros puntos de muestreo que no superaron ningún valor de norma referencial fluctuaron entre 1,96 (mgCr/kg) para E24 en estero Rauco puente Menelhue a 30,91 (mgCr/kg) para E25, en río Chillán puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local).

Gráfico 3- 162: Cromo, Cr (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023

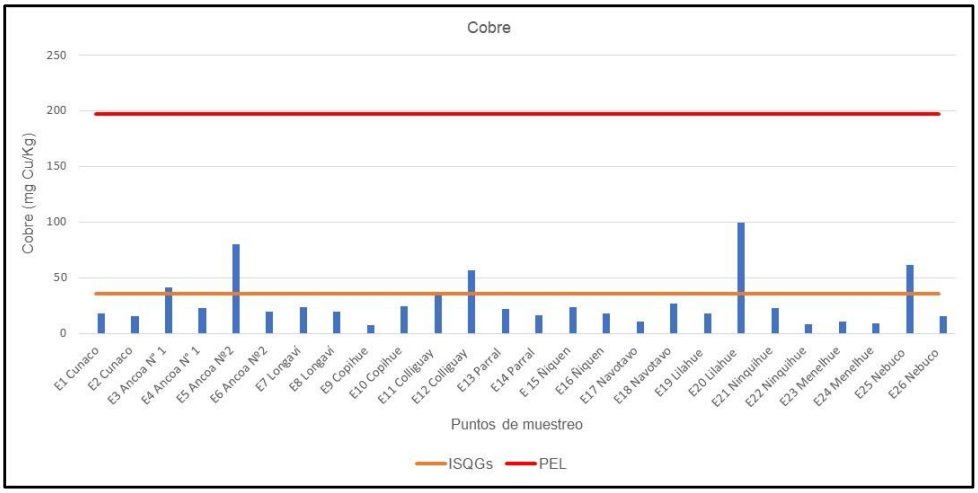


CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso37,3 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 90 (mg/kg). **Fuente:** ENVIS, 2023.

Cobre (mgCu/kg)

Las concentraciones de cobre total fluctuaron entre 8 (mgCu/kg) en estero Membrillo puente Copihue a 99 (mgCu/kg) para E20 estero Carbonero en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local. Los valores fluctuantes no lograron superar las concentraciones para PEL (efectos adversos probables), pero sin embargo hubo varios cauces que superaron el límite permitido de la norma referencial CCME, para ISQGs (35,7 mgCu/kg). Estos fueron las siguientes, estero Colliguay E11 y E12 con valores entre 37 (mgCu/kg) a 57 (mgCu/kg), luego río Ancoa en E3 en puente Ancoa N°2 Oriente (41,65 mgCu/kg) y en E5 (80,6 mgCu/kg), también en E25 (61,6 mgCu/kg) en río Chillán, puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) y finalmente con 99 (mgCu/kg) en E20 estero Carbonero, en puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local.

Gráfico 3- 163: Cobre, Cu (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023



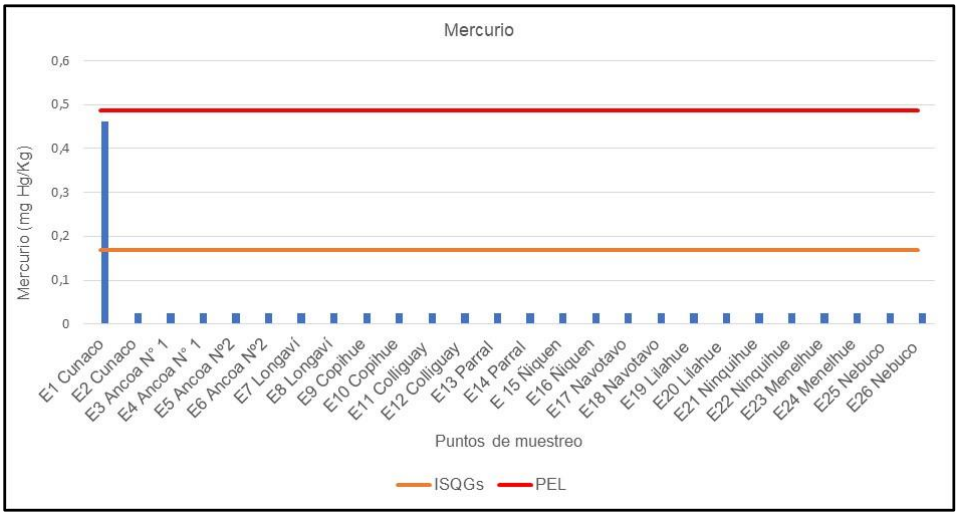
Fuente: ENVIS, 2023.

CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 35,7 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 197 (mg/kg).

Mercurio (mgHg/kg)

Los valores respecto a mercurio total resultaron muy bajos <LD (0,025 mgHg/kg) para todos los puntos de muestreo bajo la técnica analítica ejecutada. Esto significa que los valores no fueron detectados, a excepción de un solo valor en estero Tornicura en puente Cunaco E1 con 0,461 (mgHg/kg). Este valor logró superar el límite de la norma referencial CCME para ISQGs (0,17 mgHg/kg), con efecto adversos poco probables, hay que hacer notar que la concentración resultó ser alta cercana a valores que podrían ser muy perjudiciales de alta ocurrencia (PEL: 0,486 mgHg/kg).

Gráfico 3- 164: Mercurio, Hg (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023

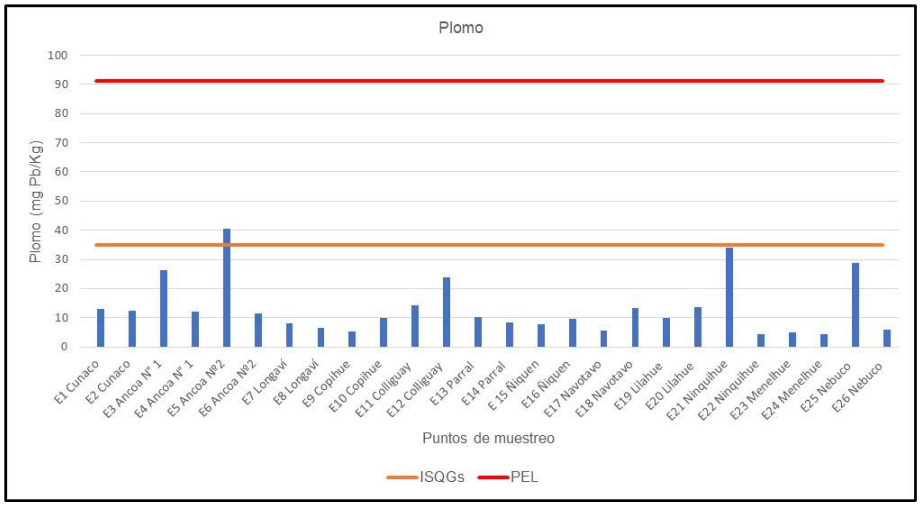


CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 0,17 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 0,486 (mg/kg). **Fuente:** ENVIS, 2023.

Plomo (mgPb/kg)

Las concentraciones de plomo total fueron más bien bajas, la mayoría de los cauces no superaron los 10 (mgPb/kg), los valores bajos fluctuaron desde los 4,25 (mgPb/kg) en puente Ninquihue E22 estero Lirutao. Posteriormente los valores incrementaron para estero Tornicura (E1 y E2) en puente Cunaco (12,54-13,12 mgPb/kg), a concentraciones por sobre 20 (mgPb/kg) en E3 en puente Ancoa N° 1 río Ancoa (26,2 mgPb/kg) E12 en estero Colliguay (24 mgPb/kg), en E21 estero Lirutao (34,1 mgPb/kg) y por último en E25 río Chillán puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) con 29 (mgPb/kg). El mayor valor de concentración fue de 40,4 (mgPb/kg), en río Ancoa puente Ancoa N°2 en E5, lo cual logró superar la norma referencial CCME, para ISQGs (35 mgPb/kg), con efecto adversos poco probables.

Gráfico 3- 165: Plomo, Pb (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023



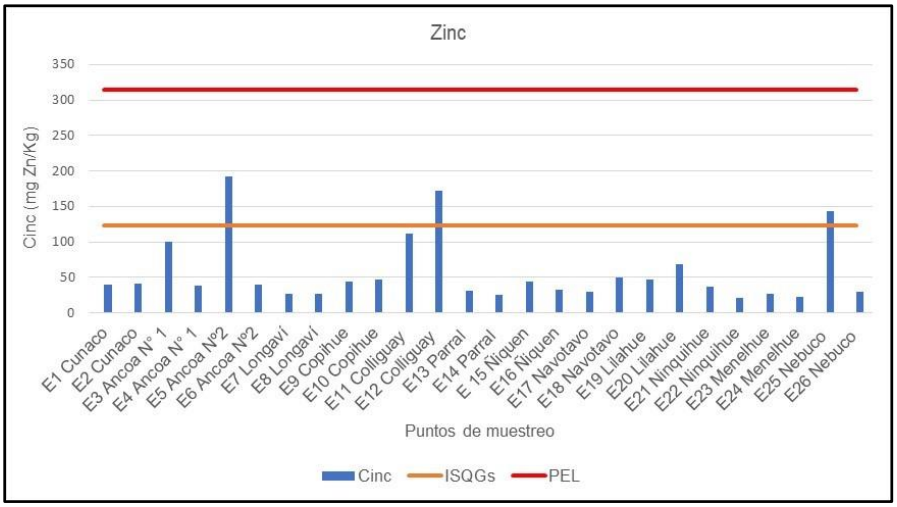
Fuente: ENVIS, 2023.

CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 35 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 91,3 (mg/kg).

Zinc (mgZn/kg)

Las concentraciones de zinc total fueron más bien bajas fluctuando entre 21 (mg Zn/kg) en estero Lirutao E22 puente Ninquihue, 112 (mg Zn/kg) en E11 estero Colliguay. Posteriormente hubo tres (3) cauces que presentaron un valor más alto con una concentración lo cual logró superar la norma referencial CCME, para ISQGs (123 mg Zn/kg), con efecto adversos poco probables. Estos cauces fueron los siguientes: E25 en río Chillán con 144 (mgZn/kg) en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), en E12 estero Colliguay con 171 (mg Zn/kg), y en E5 río Ancoa con 192 (mg Zn/kg) en puente Ancoa N°2.

Gráfico 3- 166: Zinc, Zn (mg/kg) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

CCME línea naranja concentración ISQGs, baja ocurrencia de efecto biológico adverso 123 (mg/kg); línea roja PEL, alta ocurrencia efectos biológicos adversos 315 (mg/kg).

6. Metales sin normativa referencial

<u>Metales totales detectados (>LD)</u>

Entre los metales que no poseen alguna normativa referencial algunos se presentaron con concentraciones que fue posible determinar sus concentraciones, que fueron un total de 14 metales más el óxido de silíceo SiO2, indicados en la tabla siguiente.

Tabla 3- 81: Metales (mg/kg) sin normativa referencial

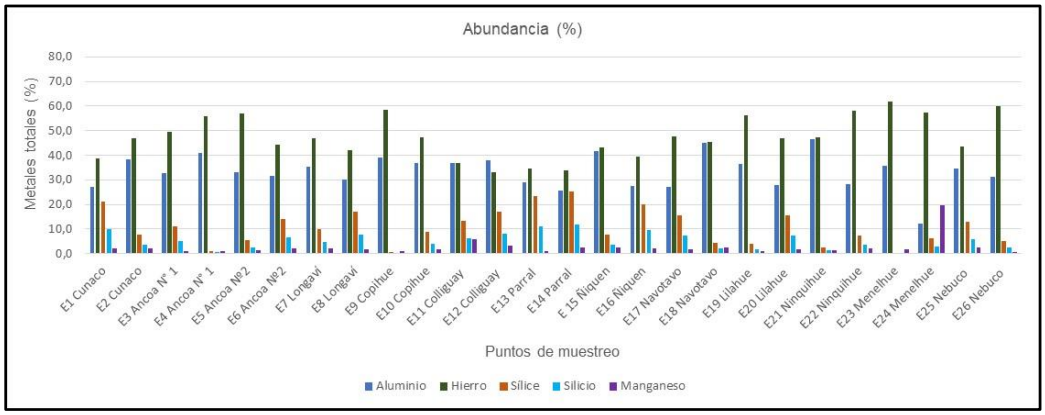
Metal total	Aluminio	Bario	Boro	Cobalto	Estaño	Estroncio	Hierro	Litio	Manganeso	Molibdeno	Níquel	Plata	Sílice	Silicio	Vanadio
Símbolo	Al	Ba	Bo	Co	Sn	Sr	Fe	Li	Mn	Mo	Ni	Ag	Si	SiO2	V
Unidad	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
LD	0,25	0,05	0,5	0,125	1,25	0,025	0,5	0,075	0,025	0,125	0,125	0,05	1,00	0,50	0,20
E1 Cunaco	6179	62,88	0,5	10,76	1,25	47,42	8783	6,77	514,9	4,71	6,45	0,05	4801	2243	60,86
E2 Cunaco	6572	57,29	0,5	6,88	1,25	54,12	7991	7,11	386,4	0,125	5,75	0,05	1315	614,4	62,47
E3 Ancoa N° 1	21097	62,49	0,5	16,13	1,25	59,32	32170	19,04	642,2	0,125	13,71	0,05	7179	3355	126,6
E4 Ancoa N° 1	7711	28,31	0,5	4,38	1,25	24,9	10557	6,03	202,1	0,157	3,50	0,05	202,2	94,5	30,79
E5 Ancoa Nº2	39564	134,5	0,5	34,25	1,25	93,14	68086	45,66	1539	0,125	27,31	0,05	6366	2975	246
E6 Ancoa Nº2	5822	42	0,5	6,35	1,25	26,81	8174	11	392,2	0,125	5,9	0,05	2620	1224	59,83
E7 Longaví	5562	46,63	0,5	6,15	1,25	66	7396	7,99	329,3	0,125	6,6	0,05	1553	725,7	63,48
E8 Longaví	4941	44,28	0,5	4,65	32,48	50,96	6895	5,5	276	16,14	8,96	0,05	2782	1300	66,83
E9 Copihue	3434	14,46	0,5	2,81	1,25	14,29	5176	2,5	78,67	0,125	3,72	0,05	51,73	24,17	21,24
E10 Copihue	6702	56,05	0,5	7,33	1,25	51,46	8572	5,82	292,7	1,88	7,65	0,05	1622	758,1	71,78
E11 Colliguay	13417	155,3	0,5	14,26	1,25	35,11	13391	5,55	2160	0,125	7,95	0,05	4825	2255	64,00
E12 Colliguay	23674	208,9	0,5	19,47	1,25	47,66	20600	9,35	2120	0,365	13,23	5,76	10668	4985	95,61
E13 Parral	6527	64,56	0,5	7,61	1,25	44,44	7791	4,52	214,9	0,249	7,05	0,05	5267	2461	85,03
E14 Parral	4285	49,14	0,5	5,46	1,25	28,88	5648	2,97	389,2	0,143	4,84	0,05	4243	1983	49,56
E 15 Ñiquen	10151	168	0,5	11,29	1,25	27,54	10578	7,15	574,2	0,125	7,19	0,05	1862	870	132,8
E16 Ñiquen	7712	150	0,5	11,98	1,25	30,79	10965	5,4	630,6	0,125	5,37	0,05	5621	2627	108,9
E17 Navotavo	7648	47,37	0,5	7,73	1,25	28,36	13459	3,78	450,5	0,125	6,17	0,05	4419	2065	57,58
E18 Navotavo	19581	145,4	0,5	12,39	1,25	50,33	19588	10,58	1032	0,125	8,96	0,05	1888	882,1	74,14
E19 Lilahue	11448	60,45	0,5	10,48	1,25	46,46	17648	6,67	368,5	0,125	9,34	0,05	1216	568,1	69,02
E20 Lilahue	7181	89,03	0,5	9,74	1,25	32,27	12068	2,07	483,3	0,125	4,53	0,05	4000	1869	37,74
E21 Ninquihue	10947	73,39	0,5	8,63	1,25	26,62	11171	5,27	367,4	0,125	4,5	0,05	618,9	289,2	55,57
E22 Ninquihue	5026	37,34	0,5	5,61	1,25	21,92	10327	3,44	380,2	0,125	2,95	0,05	1310	612	39,83
E23 Menelhue	4829	28,76	0,5	4,93	1,25	14,8	8386	3,68	222,7	0,125	4,07	0,05	8,33	3,89	32,57
E24 Menelhue	1588	82,53	0,5	3,73	1,25	9,15	7402	1,89	2545	0,125	1,54	0,05	822,8	384,5	36,73
E25 Nebuco	22257	220,2	0,5	14,6	1,25	55,74	28036	14,43	1572	0,125	10,28	0,05	8324	3890	89,23
E26 Nebuco	5172	25,28	0,5	5,11	1,25	20,9	9943	4,48	112,6	0,125	4,54	0,05	824,7	385,4	49,03

Fuente: ENVIS, 2023.

Se puede observar según las concentraciones de los metales totales detectados que los de mayor representatividad por su abundancia fueron Aluminio y Hierro. El Aluminio tuvo una representatividad considerando todos los puntos de muestreo entre un 12,3 % (E24) estero Rauco puente Menelhue a 46,4 % en E21 estero Lirutao puente Ninquihue. Para el hierro la representatividad fluctuó entre 33,8 % en E14 estero Parral puente homónimo a 61,9 % en E23 puente Menelhue.

Luego los metales que representaron por sobre el 1 % en algunos puntos de muestreo fueron el Manganeso, con 0,7 % para E26 en rio Chillán, puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) a 19,8 % en E24, estero Rauco puente Menelhue; también Sílice con 0,6 % en E9 puente Copihue en estero Membrillo Chimbarongo, a 25,4 % en E14 estero Parral y Siliceo a partir de 1,2 % para E21 en estero Lirutao puente Ninquihue a 11,9 % en E14 estero Parral. El resto de los metales estuvieron representados bajo el 1 % para todos los puntos de muestreo.

Gráfico 3- 167: Abundancia relativa metales totales (> 1 %), otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

7. Metales totales no detectados (<LD)

Se registraron metales totales de muy baja concentración, los cuales no fue posible su detección (<LD) para todas las estaciones de muestreo, tal fue el caso de Berilio, Antimonio y Bismuto.

Tabla 3- 82: Metales bajo el límite de detección, sin normativa referencial

Metales totales Unidad	Berilio, Be mg/kg	Antimonio, Sb mg/kg	Bismuto, Bi mg/kg
E1 Cunaco Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E2 Cunaco Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E3 Ancoa N° 1 Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E4 Ancoa N° 1 Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E5 Ancoa Nº2 Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E6 Ancoa Nº2 Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E7 Longaví Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E8 Longaví Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E9 Copihue Oriente y Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E10 Copihue Oriente y Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E11 Colliguay Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E12 Colliguay Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E13 Parral Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E14 Parral Ramal Oriente y Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E 15 Ñiquén Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E16 Ñiquén Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E17 Navotavo Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E18 Navotavo Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E19 Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E20 Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E21 Ninquihue Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E22 Ninquihue Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E23 Menelhue Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5

Metales totales Unidad	Berilio, Be mg/kg	Antimonio, Sb mg/kg	Bismuto, Bi mg/kg
E24 Menelhue Poniente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E25 Nebuco Oriente	< 0,125	< 1,25	< 0,5
E26 Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	< 0,125	< 1,25	< 0,5

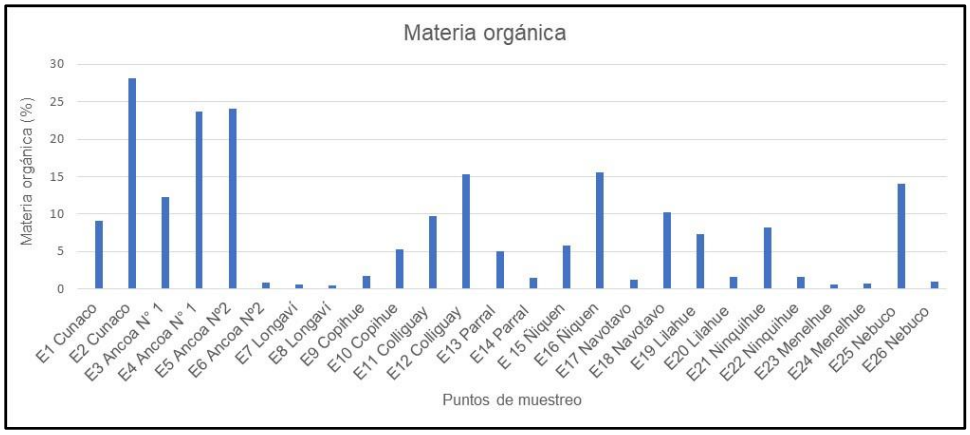
Fuente: ENVIS, 2023.

8. Materia orgánica-Humedad

- Materia orgánica

De acuerdo con los resultados de la materia orgánica se puede observar en general tres grupos uno por sobre el 20 % conformado por solo 3 cauces estero Tornicura en puente Cunaco E2 (28,2 %), río Ancoa en puente Ancoa N°2 en E4 y E5 (23,7 -24 %). Luego otro grupo sobre el 10 % para cinco (5) cauces, puente Ancoa en rio Ancoa E3) con 12,2 %, estero Colliguay e E12 con un 15 % similar porcentaje para E16 en río Ñiquén, luego un 14 % en río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) E25 y finalmente un 10 % en estero Coche Pérez puente Navotavo en E18. El resto de los cauces presentaron porcentajes muy bajos, fluctuando desde 0,5 % en E8 río Longaví a 9 % en estero Tornicura E1 puente Cunaco.

Gráfico 3- 168: Materia orgánica (%) por punto de muestreo, otoño 2023

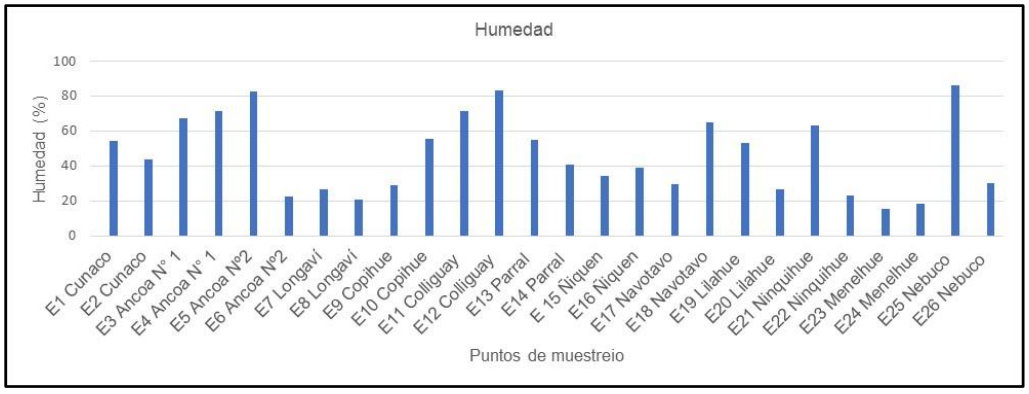


Fuente: ENVIS, 2023.

- Humedad relativa (%)

Mas de la mitad de las estaciones presentaron una humedad relativa mayor al 50 %. Los valores fluctuaron desde 18,3 % en E24 estero Rauco puente Menelhue a 86,3 % en rio Chillán, puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) en E25.

Gráfico 3- 169: Humedad relativa por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

Granulometría

Se indica a continuación la clasificación granulométrica por punto de muestreo, en la tabla siguiente y su distribución en el grafico a continuación. Se puede observar que todos los puntos de muestreo presentaron los diversos tamaños de granos. La mayor representatividad la presentó el tamaño primeramente de arena muy fina (125 µm) el cual fue dominante en la mayoría de los puntos de muestreo (15 puntos), fluctuando entre un 27 % para el punto de muestreo en estero Carbonero puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E19, a 44,5 %. Posteriormente le sigue en representatividad el tamaño de arena fina (212 µm), dominando en cuatro cauces, rio Ancoa en E6 puente Ancoa N°2 Oriente (41 %), río Longaví en E7 (42,6 %), le sigue en E9 en estero Copihue (30,8 %) en puente Copihue Oriente y Poniente y finalmente con 18,2 % en E23, estero Rauco, puente Menelhue Poniente. El resto de los tamaños tuvo más baja presencia, tal es el caso de arena media (500 µm) con sólo dominando en E8 río Longaví (33,3 %), arena muy gruesa (1 mm) también sólo en un punto de muestreo que fue en E24 estero Rauco (23,4 %) en puente Menelhue Poniente y posteriormente el último tamaño que es arena muy gruesa (2 mm) en tres puntos de muestreo, que fue en río Ancoa en Puente Ancoa N° 1 (E4) y Ancoa N° 2 (E5) con un 27 % de representatividad, y en estero Lirutao E22 (38,6 %) puente Ninquihue.

En general considerando todos los puntos de muestreo de los distintos cauces, se puede observar que el menor porcentaje de grano lo presentaron los tamaños de mayor granulometría arena muy gruesa y arena gruesa.

Tabla 3- 83: Granulometría (%) por punto de muestreo

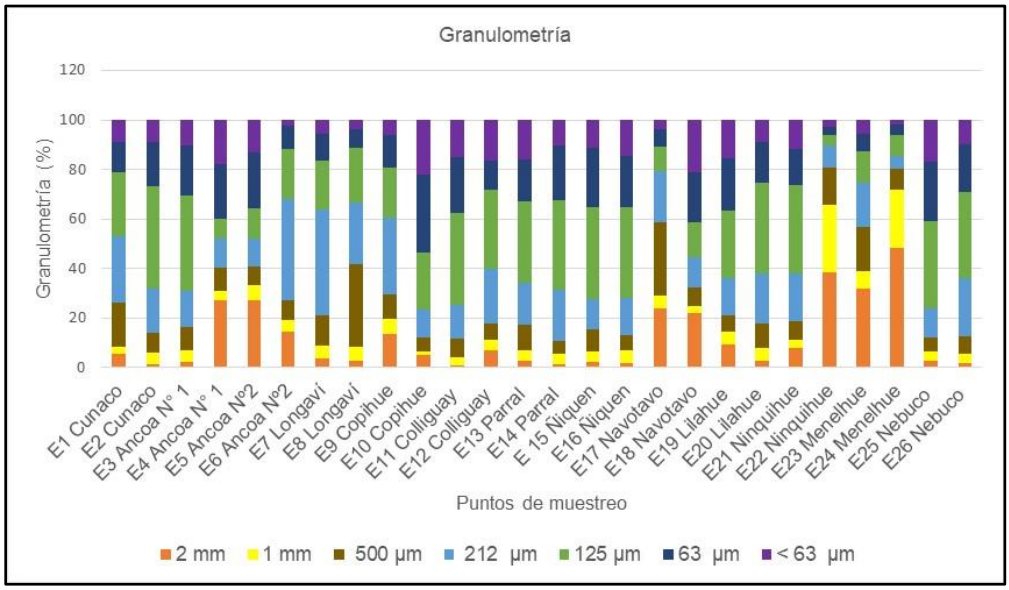
Punto muestreo	arena muy gruesa 2 mm	arena gruesa 1 mm	arena media 500 µm	arena fina 212 µm	arena muy fina 125 µm	limo 63 µm	< limo < 63 µm
E1 Cunaco Oriente	5,42	3,17	17,59	26,79	25,67	12,66	8,69
E2 Cunaco Oriente	1,56	4,43	8,21	17,71	41,51	17,88	8,72
E3 Ancoa N° 1 Oriente	2,33	4,55	9,34	14,94	38,12	20,27	10,45
E4 Ancoa N° 1 Oriente	27,46	3,40	9,65	11,65	7,90	21,99	17,95
E5 Ancoa Nº2 Oriente	27,21	6,25	7,41	11,40	12,12	22,69	12,92

Punto muestreo	arena muy gruesa 2 mm	arena gruesa 1 mm	arena media 500 µm	arena fina 212 µm	arena muy fina 125 µm	limo 63 µm	< limo < 63 µm
E6 Ancoa Nº2 Oriente	14,72	4,35	8,18	41,04	20,06	9,19	2,46
E7 Longaví Oriente	3,56	5,25	12,31	42,64	20,01	10,66	5,57
E8 Longaví Oriente	2,68	5,99	33,26	24,51	22,11	7,69	3,77
E9 Copihue Oriente y Poniente	13,50	6,19	9,97	30,83	20,04	13,31	6,16
E10 Copihue Oriente y Poniente	5,11	1,55	5,54	11,47	22,96	31,18	22,18
E11 Colliguay Oriente	0,83	3,56	7,16	13,96	37,13	22,47	14,88
E12 Colliguay Oriente	6,87	4,26	6,81	21,77	32,15	11,73	16,41
E13 Parral Oriente	3,03	3,97	10,54	16,52	32,96	16,92	16,06
E14 Parral Ramal Oriente y Poniente	1,23	4,37	5,43	20,27	36,37	22,09	10,24
E 15 Ñiquén Oriente	2,32	4,23	8,97	12,10	37,31	23,69	11,39
E16 Ñiquén Oriente	2,10	4,70	6,43	14,95	36,58	20,63	14,60
E17 Navotavo Oriente	24,17	5,04	29,33	20,63	10,02	7,09	3,72
E18 Navotavo Oriente	21,96	2,90	7,73	12,20	14,04	20,16	21,03
E19 Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	9,40	5,36	6,17	15,45	26,88	21,43	15,31
E20 Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	2,69	5,09	10,20	20,03	36,68	16,17	9,14
E21 Ninquihue Poniente	8,06	3,00	7,60	19,16	35,86	14,37	11,95
E22 Ninquihue Poniente	38,64	27,00	15,15	8,97	4,31	3,26	2,67
E23 Menelhue Poniente	31,95	7,16	17,47	18,21	12,45	7,14	5,62

Punto muestreo	arena muy gruesa 2 mm	arena gruesa 1 mm	arena media 500 µm	arena fina 212 µm	arena muy fina 125 µm	limo 63 µm	< limo < 63 µm
E24 Menelhue Poniente	48,39	23,44	8,35	5,46	8,25	4,26	1,86
E25 Nebuco Oriente	2,78	3,58	5,99	11,42	35,61	23,67	16,94
E26 Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	1,84	3,74	7,17	23,20	35,08	19,06	9,91

Fuente: Escala Catalán y Catalán, (1987), ENVIS.

Gráfico 3- 170: Granulometría (%) por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.3.4 Descripción de Estaciones de Muestreo

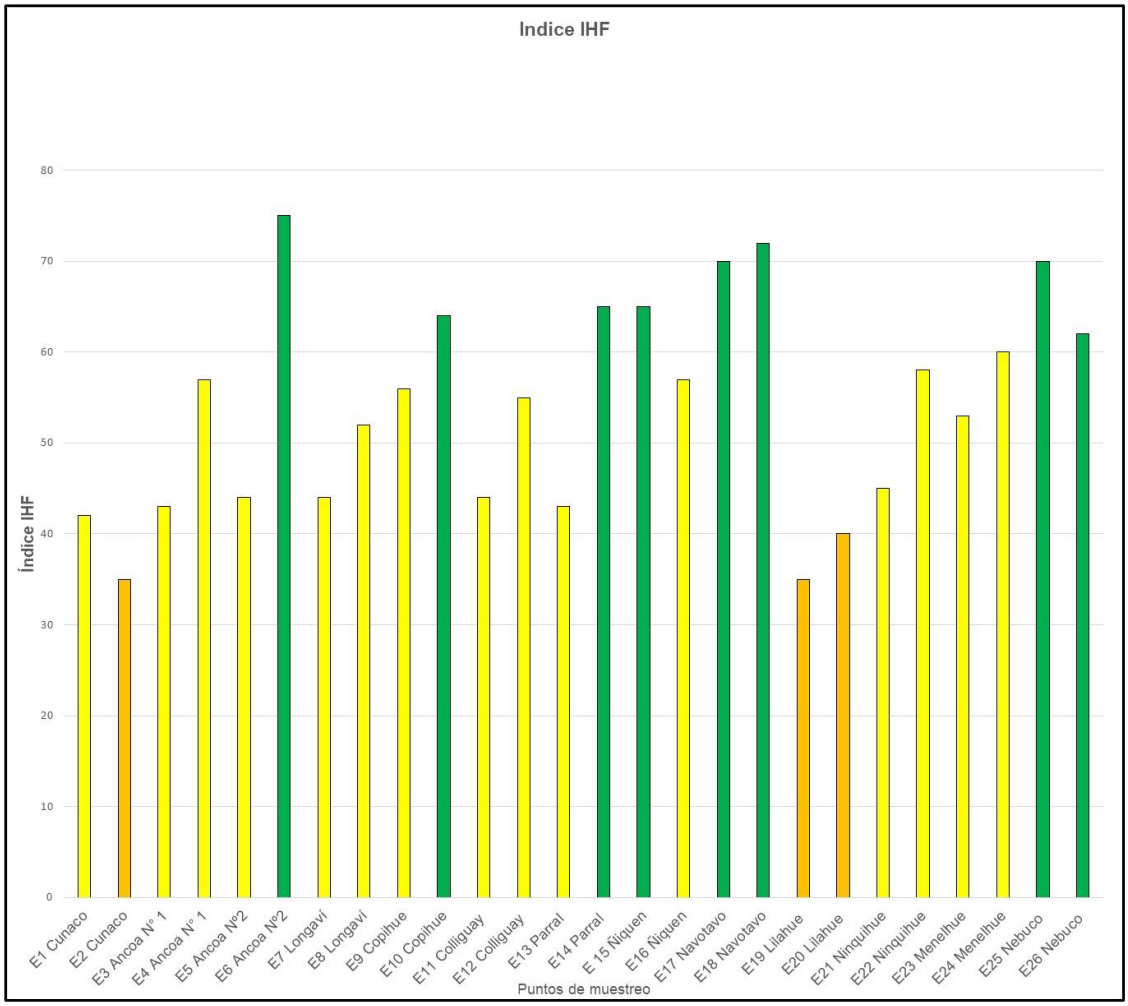
Se levantó información para describir los diversos tramos de muestreo, mediante observaciones hidromorfológicas para primavera 2022 y otoño 2023, generándose un Índice de hábitat fluvial, IHF, útil como indicador de hábitat físico potencial para albergar biota acuática (Pardo *et al.,* 2002; Prat *et al.,* 2009). También se realizaron observaciones en los tramos en torno a usos-observaciones antrópicas.

1. Hidromorfología

Primavera 2022

Se puede mencionar que la mayoría de los tramos presentaron un índice IHF de regular calidad, con tres (3) tramos de mala calidad, en estero Tornicura (puente Cunaco, E2), en estero Carbonero (puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E19 y E20). Los tramos de mejor calidad resultaron en ocho cauces. Estos fueron rio Achibueno E6 Puente Ancoa N°2,estero Membrillo en E10 puente Copihue, estero Parral en puente homónimo E14 y E15, estero Coche Pérez (puente Navotavo) en E17 y E18, y finalmente en río Chillán (puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente Calle Local, E25 y E26), ver gráfico siguiente:

Gráfico 3- 171: Índice de hábitat fluvial, IHF, por punto de muestreo, primavera 2022.



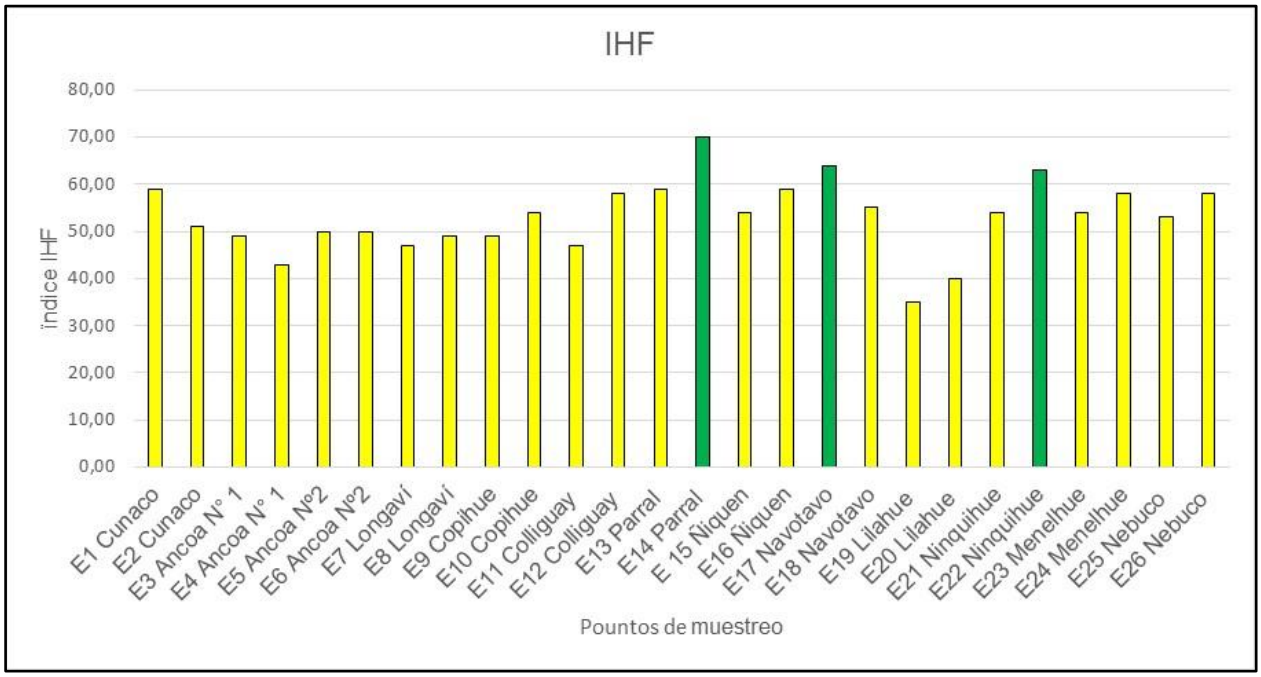
Niveles de calidad	Rangos de calidad
Muy Buena	81-100
Buena	61-80
Regular	41-60
Mala	21-40
Muy Mala	0-30

Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

Con las observaciones hidromorfológicas se puede observar el índice IHF para la estación de otoño, 2023. La mayoría de los tramos presentaron un índice IHF de regular calidad, con tres dos tramos de buena calidad. Estos fueron en E14 estero Parral (puente Parral), en estero Coche Pérez (puente Navotavo, E17) y estero Lirutao (puente Ninquihue E22) como se muestra en la siguiente figura.

Gráfico 3- 172: Índice de hábitat fluvial, IHF, por punto de muestreo, otoño 2023



Niveles de calidad	Rangos de calidad
Muy Buena	81-100
Buena	61-80
Regular	41-60
Mala	21-40
Muy Mala	0-30

Fuente: ENVIS, 2023.

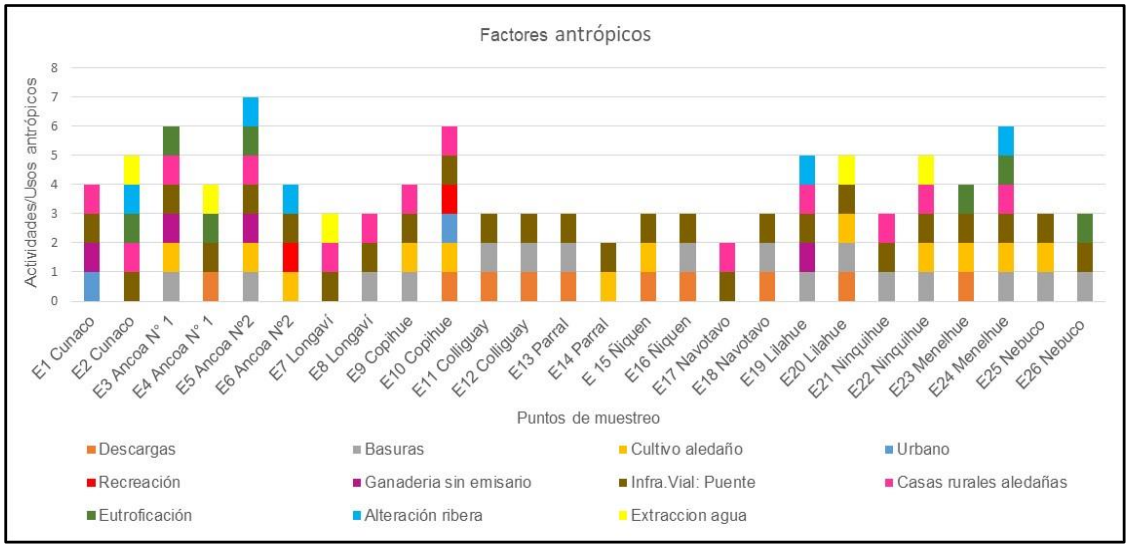
2. Observaciones antrópicas

En terreno se realizaron observaciones respecto a factores antrópicos diversos que pudiesen afectar potencialmente la calidad de agua por alguna emisión directa como difusa producto de la actividad humana. Es así como se identificaron descargas al cauce provenientes de casas rurales aledañas a la ribera y extracciones de agua para uso de regadío. También presencia de desechos orgánicos e inorgánicos en las riberas que alcanzan los cauces directa o indirectamente. Actividades de uso del sistema acuático como recreación, que en algunos casos alteran el cauce, presencia de fecas de ganado con aporte de nutrientes al sistema, y observaciones de condición de trofía representado por la abundancia de vegetación acuática.

Primavera 2022

Se puede observar que hubo diferencias cualitativas en base al número de intervenciones, donde las de mayor número resultaron entre 6 a 7, destacando río Ancoa en Ancoa 2 (E5), estero Membrillo en puente Copihue (E10), y estero Rauco en puente Menelhue (E24).

Gráfico 3- 173: Actividades antrópicas por punto de muestreo, primavera 2022

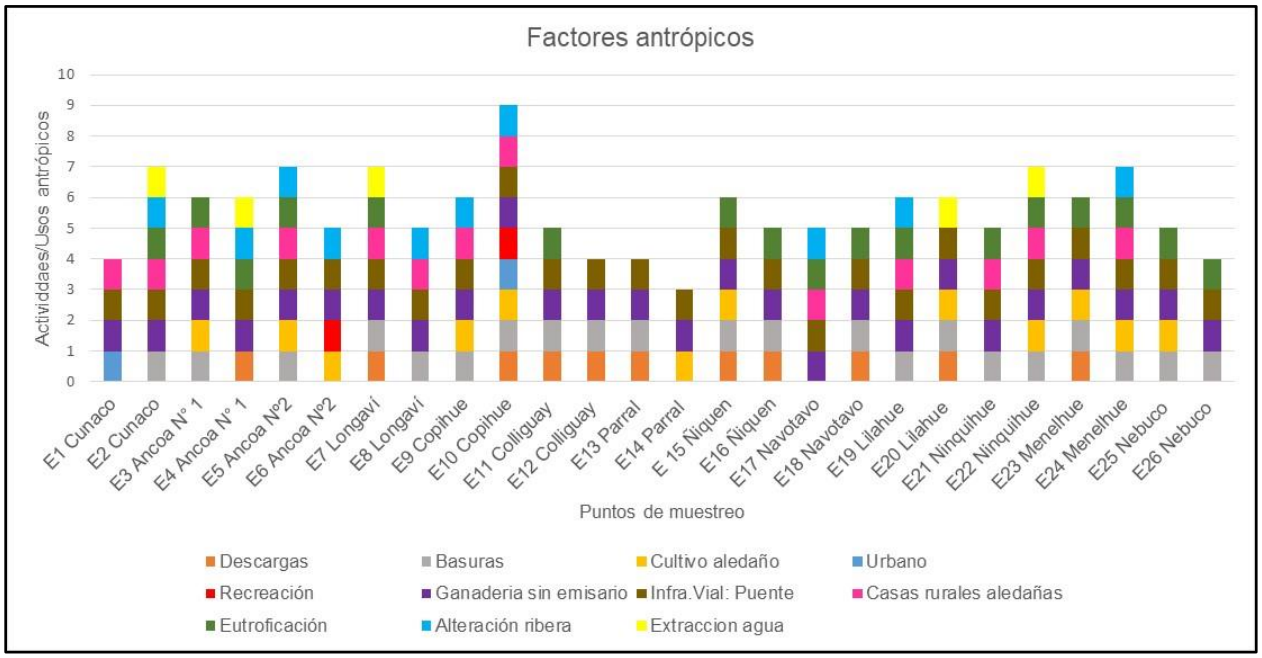


Fuente: ENVIS, 2023.

Otoño 2023

En forma similar a primavera se realizaron observaciones de los diferentes puntos de muestreo, para complementar la información de otoño. Los sistemas hídricos del sector del muestreo se caracterizan por ser pluviales preferentemente, modificando su caudal en función de las precipitaciones invernales, por lo que para otoño se visualizaron cursos de agua de menor escurrimiento superficial. Se registraron cauces en general con mayor basura, alteración de ribera, signos de eutroficación respecto a primavera.

Gráfico 3- 174: Actividades antrópicas por punto de muestreo, otoño 2023



Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.3.5 Proyectos Ingresados en el E-SEIA

Se revisó en la plataforma del SEIA, los proyectos ingresados al sistema a partir del año 2012 en adelante, cercanos al área de emplazamiento del Proyecto. En la siguiente Tabla se indican los proyectos de los cuales ninguno arrojó información en relación con la calidad del agua.

Lo anterior, se relaciona con la naturaleza y/o localización de los proyectos evaluados, ya que no involucraron o intervienen cauces naturales.

Hubo un solo proyecto con información en la zona: “Mejoramiento Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de San Carlos” (PTAS), que corresponde a una DIA (Declaración de Impacto Ambiental) con RCA (Resolución de Calificación Ambiental) favorable, ingresada el año 2017. Este proyecto se encuentra alejado del Proyecto Puentes (aproximadamente 3,6 km aguas abajo), pero, se relaciona con el estero Coche Perez (puente Navotavo del proyecto), ya que descarga en este, otorgando condiciones de mayor intervención. Esta condición de localizarse aguas abajo, se considera que ambos proyectos no sean comparables.

Sumado a lo anterior, se informa en la DIA que la descarga de la PTAS San Carlos cumple con la norma de emisión DS90 cuyo objetivo es proteger las aguas superficiales, y la calidad de agua a los 100 m después de la descarga al cuerpo receptor.

Tabla 3- 84: Proyectos cercanos aprobados por SEIA, relacionados con el Área de Influencia del Proyecto.

PROYECTO	TIPO	AÑO INGRESO	ESTADO
Ampliación Capacidad de Producción Planta Tak	DIA	2022	En Calificación
Centro de Manejo De Residuos Piedra Larga	EIA	2022	En Calificación
Proyecto Inmobiliario San Pedro V	DIA	2022	En Calificación
Parque Solar San José	DIA	2021	Aprobado
Instalaciones Agropecuarias Santa Inés	DIA	2021	En Calificación
Optimización Instalaciones FRUSUR S.A.	DIA	2021	Aprobado

PROYECTO	TIPO	AÑO INGRESO	ESTADO
PMGD FV La Cosecha	DIA	2020	Aprobado
Parque Fotovoltaico Itahue	DIA	2020	Aprobado
Proyecto Pmgd Lirutao San Carlos	DIA	2020	Aprobado
Parque Fotovoltaico La Quinta PMG	DIA	2019	Aprobado
Parque Fotovoltaico Parral	DIA	2019	Aprobado
Parque Fotovoltaico Lo Magdalena	DIA	2019	Aprobado
Nueva Central Solar Fotovoltaica El Rosal	DIA	2018	Aprobado
Nueva Central Solar Fotovoltaica Linares	DIA	2018	Aprobado
Nueva Central Solar Fotovoltaica Pachira	DIA	2018	Aprobado
Planta Parral de Frutícola Olmué Spa	DIA	2018	Aprobado
Línea de transmisión eléctrica de 33 KV Santa Elisa-Confluencia	DIA	2018	Aprobado
Aumento de Capacidad de Planta Ecofood	DIA	2017	Aprobado
Sistema de Acondicionamiento de RILes, Comercial Milanese	DIA	2017	Aprobado
Modernización y Mejoramiento de Procesos Secundarios en Planta Azucarera Ñuble, IANSAGRO S.A.	DIA	2017	Aprobado
Mejoramiento Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de San Carlos	DIA	2017	Aprobado
Actualización Operacional Planta Frutos del Maipo Linares	DIA	2016	Aprobado
Mejoramiento del Sistema de Tratamiento de Purines, RCA N°384/2006 – Plantel Rucapequén	DIA	2015	Aprobado
Proyecto Cultivo Catfish - Modificaciones Proyecto Técnico - Centro La Casona	DIA	2014	Aprobado

PROYECTO	TIPO	AÑO INGRESO	ESTADO
Adecuación de Planta de Riles de Ecofood a Incremento de Caudal Afluente	DIA	2013	Aprobado
Centro de Manejo Ambiental Maule Sustentable	EIA	2013	No Calificado
Portal Alameda IV, Parral	DIA	2013	Aprobado

Fuente: ENVIS, 2023. A partir de información en SEA, 2023.

3.6.4 CONCLUSIONES

En función de los objetivos de este informe, que consistieron en desarrollar la Línea de Base para caracterizar la Calidad de agua superficial, en el Área de Influencia (AI) del Proyecto, para la estación de primavera 2022 y otoño 2023, se puede concluir lo siguiente:

3.6.4.1 Calidad Fisicoquímica de las Aguas Superficiales

Se caracterizó la calidad de agua en veintiseis (26) puntos de muestreo que comprende el Área de influencia (AI) del Proyecto, bajo la normativa vigente NCh1333, caracterizando la calidad del agua para diferentes usos: regadío y algunos parámetros indicadores para el desarrollo de vida acuática y contacto directo.

3.6.4.1.1 Desarrollo de vida acuática

- Primavera 2022

Para los diferentes cauces que consistieron en 26 puntos de muestreo que comprenden el Área de influencia (AI) del Proyecto, los diversos cauces resultaron con buenas condiciones para el desarrollo de la vida acuática. Esto significa aguas suficientemente oxigenadas a partir de 7,3 (mg/L), por sobre lo requerido por la norma referencial (≥5 mg/L). Por otra parte, la unidad de pH reflejó ambientes acuáticos neutros entre 6,5 a 7,7 de pH, dentro de los límites que indica la norma (6,0 a 9,0 pH), y una alcalinidad por sobre 33 (mg/L CaCO3), que también satisface la norma (≥20 mg/L CaCO3).

- Otoño 2023

Para la campaña de otoño, 2023 en forma similar a primavera, los cauces resultaron también bajo buenas condiciones para el desarrollo de la vida acuática. La columna de agua se presentó oxigenada a partir de 8,3 (mg/L), por sobre lo requerido por la norma referencial (≥5 mg/L). También las condiciones de pH que presentó ambientes acuáticos neutros entre 6,5 a 7,6 unidades, también dentro de los límites que indica la norma (6,0 a 9,0 pH), y una alcalinidad por sobre 33,6 (mg/L CaCO3), que también satisface la norma (≥20 mg/L CaCO3).

3.6.4.1.2 Recreación con contacto directo

- Primavera 2022

Los cauces resultaron aptos para recreación de acuerdo con algunos parámetros, tales como pH, fluctuando dentro de los rangos permitidos por la norma referencial (6,5-8,3 unidades), los cauces fluctuaron entre 6,5 a 7,7 unidades de pH. Las temperaturas se registraron entre un mínimo de 15 °C a 25 °C, para el período de primavera tardía, con un clima muy soleado durante el desarrollo del muestreo (28 de noviembre al 4 de diciembre, año 2022), con una columna de agua somera (en general < a 1 metro de profundidad). En general no se observaron aceites y/o grasas flotantes, y la mayoría de los cauces presentaron aguas transparentes, de hecho, la turbiedad no superó la norma referencial (50 NTU), fluctuando entre 0,8 NTU a lo más 10 NTU. Respecto a las coliformes fecales las concentraciones fueron bajas no superando la norma referencial (1000 NMP/100 ml), por el contrario, la mayor concentración fue de 78 (NMP/100 ml), en solo 4 puntos de los 28 muestreados. Se presentaron sin embargo algunos puntos de muestreo que desprenden olor típico a desechos por uso del cauce como receptor de desperdicios (desagües y basuras).

- Otoño 2023

Los cauces resultaron aptos para recreación con contacto directo de acuerdo con la norma referencial. La unidad de pH fluctuó entre 6,5 a 7,6 unidades dentro de lo indicado por la norma referencial (6,5-8,3 unidades). Las temperaturas se registraron entre 11 °C a 18 °C, con un clima nublado a semi despejado durante el desarrollo del muestreo (11 al 16 de abril, año 2023), con una columna de agua predominantemente somera (en general < a 1 metro de profundidad). En los cauces no se observó presencia de aceites y/o grasas flotantes, como en algunos sectores olores típicos de descomposición por basura de tipo orgánico. En algunos cauces se observó presencia de espumas sólo alrededor de macrófitas presentes, lo cual es característico de

sectores con abundancia de vegetación acuática como fue el caso, atribuido al metabolismo de estas (proceso de respiración), por lo que se consideran espumas naturales.

Los cauces resultaron de una columna de agua de apariencia tanto transparente como turbias. En general la turbiedad no superó la norma referencial (50 NTU), a excepción del rio Ancoa E4, puente Ancoa N°1 con 66 NTU. Para el caso de E4 el tramo se presentó anegado cubierto de vegetación, lo que contribuiría a un incremento de la turbidez.

Respecto a las coliformes fecales las concentraciones fueron bajas no superando la norma referencial (1000 NMP/100 ml), a excepción de tres cauces, rio Ancoa E4 (4.500 NMP/100 ml), E13 en estero Parral (54.000 NMP/100 ml) y río Chillán en E26 (1.300 NMP/100 ml). En general fue común visualizar basuras en los cauces, fecas de animales, que contribuyen a coliformes fecales, y también dilucidar fuentes de descargas. En E13 las condiciones físicas del tramo son de aguas más bien de flujos muy lentos a estancadas, que facilitan el desarrollo de bacterias.

3.6.4.1.3 Uso de agua para regadío

La caracterización de la calidad de agua para uso de regadío se basa fundamentalmente en los componentes químicos disueltos como cationes, aniones y sólidos, además de los metales totales.

- Primavera 2022

De acuerdo con los componentes disueltos los resultados indicaron que la calidad de agua de primavera 2022 fue apta para uso de regadío. Se analizó la conductividad eléctrica es función de los sólidos disueltos totales SDT y de la concentración de iones. Los SDT presentaron una buena tendencia lineal con la Conductividad eléctrica (R2: 0,89), presentando similar curva de variación considerando los puntos de muestreo. Los valores más altos de conductividad se presentaron en los puntos de muestreo del estero Tornicura y río Chillán con valores por sobre los 364 (µS/cm), y para STD por sobre los 130 (mg/L). Los cationes de mayor aporte en los cauces fue primeramente calcio seguido de Sodio con concentraciones alrededor de 20 (mg/L). Para Calcio destacó el estero Tornicura (puente Cunaco, E1), rio Ancoa (puente Ancoa 1, E4) y río Chillán (puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), E26). Para Sodio, se releva el río Chillán (E25 y E26). Respecto a los aniones, los predominantes fueron Cloruro y Sulfato, pero se puede mencionar que las concentraciones fueron bajas, puesto que no sobrepasaron los valores límites de NCh1333 para uso de regadío.

En general la calidad de agua refleja una buena calidad y con una buena capacidad buffer para poder tolerar cambios de pH, dada la alta alcalinidad resultante, el menor valor fue de un 33 % más alto que el mínimo valor requerido por la NCh1333 (20 mg CaCO3/L). Hubo una excepción atribuida a la alta concentración de Sodio, que supero el valor de la NCH1333 (35 %) en dos puntos de muestreo río Chillán (puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) E25 y E26).

Respecto a los metales totales, los cauces resultaron de una buena calidad apta para uso de regadío, a excepción de ocho puntos de muestreo. Estos últimos resultaron con una calidad de agua no apta para fines de regadío, por la alta concentración de algunos de los siguientes elementos: aluminio (Al), boro (Bo), hierro (Fe), manganeso (Mn) y litio cítrico (Li.cit.). El manganeso fue ampliamente superado en estos cauces, una de las razones podría ser los aportes de desagües detectados en diversos cauces.

Metales totales y biota acuática

Por otra parte, el hierro y aluminio no son metales críticos, y de solubilidad limitada a pH neutro, como fue registrado para todos los cauces. Sin embargo, una alta concentración de hierro y manganeso provocan problemas de sobrevivencia para la fauna íctica (Cortes & Montalvo, 2010). El cauce más afectado fue el estero Colliguay (puente Colliguay E12), por su alta concentración de Al, Fe, Mn y Li., sin embargo, en el punto E11 del mismo estero sólo resultó afectado por Mn. El otro cauce fue río Ancoa (puente Ancoa 2, E6) por Bo y Li.cit. Luego el resto de los cauces resultaron afectados por la alta concentración de Mn, tal fue el caso de estero Carbonero (puente Lilahue Oriente y Poniente, E20), estero Lirutao (puente Ninquihue Poniente, E22) y estero Rauco (puente Menelhue Poniente, E23).

- Otoño 2023

De acuerdo con los elementos disueltos los resultados indicaron que la calidad de agua fue apta para uso de regadío. La conductividad eléctrica se relaciona tanto con los sólidos disueltos totales SDT que son influenciados por la concentración de iones. Los SDT presentaron una buena tendencia lineal con la Conductividad eléctrica (R2: 0,80), considerando todos los puntos de muestreo. Los valores más altos de conductividad se presentaron en los puntos de muestreo del río Chillán en puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local) fluctuando entre 997-1041 (µS/cm), con STD entre 280-310 (mg/L). Los cationes de mayor aporte en los cauces fue primeramente calcio seguido de sodio luego magnesio y finalmente potasio. Para Calcio destacó el río Longaví (puente homónimo, E7), y rio Chillán (puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), E 25) y en sodio tanto en concentración como porcentaje el río Chillán (puente

Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), E25 y E26). Respecto a los aniones, los predominantes fueron Cloruro y Sulfato, con los más altos valores nuevamente en rio Chillán (puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local), E 25 y E26), sin embargo, todas las concentraciones bajo los valores límites de la NCh1333 para uso de regadío.

Frente a posibles alteraciones de la calidad de agua, se puede mencionar que estas presentaron una buena capacidad buffer, dado que las concentraciones de alcalinidad se presentaron todas por sobre el mínimo valor requerido por la NCh1333 (20 mg CaCO3/L). El rango fue entre 1,6 veces por sobre la norma referencial en E7 puente Longaví río homónimo, a más de 5 veces en río Chillán, puente Nebuco E25.

Respecto a los metales totales, los cauces resultaron en general con bajo contenido de metales pesados, en relación con superación de los límites de la norma referencial. De todos los puntos de muestreo un total de seis (6) cauces se vieron afectados, por su alta concentración en los siguientes metales (un total de 8): aluminio (Al), boro (Bo), cromo (Cr), hierro (Fe), litio cítrico (Li.cit.), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y plata (Ag), restringiendo su uso para regadío.
El cauce más afectado fue el rio Ancoa en puente Ancoa N°1 (E4) con alta concentración de tres (3) metales Fe, Mn, y Ag, posteriormente sólo con dos (2) metales superados en su límite permitido en los cauces río Longaví E7 (Bo y Li.cit.), estero Colliguay E11 (Mn y Al) y estero Coche Pérez E17 (Mo y Cr), seguido de estero Tornicura (E2) en puente Cunaco con sólo Ag en alta concentración y en estero carbonero E 19 puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local con Mn nuevamente. Por lo expuesto manganeso fue el metal más superado (en 4 cauces) seguido de aluminio, hierro, plata y molibdeno (superado cada uno en dos cauces) y por último boro, cromo y litio con sólo 1 cauce afectado del total evaluado.

Metales totales y biota acuática

De los metales registrados en altas concentraciones estos pueden representar contaminación y toxicidad a la biota acuática, donde el manganeso fue el metal más frecuentemente detectado, y que es abundante en la corteza terrestre similar a aluminio, pero causa problemas a la fauna íctica. Se observaron en los diferentes cauces probables condiciones físicas y químicas que favorecen presencia de metales. Los seis (6) cauces afectados mencionados anteriormente, se caracterizaron por predominio de flujos laminares a presencia de zonas estancadas, junto a una alta presencia de materia orgánica que favorecen procesos de descomposición y con ello promueven liberación de metales, junto con ello se refuerza la presencia de basuras de origen orgánico e inorgánico que originan contaminación difusa. Diversos cauces están rodeados de caseríos que vierten residuos al cauce, zona de cultivo aledaño con uso de fertilizantes/pesticidas

y riberas alteradas. Estas condiciones facilitarían fuentes de metales entre los cuales está el manganeso, aluminio, boro, hierro, plata, cromo y molibdeno. Sin embargo, una variable relevante para la biodisponibilidad de metales es el pH, donde este se presentó para todos los cuerpos de agua en condiciones neutras, con ello los metales se mantendrían a la forma de metal total, no biodisponible.

3.6.4.1.4 Condición del estado trófico considerando los nutrientes totales nitrógeno y fosforo

Se clasificó la condición de trofia de los cauces en base a la concentración de fósforo total y de nitrógeno total.

- Primavera 2022

Los cauces se clasificaron en una condición de eutrofia tanto por la alta concentración de fósforo total como de nitrógeno total. Para nitrógeno total hubo dos excepciones que fueron para el estero Carbonero (puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local, E19) por condición de mesotrofía. Esto fue resultado de un menor aporte en estos cauces de concentración de nitrato y/o nitrógeno total. Para fósforo total la situación fue similar, todos los cauces resultaron estar en condiciones de eutrofia a excepción de estero Copihue E9 en puente Colliguay y estero Coche Pérez en E17, puente Navotavo que representó condiciones de oligotrofia.

- Otoño 2023

Para la estación de otoño respecto a nitrógeno total, todos los cuerpos de agua presentaron condición de eutrofia (1500 mg/m3), con el mayor aporte de nitrato en la mayoría de los cauces. Respecto a fósforo total la situación fue más variable, dos cauces registraron condición de oligotrofia (25 mg/m^3), que fueron río Longaví E8 y estero Carbonero E19 puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local; seguido de 13 en condición de mesotrofía y 10 eutróficos. La alta condición de trofía ha sido atribuida a cambios de uso de suelo con incremento erosivo y descargas por actividades antrópicas (Pizarro *et al*., 2010). Se observó en los diferentes tramos diversos aportes por emisiones directas como difusas que son fuente de nutrientes, por ejemplo, ganadería, basuras, descargas de aguas residuales, cultivos aledaños a la ribera. Una de las mayores fuentes de nitrógeno por nitratos, son los abonos inorgánicos y descargas de aguas servidas.

3.6.4.2 Caracterización sedimentos

Se caracterizaron los sedimentos mediante su composición fisicoquímica, determinando los macroelementos, hidrocarburos, metales totales, materia orgánica y granulometría.
Entre los macroelementos predominaron en general para todos los puntos de muestreo el calcio seguido de magnesio, y en menor representación el sodio y potasio. El uso de suelo aledaño es un gran aporte a macroelementos, como lo son los cultivos, que ingresan a través de escurrimientos por precipitaciones los que se van acumulando en el cauce.

Se determinaron los aceites y grasas, con una amplia variedad de concentraciones, relevando en importancia las que presentaron por sobre los 6.000 (mg/kg) en este caso fue en estero Colliguay (E11 y E12) estero Coche Pérez en puente Navotavo Oriente E17, estero Carbonero en Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E19 y estero Lirutao E22 en Ninquihue Poniente. Fuentes posibles lo constituyen la contaminación difusa de materia orgánica, aguas residuales, transporte vehicular por aceites, entre otros.

Respecto a hidrocarburos también la fluctuación fue variable destacándose las concentraciones por sobre 1000 (mg/kg), tal es el caso de estero Tornicura (E1) rio Ancoa (E3, y E5), estero Colliguay (E11 y E12), estero Coche Pérez en puente Navotavo Oriente E17, en estero Carbonero en Lilahue Oriente y Poniente Calle Local E 19 y estero Lirutao E22 en Ninquihue Poniente.
Posibles fuentes de hidrocarburos son diversas, tales como vía aérea, lixiviados de botaderos, escurrimientos de suelo, fuente de maquinaria pesada y tráfico asociado a carreteras, derivados de combustión incompleta de materia orgánica.

Los metales que presentaron mayor abundancia fueron aluminio (entre el 12 - 46%) y hierro (entre 33-69 %), en todas lo puntos de muestreo, los cuales son muy abundantes en la corteza terrestre, seguido de sílice (0,1-25 %) y manganeso (0,7-20 %).

3.2.2.1.4 Metales totales y biota acuática

Respecto a los metales con efectos tóxicos sobre la biota, se aplicó la norma referencial internacional Canadian Council Ministers of the Environmental (CCME), 2016”, para cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio y zinc, evaluando efectos tanto poco probables ISQGs, como altamente ocurrente PEL.

El cauce más afectado fue rio Ancoa en E5 (puente Ancoa N°2), pues presentó alta concentración de Cd con efecto PEL (3,5 mg/kg), y efecto poco probable para todos los metales a excepción de Mercurio. Se destacó el metal Cadmio que supero ISQGS (0,6 mg/kg) para un total de 17 cauces, seguido de arsénico (ISQGS 5,9 mg/kg) en 5 tramos Ancoa (E5), Colliguay (E3), Coche Pérez (E17 y E18), y estero Carbonero (E20). Posteriormente el metal cinc (ISQGS 123 mg/kg) en 3 cauces Ancoa, Colliguay y Chillán, similar al cobre (ISQGs 35,7 mg/kg), en Ancoa y Colliguay.

Los sedimentos se caracterizaron por no presentar tendencia a acumular materia orgánica, por el contrario, estos se presentaron de naturaleza inorgánica, de hecho, la mayor proporción orgánica fue de un 28 % en estero Tornicura (E2) y la mayoría se presentó bajo el 10 %.
La granulometría en general predominó de tamaño de arena fina a muy fina seguida de limo y luego de arena gruesa. Esto significa una tendencia más bien a retener componentes y a tener una capacidad reactiva en el caso de tamaño de limo, lo que facilitaría un comportamiento de los sedimentos como fuente más bien que de sumidero de metales, de continuar el aporte de material contaminante orgánico a los cauces.

Las estaciones potencialmente más sensibles se podrían representar por tres criterios en conjunto: una alta concentración de metales que afectarían la biota según la norma referencial canadiense CCME, condiciones que facilitarían la biodisponibilidad de estos como lo son la granulometría fina que es la que posee características más reactivas. También por la presencia de potencial redox negativo, que por su condición reductora incrementaría el proceso de descomposición, disminuyendo el pH, favoreciendo la liberación y biodisponibilidad de metales, en la interfaz sedimento-agua metales (MOP-DGA, 2010). Esto se fortalece con los aportes de fuentes orgánicas al cauce por erosión de suelo y/o contaminación orgánica observada.

Bajo estas consideraciones se destacó E1, puente Cunaco por su concentración de mercurio que indican efectos altamente probables (PEL), su granulometría fina y potencial redox ligeramente negativo de -23 (mv). También se destacó E5 en río Achibueno puente Ancoa N°2 por la alta concentración de cinco (5) metales Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre y Plomo, que indican efectos poco probables, (ISGs), granulometría fina y potencial redox de -120 (mv). Por último, se destacan la E12 estero Colliguay y río Chillán E25 en puente Nebuco por la alta concentración de Cadmio y Cobre con efectos ISGs, y granulometría fina.

También se destaca que hubo metales registrados bajo los límites de detección en la columna de agua precisamente entre ellos está el cadmio, cromo y plomo; y en general la naturaleza de

los sedimentos es preferentemente inorgánica, que son condiciones que no favorecerían la biodisponibilidad de metales desde los sedimentos a la columna de agua.

3.6.4.3 Descripción de puntos de muestreo

Se describieron los puntos de muestreo en base a variables hidromorfológicas

3.2.2.1.5 Primavera 2022

De los 26 puntos evaluados 10 de ellos resultaron presentar una buena evaluación de hábitat, sin embargo, la mayoría fue de regular a mala calidad, lo que es necesario tener presente frente a intervenciones porque representaría un sector más bien vulnerable. Una disminución en la calidad de hábitat se podría atribuir a ambientes con un menor escurrimiento superficial, sectores que presentaron aguas más bien estancadas con material alóctono en el cauce, acumulación de sedimentos y basuras en las riberas.

El uso de los ríos como basurales, y desagües de aguas servidas, aumenta las emisiones directas y difusas que afectan la calidad de agua, lo que se ve acrecentado en algunos cauces por extracción de agua.

Reflejo de ello fue la alta eutroficación detectada para todos los cauces tanto por nitrógeno total y/o fósforo total, más aún, considerando que una de las actividades predominantes del sector es la agricultura, que es un factor que contribuye a un incremento de nutrientes.
Por otra parte, la mayoría de los cauces presentaron una densa zona ripariana más bien continua, que posee un efecto regulador de temperatura, considerando la afectación del cambio climático, como también actúa como filtro ante posibles fuentes de contaminación, como por ejemplo por metales pesados detectados. Se releva que sólo un cauce fue afectado por este factor (estero Colliguay, puente Colliguay E12) y en menor grado el río Ancoa (en puente Ancoa 2 en E6).

3.2.2.1.6 Otoño 2023

De los 26 puntos evaluados resultaron cuatro de buena calidad, la mayoría de regular calidad, y dos de mala calidad, por lo que el sector presenta condiciones más bien vulnerables. Para este monitoreo, se puede indicar que disminuyó la calidad de hábitat, lo que en parte se podría atribuir que en general se presentó un menor escurrimiento superficial, dado que aumentó los sectores que presentaron aguas más bien estancadas a flujo laminar, hubo mayor cantidad de cauces con alteración de ribera lo cual se tradujo en un mayor aporte alóctono a cauces, una tendencia a

mayor presencia de sedimentos. Se pudo observar mayor frecuencia de basuras respecto a primavera 2022, que aumentarían la presión sobre el ecosistema acuático, por contaminación difusa. Reflejo de ello se observaron una mayor cantidad de cauces respecto a primavera con signos de eutroficación, por una mayor presencia de macrófitos. Hubo un predominio de eutrofia para todos los cauces, por nitrógeno total, acrecentado por el ingreso de mayor cantidad de materia orgánica a los cauces. Se presentó un mayor número de cauces afectados por metales totales, lo cual podría ser atribuido a una mayor presión antrópica sobre los ecosistemas, y disminución del factor de dilución al disminuir el flujo superficial. Sigue la presencia de una buena densa y continua zona ripariana, que estaría actuando como filtro ante posibles fuentes de contaminación, como por ejemplo ante los metales pesados detectados, junto con los macrófitos que poseen efecto depurador.

En los siguientes puntos, se entrega un resumen de los principales aspectos de la componente relativos a cada obra/puente del proyecto, descrito en la presente línea de base.

a) Calidad del agua

Se indica un resumen de los resultados de acuerdo con la normativa vigente NCh1333, para diferentes usos: desarrollo vida acuática-recreación contacto directo y regadío.

La mayoría de los cursos de agua fueron aptos para desarrollo vida acuática-recreación contacto directo, con excepciones particulares que se indican en la Tabla. Varios cauces fueron aptos para uso de regadío con restricciones por altas concentraciones de metales totales de acuerdo con la normativa referencial, que se especifican en la Tabla.

Se destaca que todos los cauces presentaron alto nivel de trofía para nitrógeno total y de mesotrofía a eutrofia para fósforo total.

Tabla 3- 85: Comportamiento de calidad del agua según cada Puente del proyecto

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Comportamiento Calidad de Agua NCh1333	
1	Cunaco Oriente	E1	Estero Tornicura	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricción por presencia de metal Mn que superó la norma.
		E2	Estero Tornicura	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Comportamiento Calidad de Agua NCh1333	
2	Ancoa N°1 Oriente	E3	rio Ancoa	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E4	rio Ancoa	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo a excepción de turbiedad por sobre límite NCh1333.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de metales que superaron la norma: Al y, Fe.
3	Ancoa Nº2 Oriente	E5	rio Ancoa	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E6	rio Ancoa	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de metales que superaron la norma: Lit. cítrico
4	Longaví Oriente	E7	río Longaví	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de metales que superaron la norma: Bo y Lit. cítrico
		E8	río Longaví	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
5	Copihue Oriente y Poniente	E9	Estero Copihue	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E10	Estero Copihue	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
6	Colliguay Oriente	E11	Estero Colliguay	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de metales que superaron la norma: Al, y Mn.
		E12	Estero Colliguay	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de Al, Mn, Fe y LIt. cítrico, que superaron la norma.
7	Parral Oriente, Ramal Oriente y Poniente	E13	Estero Parral	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E14	Estero Parral	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Comportamiento Calidad de Agua NCh1333	
8	Ñiquén Oriente	E15	río Ñiquén	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E16	río Ñiquén	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
9	Navotavo Oriente	E17	Estero Coche Pérez/ Navotavo	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricciones por presencia de Cr, Mo y Ni, que superaron la norma
		E18	Estero Coche Pérez/ Navotavo	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
10	Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	E19	Estero Carbonero	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
		E20	Estero Carbonero	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricción por presencia de metal Mn que superó la norma
11	Ninquihue Poniente	E21	Estero Lirutao	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	
		E22	Estero Lirutao	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricción por presencia de metal Mn que superó la norma
12	Menelhue Poniente	E23	Estero Rauco	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío con restricción por presencia de metal Mn que superó la norma
		E24	Estero Rauco	Apto para Vida acuática y recreación contacto directo y regadío.	Apto para uso regadío
13	Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)	E25	río Chillán	Aguas de buena calidad, solo se superó la NCh1333 en límites para Sodio (%)	Apto para uso regadío
		E26	río Chillán	Aguas de buena calidad, solo se superó la NCh1333 en límites para Sodio (%)	Apto para uso regadío

Fuente: ENVIS, 2023.

b) Calidad de sedimentos

Los sedimentos se relacionan con la biota, dado que bajo ciertas concentraciones pueden tener efectos adversos usando como referencia la norma internacional “Canadian Council Ministers of the Environmental (CCME), 2016”, que aplica, según dos criterios basado en concentraciones que provocan efectos adversos sobre la biota: baja ocurrencia (ISQGs) y alta ocurrencia (PEL). La presencia de estos metales bajo estos probables efectos se interpreta como cauces que tendrían una mayor sensibilidad ambiental.

Tabla 3- 86: Comportamiento de calidad de sedimentos según cada Puente del proyecto

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Comportamiento Sedimentos
1	Cunaco Oriente	E1	Estero Tornicura	Cd, Hg: efecto adverso
		E2	Estero Tornicura	Cd: efecto adverso
2	Ancoa N° 1 Oriente	E3	rio Ancoa	Cd, As: efecto adverso
		E4	rio Ancoa	Sin restricción
3	Ancoa Nº2 Oriente	E5	rio Ancoa	Cd, Zn, Cu, Cr y Pb: efecto adverso
		E6	rio Ancoa	Cd: efecto adverso
4	Longaví Oriente	E7	río Longaví	Cd y As: efecto adverso
		E8	río Longaví	Cd: efecto adverso
5	Copihue Oriente y Poniente	E9	Estero Copihue	Buenas condiciones
		E10	Estero Copihue	Cd: efecto adverso
6	Colliguay Oriente	E11	Estero Colliguay	Cu: efecto adverso
		E12	Estero Colliguay	Cd, Zn y Cu: efecto adverso
7	Parral Oriente, Ramal Oriente y Poniente	E13	Estero Parral	Cd: efecto adverso
		E14	Estero Parral	Buenas condiciones
8	Ñiquén Oriente	E15	río Ñiquén	Cd: efecto adverso
		E16	río Ñiquén	Cd: efecto adverso
9	Navotavo Oriente	E17	Estero Coche Pérez/ Navotavo	Cd: efecto adverso
		E18	Estero Coche Pérez/ Navotavo	Cd, As: efecto adverso
10	Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	E19	Estero Carbonero	Cd: efecto adverso
		E20	Estero Carbonero	Cu: efecto adverso
11	Ninquihue Poniente	E21	Estero Lirutao	Buenas condiciones
		E22	Estero Lirutao	Buenas condiciones
12	Menelhue Poniente	E23	Estero Rauco	Buenas condiciones
		E24	Estero Rauco	Buenas condiciones
13	Nebuco Oriente y Poniente	E25	río Chillán	Cd, Zn y Cu: efecto adverso

N°	Puente	Código punto muestreo	Cauce asociado	Comportamiento Sedimentos
	(tercera pista y calle local)	E26	río Chillán	Buenas condiciones

Fuente: ENVIS, 2023.

3.6.5 BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWAW, WEF. (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewaters, 22nd Edition. American Public Health Association, Washington.

Bain MB, JT Finn & HE Booke. (1985). Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. North American Journal of Fisheries Management. 5: 499-506.

Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of Aquatic Life in Interim Marine Sediment Quality Guidelines" (2002).

Catalán J. & J.M. Catalán (1987). Ríos caracterización y calidad de sus aguas, 2da. Ed. Editorial DIHIDROX.

CENMA/MOP-DGA (2010). Análisis de la composición fisicoquímica de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua. Introducción. Metodología. S.I.T. N° 207, Tomo II de V.

Cortes y Montalvo, (2010). Aguas: Calidad y contaminación. Un enfoque Químico Ambiental. pp:328.

FDEP (Florida Department Environmental Protection, 1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. (Disponible end: www. Dep.state.fl.us/water/monitoring/docs/seds/vol1/volume1.pdf)

Granados-Sánchez, D.; Hernández-García, M. Á.; López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas. Rev. Chapinga. Serie Cs. Forestales y del Ambiente. 12, (1) 55-69 pp.

Hounslow, A (1995). Water quality data: analysis and interpretation. Lewis Publishers, Boca Ratón. Cap. 16. 6: 21-27

MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA (MINSEGPRES), (1994. Ley 19.300. Aprueba Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

NCh-ISO 5667/1: (2017). Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.

NCh-ISO 5667/6: (2015). Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.

NCh-ISO5667/12: (2018). Calidad del agua-Muestreo-Parte 12: Guía para el muestreo de sedimentos de fondo de ríos, lagos y áreas de estuario.

NCh-ISO5667/14: (2015). Guía para la garantía de calidad y control de calidad de las muestras de agua del medioambiente y manejo

NCh 411/3 Of. 96. Norma Técnica de Calidad del agua - Muestreo Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de muestras. Instituto nacional de Normalización, INN.

NCh 411/6 Of. 97. Norma Técnica de Calidad del agua - Muestreo - Parte 6: Guía para el muestreo de ríos cursos de agua. Instituto nacional de Normalización, INN.

NCh 1.333, Of. 78. Norma chilena sobre requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto nacional de Normalización, INN.

NCh 17025 Of. (2005. Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Instituto nacional de Normalización, INN.

Pardo Isabel, Maruxa Álvarez, Jesús Casas, José Luis Moreno, Soledad Vivas, Núria Bonada, Javier Alba-Tercedor, Pablo Jáimez-Cuéllar Gabriel Moyà, Narcís Prat, Santiago Robles, M. Luisa Suárez, Manuel Toro & M. Rosario Vidal-Abarca. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat.

Pizarro J., P Vergara, J. Rodríguez, P. Sanhueza & S. Castro. (2010). Nutrients dynamics in the main river basins of the centre-southern region of Chile. Journal of Hazardous Materials 175:608-613.

Pratt N., B. Ríos., R. Acosta &M. Rieradewall (2009). Los macroinvertebrados como indicadores de calidad de agua. En Dominguez & Fernandez (eds) Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos.

Romero F, M. Cozano, R. Gangas & P. Naulin, (2014. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. BOSQUE 35(1): 3-12, 2014 DOI: 10.4067/S0717-92002014000100001

Smith, V. H, Tilman G.D, J.C., Nekola. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems (pp. 179-196).

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, (2015). Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, (2017). Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL, (2022). Guía de evaluación de efectos adversos sobre recursos naturales renovables. Segunda edición.

Wentworth, (1922). https://post.geoxnet.com/escala-granulometrica-de-udden-wentworth/

3.7 LÍNEA BASE RIESGOS NATURALES

3.7.1 OBJETIVOS

3.7.1.1 Objetivo General

Determinar e indicar la distribución espacial de los peligros y riesgos naturales asociados al Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”, tanto en su sitio de emplazamiento directo como en sus alrededores, indicando los niveles de peligrosidad a los que el Proyecto y sus partes están expuestos, principalmente a nivel de remociones en masa por flujo de barro/detritos.

3.7.1.2 Objetivos Específicos

- Definir la metodología utilizada para levantar información de los elementos geológicos y geomorfológicos dentro del Área de Influencia (AI), dando cuenta de los criterios, técnicas y categorías para el levantamiento de los datos.
- Sistematizar la información para describir suficientemente los factores de riesgo para el Área de Influencia, con base en el planteamiento metodológico.
- Identificar los atributos relevantes en el Área de influencia (AI) del Proyecto sobre los factores que suponen un riesgo para el Proyecto.
- Generar un mapa de síntesis que exprese la distribución zonal para eventos de remoción en masa y su relación geométrica con el Proyecto, para determinar el riesgo al que estarían expuestas las instalaciones.

3.7.2 METODOLOGÍA

La metodología fue diseñada para cumplir con el proceso iterativo de la evaluación ambiental (SEA, 2017), es decir: el ajuste gradual y correlativo del área de influencia, las descripciones ambientales y la predicción/evaluación de impactos ambientales. Dicho proceso va desde las definiciones, datos y predicciones de impacto más someras (basadas en simples correlaciones

geográficas de datos), hasta las definiciones, descripciones ambientales y predicciones más robustas y detalladas, dependiendo del caso en evaluación.

El grado de detalle de este proceso, para cada elemento del medio ambiente, depende de si las áreas de influencia, los antecedentes reunidos y las predicciones realizadas, son suficientes como para determinar la presencia o ausencia de impactos potenciales y precisar su significancia ambiental.

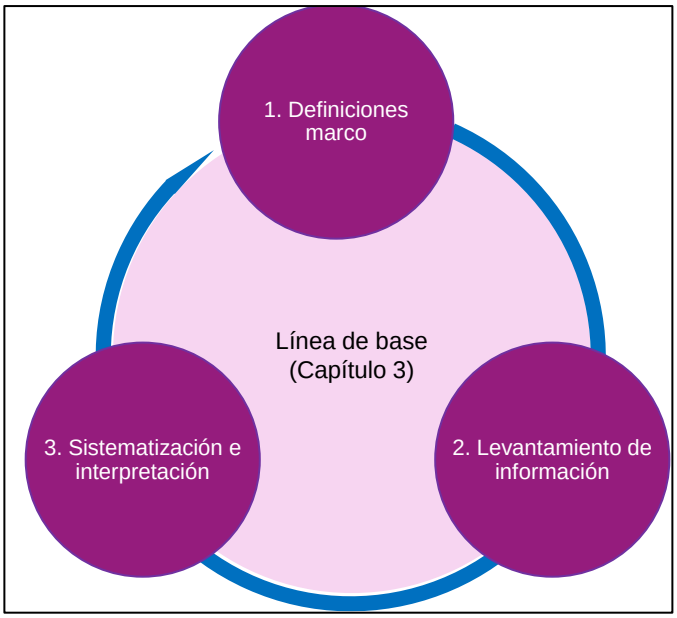
En correspondencia con este planteamiento, se consideraron tres etapas fundamentales de trabajo. Éstas son: I) Definiciones marco; II) Levantamiento de información y; III) Sistematización de información.

La primera reúne el conjunto de conceptos y criterios utilizados para definir o redefinir el alcance y detalle del levantamiento de información y los análisis del informe. Para ello, considera información asociada a la descripción del Proyecto, área de influencia y predicción/evaluación de impactos, traduciéndolos en criterios simples que permiten (a) focalizar espacialmente las descripciones de cada elemento y atributos relevante del medio ambiente potencialmente impactado, y (b) definir el nivel de detalle de la información a levantar (su escala, tipo de fuente y categorías de análisis).

La segunda etapa especifica las técnicas y pautas utilizadas para el levantamiento y registro de datos, implementando los criterios establecidos en las definiciones marco (i.e. el área de influencia preliminar o sus eventuales redefiniciones iterativas, y las categorías de análisis atinentes).

La tercera etapa establece los criterios y/o categorías utilizadas para organizar la información levantada, y evalúa la suficiencia de dicha información, respecto de las variables, valores y grados de detalle de la caracterización. En este sentido, la tercera etapa corresponde a la síntesis metodológica y de información. Todas las etapas señaladas se esquematizan en la siguiente figura:

Figura 3- 47: Secuencia metodológica.



Fuente: ENVIS, 2022.

3.7.2.1 DEFINICIONES MARCO

3.7.2.1.1 Marco de Referencia Técnico

Se consideró la revisión de antecedentes bibliográficos que tuvieran estrecha relación con los análisis de peligrosidad requeridos en esta línea de base, tales como publicaciones científicas, tesis de investigación o memorias de título, informes técnicos, revistas, entre otros. Se veló por el cumplimiento de dos condiciones en los antecedentes revistos: (a) tener la mayor correspondencia temporal posible (lo más actual posible) y (b) tener la mayor correspondencia espacial posible respecto del área de influencia (es decir, dando mayor prioridad a información específica sobre el AI o sus alrededores, y menor prioridad a la información de carácter regional o general). A continuación, se señalan las guías utilizadas como referencia metodológica:

- Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2017. Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Guía de contenidos exigidos en estudios de peligro de remociones en masa evaluados por SERNAGEOMIN, en el contexto de permisos municipales.

- Guía metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA (SEA, 2023).

3.7.2.1.2 Categorías de Análisis

En esta fase se determinaron las categorías fundamentales con que se caracteriza al componente de Riesgos Naturales. Considerando un análisis de lo general a lo particular, se señalan los peligros naturales, factores y subfactores condicionantes de peligro, concepto de peligrosidad y la metodología de ponderación a utilizar en el desarrollo del presente informe.

- Peligros naturales

Los peligros o amenazas son definidos como *"aquellos procesos del medio ambiente que por la gran magnitud (momentum) que pueden o suelen alcanzar, son capaces de provocar cambios importantes en el paisaje o de alterar su condición de equilibrio de forma más o menos prolongada, según sea el tipo de proceso, el área afectada y la recurrencia"* (Ferrando, 2003, pág. 21). En amplio sentido, los peligros podrían ser clasificados en aquellos de carácter natural (i.e. lluvias intensas) o antrópico (i.e. transporte de combustible).

Respecto de los peligros naturales, la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la ONU (EIRD) define las amenazas o peligros naturales como "*un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales."* (ONU-EIRD, 2009, pág. 7). Por su parte, Ayala Carcedo y Olcina (2002) definen la peligrosidad natural como *"el conjunto de los aspectos naturales, no sociales, de un fenómeno que tienen incidencia en el riesgo, daño esperado"* (Pág. 135).

Los peligros son dinámicos y sus posibles impactos muy variados (EIRD-ONU, 2004), situación que dificulta su clasificación. Con respecto a esto, la EIRD, en el año 2004, clasifica las amenazas o peligros de acuerdo con su origen. Esta clasificación se presenta en la Tabla siguiente acotándose a aquellos peligros de origen natural (agentes no humanos):

Tabla 3- 87: Clasificación de peligros o amenazas según origen.

Origen	Fenómenos (ejemplos)
Amenazas Hidrometeorológicas	

Procesos o fenómenos naturales de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico	• Inundaciones, flujos de lodos y detritos. • Ciclones tropicales, marejadas, vientos, lluvias y otras tormentas severas. • Sequías, desertificación, incendios forestales, temperaturas extremas, tormentas de arena polvaredas. • Heladas, avalanchas de nieve.
Amenazas Geológicas	
Procesos o fenómenos naturales terrestres o geológicos	• Terremotos, tsunamis. • Actividad y erupciones volcánicas. • Remociones de masas, deslizamientos, desprendimientos de rocas, licuefacción. • Colapso de superficies, actividad de fallas geológicas.
Amenazas Biológicas	
Procesos de origen orgánico, incluidos la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas	• Brotes de enfermedades epidémicas, contagio de plantas, animales y pandemias. • Marea Rojas.

Fuente: Con base en informe “Vivir con el Riesgo” (EIRD-ONU, 2004, pág. 43).

El estudio de las amenazas o peligros naturales persigue definir con claridad los grados o niveles de peligro, o peligrosidad, que se presentan en un territorio determinado. Estos grados dependen, a su vez, de la posibilidad o probabilidad de que suceda un evento peligroso para cierto período y lugar, pudiendo medirse en grados cualitativos ordinales o cuantitativos, según sean las técnicas elegidas para mesurar el peligro.

Para efectos de este informe se considerará la evaluación de cuatros peligros a los que podría verse expuesto el Proyecto: Riesgo climático, incendios forestales, inundaciones, sismos, tsunami, actividad volcánica y remociones en masa.

- Factores de peligro

Los factores de peligro representan condiciones territoriales transversales, tanto eventuales como permanentes, que hacen posible la manifestación de procesos ambientales peligrosos, o amenazas. Los factores de peligro (“factores”), en el contexto de los peligros naturales, son variables ambientales como la rocosidad, porosidad, pluviosidad, pendiente, sismicidad u otros procesos que definen la estructura material de los territorios y sus grandes regímenes de cambio.

Estos pueden ser clasificados en factores condicionantes (o pasivos) y detonantes (o activos), según se trate, respectivamente, de aquellos procesos constantes que conforman estructuras perdurables (i.e. una ladera solana o una unidad granítica), o procesos eventuales, generalmente efímeros, que desencadenan cambios estructurales (i.e. sismo que desencadena una avalancha de rocas). De lo anterior se deduce que ambos factores son necesarios para constituir el peligro, puesto que, ante la ausencia de cualquiera de los dos tipos de factores, no existiría la posibilidad de procesos destructivos.

Los factores condicionantes principales, según Lara (2007), corresponden a la *geomorfología, geología, geotecnia* y *vegetación*, mientras que, como consideración adicional, es posible incorporar los regímenes de afluencia hídrica. Sin embargo, los factores específicos que inciden sobre cada peligro natural deben ser definidos considerando, al menos, (a) las características especiales de cada peligro natural y (b) las características especiales del territorio evaluado (i.e. procesos de sequía, cercanía de volcanes, glaciares, etc.). A partir del ejercicio anterior, es posible aumentar o disminuir la cantidad de factores considerados para un peligro y, eventualmente, darles un orden causal que se expresa a través de la categoría de *subfactor*(es), es decir, factores o variables que forman parte de un factor mayor.

Para el presente informe se han considerado cuatro factores condicionantes generales que involucran a los peligros de remoción en masa, a través de categorías suficientemente amplias como para representar fenómenos o aspectos en lugar de disciplinas del conocimiento (i.e. *sustrato* en lugar de *geología* (el material basal en lugar de la ciencia que estudia los procesos, composición y estructura de la Tierra)), a la vez de permitir su acotación en torno a las características de cada peligro y del entorno, incorporando subfactores o variables específicos para flujo de barro/detrito. La Tabla siguiente resume los factores condicionantes generales del estudio:

Tabla 3- 88: Esquema factores que integran los peligros naturales analizados.

Factor típico	Definición
Sustrato (material de sustrato)	Involucra a las series o composiciones del sustrato, incluyendo sus características litológicas, grado de erosión potencial y sus procesos de acreción-decreción actuales o potenciales.
Forma (geoforma del sustrato)	Involucra la configuración espacial que adoptan los componentes del sustrato, es decir, la relación topológica entre las partes, incluyendo entidades orogénicas, valles, pendientes, entre otros posibles.
Cubierta (usos del sustrato)	Involucra a los agentes (humanos y no humanos) que están fijos en la superficie del sustrato y alteran su forma y materialidad, incluyendo densidad

Factor típico	Definición
	vegetacional, vialidad, formaciones vegetacionales, terrenos urbanos, infraestructuras, praderas, entre otros posibles.
Parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas (sistemas hídricos)	Involucra a los agentes (humanos y no humanos) que fluyen en la superficie del sustrato y alteran su forma y materialidad, incluyendo redes de drenajes permanentes y estacionales, densidad y compacidad.

Fuente: ENVIS, 2023.

En contrapartida, los factores detonantes principales, acorde con la revisión de experiencias de análisis de riesgos y peligros naturales en América (Arenas & Opazo, 2017), corresponden a precipitaciones críticas y sismos, ambos teniendo carácter netamente eventual o esporádico. Sin embargo, la consideración de factores detonantes resulta útil para identificar períodos de mayor seguridad/peligro (estaciones inactivas/activas), establecer protocolos de emergencia insertos en planes de protección civil, o comparar riesgos y peligros entre regiones geográficas más amplias, donde las variaciones de precipitaciones o sismicidad son ostensibles.

Consecuentemente, las secciones venideras del informe únicamente han incorporado factores condicionantes para la determinación de los grados de peligro, asumiendo que hay probabilidad cierta y homogeneidad en la presencia de factores detonantes.

- Peligrosidad

La peligrosidad es una categoría teórico-práctica abordada como la probabilidad de peligro dada por la estructura intrínseca de cada factor/subfactor de peligro y por su efecto conjunto. En consecuencia, la peligrosidad se expresa en *grados* de probabilidad que van desde la nula peligrosidad (posibilidad ciertamente nula de una estructura para generar procesos peligrosos) hasta la plena peligrosidad (posibilidad muy alta o probabilidad cierta de que una estructura genera o generará procesos peligrosos).

En términos pragmáticos, la peligrosidad es el valor cualitativo ordinal que se le asigna a determinados valores de una variable de un factor o subfactor, respecto de algún peligro específico, y que generalmente se expresa en categorías de nula, muy baja, baja, media, alta y muy alta peligrosidad.

En este sentido, si bien la peligrosidad de un factor puede presentar infinitos y variables grados de probabilidad de peligro, la medición del peligro y del riesgo exige el establecimiento de rangos discretos, estables y comprensibles, construidos con el mayor grado posible de consistencia empírica, ya sea esté basada en la experiencia o en el desarrollo del general conocimiento. Por consiguiente, la peligrosidad es el concepto base que permite la medición cualitativa del peligro,

y el presente estudio ha considerado las categorías de uso común para niveles/grados de peligrosidad y de peligro en general como se indica en la Tabla siguiente.

Tabla 3- 89: Categorías cualitativas ordinales de susceptibilidad/peligro.

Categoría cualitativa peligrosidad	Valor ordinal peligrosidad	Significancia típica
Nula	0	Sin probabilidad de procesos asociados al peligro
Muy baja	1	Probabilidad muy aislada e irrelevante de procesos asociados al peligro
Baja	2	Probabilidad aislada y poco relevante de procesos asociados al peligro en cuestión
Media	3	Probabilidad de ocurrencia de procesos de peligro en el corto, mediano o largo plazo, con daños perceptibles pero controlables, sin probabilidad de desastres.
Alta	4	Probabilidad de ocurrencia recurrente de procesos de peligro en el corto, mediano o largo plazo. Estos procesos pueden ser muy recurrentes y/o importar daños sustanciales al patrimonio, poco controlables, con potencial desastre en períodos de retorno largos.
Muy alta	5	Certeza de ocurrencia de procesos de peligro en el corto y mediano plazo. Probabilidad de daños potencialmente sustanciales al patrimonio y a la salud, poco controlables. Alta probabilidad de desastre para períodos de retorno largos.

Fuente: ENVIS, 2023.

Cabe señalar que las 6 categorías previamente enlistadas, al aplicarse sobre las variables de factores/subfactores de diversa naturaleza, pueden ser simplificadas en aquellos casos donde la variabilidad es menor que 6, o cuando no corresponde la aplicación de cada rango (i.e. no se identifican entidades con valores nulos, o de otros rangos).

- Ponderaciones

Las ponderaciones corresponden a la definición de los niveles de relevancia con que distintos factores, subfactores o variables participan en la manifestación de un mismo fenómeno. Las ponderaciones deben representar la jerarquía causal de las partes respecto de un todo.

Tal como los niveles de peligrosidad, las ponderaciones se aplican en los estudios de amenazas, riesgos y vulnerabilidad para poder integrar en forma ordinal o cuantitativa diversos aspectos de la realidad. Por esto, las ponderaciones de factores, subfactores o variables se expresan como fracciones de 1, es decir, como la proporción en que éstas constituyen una unidad (x% del 100%). Esto permite dar mayor o menor relevancia a los valores ordinales de peligrosidad que hayan sido definidos durante una investigación (al ponderarlos según la fracción o proporción con que participan en un fenómeno).

Para definir los niveles de relevancia (o jerarquía) entre las partes, las ponderaciones son definidas según criterios teóricos, técnicos, prácticos y empíricos. Esto quiere decir que, por una parte, las ponderaciones pueden (y deben) ser consistentes respecto de: El conocimiento que se tenga sobre un fenómeno (i.e. el clima respecto de incendios forestales); la posibilidad técnica y práctica de medir o caracterizar un fenómeno, y la pericia que pudiesen tener actores clave o la experiencia otorgada por las labores de campo. La Tabla siguiente expresa los esquemas de ponderación que pueden aplicarse, a modo de ejemplo:

Tabla 3- 90: Esquema de ponderación e integración de partes (ejemplo).

Integración (ponderación) factores del peligro por flujo de barro y detrito (100%)			
(F1) Factor 1 (35%)	(F2) Factor 2 (40%)	(F3) Factor 3 (5%)	(F4) Factor 4 (20%)
$(\boldsymbol{f1} * \mathbf{0,35}) + (\boldsymbol{f2} * \mathbf{0,4}) + (\boldsymbol{f3} * \mathbf{0,05}) + (\boldsymbol{f4} * \mathbf{0,2})$			
Integración (ponderación) subfactores del Factor 1 (100%)			
(SF1) Subfactor1 (60%)	(SF2) Subfactor2 (30%)	(SF3) Subfactor 3 (10%)	
$(\boldsymbol{sf1} * \mathbf{0,6}) + (\boldsymbol{sf2} * \mathbf{0,3}) + (\boldsymbol{sf3} * \mathbf{0,1})$			

Fuente: ENVIS, 2023.

La ponderación aplicada a los distintos factores/subfactores se presenta en el numeral 3.7.2.3 del presente informe.

3.7.2.2 Levantamiento de Información

3.7.2.2.1 Revisión Bibliográfica

A partir del área de influencia preliminar se realizó una revisión y selección bibliográfica, con la finalidad de contextualizar adecuadamente el entorno del Proyecto, evaluar la peligrosidad sísmica y volcánica, y determinar los distintos componentes asociados a un potencial peligro de remoción presentes en la zona a intervenir. Se revisaron diversas fuentes atingentes a las regiones de Maule, de Ñuble y al sector del Proyecto, tales como, artículos de divulgación y expedientes de proyectos cercanos al AI, ingresados al SEIA.

Para acotar el área de estudio, o área de interés, se han considerado disposiciones teóricas y técnicas, y datos secundarios en torno a las unidades geológicas y geomorfológicas presentes en el sector. Adicionalmente, se utilizó el Modelo Digital de Elevaciones (DEM) ALOS Palsar, para generar un modelo de microcuencas y un Mapa de Sombras (hillshade), que es la simple representación de un DEM como relieve a partir de interpolaciones entre pixeles. Estos elementos, junto con imágenes Google Earth, permitieron delimitar en forma manual las variaciones de relieve y litología presentes en el sitio del Proyecto.

3.7.2.2.2 Levantamiento de Información Primaria

El rol de la información obtenida directamente en una campaña de terreno es aumentar los conocimientos establecidos en forma analítica. En este sentido, se realizó una visita al área del Proyecto y sus alrededores para constatar la correspondencia de la información secundaria, complementarla y corregirla, según fuera necesario, incrementando los datos disponibles para la identificación y caracterización de las unidades geológicas, de los procesos modeladores de relieve y principales aspectos geomorfológicos. En este sentido, los aspectos geológicos reconocidos en terreno fueron presentados en la Línea de Base 3-3.4 Geología y Geomorfología.

3.7.2.3 Sistematización

A partir de los datos obtenidos desde la revisión bibliográfica y desde el trabajo de terreno, se obtuvo la información para proceder con el procesamiento de datos requerido para el desarrollo del presente informe.

3.7.2.3.1 Determinación de Subfactores

La mayoría de la información asociada a los factores y sus respectivos subfactores proviene de la organización y categorización de la revisión bibliográfica. Sin embargo, la definición de algunos de ellos requiere el procesamiento de datos iniciales para su obtención.

A continuación, se detalla el procedimiento para la obtención de cada uno de ellos:

Geología: Las unidades litológicas se caracterizan mediante la Hoja de Concepción-Chillán (Gajardo, 1981), en conjunto con el Levantamiento de información hidrogeológica de la cuenca del Rio Maule (DGA, 2010) y Estudio hidrogeológico de la Cuenca del Biobío e Itata (DGA, 2011).

Erosión: Se determina mediante la caracterización de niveles de erosión realizada por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) en el 2010.

Unidades geomorfológicas: Para dar una contextualización, se determinan en primera instancia a nivel regional con la división geomorfológica de Chile propuesta por Börgel (1983). En segunda instancia, se definen a nivel local las morfoestructuras de detalle presentes en el AI y sus alrededores, para ello se utiliza un modelo de elevación digital (DEM) obtenido desde las bases de datos del satélite ALOS PALSAR y posteriormente, las imágenes son procesadas con el software QGIS.

Pendientes: Este subfactor se determina a través del análisis topográfico para obtener las pendientes (°) asociadas a las distintas morfologías presentes en el área de influencia. Para ello se utiliza un modelo de elevación digital (DEM) obtenido desde las bases de datos del satélite ALOS PALSAR y posteriormente, las imágenes son procesadas con el software QGIS.

Densidad vegetacional (NDVI): El NDVI mide la densidad vegetacional conforme a la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja, específicamente en las bandas roja e infrarroja. Para su obtención se realizó el procesamiento de imágenes satelitales de Landsat 8 a través de la siguiente relación de bandas:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Uso de suelo: Se determina a través de la zonificación de los distintos usos que se le otorgan al suelo, el cual es caracterizada por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), en el 2016 para la Región del Maule, y en el 2015 para la Región de Ñuble

Red hídrica: Se determina a través de la delimitación de las redes de drenaje dentro de cada microcuenca. Para lo anterior se utiliza la caracterización de la red hídrica del inventario del Banco Nacional de Aguas (BNA) y se complementa con la visualización de imágenes Google Earth.

Densidad de drenes: Se expresa a través del cálculo de la densidad de los drenajes de cada microcuenca que compone el área de influencia a través de la siguiente relación:

$$Densidad\ drenaje = \frac{\sum Longitud\ de\ drenajes\ [km]}{Área\ de\ cuenca\ [km2]}$$

Compacidad de Gravelius: Se expresa a través del cálculo de compacidad de Gravelius de cada microcuenca que compone el área de influencia a través de la siguiente relación:

$$Kc = 0.28\ \frac{Perímetro\ de\ cuenca}{\sqrt{Área\ de\ cuenca}}$$

3.7.2.3.2 Determinación Del Peligro

- Análisis cualitativo de peligro para cada subfactor

Geología

El nivel de peligrosidad para las remociones en masa considerando como factor la geología del área, consiste en evaluar la estabilidad que tiene cada una de las unidades litológicas. Así mismo, la estabilidad estará definida por el origen (diagénesis) y el grado de compactación. Por lo tanto,

las unidades que presentan una menor estabilidad serán aquellas más susceptibles a ser afectadas por eventos de remoción en masa, y viceversa. En la Tabla siguiente se presenta la categorización cualitativa del nivel de peligrosidad asociado a los distintos tipos de litología.

Tabla 3- 91: Peligrosidad de flujos de barro y detrito para la geología (estabilidad unidades).

Formación superficial	Estabilidad	Peligrosidad
Detritos no consolidados	Muy baja	Muy alta
Suelos Lacustres	Baja	Alta
Detritos consolidados	Media	Media
Rocas volcánicas	Alta	Baja
Rocas cristalinas	Muy alta	Muy baja

Fuente: SIGA. Adaptado desde Guía metodológica para la construcción del sistema integrado para la gestión ambiental. Canadá en SUBDERE (2011).

Erosión

La peligrosidad asociada a la erosión se determina considerando que, a mayor nivel de erosión, mayor es la susceptibilidad de un área a ser afectada por eventos de remoción en masa, debido a la alta exposición del sustrato. En la Tabla siguiente se detallan las categorías de peligrosidad asociada a cada nivel de erosión.

Tabla 3- 92: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada nivel de erosión.

Nivel de erosión	Peligrosidad
Otros (no aplica)	Muy baja
Erosión nula	Muy baja
Erosión no aparente	Baja
Erosión ligera	Baja
Erosión moderada	Media
Erosión Severa	Alta
Erosión Muy Severa	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

Unidades geomorfológicas

La peligrosidad asociada a la geomorfología se determina considerando la facilidad de aporte y transporte de material que posee cada morfoestructura, definiéndose un mayor peligro para las que poseen una mayor capacidad.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad asociada a cada unidad geomorfológica.

Tabla 3- 93: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada unidad geomorfológica.

Unidades Geomorfológicas	Peligrosidad
Llanos y conos antiguos	Media
Cumbres	Muy baja
Laderas altas y crestas	Media
Escarpes	Media
Lomas y salientes	Baja
Laderas y conos moderados	Alta
Depresiones y hondonadas	Alta
Piedemontes e interfases	Muy alta
Quebradas y alvéolos	Muy alta
Fosas	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

Pendientes

La peligrosidad de las pendientes se determina considerando la relevancia del rol de la gravedad en los eventos de remoción en masa, lo cual define que las zonas de pendientes elevadas son las más favorables para el desarrollo y transporte de flujos de barro o detritos.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad para cada rango de pendientes

Tabla 3- 94: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada rango de pendiente.

Pendiente	Clasificación	Peligrosidad
0°-3°	Muy ligeramente inclinados	Muy baja
3°-5°	Ligeramente inclinados	Baja
5°-10°	Medianamente inclinados	Media
10°-30°	Fuertemente inclinados	Alta
>30°	Muy fuertemente inclinados	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023 con base en Priego et al (2010).

Densidad vegetacional

La peligrosidad asociada a la densidad vegetacional, se determina considerando que un mayor grado de vegetación implica un menor nivel de erosión y, al mismo tiempo, favorece a una mayor capacidad de retención y estabilización de taludes. Por lo anterior, una mayor densidad vegetacional se asocia a una menor susceptibilidad al arrastre o remoción de material.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad asociada a cada rango de densidad vegetacional.

Tabla 3- 95: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para densidad vegetacional.

Densidad vegetacional (NDVI)	Peligrosidad
<0,0 – 0.2	Muy alta
0.2 – 0.4	Alta
0.4 – 0.6	Media
0.6 – 0.8	Baja
0.8 – 1.0	Muy baja

Fuente: ENVIS, 2023.

Usos de suelo

La peligrosidad asociada al uso del suelo se determina considerando la capacidad de aporte de material que posee cada uno de ellos y del área libre que disponen para permitir el avance de un flujo. Por lo anterior, las áreas de mayor peligro corresponden a las áreas con menor intervención antrópica, y a las más pobres en vegetación, dado que representar zonas capaces de proveer detritos de forma continua y de permitir el libre avance de los flujos.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad asociada a cada uso de suelo:

Tabla 3- 96: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para los distintos usos de suelo.

Uso de suelo	Peligrosidad
Bosques	Muy Baja
Cuerpos de agua	Muy Baja
Humedales	Baja
Nieves eternas y glaciares	Baja
Áreas urbanas e industriales	Baja
Terrenos Agrícolas	Media
Praderas y Matorrales	Alta
Áreas sin vegetación	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

Red hídrica

La peligrosidad asociada a la red hídrica se determina considerando la capacidad de transporte que posee un determinado cauce asociado a su caudal y volumen de agua, por ello los cauces de mayor amplitud y con abundante cantidad de afluentes son los de mayor peligro para eventos de remociones en masa, debido a la gran cantidad de detritos capaces de transportar producto del volumen de agua y energía que le otorgan sus afluentes. Para cuantificar lo anterior las redes se clasifican según el orden establecido por Strahler (Jerarquía de drenes).

Tabla 3- 97: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para jerarquía según Strahler.

Jerarquía de drenes	Peligrosidad
1	Muy Baja
2	Baja
3	Media
4	Alta
5	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

Densidad de drenes

La peligrosidad asociada a la densidad de drenes se determina considerando que, ante un evento de remoción la circulación de flujos de barro y detrito se concentra en los cauces, por ello las microcuencas con alta densidad de drenaje se consideran altamente susceptibles al arrastre y remoción de material.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad asociada a cada rango de densidad de drenaje:

Tabla 3- 98: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada rango de densidad de drenaje.

Densidad de drenaje [km/km^2]	Peligrosidad
0.00 - 0.20	Muy baja
0.20 - 0.40	Baja
0.40 - 0.60	Media
0.60 - 0.80	Alta
> 0.80	Muy alta

Fuente: ENVIS, 2023.

Compacidad de Gravelius

La peligrosidad asociada a la compacidad se determina considerando la acumulación de material a la que está expuesta una microcuenca como consecuencia del tiempo de permanencia de los flujos y la longitud de su transporte dentro de ellas. Por lo anterior, las cuencas de morfologías más circulares son las de mayor peligrosidad por poseer una menor longitud de transporte y una mayor permanencia del material dentro de ellas.

En la Tabla siguiente se detalla la peligrosidad asociada a cada rango de compacidad:

Tabla 3- 99: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para las distintas clases de compacidad.

Rango De Kc	Clases de compacidad	Peligrosidad
1-1.25	Redonda a oval redonda	Alta
1.25-1.50	De oval redonda a oval oblonga	Media
>1.50	De oval oblonga a rectangular oblonga	Baja

Fuente: ENVIS, 2023.

- Análisis cuantitativo de peligrosidad para cada Factor

Según lo señalado en la sección de categorías de análisis, los factores se determinan a partir de la ponderación cuantitativa de los subfactores, para luego ser integrados de forma jerárquica y obtener como resultado el mapa de síntesis de peligro para el AI del Proyecto:

A continuación, se presentan la metodología para determinar la peligrosidad de cada factor:

Sustrato

Este factor se expresa a través de la integración de la peligrosidad de los subfactores del sustrato mediante la ponderación de sus valores de peligrosidad con la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Sustrato = Geología * 0,7 \quad + \quad Erosión * 0,3}$$

Se le otorga una mayor relevancia al tipo de litología que a su nivel de erosión debido a que, si bien el nivel erosivo expone la roca para una eventual remoción, el tipo de litología determina la cohesión, plasticidad y permeabilidad del material, lo que condiciona la capacidad de resistencia del depósito y su estabilidad en presencia de laderas, flujos de agua o eventos de remoción.

Forma

Este factor se expresa a través de la integración de la peligrosidad de los subfactores de la forma mediante la ponderación de sus valores de peligrosidad con la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Formas = Pendiente * 0,6 + Unidades\ geomorfológicas * 0,4}$$

Se le otorga una mayor relevancia a la pendiente del terreno que a las unidades geomorfológicas debido a que, el efecto gravitatorio de las altas pendientes es considerado un factor de primer orden en la ocurrencia de remociones, ya que condiciona la dirección, velocidad, energía y volumen del evento. Mientras que la morfología representa las vías de aporte y transporte del material.

Cubierta

Este factor se expresa a través de la integración de la peligrosidad de los subfactores de la cubierta mediante la ponderación de sus valores de peligrosidad con la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Cubierta = NDVI * 0,4 \quad + \quad Uso\ de\ suelo * 0,6}$$

Se le otorga una mayor relevancia al uso del suelo que a la densidad vegetacional, ya que las coberturas de uso de suelo involucran un amplio espectro de usos naturales y antrópicos, mientras que el NDVI permite identificar solo la presencia o ausencia de vegetación y su densidad.

Parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas

Este factor se expresa a través de la integración de la peligrosidad de los distintos subfactores de la morfometría de cuencas hidrográficas mediante la ponderación de los valores de peligrosidad. Dadas las características de los subfactores de este componente, la integración se realiza por partes, en primera instancia se calcula la peligrosidad para las áreas sin cauces con la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Morfometría = Densidad\ de\ drenaje * 0,6 + \ Compacidad * 0,4}$$

En segundo lugar, se calcula la peligrosidad para las microcuencas integrando la red hidrográfica mediante la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Morfometría = Densidad\ de\ drenaje * 0,4 + \ Compacidad * 0,2 + Red\ hídrica * 0,4}$$

Se le otorga una mayor relevancia a la red hídrica y a la densidad de drenaje que a la compacidad debido a que la compacidad determina la permanencia y acumulación del flujo en la cuenca, pero

la red hídrica y su densidad, condicionan la concentración y volumen de material que ingresa y es transportado dentro de la cuenca. Por otra parte, la alta densidad del drenaje también favorece la saturación del sustrato y los vuelve más susceptibles al arrastre y remoción de los materiales.

Síntesis de peligro

El peligro asociado a las remociones en masa, específicamente en los flujos de barro/detritos, se determina a través de la integración de la peligrosidad de los distintos factores condicionantes mediante la ponderación de sus valores de peligrosidad como se presenta en la siguiente relación:

$$\boldsymbol{Peligro = Sustrato * 0,4 + Formas * 0,25 + Cubierta * 0,25 + Morfometría * 0,1}$$

Se le otorga una mayor relevancia al sustrato ya que es el factor que considera las características intrínsecas del material como su cohesión, plasticidad, permeabilidad y nivel de erosión, lo cual condiciona de forma primaria la capacidad de resistencia del depósito y su estabilidad en presencia de laderas, flujos de agua o eventos de remoción.

La segunda relevancia la componen la forma y la cubierta ya que son dos factores en estrecha relación que condicionan en forma conjunta la estabilidad del sustrato. La cubierta por una parte mediante la densidad y tipo de vegetación presente, y por otra parte la forma mediante los cambios de pendientes que determinan la presencia y dirección de las laderas que además condicionan la dirección y velocidad de una eventual remoción.

Finalmente, a la morfometría se le otorga la menor relevancia ya que su influencia es más bien local en los cauces y su importancia radica en el transporte del material ante una eventual remoción.

3.7.2.3.3 Presentación de Resultados

Con base en la metodología señalada en la presente línea de base, se establece que los resultados se desglosen en: (a) justificación y delimitación del área de influencia (AI), (b) peligros presentes en el AI, señalando: Riesgo climático, incendios forestales, inundaciones, sismos, tsunami, actividad volcánica y eventos de remoción en masa (flujos de barro/detritos) y (c) síntesis de peligro en el AI.

Asimismo, dado el orden de integración de la información, se establece que, dentro de cada eje y sub-eje de sistematización, se implementase el método sintético, que va desde las categorías

y descripciones más particulares y actuales (i.e. Ponderación de subfactores ante la importancia de ocurrencia de un evento) hasta las más generales y extensas que son producto de los elementos particulares (i.e. Peligrosidad de los factores a favorecer amenazas naturales).

Finalmente, se presenta la conclusión, en donde se relaciona o integra toda la información del informe con el área del proyecto y se determina cuáles son las áreas del Proyecto más susceptibles a los peligros naturales.

3.7.3 RESULTADOS

3.7.3.1 Peligros en el Área de Influencia

Los antecedentes de peligros en el área de influencia fueron revisados tanto a nivel regional como a nivel local, considerando los principales factores condicionantes y detonantes que podrían favorecer al desarrollo de eventos de peligro en dicha área de influencia.

3.7.3.1.1 Riesgo climático

Según lo indicado en el artículo N°40 de la Ley Marco de Cambio Climático N°21.455, los proyectos o actividades que se sometan a evaluación de impacto ambiental considerarán la variable de cambio climático en los componentes del medio ambiente que sean pertinentes, conforme lo disponga el reglamento respectivo. Así mismo, esta ley presenta un Marco jurídico para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, con la finalidad de alcanzar y mantener la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero al año 2050. Además, se establecen instrumentos de gestión a nivel nacional, regional y local, entregando herramientas a la ciudadanía para su participación en el SEIA.

En este contexto, el Servicio de Evaluación Ambiental a través de la Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA (SEA, 2023) busca entregar criterios e instaurar una metodología para la evaluación ambiental de proyectos y actividades ante los efectos adversos del cambio climático. En términos prácticos, para la evaluación ambiental en el SEIA se recomienda la utilización del Explorador de Amenazas Climáticas para conocer el nivel de amenaza del sitio donde se pretende localizar el proyecto y también del Atlas de Riesgos Climáticos (ARClim), desarrollado por el Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2) y el Centro de Cambio Global (CCG-Universidad Católica de Chile), donde se presenta a nivel de comunas los fatores que constituyen el Riesgo Climático asociado a 52 cadenas de impactos.

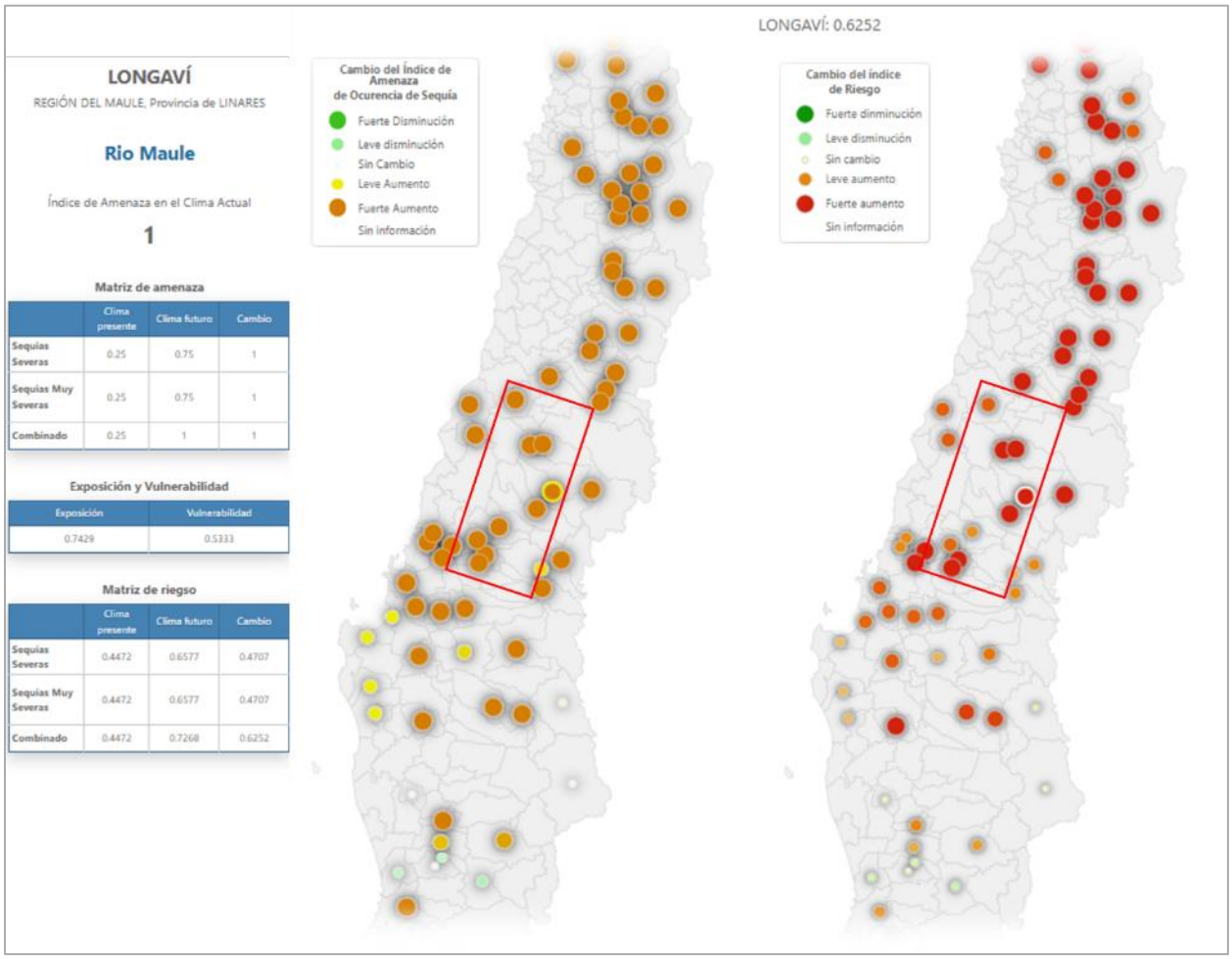
Los tres (3) factores que constituyen el riesgo climático son: La amenaza climática; se refiere a la probabilidad o intensidad esperada de condiciones climáticas adversas en cierto territorio, se considera el cambio del clima entre el pasado reciente (1980-2010) y el futuro mediano (2035-2065) bajo un escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero. La vulnerabilidad (sumatoria de la sensibilidad y la capacidad adaptativa); corresponde a factores no climáticos, e indica la propensión o predisposición a que un territorio, ecosistema, comunidad o sector se vea afectado negativamente a partir de la susceptibilidad al daño y a la falta de capacidad para responder y adaptarse. La exposición; se refiere a la interacción con la presencia y dimensión de componentes ambientales potencialmente susceptibles de ser afectados negativamente por sucesos climáticos.

Dicho esto, las cadenas de impactos asociadas al área de influencia del proyecto, con información disponible en la plataforma ARClim son las siguientes: sequías hidrológicas, inundaciones, efecto de las heladas, seguridad hídrica doméstica urbana y rural, incendios en bosques nativos y forestales, verdor en bosques nativos y forestales. Se ha de destacar que, para el análisis de riesgos frente a escenarios de cambio climático, se considera un polígono envolvente del proyecto y se destacan las comunas o estaciones más representativas de la cadena de impacto como punto de referencia

A continuación, se muestran los resultados para cada una de estas cadenas de impactos.

Sequías Hidrológicas: Se muestran efectos adversos de las sequías hidrológicas para distintas comunas del país, considerando el cauce principal dentro de la comuna. La sequía considera un aumento de frecuencia de los caudales bajos y la disminución en la magnitud de los caudales extremos bajos. En la siguiente Figura se destaca la comuna de Longaví como punto representativo (punto medio del Proyecto), con un cambio del índice de amenaza respecto al clima actual de 1 indicando un fuerte aumento en la ocurrencia de sequía. Mientras que el cambio del índice de riesgo es de 0,6252 indicando un fuerte aumento. De igual forma se destaca la zona de emplazamiento del Proyecto con un polígono rojo, donde es posible visualizar que la mayoría de los puntos registrados por la plataforma ARClim, presentan un fuerte aumento de amenaza y riesgo para sequía frente a escenario de Cambio Climático.

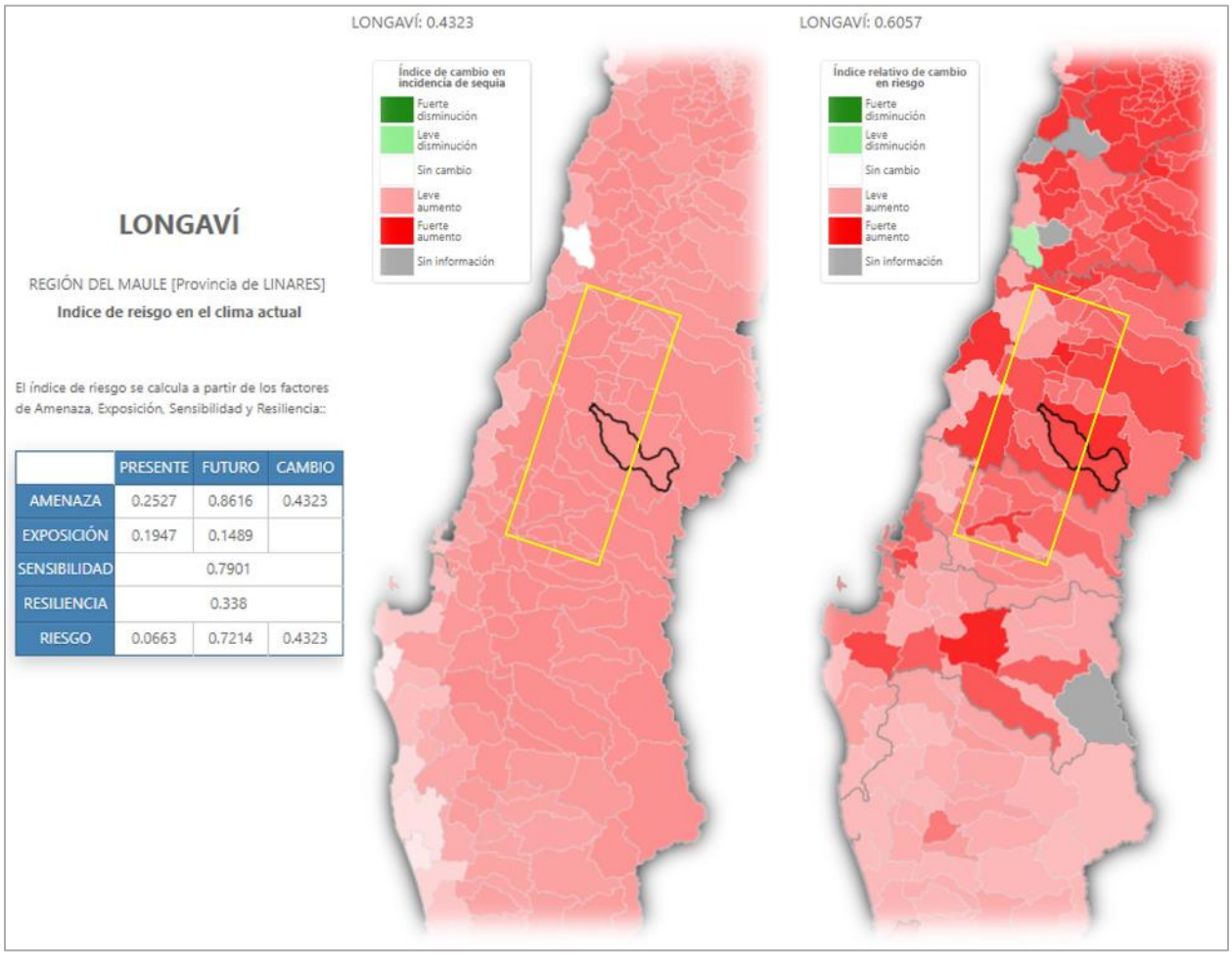
Figura 3- 48: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en el área de emplazamiento del Proyecto, para la cadena de impacto de sequía hidrológica.



Fuente: ARClim, 2023.

Seguridad hídrica doméstica urbana: Se describen los efectos adversos sobre la seguridad hídrica urbana a nivel doméstico generados por la sequía meteorológica considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras. Para esta cadena de peligro, en la siguiente Figura, se observa que todas las comunas cercanas al Proyecto presentan una categoría de leve aumento, en específico, la comuna de Longaví presenta un índice de cambio en incidencia de sequía de 0,4323. Mientras que su índice relativo de cambio de riesgo es de 0,6057, categorizada como un fuerte aumento del índice de riesgo.

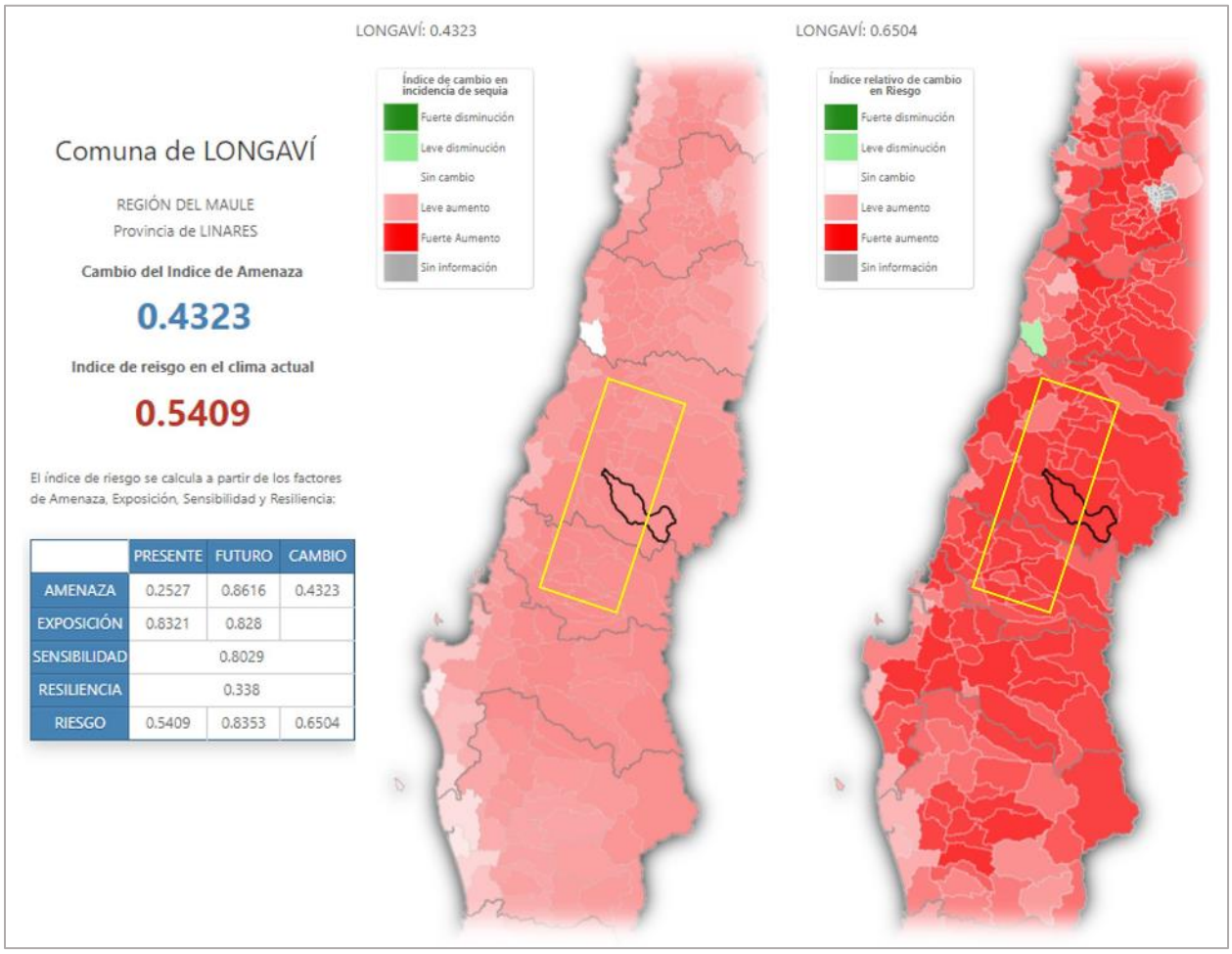
Figura 3- 49: Cambio del índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Longaví para la cadena de impacto de seguridad hídrica doméstica urbana



Fuente: ARClim, 2023.

Seguridad hídrica doméstica rural: Se describen los efectos adversos sobre seguridad hídrica domestica rural generada por la sequía meteorológica, considerando condiciones climáticas, sociales e institucionales históricas y futuras. En la siguiente Figura, se observa que todas las comunas cercanas al proyecto están categorizadas con un índice de cambio de amenaza en leve aumento, en específico, la comuna de Longaví presenta un índice de 0,4323. Por otro lado, el índice relativo de cambio de riesgo climático es de 0,5409 categorizado como un fuerte aumento.

Figura 3- 50: Cambio del índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Longaví para la cadena de impacto de seguridad hídrica doméstica rural



	PRESENTE	FUTURO	CAMBIO
AMENAZA	0.2527	0.8616	0.4323
EXPOSICIÓN	0.8321	0.828	
SENSIBILIDAD	0.8029		
RESILIENCIA	0.338		
RIESGO	0.5409	0.8353	0.6504

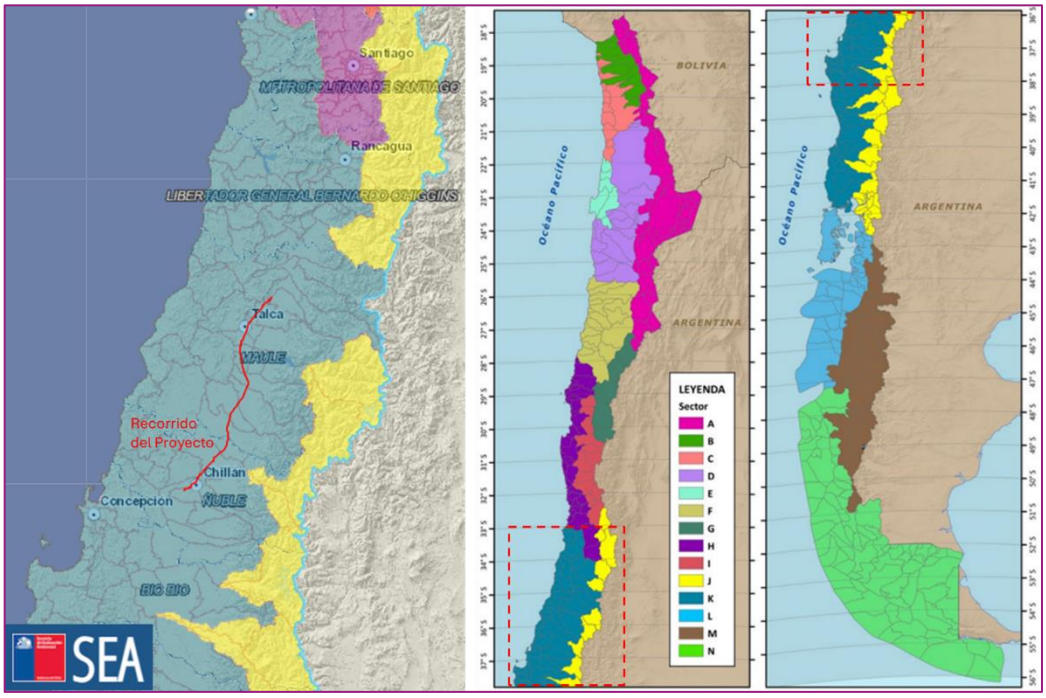
Fuente: ARClim, 2023.

Las estimaciones de proyecciones en materia de cambio climático están sujetas a diversas fuentes de incertidumbre y a su vez arrojan resultados dispares entre sí, por este motivo, el documento “Criterio de Evaluación en el SEIA: Cambio Climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico” (SEA, 2023), entrega una metodología para proyectar cambios de precipitación y temperatura producto del cambio climático, estableciendo una zonificación de Chile y los porcentajes de cambio de precipitación para cada zona. A su vez se establece un valor fijo para todo Chile en materia de aumento de temperatura, con el objetivo de

simplificar y aunar los valores de proyecciones utilizados en la predicción de impactos sobre el recurso hídrico.

Considerando que algunas zonas del país poseen proyecciones similares de precipitación, en el criterio de evaluación del SEIA se propone la siguiente sectorización:

Figura 3- 51 Sectorización según proyecciones de precipitación.



Fuente: SEA, 2023.

Tal como se observa en la Tabla anterior, el Proyecto se emplaza en el sector K, por tanto, los valores de cambios porcentuales esperados con respecto al periodo “Histórico” para los percentiles de menor (p25) y mayor (p75) magnitud de precipitación son -20.1% y -9.5% respectivamente, según se indica en la siguiente Tabla.

Tabla 3- 100 Valores de cambio porcentual esperado de precipitación según sectorización con respecto al periodo "Histórico".

Sector	Elevación media [MSNM]	Cambio en la precipitación %	
		P25	P75
A	4.14	-11.6	15,8
B	2.491	-17.6	13.5
C	960	33.7	165.6
D	1.948	-5.5	35.9
E	1.122	2.9	99
F	1.16	-24.1	19.8
G	3.459	-23.8	10
H	512	-30.5	0.2
I	1.992	-28.5	0
J	1.283	-18.8	-8.3
K	292	-20.1	-9.5
L	317	-8.8	-3.3
M	857	-6.8	-1.4
N	312	1.2	6.1

Fuente: SEA, 2023.

Los datos representan los porcentajes de cambio de precipitación que deberán ser aplicados sobre la información histórica de los últimos 30 años para obtener la proyección futura, los escenarios más desfavorables ocurren en los percentiles 25% y 75% dependiendo del impacto que se desea predecir. Cabe mencionar que en la zona centro-sur del país, los valores negativos reflejan que producto del cambio climático, se espera que haya disminución en las precipitaciones.

Como el principal impacto identificado hidrológicamente hablando, se debe a eventos de sequía producto de la disminución de las precipitaciones, el escenario más desfavorable quedará determinado para los porcentajes más bajos de precipitación. Dicho esto, el porcentaje de cambio quedará determinado por el percentil p25, es decir, una disminución del 20,1%. Por otra parte, en el caso de las temperaturas no es necesario establecer una sectorización, ya que las variaciones son homogéneas a lo largo del país, por ello se

establece como criterio único el incremento en la temperatura de 1,4°C como el escenario más desfavorable.

Los valores proyectados, así como también los valores de precipitación media anual y temperatura media anual, se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 3- 101 Valores de proyección de precipitación y temperatura estimados según el nuevo Criterio de evaluación en el SEIA.

Variable meteorológica	Mínimo	Máximo	Unidad
Precipitación media anual	577	966	mm
Temperatura media anual	12	12	°C
Precipitación proyectada p25	461	771	mm
Precipitación proyectada P75	522	874	mm
Temperatura proyectada	13.4	13.4	°C

Fuente: ENVIS, 2023.

Cabe mencionar que los datos históricos meteorológicos corresponden a la media de los datos disponibles en las estaciones meteorológicas cercanas al Proyecto, donde el rango de precipitaciones se observada en el Gráfico 3-84, mientras que la temperatura media anual se observa en el Gráfico 3-87. Finalmente, los datos históricos de precipitación y temperatura utilizados por ARClim son datos a nivel subsubcuenca y considerando desde el año 1980 al 2010, por lo tanto, pueden existir diferencias numéricas entre ambas proyecciones.

3.7.3.1.2 Incendios Forestales

Según lo indicado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), un incendio forestal es un fuego que, cualquiera sea su origen y con peligro o daño a las personas, la propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es decir, es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son vegetales y que, en su propagación, puede destruir todo lo que encuentre a su paso.

El origen de los incendios recae en la acción humana. El 99,7% de los incendios se inician ya sea por descuidos o negligencias en la manipulación de fuentes de calor, o por prácticas agrícolas o por intencionalidad, originada en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva.

En el caso de Chile, toda la vegetación es sensible al fuego y en la cual el daño no sólo es su quema y destrucción, sino que, además, afecta al suelo, a la fauna, al aire, al ciclo del agua y, en general, al entorno del ser humano y en ocasiones a las propias personas (https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/).

Durante la última década, la zona central de Chile se ha visto afectada por dos grandes incendios. Según registros de CONAF, el verano del año 2017 la zona centro-sur del país fue afectada por un mega incendio forestal que se extendió entre el 18 de enero y el 5 de febrero, principalmente en las regiones de O'Higgins, el Maule y el Biobío, con un total de 681 incendios registrados, que consumieron un total de 467.537 ha., incluyendo plantaciones forestales, bosque nativo, praderas y matorrales, terrenos agrícolas y viviendas. Mientras que, en el verano del año 2023, entre 31 de enero y el 07 de marzo, se registraron una serie de múltiples focos de incendios forestales entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, concentrándose en las regiones de Maule, Ñuble, Biobío y La Araucanía. Según lo señalado por CONAF, durante el periodo 2022-2023, un total de 428.369,99 ha. fueron afectadas por incendios forestales.

En la siguiente Tabla se puede observar el registro de incendios y superficie afectada para el periodo 2022-2023 en las regiones de Maule y Ñuble, en relación con la ubicación del Proyecto.

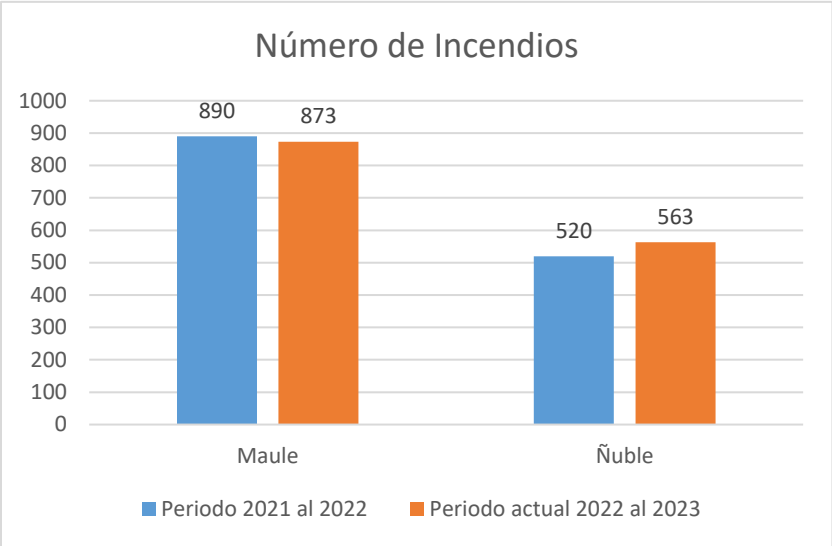
Tabla 3- 102: Estadísticas de incendios forestales y superficie afectada.

	Número de incendios			Superficie afectada (ha)		
Región	Periodo actual 2022 - 2023	Periodo 2021 - 2022	Promedio quinquenio	Periodo actual 2022 al 2023	Periodo 2021 al 2022	Promedio quinquenio
Maule	873	(-2%) 890	(-1%) 885.2	30991.44	(+571%) 4617.12	(+265%) 8498.34
Ñuble	563	(+8%) 520	(+44%) 390.4	57219.64	(+480%) 9861	(+1450%) 3691.81

Fuente: CONAF, (2023).

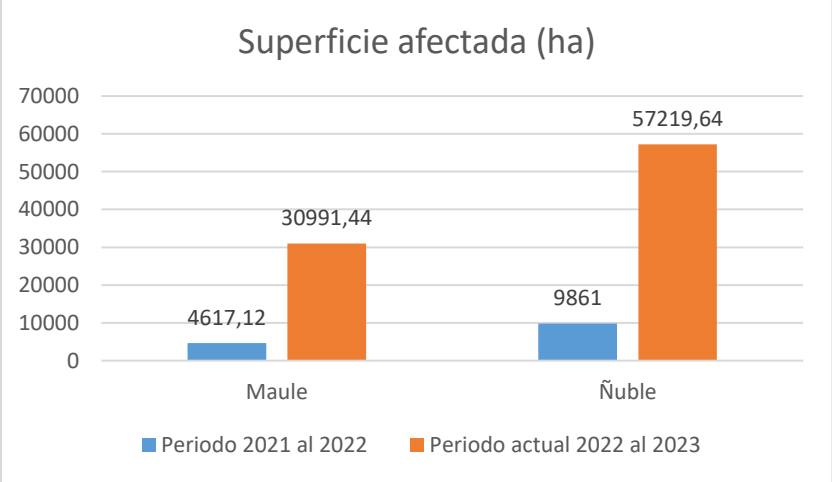
En los siguientes Gráficos, se puede observar gráficamente el registro de incendios y superficie afectada para el periodo 2022-2023 en las regiones de Maule y Ñuble, en relación con la ubicación del Proyecto.

Gráfico 3- 175: Número de incendios forestales para el periodo 2021-2022 y 2022-2023.



Fuente: ENVIS (2023), utilizando datos de CONAF (2023).

Gráfico 3- 176: Superficie afectada por incendios forestales para el periodo 2021-2022 y 2022-2023.



Fuente: ENVIS (2023), utilizando datos de CONAF (2023).

Adicionalmente, es importante señalar que una forma de visualizar zonas susceptibles a ser impactadas por incendios forestales es aplicando distintos índices vegetacionales, índices de combustión (Índice de Humedad del Combustible Fino Muerto) o Índice de probabilidad de ignición.

Uno de los índices vegetacionales comúnmente utilizados es el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) el cual entrega valores entre -1 y 1, en función de la densidad vegetacional.

Para riesgos de incendios, en la siguiente Tabla se presentan los rangos de NDVI asociados a su nivel de peligrosidad:

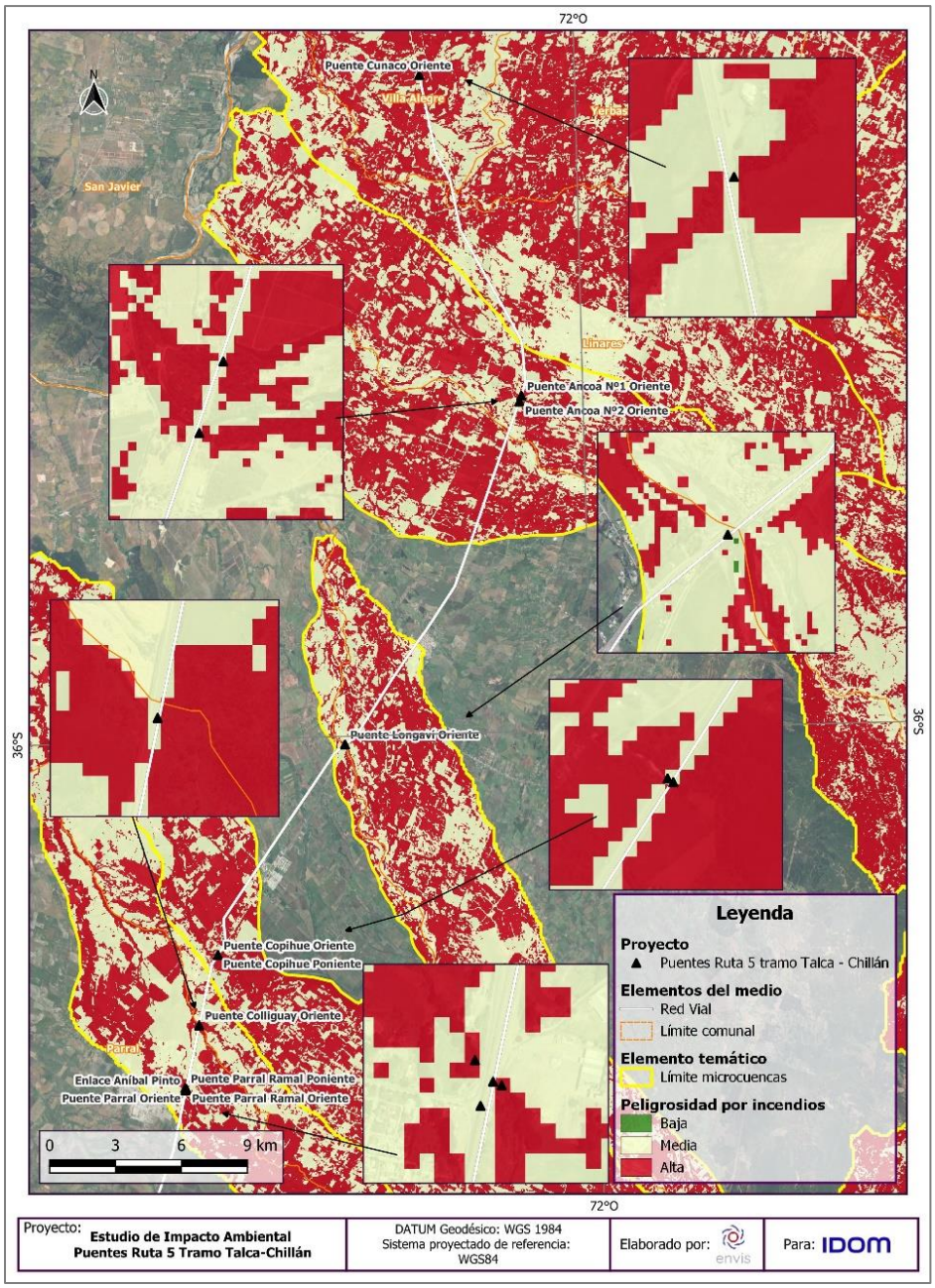
Tabla 3- 103: Peligrosidad de incendio forestal para densidad vegetacional.

NDVI	Peligrosidad
-1 a 0	Baja
0 a 0,3	Media
0, 3 a 1	Alta o muy alta

Fuente: Etxeberría, P. (2002)

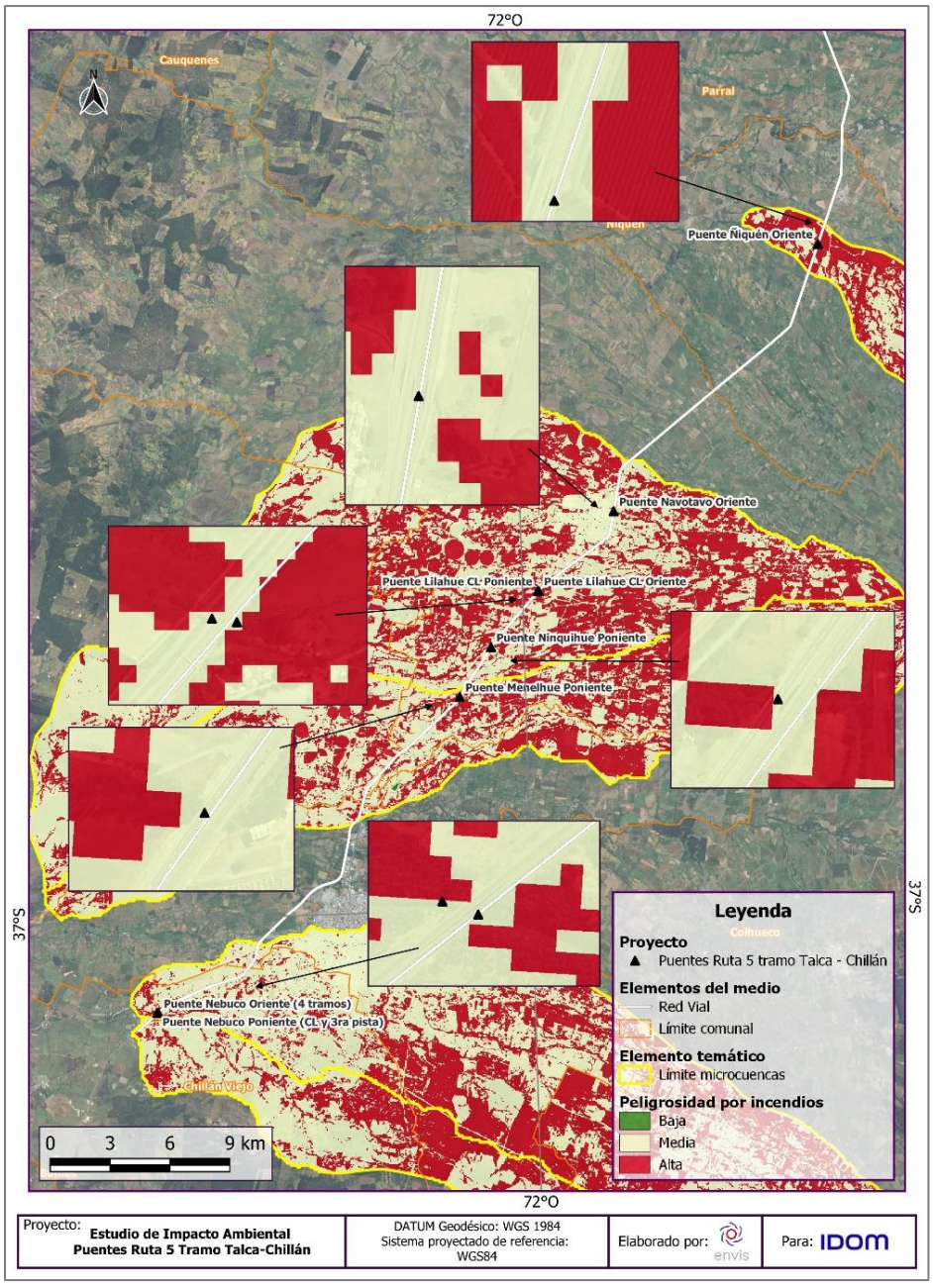
En las siguientes Figuras se presentan las reclasificaciones de peligro para incendios forestales en función de la densidad vegetacional:

Figura 3- 52: Peligrosidad de incendio forestal en función del NDVI sector norte.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 53: Peligrosidad de incendio forestal en función del NDVI sector sur.



Fuente: ENVIS, 2024.

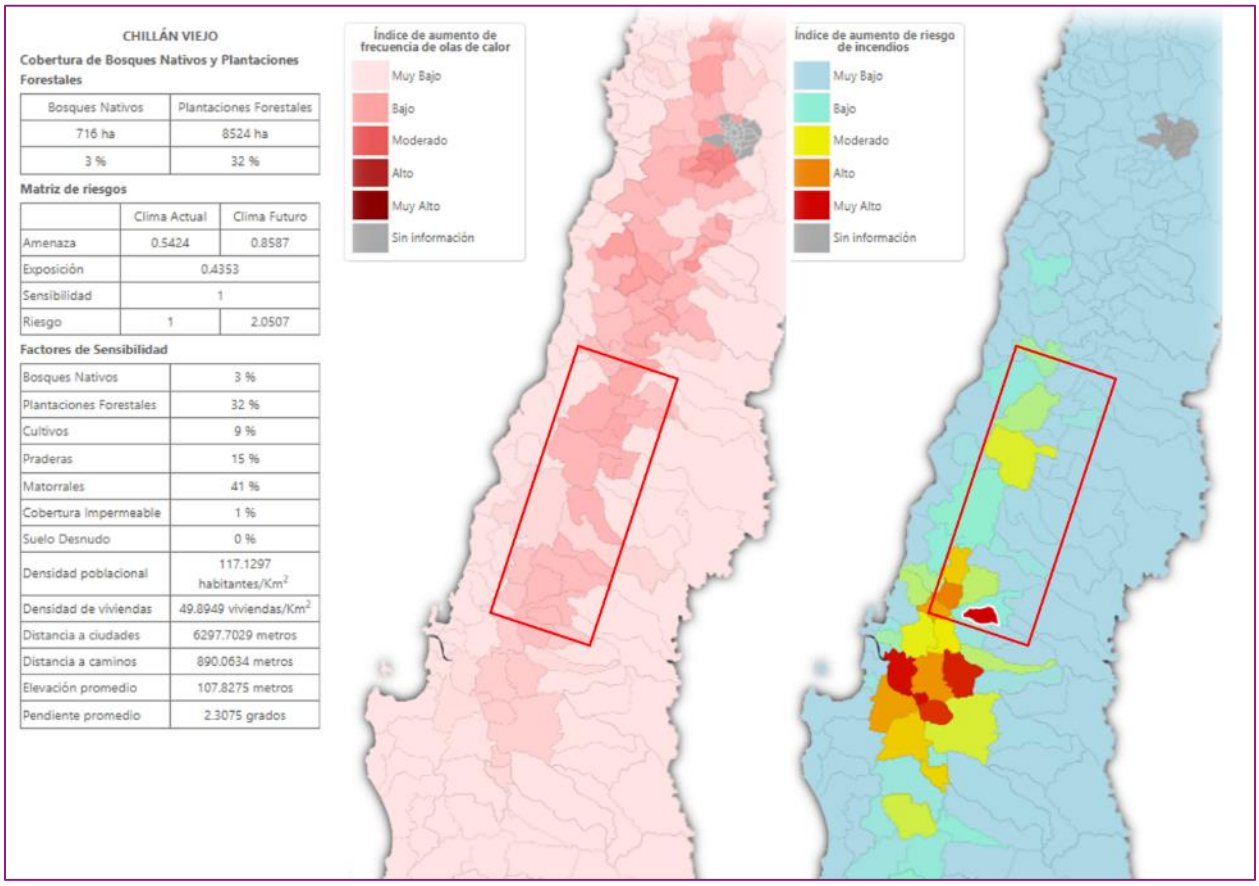
De las figuras anteriores, es posible concluir que la zona en la que se encuentra emplazado el Proyecto presenta una alta o muy alta exposición a la peligrosidad de incendios, lo que estaría influenciado por la presencia de plantaciones forestales, cultivos agrícolas, praderas y matorrales, entre otros. Es necesario destacar que si bien, la zona centro del país concentra una alta densidad vegetacional, el emplazamiento del proyecto no favorecería la generación de incendios forestales. Por lo tanto, las instalaciones, obras y acciones del Proyecto no generan una sinergia negativa con este peligro natural.

Finalmente, se considera para este peligro natural la proyección de riesgo frente a escenario de cambio climático según lo presentado en la plataforma ARClim para incendios de bosque nativo y forestales, como se presenta a continuación:

Incendios y verdor en bosques forestales: Se describe el riesgo a incendios en los bosques forestales para condiciones históricas y futuras junto a su cambio. Se presenta la comuna de Chillán Viejo como referencia del escenario más desfavorable para el área de emplazamiento del Proyecto, con un índice de amenaza en aumento de frecuencia de olas de calor categorizada como Bajo igual a 0,8587. Además, posee un índice de aumento de riesgo de incendios de 2,0507 categorizado como Muy Alto.

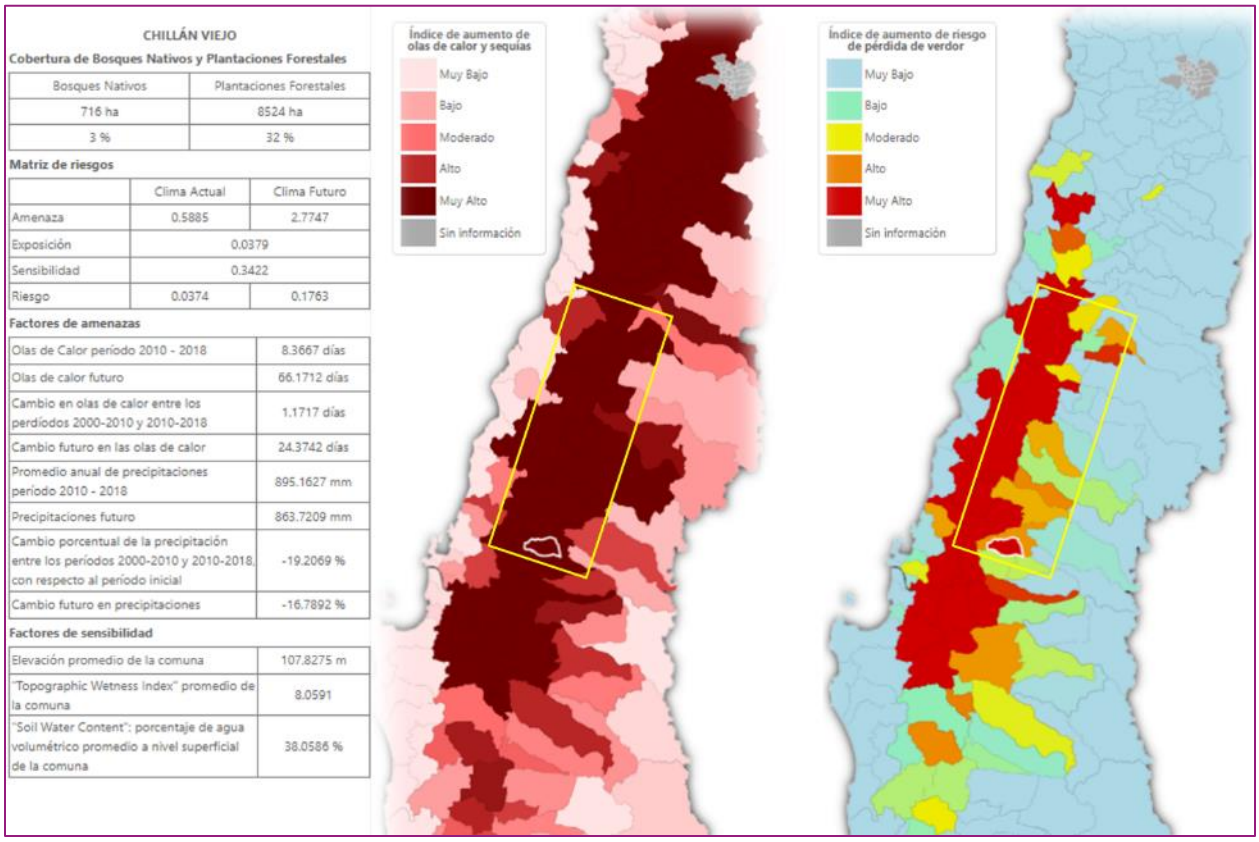
Adicionalmente, se representa el efecto potencia de los cambios en el clima sobre el vigor o verdor de los bosques forestales a nivel comunal. Para esta cadena de impacto, la comuna de Chillán Viejo presenta un índice de aumento de olas de calor y sequías igual a 2,7747 categorizada como Muy Alto, mientras que su índice de aumento de riesgo por pérdida de verdor es 0,1763 categorizado como Muy Alto.

Figura 3- 54: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Chillán Viejo para la cadena de impacto de incendios en bosques forestales. ARClim.



Fuente: ARClim, 2023.

Figura 3- 55: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en la comuna de Chillán Viejo para la cadena de impacto de verdor en bosques nativos.



CHILLÁN VIEJO

Cobertura de Bosques Nativos y Plantaciones Forestales

Bosques Nativos	Plantaciones Forestales
716 ha	8524 ha
3 %	32 %

Matriz de riesgos

	Clima Actual	Clima Futuro
Amenaza	0.5885	2.7747
Exposición	0.0379	
Sensibilidad	0.3422	
Riesgo	0.0374	0.1763

Factores de amenazas

Olas de Calor período 2010 - 2018	8.3667 días
Olas de calor futuro	66.1712 días
Cambio en olas de calor entre los perdíodos 2000-2010 y 2010-2018	1.1717 días
Cambio futuro en las olas de calor	24.3742 días
Promedio anual de precipitaciones período 2010 - 2018	895.1627 mm
Precipitaciones futuro	863.7209 mm
Cambio porcentual de la precipitación entre los períodos 2000-2010 y 2010-2018, con respecto al período inicial	-19.2069 %
Cambio futuro en precipitaciones	-16.7892 %

Factores de sensibilidad

Elevación promedio de la comuna	107.8275 m
"Topographic Wetness Index" promedio de la comuna	8.0591
"Soil Water Content": porcentaje de agua volumétrico promedio a nivel superficial de la comuna	38.0586 %

Fuente: ARClim, 2023.

3.7.3.1.3 Inundaciones

Se define como inundación a una masa de agua que se sale de su cauce y ocupa zonas que habitualmente están libres de esta, ya sea por desbordamiento de ríos, lluvias torrenciales, huracanes, marejadas, rotura de embalses e infraestructura hidráulica y crecidas asociadas a erupciones volcánica, entre otras (Ferrando, 2003; Rojas et al., 2014). En Chile, SERNAGEOMIN es la entidad encargada de desarrollar estudios que determinan las áreas que pueden verse adversamente afectadas por efecto de crecidas o desbordes de cauces u otros cuerpos de agua. Los resultados de estos estudios se presentan en mapas que zonifican el territorio de acuerdo

con la mayor o menor posibilidad de que éste se inunde (https://www.sernageomin.cl/peligrosgeologicos/).

Según lo descrito por Tripailaf (2022), las mayores consecuencias de las inundaciones se dan en áreas urbanas donde habita la mayor parte de la población y tienen relación no solo con desbordes de ríos, sino que también con erosión fluvial y caídas de taludes laterales, corte de accesos viales y terrenos de cultivo que pueden encontrarse en sectores adyacentes, incrementando la vulnerabilidad.

Las modificaciones a los cauces pueden implicar una variación en la dinámica fluvial si no se consideran los aspectos hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos y geológicos del sistema hídrico, aumentando el nivel de peligrosidad de inundaciones al momento de levantar estructuras o modificar el lecho del cauce.

Dadas las características intrínsecas del Proyecto, que conlleva la construcción de puentes en dos regiones del país, Maule y Ñuble, es necesario señalar el riesgo de inundaciones para aquellos puentes que son aledaños a altas densidades poblacionales, los cuales se presentan en la siguiente Tabla:

Tabla 3- 104: Áreas pobladas cercanas a puentes por riesgo de inundaciones.

Puente	Comuna	Cauce	Ciudad, localidad o comunidad rural
Cunaco Oriente	Villa Alegre	Estero Tornicura	Sector rural con casas aisladas
Ancoa N°1 Oriente	Linares	Río Ancoa	Linares
Ancoa N°2 Oriente	Linares	Río Ancoa	Linares
Longaví Oriente	Longaví	Río Longaví	Sector rural con casas
Copihue Oriente	Retiro	Estero Copihue	Copihue
Copihue Poniente	Retiro	Estero Copihue	Copihue
Colliguay Oriente	Retiro / Parral	Estero Colliguay	Sector rural con casas aisladas
Parral Oriente	Parral	Estero Parral	Parral
Parral Ramal Oriente	Parral	Estero Parral	Parral
Parral Ramal Poniente	Parral	Estero Parral	Parral
Ñiquén Oriente	Ñiquén	Río Ñiquén	Sector rural con casas aisladas
Navotavo Oriente	San Carlos	Estero Cochepérez Estero Navotavo	San Carlos
Lilahue Oriente Calle Local	San Carlos	Estero Carbonero	Sector rural con casas aisladas
Lilahue Poniente Calle Local	San Carlos	Estero Carbonero	Sector rural con casas

Puente	Comuna	Cauce	Ciudad, localidad o comunidad rural
			aisladas
Ninquihue Poniente	San Carlos	Estero Lirutao	Ninquihue
Menelhue Poniente	San Carlos	Estero Rauco	Sector rural con casas aisladas
Nebuco Oriente	Chillán Viejo	Río Chillán	Chillán
Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	Chillán Viejo	Río Chillán	Chillán

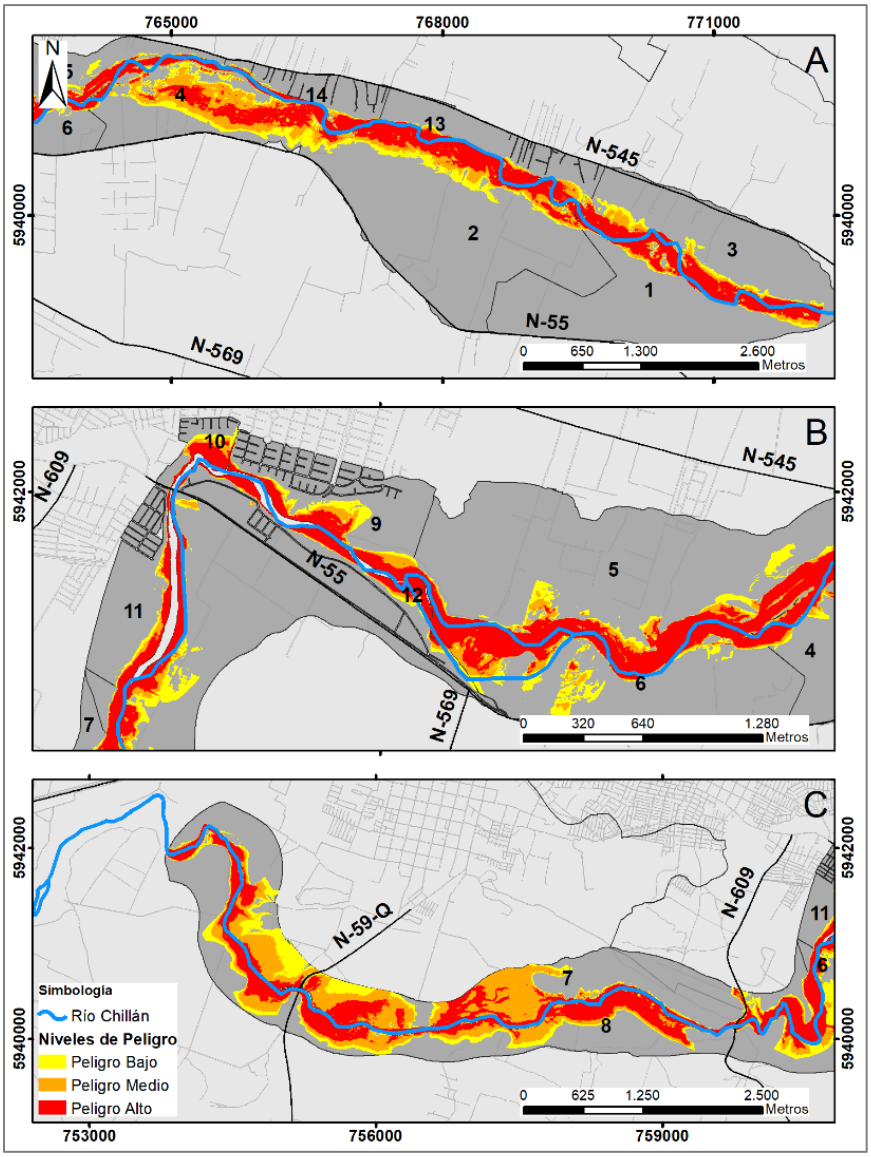
Fuente: ENVIS, 2023.

Según los registros históricos, el Río Chillán ha presentado eventos de inundación en el pasado, afectando la comuna de Chillán Viejo: “En los inviernos de 1679, 1735 y 1748, se producen desastrosas inundaciones por la crecida del río Chillán” y “El 25 de mayo de 1751 se produce un violento terremoto que junto a una inundación extraordinaria del río Chillán, determinaron la inmediata decisión de trasladar la ciudad, correspondiendo a la tercera refundación” (Henríquez, 2009).

Si bien el puente Nebuco poniente calle local proyectado en la Ruta 5, se encuentra aguas abajo de la ciudad y cercano a la confluencia de cauces de la subsubcuencas del Rio Chillan entre Estero Peladillas y Río Ñuble, un posible estancamiento de agua en el sector del puente y/o modificaciones en el lecho del cauce, podrían potenciar la inundación aguas arriba del puente ante eventos de crecida con periodos de retorno elevados (100 o 200 años).

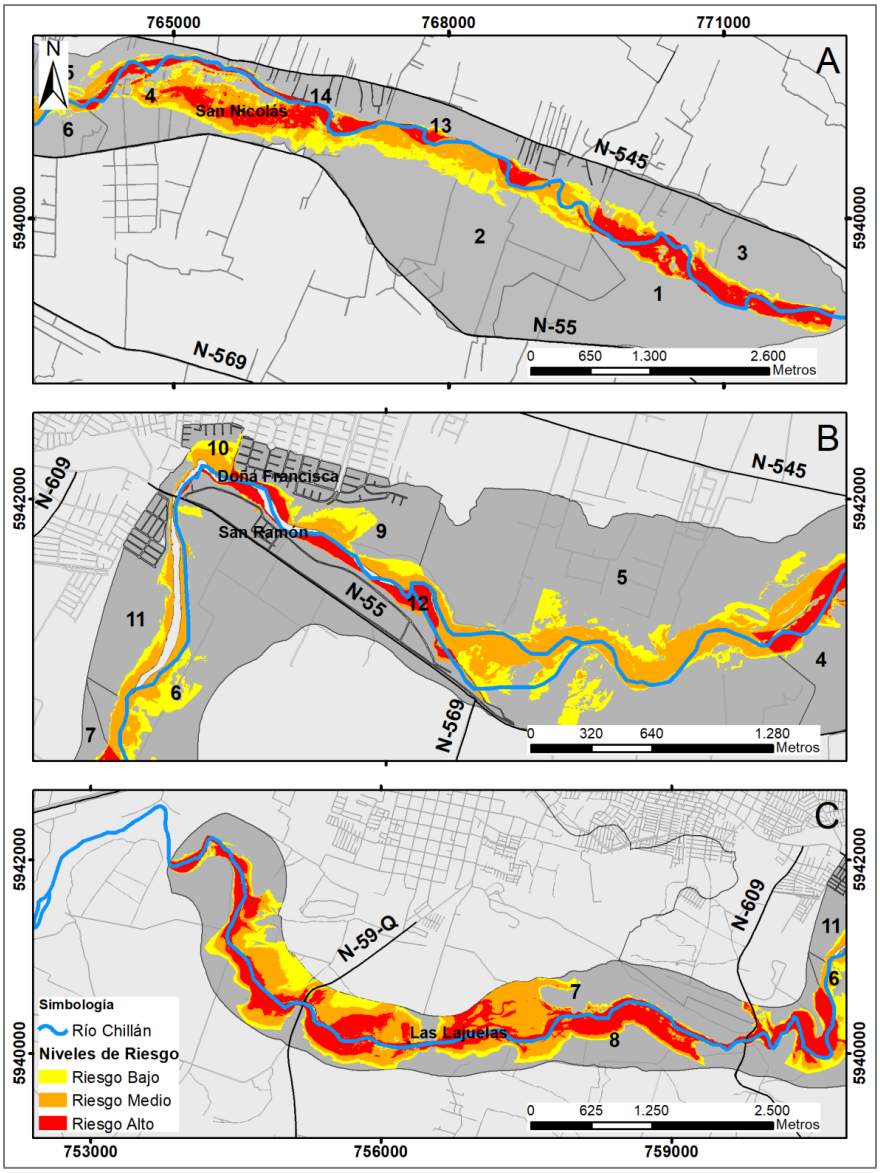
El estudio realizado por Tripailaf (2022), sobre Gestión del riesgo de Inundaciones en el área urbana del Río Chillán, muestra como resultado los mapas de peligro y riesgos de inundación para el Río Chillan en la zona cercana a Chillán Viejo. Como se puede apreciar en las siguientes Figuras:

Figura 3- 56: Niveles de peligro asociados a un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Tripailaf (2022)

Figura 3- 57: Niveles de riesgo de inundación para el área urbana del río Chillán.

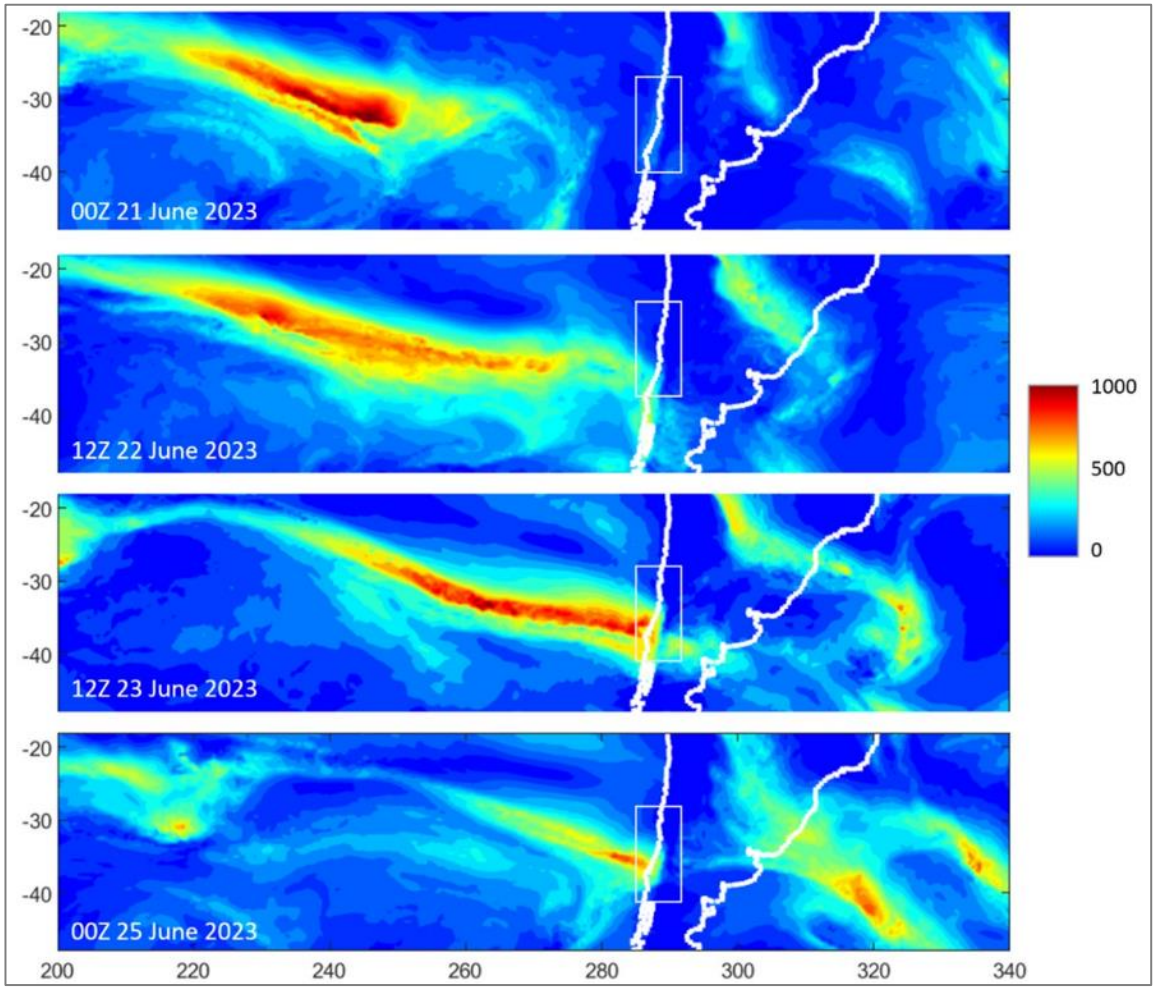


Fuente: Tripailaf (2022)

Durante el presente año (2023), la zona centro -sur de Chile se ha visto afectada por dos eventos de inundaciones provocadas por Temporales o Tormentas con isoterma 0 elevada y presencia de río atmosférico. Para el primer evento ocurrido 21 y 26 de junio de 2023, las precipitaciones

ocurrieron con una altura de la isoterma 0°C (Ho) que se mantuvo cercana a los 3300 m s.n.m., el melting level estaba cercano a los 3000 m s.n.m., generando un área pluvial mucho mayor que en una tormenta fría más tradicional (con un Ho cercano a los 2200 m s.n.m.). En la siguiente figura se puede observar la imagen satelital con el trazado del río atmosférico que provocó precipitaciones sobre 500 mm en 48 horas aproximadamente:

Figura 3- 58: Mapas del transporte integrado de vapor de agua (magnitud en kg/m/s) en instantes seleccionados durante la tormenta. Fuente de datos: Modelo GFS inicializado el 20 de junio de 2023.



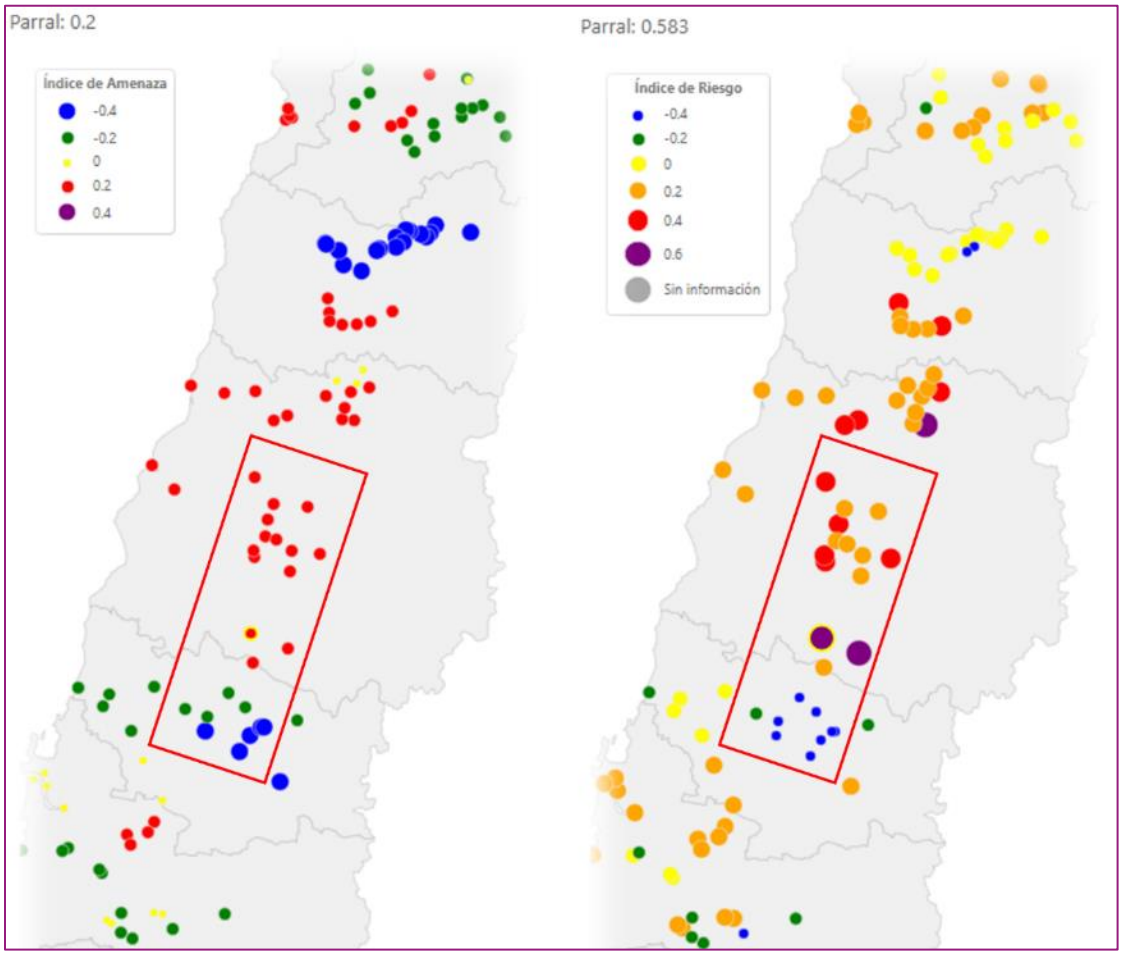
Fuente: CR2, 2023.

Desde el 18 al 23 de agosto de 2023, la zona centro del país fue afectada por un segundo río atmosférico que provocó la crecida y desborde de ríos, inundaciones y activación de las quebradas.

Finalmente, se considera para este peligro natural la proyección de riesgo frente a escenario de cambio climático según lo presentado en la plataforma ARClim.

Inundaciones por desborde de ríos: Se muestran los efectos de inundaciones generadas por precipitaciones extremas de período de retorno de 100 años, las cuales aumentan los caudales en esteros y ríos, incrementando la altura de escurrimiento. Dependiendo de las condiciones del río, este aumento podría generar desbordes en los cauces, lo que comúnmente define áreas inundadas en los centros poblados que colindan con los ríos. Para esta cadena de impacto, se presenta la comuna de Parral como un referente medio del Proyecto, la cual presenta un índice de amenaza a inundaciones por desborde de ríos de 0,2 categorizado como un índice de amenaza alto. Mientras que el índice de riesgo desplegado en el mapa da cuenta de los cambios en la susceptibilidad que presentan los centros urbanos de sufrir un mayor o menor impacto adverso frente a eventos de precipitación extrema desencadenante en un desborde de río. Frente a escenario de Cambio Climático el índice de riesgo para la comuna de Parral presenta un índice de 0,6 categorizado como alta susceptibilidad. De igual forma se destaca la zona de emplazamiento del Proyecto con un polígono rojo, donde es posible visualizar que la mayoría de los puntos presentes en la región del Maule, presentan un fuerte aumento de riesgo para desborde de ríos frente a escenario de Cambio Climático, mientras que la Región de Ñuble presenta una susceptibilidad menor a este tipo de eventos.

Figura 3- 59: Cambio en el índice de amenaza y riesgo climático en el área de emplazamiento del Proyecto, para la cadena de impacto de inundaciones por desborde de ríos.



Fuente: ARClim, 2023.

3.7.3.1.4 Actividad sísmica

La actividad sísmica en gran parte de Chile tiene su origen en la convergencia de placas tectónicas, específicamente en la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana. Lo anterior se debe a la acumulación de esfuerzos en las distintas zonas cercanas al contacto entre las placas, que al momento de ser liberados originan violentas rupturas en la corteza, que a nivel superficial se transmiten en forma de sismos.

Las zonas de acumulación de esfuerzo, y principales fuentes sismogénicas en la mayor parte del territorio continental, son tres:

Sismicidad Interplaca: Producto directo de la subducción, tiene su origen en el contacto de las placas Sudamericana y de Nazca. La ocurrencia de estos sismos se extiende desde la fosa hasta aproximadamente 50 a 60 km de profundidad hacia el continente, esta área se conoce como zona de Wadati-Benioff.

Sismicidad Intraplaca de profundidad intermedia: Es la actividad que ocurre dentro de la placa de Nazca como producto de la tensión que origina su movimiento. Estos sismos se extienden desde los 50 km hasta los 250 km de profundidad, la cual es la máxima profundidad en la que se han registrado sismos en Chile.

Sismicidad Intraplaca superficial: Es la sismicidad que ocurre al interior de la placa Sudamericana como producto de la compresión que genera el movimiento de la placa de Nazca. Estos sismos ocurren principalmente hacia el interior del continente en los sectores precordilleranos y cordilleranos a profundidades inferiores a los 60 km, siendo los más destructivos los de profundidades menores a los 20 km.

Para realizar el análisis de la actividad sísmica, se trabajó considerando los siguientes dos criterios:

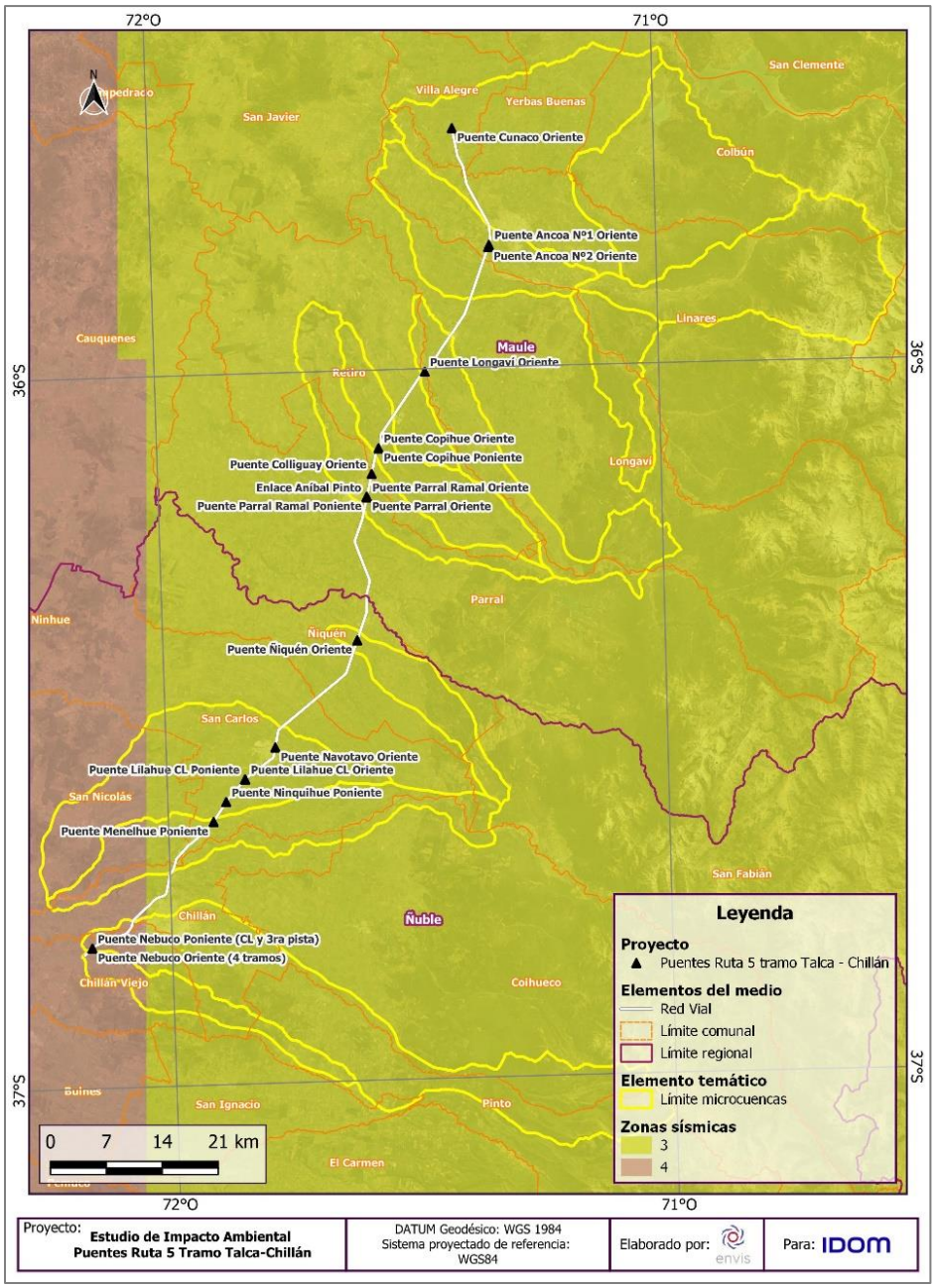
1. Distribución y magnitud de los sismos históricos registrados en las cercanías del Proyecto utilizando el catálogo sísmico del USGS.
2. Evaluación del comportamiento sísmico en el área de influencia mediante el método de *regionalización sísmica dinámica* propuesto por Reyes y Cárdenas (2010). Este método divide Chile en 156 celdas (1° x 1° o 111 x 111 Km), de 12.321 km^2 cada una, las cuales son caracterizadas con el siguiente tipo de información sismológica recopilada entre los años 1957 y 2010:

- Profundidad promedio de las fuentes sísmicas.
- Número de sismos de magnitud >= 4,5 Ms.
- Magnitud máxima observada en la celda.
- Coordenada horizontal central de la celda.
- Coordenada vertical central de la celda.

De acuerdo con estas características, el modelo establece seis regiones o *zonas sísmicas* clasificadas según la recurrencia de actividad sísmica con magnitud igual o superior a 4,5 Ms, siendo la *Zona 1* la con menor sismicidad y la *Zona 6* la con mayor sismicidad. Cabe destacar que las regiones sísmicas van variando con el registro de nueva actividad sísmica, de modo que, en el tiempo, el grado de sismicidad en las celdas, y por lo tanto su tipo de zona, puede manifestar variaciones.

En el área de influencia, casi todos los elementos del Proyecto se ubican dentro de celdas de clasificación 3, a excepción de los asociados a los puentes Nebuco Oriente y Nebuco Poniente tercera pista y calle local que se ubican en una celda de clasificación 4 como se puede observar en la siguiente Figura.

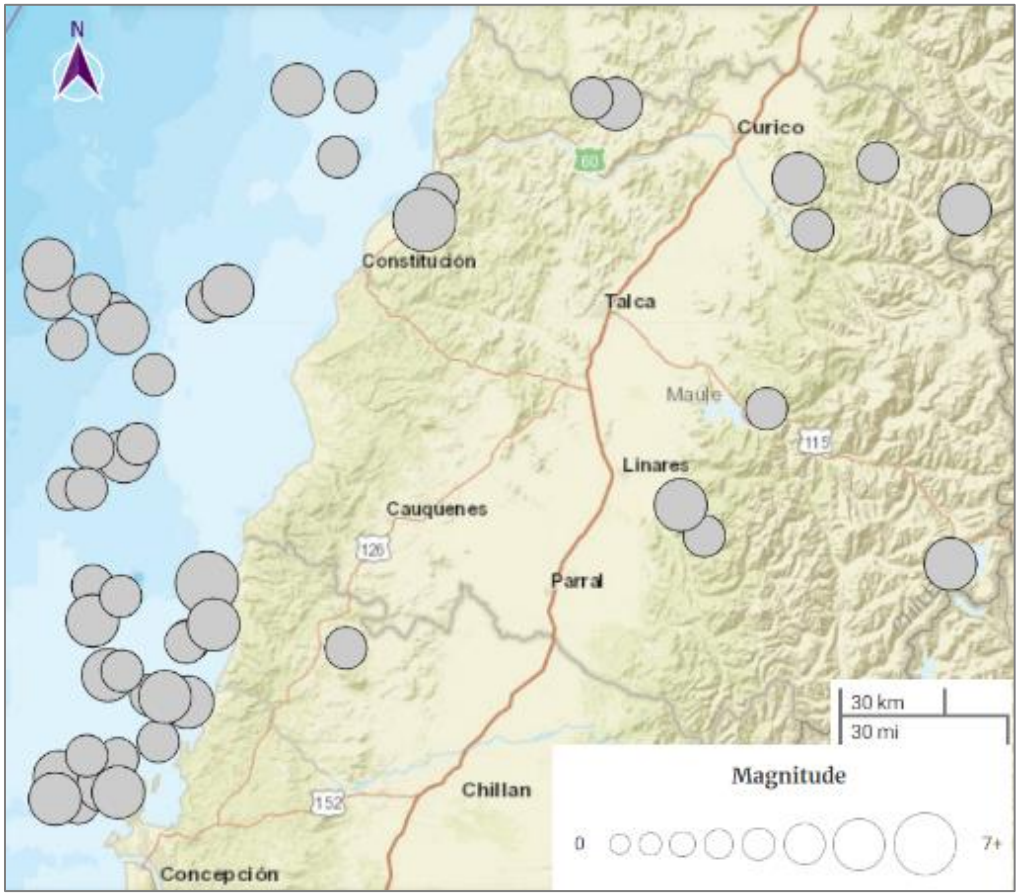
Figura 3- 60: Regionalización sísmica dinámica en el AI.



Fuente: ENVIS, 2024

Respecto a la distribución y magnitud de los sismos históricos cercanos al emplazamiento del Proyecto, en el Anexo 3-4 Riesgos Naturales del presente informe se expone el registro histórico de sismos superiores a una magnitud de 5,5 para las regiones del Maule y de Ñuble, desde noviembre de 1970 hasta enero de 2023 (USGS, 2023). Adicionalmente, en la siguiente Figura se muestra la representación gráfica de este registro, donde el tamaño de los círculos grises es directamente proporcional a la magnitud del evento sísmico.

Figura 3- 61: Distribución y magnitud de sismos en las regiones del Maule y de Ñuble.



Fuente: Modificado de la base de datos USGS.

3.7.3.1.5 Tsunami

Un Tsunami es un fenómeno físico que se origina por sismos que ocurren bajo o cerca del fondo oceánico, remociones en masa, derrumbes submarinos y erupciones volcánicas y se manifiesta en la costa como una gran masa de agua que puede inundar y causar destrucción en las zonas costeras. Los tsunamis causados por sismos cercanos a la costa pueden arribar en pocos minutos y sus efectos continuar por varias horas después de ocurrido el sismo. Dado el potencial sísmico del país y su estrecha relación con el océano pacífico, es que se establece la “cota 30”. Es decir, frente a un evento sísmico de gran magnitud con generación de tsunami, se establece como zona segura, aquellas zonas elevadas por sobre los 30 m s.n.m., puesto que bajo esta elevación el territorio es susceptible a presentar inundaciones por Tsunami.

El Proyecto se emplaza dentro de la Depresión Intermedia con su instalación más occidental a 67 km de la costa y a 80 m s.n.m., aproximadamente. Por lo anterior, no existe posibilidad de que el área de emplazamiento se vea afectada por inundaciones producto de la ocurrencia de tsunamis.

3.7.3.1.6 Actividad Volcánica

En las regiones de Maule y del Ñuble hay una variedad de volcanes y complejos volcánicos activos ubicados en la Cordillera andina que se encuentran en constante monitoreo por el Sernageomin. En la Tabla siguiente se detallan los distintos complejos ordenados de norte a sur, su ranking de riesgo específico asignado por el Sernageomin y la distancia al puente del Proyecto más cercano.

Tabla 3- 105: Amenaza volcánica cercana al emplazamiento del Proyecto.

Amenaza volcánica	Ranking de riesgo específico	Puente del Proyecto más cercano	Distancia lineal (km)
Complejo volcánico Tatara-San Pedro-Pellado	52	Ancoa N°1 y N°2 oriente	74
Volcán Nevados de Longaví	40	Longaví oriente	55
Complejo volcánico Nevados de Chillán	4	Nebuco oriente y poniente (tercera pista y calle local)	76

Fuente: ENVIS, 2023 y SERNAGEOMIN.

En el plan específico de emergencia por variable de riesgo asociado a erupciones volcánicas, el Sernageomin define que las áreas potencialmente afectadas se determinan a nivel de radios de 10, 20 y 30km en torno al volcán. Dado que la mínima distancia entre el emplazamiento del Proyecto y la ubicación de un volcán es de 55 km (ver Tabla anterior) se determina que no existe la posibilidad de que el Proyecto se vea afectado por algún tipo de actividad volcánica (Erupciones, fumarolas, flujos de lava, etc.), debido a la gran distancia que existe entre este tipo de amenaza y el área del Proyecto.

Sin embargo, no se descarta la influencia de eventos volcánicos sobre los cauces que confluyen en los puentes del Proyecto, puesto que, ante una eventual erupción volcánica puede existir aporte de material a los cauces favoreciendo eventos de crecida aguas abajo de los centros volcánicos, asociados a avalanchas volcánica o lahares.

3.7.3.1.7 Remociones en masa

La definición de la remoción en masa inicia con Varnes (1958; 1978), aludiendo a procesos de movilización lenta o rápida de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por distintos factores, donde una porción específica del terreno se desplaza hasta una cota o nivel inferior al original (según procesos gravitacionales (Cruden, 1991)).

Un evento meteorológico extremo denominado “Río Atmosférico” afectó la zona central de Chile -desde la región de Valparaíso hasta la del Biobío- entre el 21 y 26 de junio y del 18 al 23 de

agosto de 2023, provocando impactos sociales y ambientales negativos y extensos, lo que obligó a la autoridad nacional a decretar estado de catástrofe en estas regiones.

La intensidad de un AR (Atmospheric River, por sus siglas en inglés) se mide por el transporte integrado de vapor de agua (IVT, por sus siglas en inglés) y, de acuerdo con eso, los ríos se clasifican en cinco categorías (Ralph et al., 2019). Cuando el transporte es débil o moderado (AR de categoría 1-2) estos eventos son mayormente beneficiosos, por ejemplo, aumentando la disponibilidad hídrica en zonas de escasez. Por el contrario, cuando el transporte es intenso y se encuentra con una cadena montañosa como la Cordillera de Los Andes (AR de categoría 4-5) esto eventos son mayormente peligrosos y pueden causar inundaciones y aluviones. Debido a la intensidad y duración de los eventos recientemente ocurridos, el AR califica como categoría 4, es decir, un río atmosférico mayormente destructivo (CR2, 2023).

Según los antecedentes expuestos anteriormente, el SENAPRED (Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres) declaró la Región del Maule en alerta roja por "muy alta probabilidad" de aluviones y derrumbes. De igual forma, se señala que los eventos de remociones en masa (aluviones) ocurridos durante las fechas ya mencionadas, se vincularon a inundaciones por crecidas y desbordes de ríos.

A continuación, se presentarán los contenidos que se fundamentan en las categorías de factores, subfactores, peligrosidades y ponderaciones definidas en el marco conceptual y metodológico de esta línea de base. Los resultados se limitan, principalmente, a mapas de distribución de peligrosidad de subfactores y factores, los cuales se integran para obtener la síntesis del peligro por flujo de barro y detritos asociado al área de influencia del Proyecto.

- Factores detonantes del peligro en el Área de Influencia

En el área de influencia se consideran dos factores detonantes de remociones en masa, el principal y más relevante debido a su constancia y mayor recurrencia en el área, corresponde a las precipitaciones, y el segundo factor corresponde a los sismos que debido a su menor recurrencia comparativa pasa a una menor posición de relevancia.

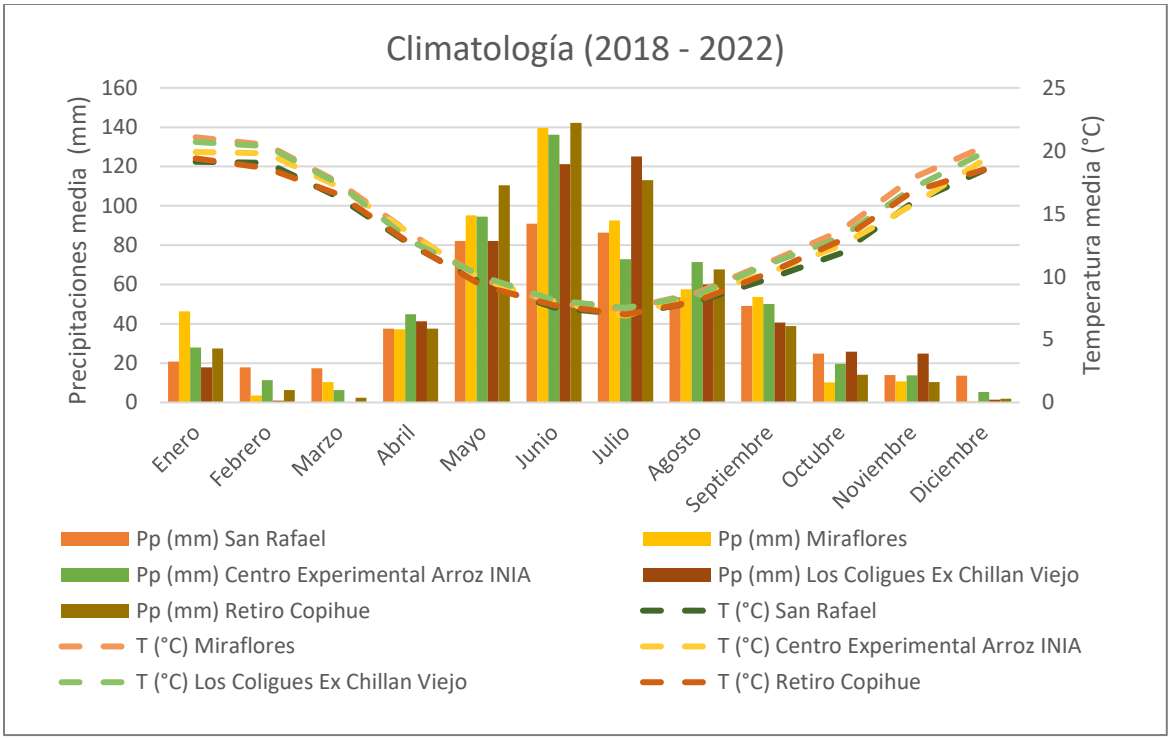
Las precipitaciones, como factor gatillante, actúan aumentando el grado de saturación de los materiales y en algunos casos aumentando la escorrentía superficial, por lo tanto, su impacto se asocia a la intensidad, duración y distribución de ellas. Dado lo anterior y para evaluar la influencia de las lluvias, estas se caracterizan en perspectiva del clima y meteorología.

De acuerdo con la revisión de Zonas climáticas de Chile, según clasificaciones de Köppen-Geiger (escala 1:1.500.000), el Proyecto se sitúa en la zona de clima mediterráneo de lluvia invernal (Csb), mientras que las porciones cordilleranas de las cuencas del área de influencia se sitúan en la zona de clima mediterráneo invernal de altura (Csb (h)) y clima mediterráneo frío de lluvia invernal (Csc). Dentro de esta clasificación de climas templados (C), los de lluvias estacionales (Cs) se caracterizan por la gran diferencia de volumen precipitado en las distintas estaciones, donde la precipitación del mes más seco en verano es inferior a un tercio de la del mes más lluvioso en invierno.

Para establecer una tendencia climática en la zona específica del Proyecto, se realizó un análisis de los datos de precipitaciones y temperatura de las estaciones meteorológicas más cercanas, siendo estas: Estación Miraflores, Centro Experimental Arroz INIA y Los Colihues Ex Chillan Viejo, pertenecientes a la Red Agroclimática Nacional (AGROMET) del Ministerio de Agricultura del Gobierno de Chile (MINAGRI) y Retiro Copihue perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Estas estaciones se encuentran a una distancia lineal de 10,6 km, 6,2 km, 5,6 km, 2,4 km y 3,3 km, de los puentes más cercanos, respectivamente.

La siguiente Figura esquematiza el análisis mencionado, donde se observan las tendencias de las variables indicadas señalando las precipitaciones (columnas) y temperaturas (líneas segmentadas) medias mensuales durante el periodo 2018-2022. En la figura se puede observar una marcada estacionalidad donde las precipitaciones se asocian mayormente con los meses más fríos alcanzando valores sobre los 140 mm mensuales en el mes de junio. En contraste, en los meses más calurosos las precipitaciones no suelen superar los 20 mm.

Gráfico 3- 177: Precipitaciones y temperaturas mensuales promedio para la zona del Proyecto.



Fuente: ENVIS, 2023.

Por otra parte, los sismos se consideran un factor desencadenante debido a la inestabilidad abrupta y temporal que generan en los materiales. En el área de estudio, los sismos constituyen en peligro principalmente en las zonas cordilleranas donde la pendiente de las laderas es superior a los 15°. En estas pendientes, ante un evento de magnitud mínima 5,5 M_L con su foco a una distancia máxima de 50 km, se pueden generar caídas de rocas y deslizamientos desagregados o en bloques (Keefer, 1984 y Rodríguez et al, 1999).

- Factores y subfactores condicionantes del peligro en el AI

La presente sección detalla las principales características del área de influencia correspondientes a los factores, y respectivos subfactores asociados, que condicionan la ocurrencia de una remoción y arrastre de material. Cabe destacar que los factores y subfactores se limitan a describir las condiciones actuales observadas en terreno y recopiladas de fuentes secundarias, para posteriormente hacer asignación de sus respectivas peligrosidades según los criterios y metodologías especificadas.

Sustrato

- Geología

Este subfactor se expresa a través de la litología de las unidades geológicas presentes en el área de estudio. La geología del área corresponde principalmente a unidades sedimentarias de edad cuaternaria. En la siguiente Figura se pueden observar las distintas litologías presentes en el área de influencia y su distribución. A continuación, se describen las más relevantes para el emplazamiento del proyecto:

Fm Mininco (Plioceno – Cuaternario): La Formación Mininco fue descrita por Muñoz Cristi (1960) dentro de la Depresión Central donde la Carretera Panamericana cruza el río del mismo nombre, quien le otorga una edad cuaternaria, pero reconociendo que su depositación pudo iniciar en el Plioceno.

La unidad se caracteriza por presentar sedimentos lacustres y fluviales periglaciales compuestos de areniscas tobáceas, limolitas y conglomerados con intercalaciones de arcillolitas y tobas. Su espesor es indeterminado debido a que no se observa su base y su techo está oculto por la Fm. La Montaña y las arenas del cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Gajardo (1981) correlaciona esta unidad hacia el norte con la Fm. Lircay definida también por Muñoz Cristi (1960).

Fm. La Montaña (Pleistoceno – Holoceno): La Formación La Montaña fue descrita Inicialmente como Formación Morrena de la Montaña por Muñoz Cristi (1960), quien le otorga una edad cuaternaria, pero sin describir una justificación.

Esta unidad conforma una serranía baja, de lomajes redondeados que se distribuye de la zona precordillerana hacia el oeste en la Depresión Central y abarca desde Talca hacia el sur.

La unidad se caracteriza por presentar depósitos morrénicos de escasa compactación representados por sedimentos arcillosos no consolidados que contienen de forma caótica y mal seleccionada, fragmentos de rocas volcánicas, basálticas y graníticas con distinto grado de redondeamiento, y de alteración, que varían entre los 7 y 40 cm en promedio, pero con algunos clastos de hasta 5 m. En estos conjuntos además se encuentran intercalaciones bien estratificadas de arcillas, arenas y ceniza volcánica. Estos depósitos se disponen en discordancia erosiva sobre rocas mesozoicas y cenozoicas, y sobre la Fm. Mininco. Su techo corresponde a la actual superficie de erosión, y es localmente cubierta por suelos agrícolas y por las arenas del Cono del río Laja (Gajardo, 1981).

Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule: Esta unidad se caracteriza por presentar una potente secuencia sedimentaria que constituye un llano elongado en dirección noroeste, entre la zona de El Colorado y las inmediaciones de Pelarco. Se estima que los procesos de erosión que dieron origen a este depósito se habrían desarrollado a partir del Pleistoceno.

En general, la sección superior de este depósito, hasta los 85 m de profundidad, consiste principalmente en materiales clásticos gruesos, como ripio, gravas y gravas arenosas con algunas intercalaciones limo-arcillosas. La secuencia basal, entre los 85 y 237 m de profundidad, consiste en una alternancia rítmica de limos y arcillas con importante contenido cinerítico. (DGA 2010).

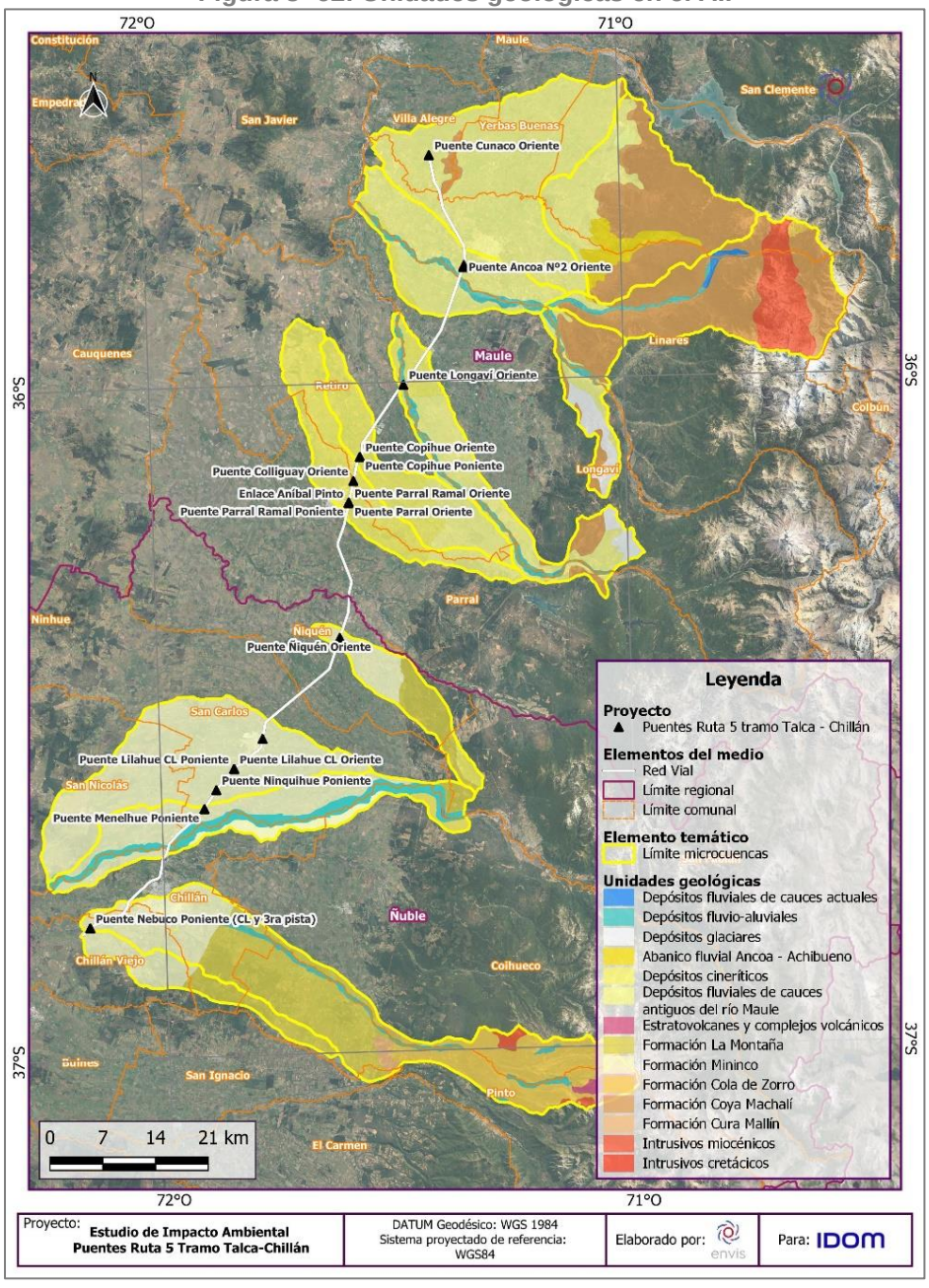
Depósitos cineríticos: Esta unidad ampliamente distribuida ocupa casi la totalidad llano interfluvial de los ríos Claro y Lircay y se caracteriza por presentar depósitos cineríticos compuestos, en su generalidad, de capas de cenizas y tobas de lapilli, en cuya composición se hallan esquirlas vítreas, cristales de plagioclasa y fragmentos de pómez. Estos depósitos, normalmente, se presentan bastante compactos, duros y bien cementados (DGA 2010).

Depósitos fluvio-aluviales: Unidad que comprende el material no consolidados compuestos de gravas, ripios y arenas que conforman el relleno de los cauces de ríos y esteros. Estos depósitos están asociados a los paleocauces. (DGA, 2011).

Depósitos fluviales de cauces actuales: Esta unidad corresponde a los depósitos de ripios, gravas y gravas arenosas uniformemente distribuidos dentro y en la vecindad inmediata del cauce actual de los principales ríos.

El depósito se caracteriza por consistir en clastos mayores inmersos en una escasa matriz de arenas gruesas a gravilla que conforman numerosas islas o bancos dispuestos a todo lo ancho y largo de los cauces. Los clastos son heterocomposicionales predominantemente volcánicos y graníticos que disminuyen en tamaño hacia el Valle Central. Estos depósitos se encuentran débilmente compactados y tienen buena selección (DGA, 2010).

Figura 3- 62: Unidades geológicas en el AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Peligrosidad de la Geología

De acuerdo con el análisis realizado a partir de las unidades geológicas presentes en el área de estudio, y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, se definen los niveles de peligrosidad asociados a cada unidad litológica, en la Tabla siguiente se presentan las de las unidades más relevantes.

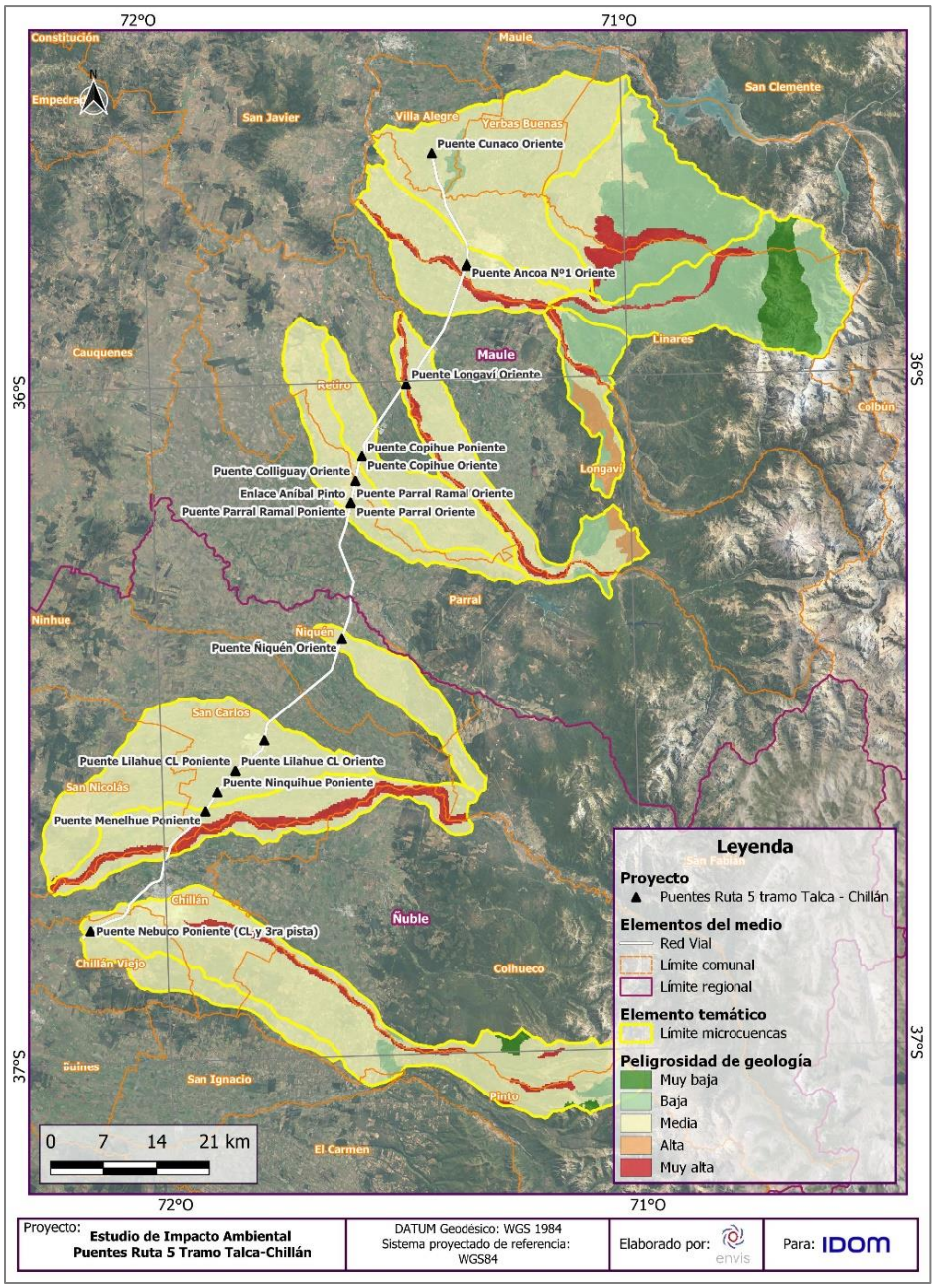
Tabla 3- 106: Peligrosidad de flujos de barro y detritos para cada unidad geológica en el AI.

Unidad geológica	Peligrosidad
Depósitos fluviales de cauces actuales	Muy alta
Depósitos fluvio-aluviales	Muy alta
Depósitos glaciares	Alta
Abanico fluvial Ancoa-Achibueno	Muy alta
Depósitos cineríticos	Media
Depósitos fluviales de cauces antiguos del río Maule	Media
Estratovolcanes y complejos volcánicos	Baja
Formación La Montaña	Media
Formación Mininco	Media
Formación Cola de Zorro	Media
Formación Coya Machalí	Baja
Formación Cura Mallín	Baja
Formación Lo Valle	Baja
Intrusivos miocénicos	Muy baja
Intrusivos cretácicos	Muy baja

Fuente: ENVIS, 2023.

En su mayoría, el área de influencia posee peligrosidad media asociada a la extensa ocupación de las zonas llanas por unidades detríticas consolidadas, y baja por la amplia composición volcánica de la cordillera. La representación en detalle de la peligrosidad de la geología se puede observar en la siguiente Figura:

Figura 3- 63: Peligrosidad de unidades geológicas por flujo de barro/detrito en el AI.

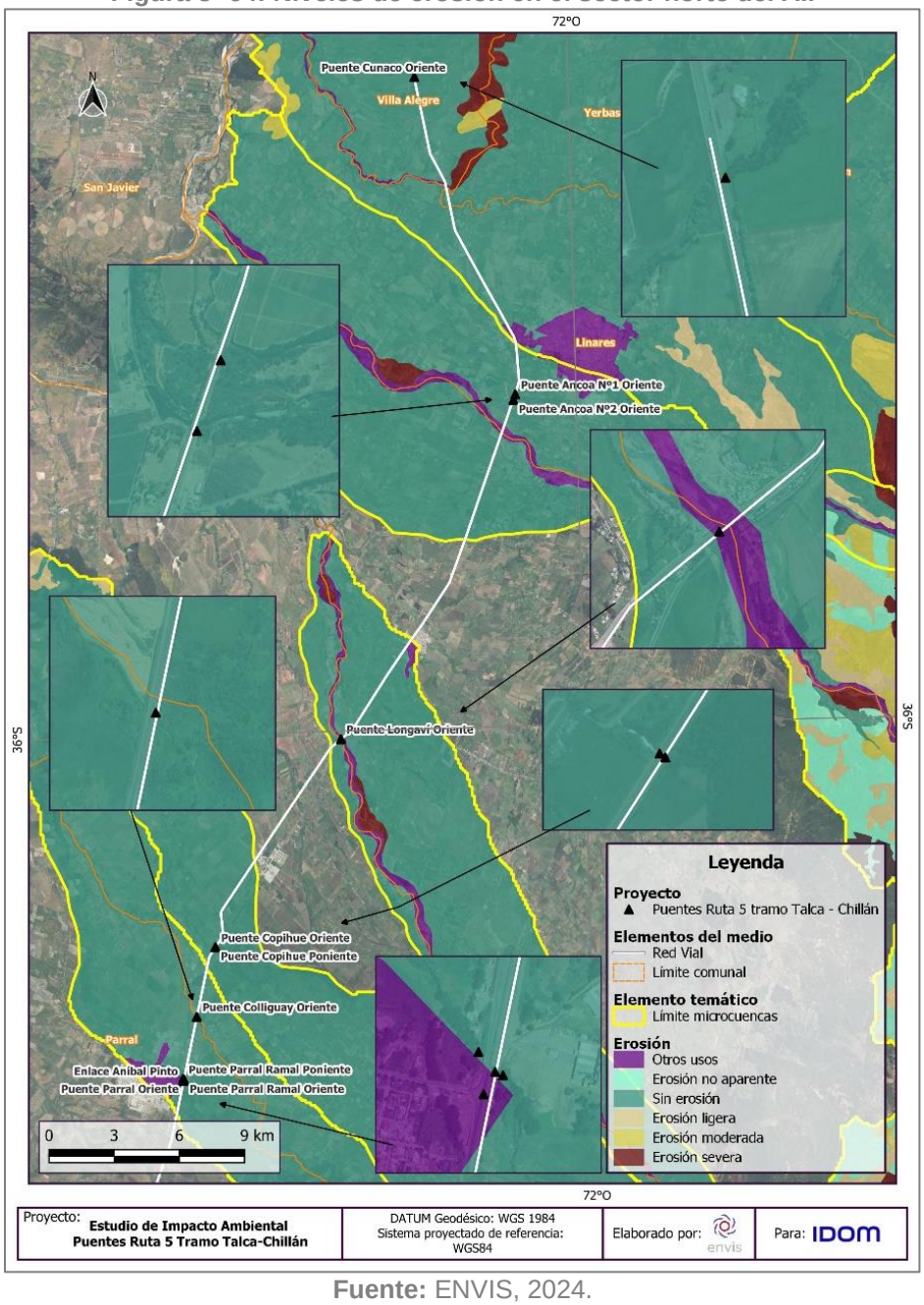


Fuente: ENVIS, 2024.

- Erosión

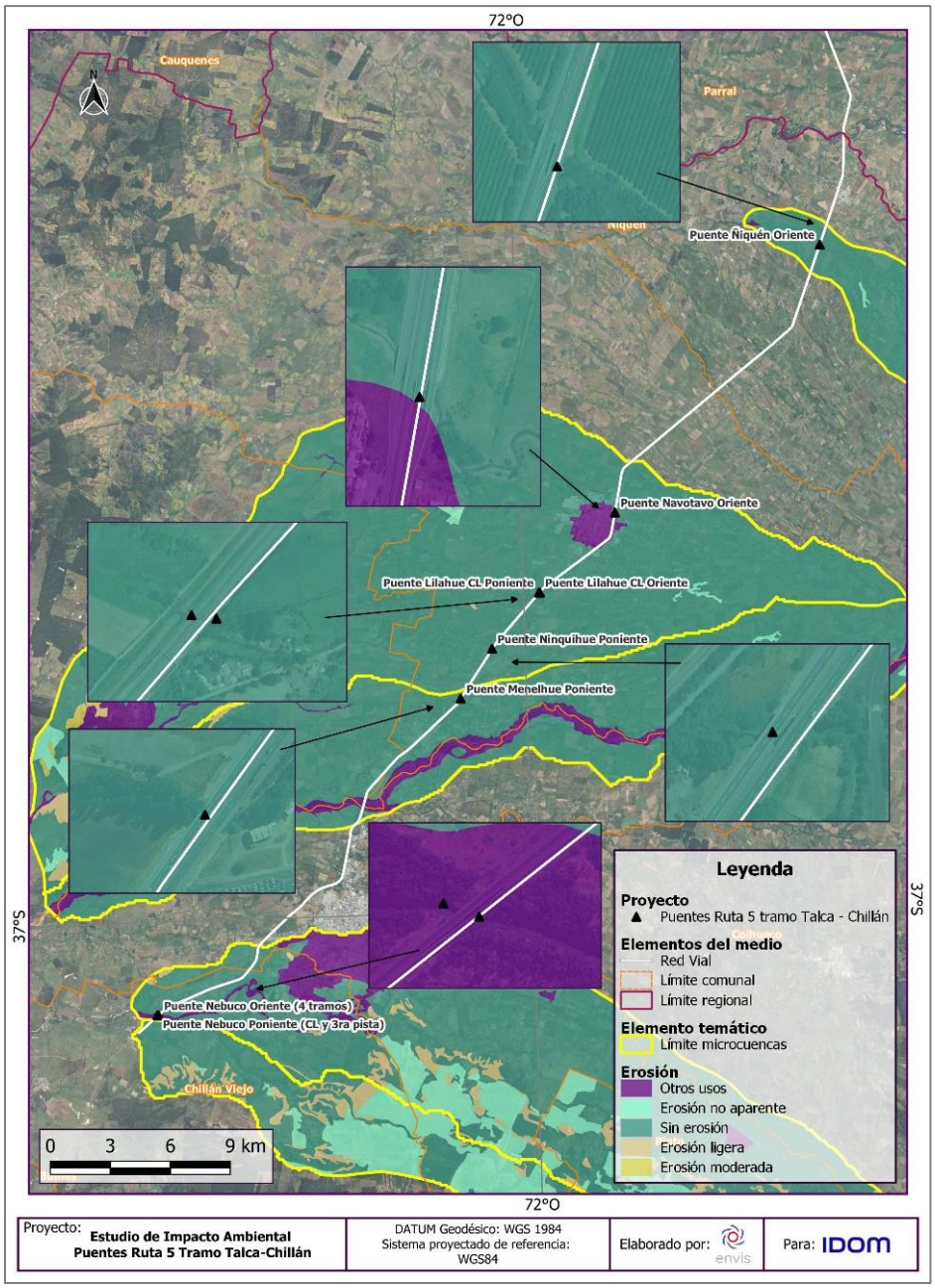
En términos generales hay un predominio de la erosión nula en el área de influencia. En las siguientes figuras, se observa el detalle de los niveles de erosión presentes en el área de influencia en la zona norte y sur respectivamente.

Figura 3- 64: Niveles de erosión en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 65: Niveles de erosión en el sector sur del AI.



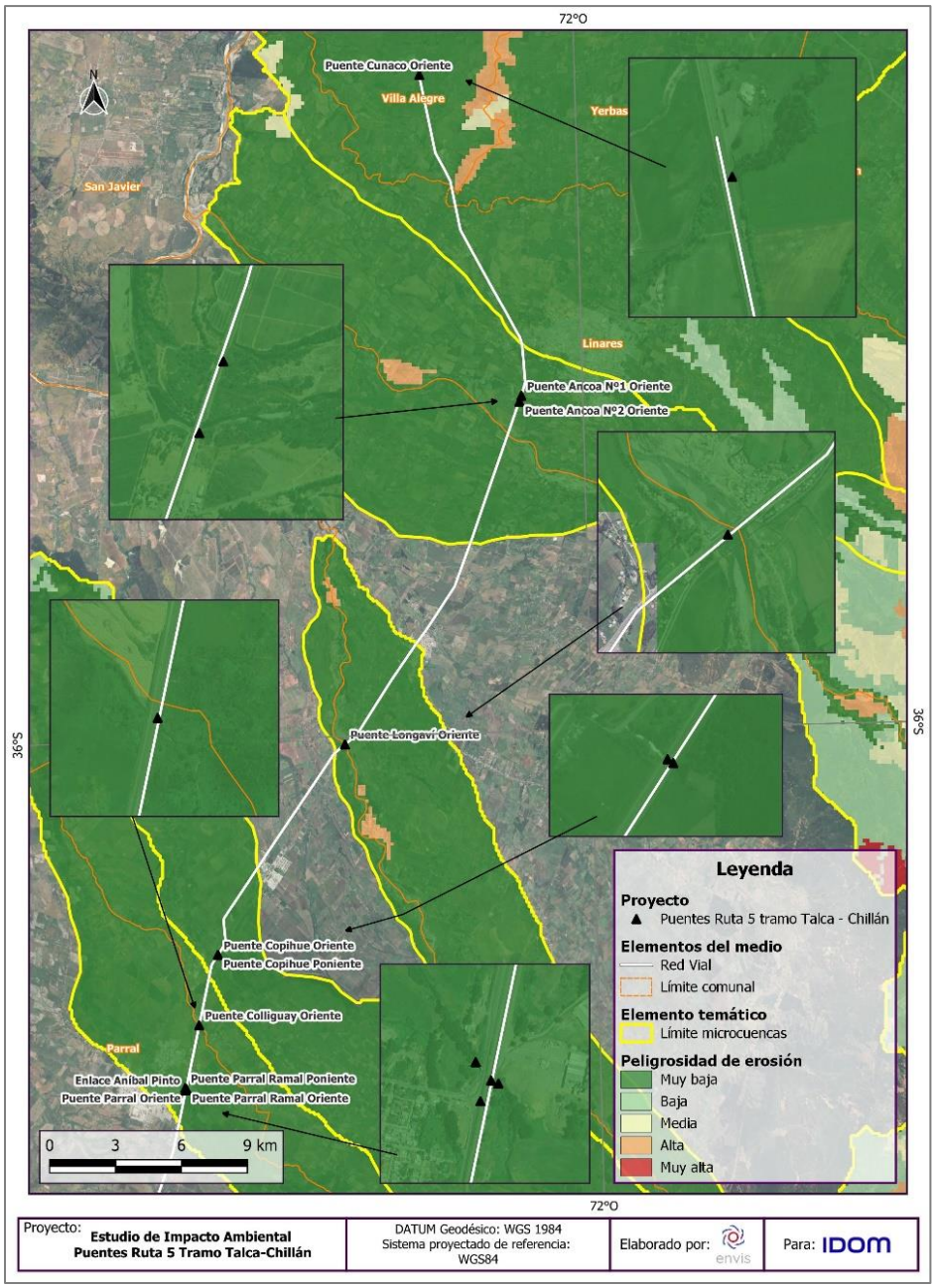
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la erosión

El área del proyecto se encuentra mayoritariamente en zonas homogéneas de nula erosión correspondientes a las zonas llanas, y en menor medida aparecen zonas con niveles de erosión variados correspondientes a las zonas elevadas cordilleranas y precordilleranas. Por lo anterior, y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, se determina que la peligrosidad de una remoción en masa asociada a la erosión es predominantemente muy baja en las zonas más cercanas al emplazamiento del Proyecto, con algunas zonas de mayor peligro en las zonas cordilleranas.

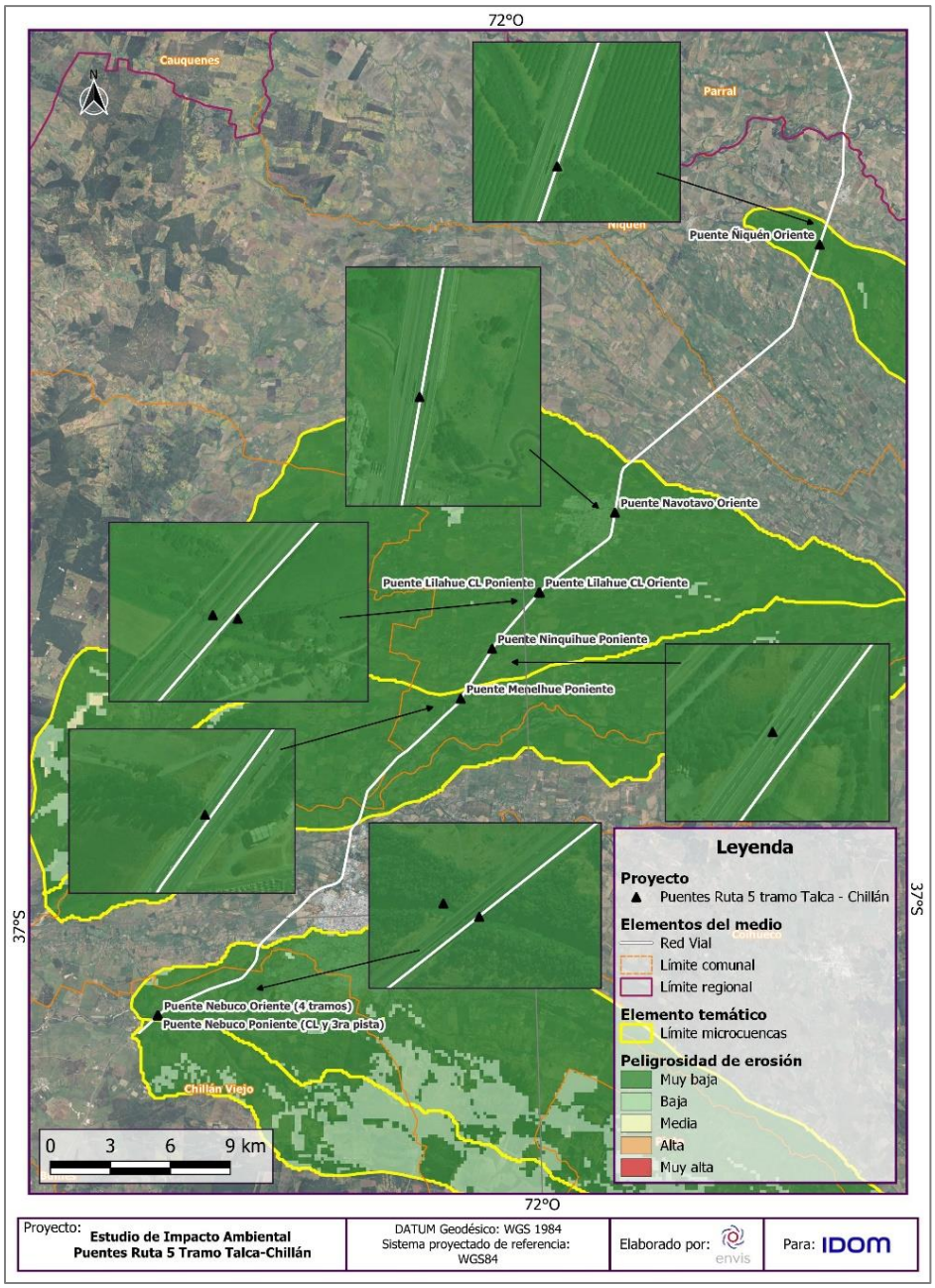
En las siguientes figuras se observa el detalle de la peligrosidad en las zonas norte y sur del área de influencia respectivamente.

Figura 3- 66: Peligrosidad de la erosión por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 67: Peligrosidad de la erosión por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.



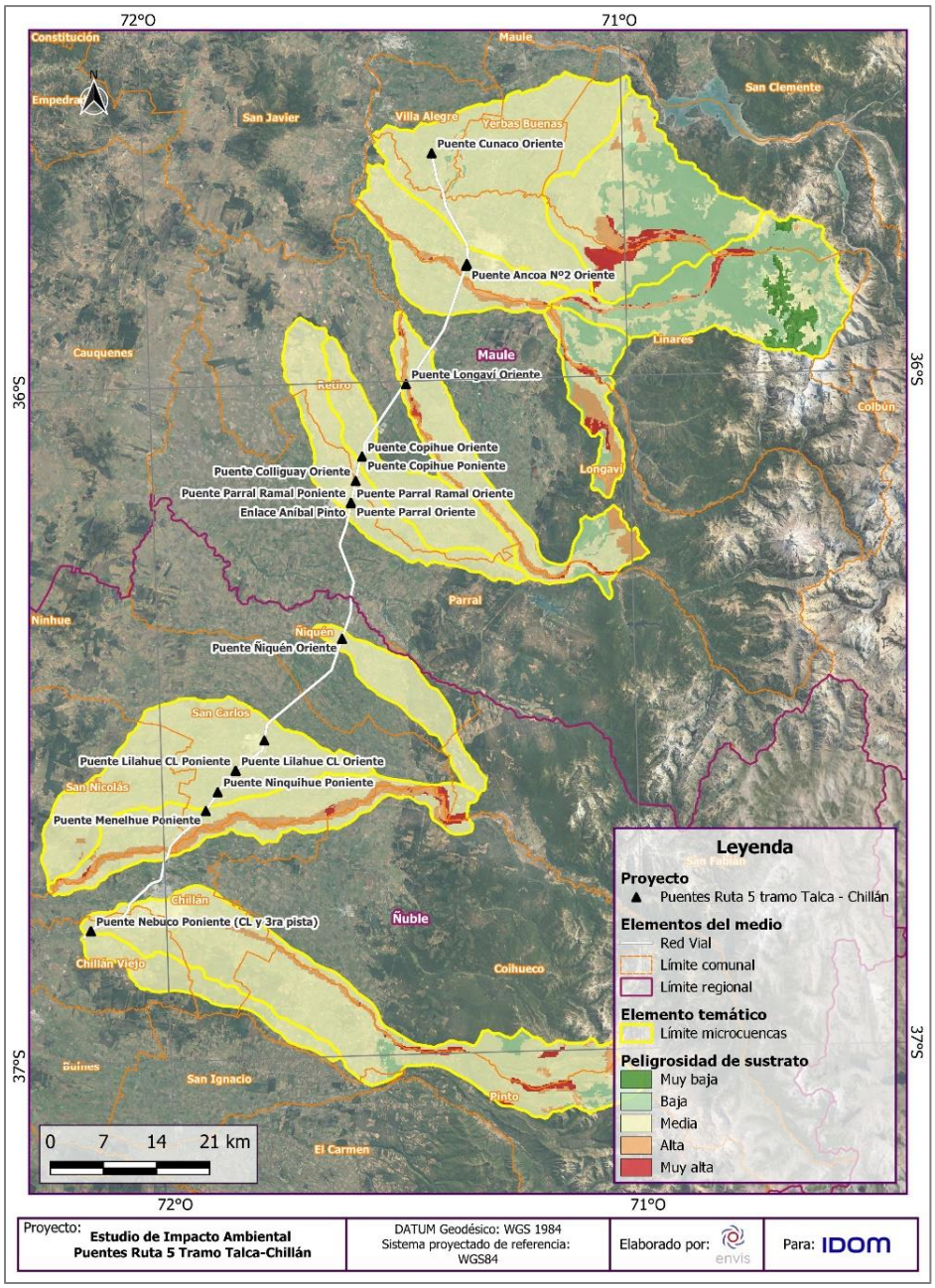
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad del sustrato

De acuerdo con el análisis realizado a partir de los subfactores del sustrato, y teniendo en cuanta la relación definida en la sección sistematización: ponderaciones, se determina que, en el área de influencia, el sustrato otorga una peligrosidad predominantemente media en las zonas llanas y baja en las zonas cordilleranas, además en menor medida aparece una peligrosidad alta asociada a los depósitos de los cauces actuales más importantes.

En la siguiente Figura se puede observar el detalle de la peligrosidad del sustrato resultante.

Figura 3- 68: Peligrosidad del sustrato asociada a flujo de barro/detrito en el AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

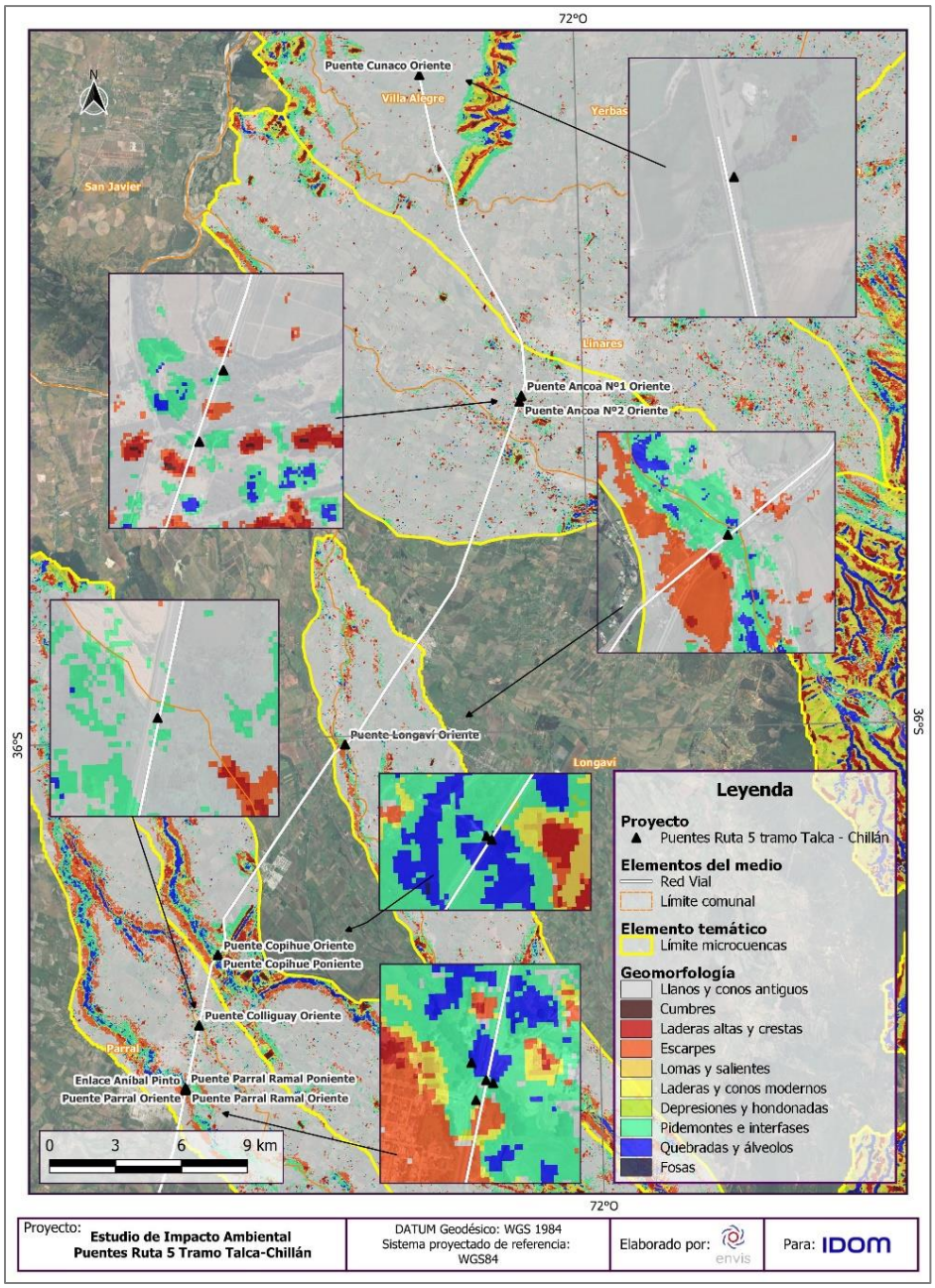
Forma

- Unidades geomorfológicas

En cuanto a la geomorfología regional del área de estudio, se identifican 3 morfologías mayores: El llano central correspondiente a una planicie suavemente ondulada que ocupa la depresión intermedia. La precordillera que corresponde a una acumulación caótica de materiales glaciales, volcánicos y fluviales que se ubica al pie de la Cordillera andina y que presenta laderas abruptas y ríos encajonados. Por último, también aparece la Cordillera andina de retención crionival que representa las mayores cumbres en el área de estudio (Börgel, 1983).

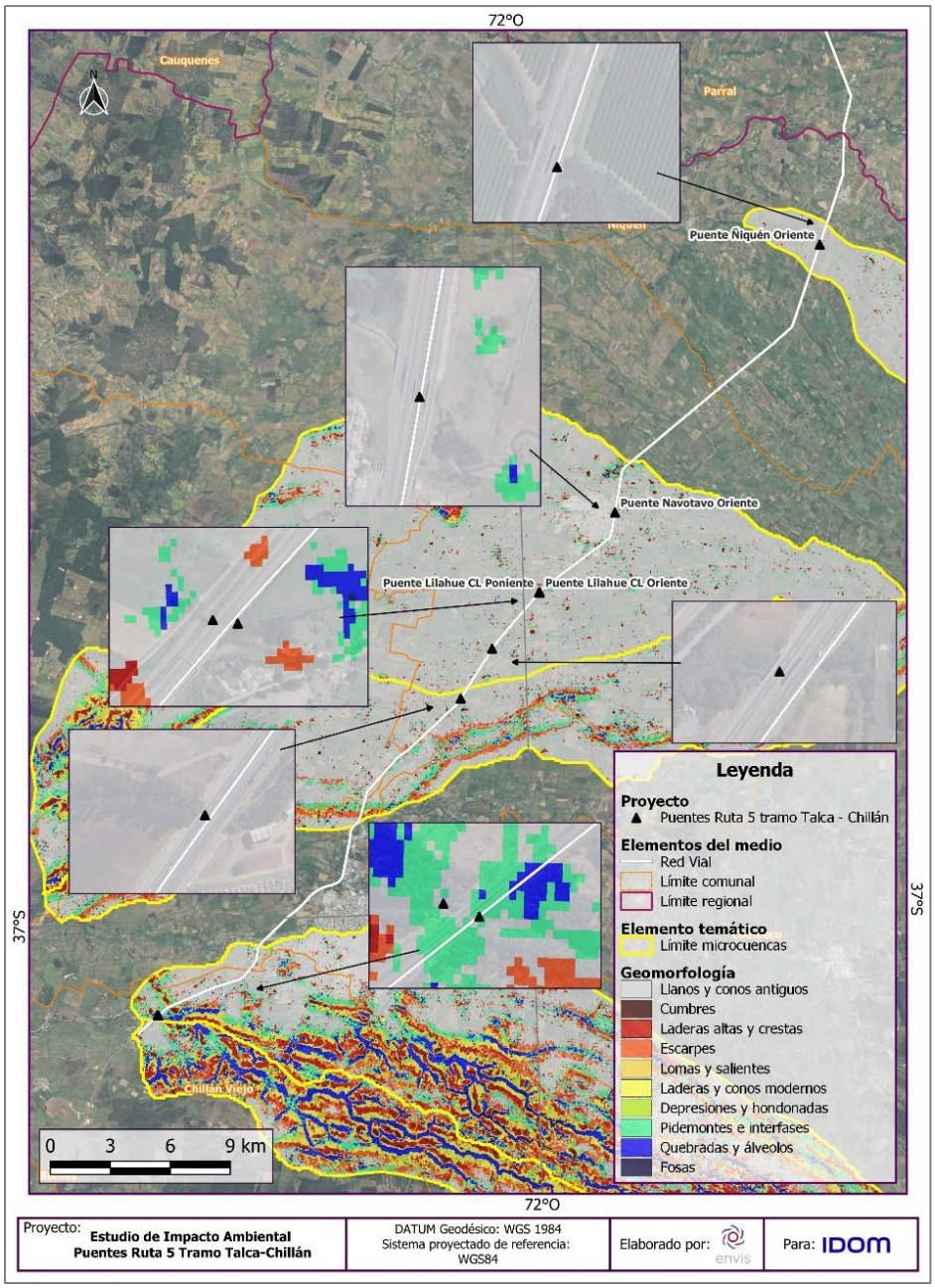
Este subfactor se expresa mediante la geomorfología local, donde en el área de influencia es posible observar morfoestructuras de origen principalmente fluvio-aluvial, que corresponden a: Quebradas, conos de depósitos aluviales y depósitos coluviales de distintas edades, relieves escarpados, laderas, y llanos. En las siguientes figuras se detallan las morfoestructuras presentes en las zonas norte y sur del área de influencia respectivamente.

Figura 3- 69: Unidades geomorfológicas en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 70: Unidades geomorfológicas en el sector sur del AI.

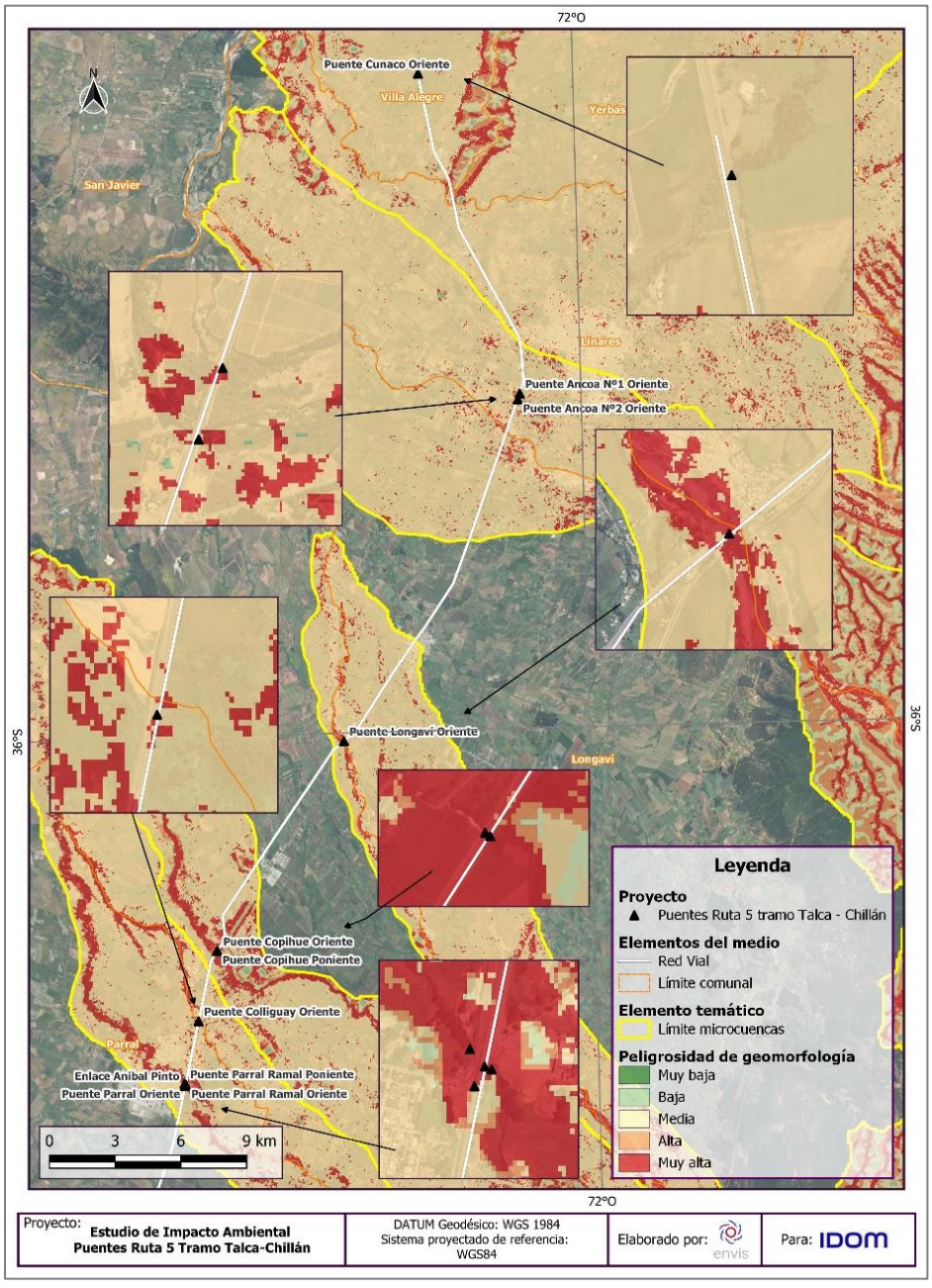


Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de las unidades geomorfológicas

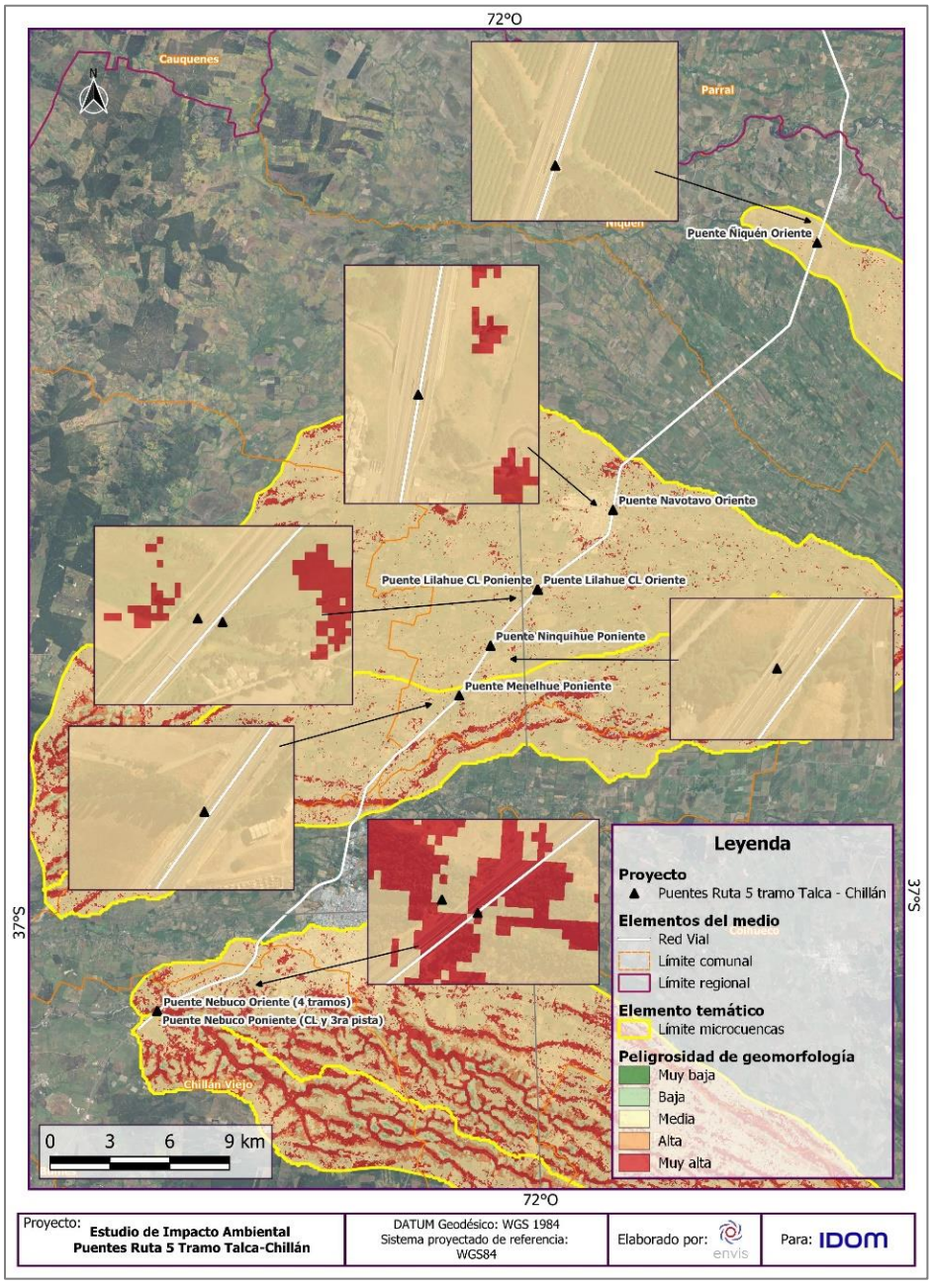
El área del proyecto se encuentra mayoritariamente en zonas de llanos y conos antiguos que ocupan casi la totalidad de la depresión intermedia, siendo la otra porción ocupada principalmente por quebradas y sus escarpes asociados, por otra parte, en las zonas cordilleranas y precordilleranas hay un dominio de laderas y conos modernos acompañadas de quebradas y laderas altas y escarpes. Por lo anterior, y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, se determina que la peligrosidad de una remoción en masa asociada al subfactor geomorfología es predominantemente media por las zonas llanas, con algunas zonas de mayor peligro en las quebradas y laderas asociadas a los ríos. En las siguientes figuras, se observa el detalle de la peligrosidad asociada en las zonas norte y sur del área de influencia respectivamente.

Figura 3- 71: Peligrosidad de unidades geomorfológicas por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 72: Peligrosidad de unidades geomorfológicas por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.

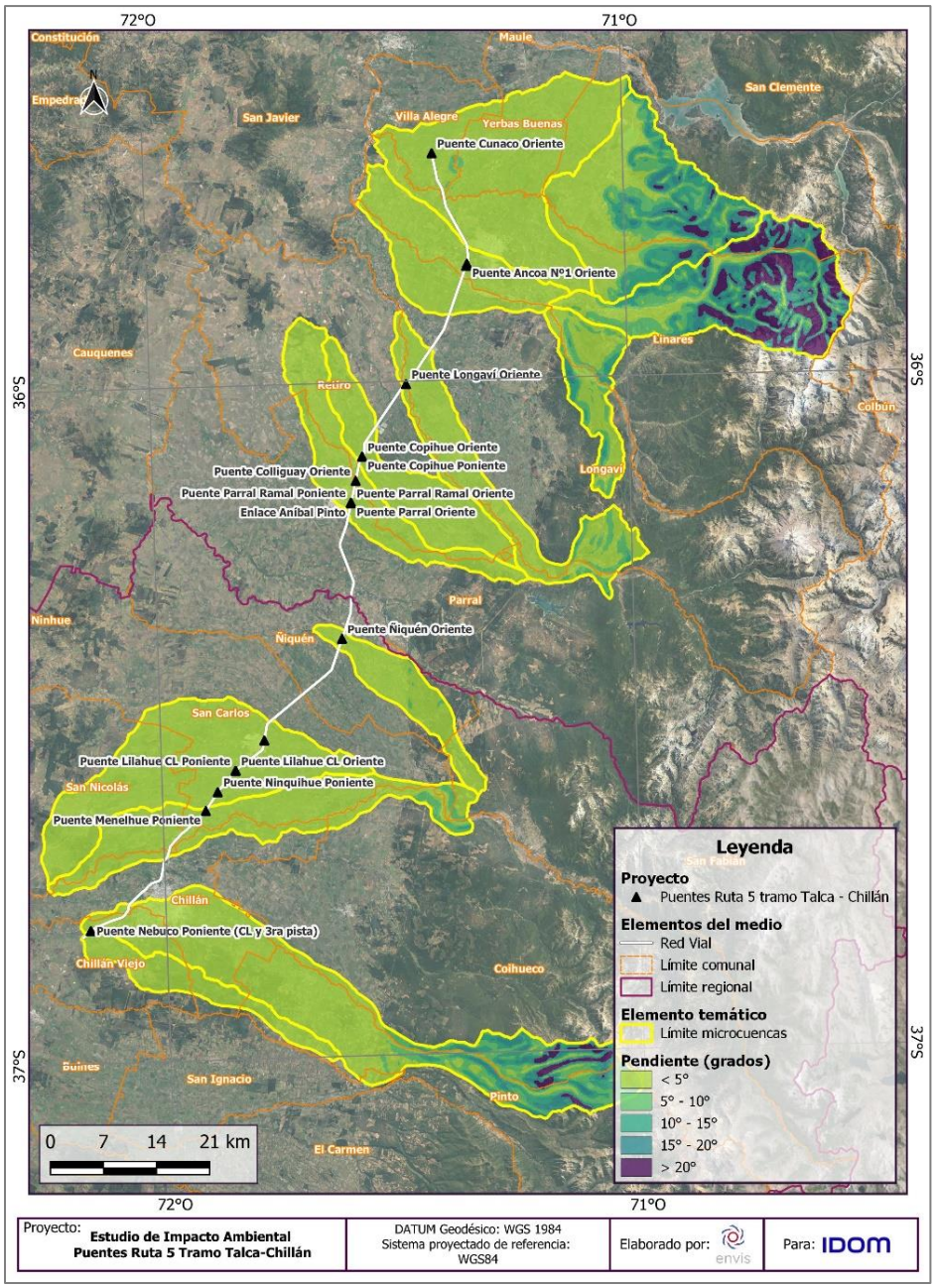


Fuente: ENVIS, 2024.

- Pendiente

En términos generales hay un dominio de pendientes muy bajas (< 5.0°) asociadas a la gran extensión de los llanos, y en menor medida, hacia la zona cordillerana, se observan pendientes mayores que aumentan paulatinamente desde pendientes medias (10.0 - 15.0°) hasta pendientes muy altas (> 20.0°). En la siguiente Figura se observa el detalle de las pendientes en el área de influencia.

Figura 3- 73: Pendientes (en grados) en el área de influencia.

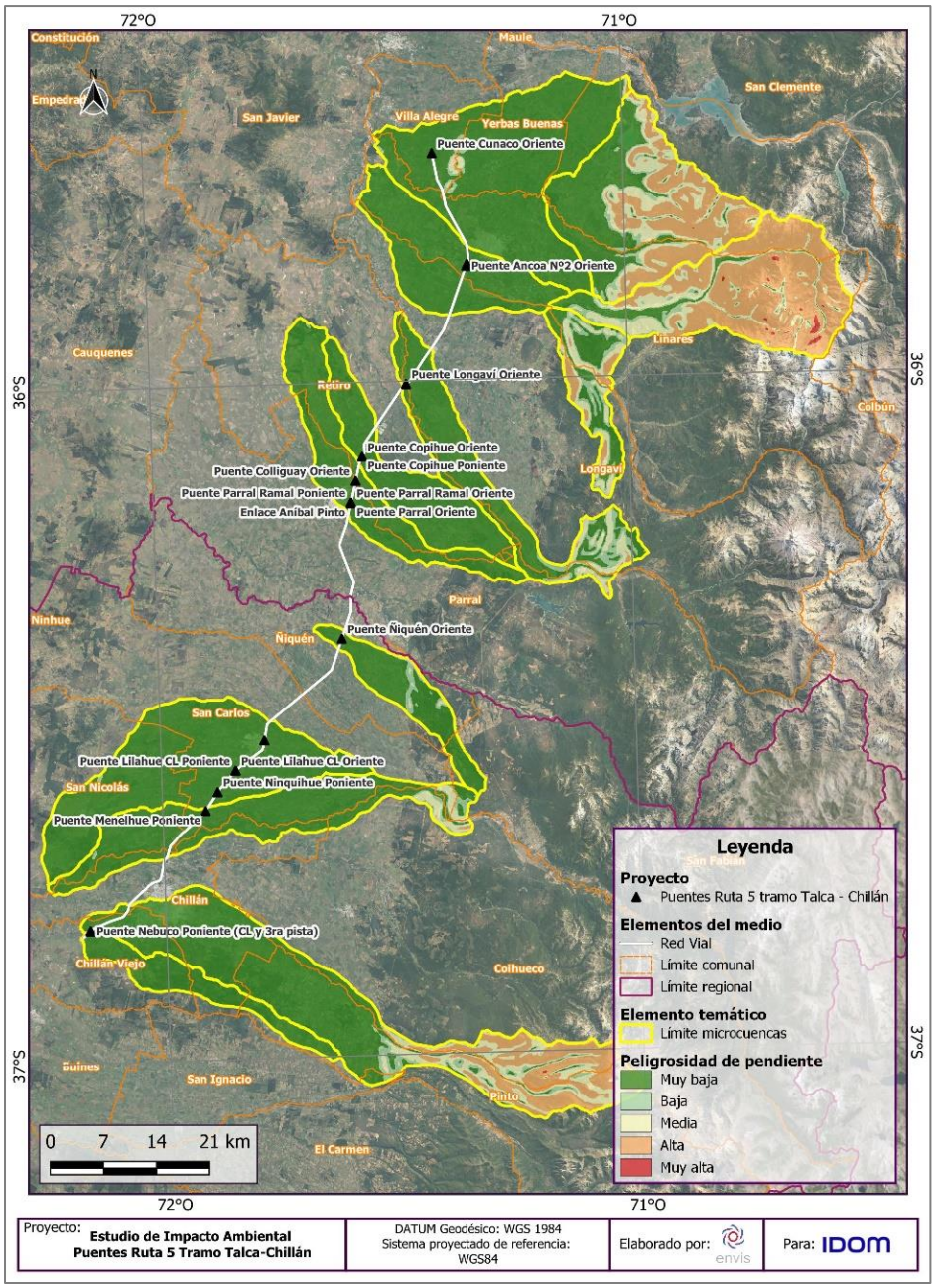


Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la pendiente

El área del proyecto se encuentra principalmente en zonas de baja pendiente, es decir, muy ligeramente a ligeramente inclinada, por lo tanto, y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, se determina que en su mayoría presenta una susceptibilidad muy baja a ser afectada por uno de estos eventos. En la figura a continuación, se observa la peligrosidad asociada en el área de influencia.

Figura 3- 74: Peligrosidad de pendientes por flujo de barro/detrito en el área de influencia.



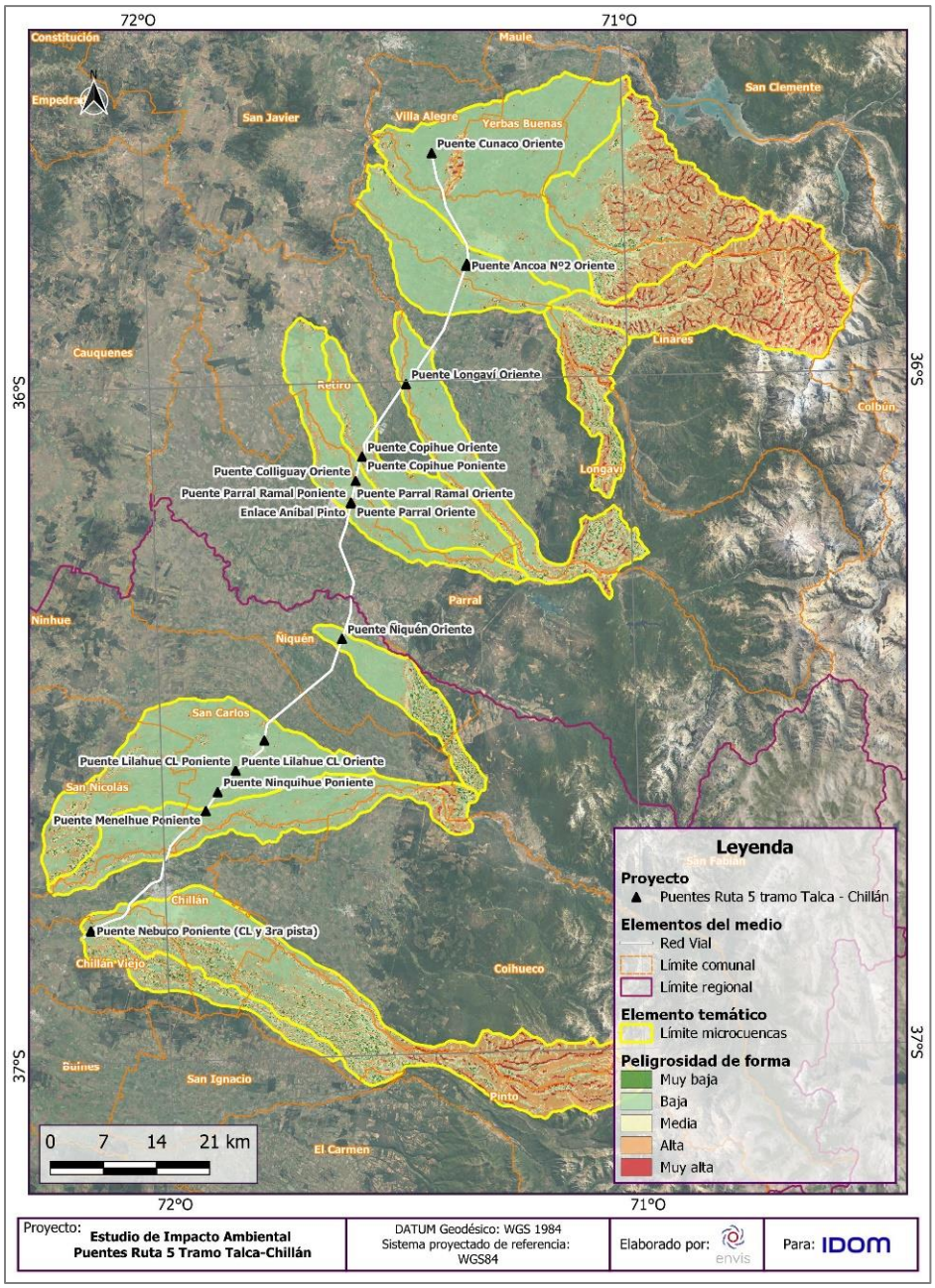
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la forma

De acuerdo con el análisis realizado a partir de subfactores de la forma presentes en el área de influencia, y teniendo en cuanta la relación definida en la sección sistematización: ponderaciones, se determina que, en el área de influencia la forma otorga una peligrosidad baja en las zonas llanas y alta en las zonas cordilleranas.

En la siguiente figura, se puede observar el detalle de la peligrosidad de la forma resultante.

Figura 3- 75: Peligrosidad de la forma asociada a flujo de barro/detrito en el área de influencia.



Fuente: ENVIS, 2024.

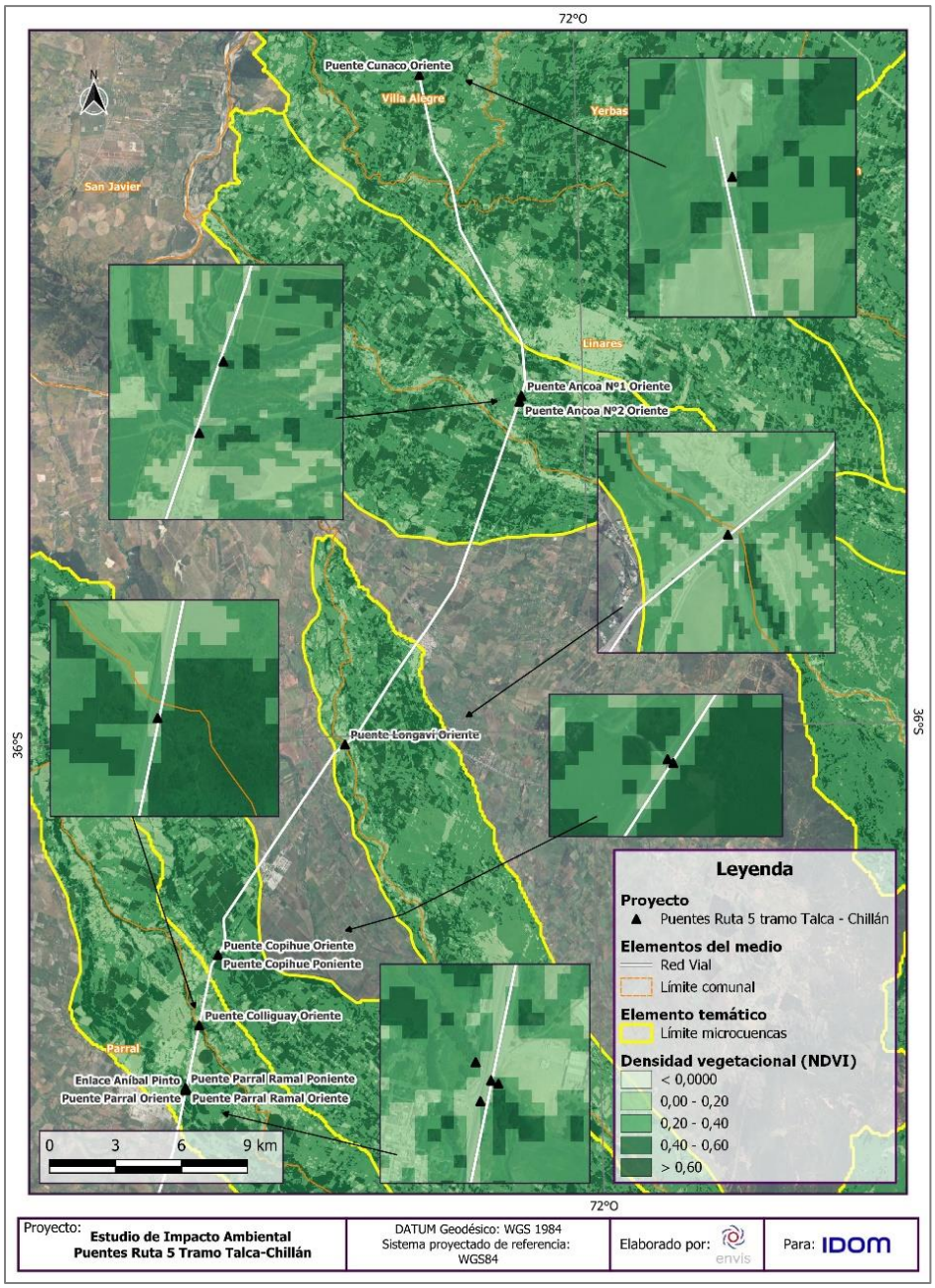
Cubierta

- Densidad vegetacional (NDVI)

En términos generales, en el área de influencia hay una densidad vegetacional predominantemente media a alta (0.2 - 0.6), con zonas menores de muy baja a baja densidad (< 0 - 0.2) asociadas a zonas pobladas, cauces actuales y zonas cubiertas de nieve en la cordillera crionival.

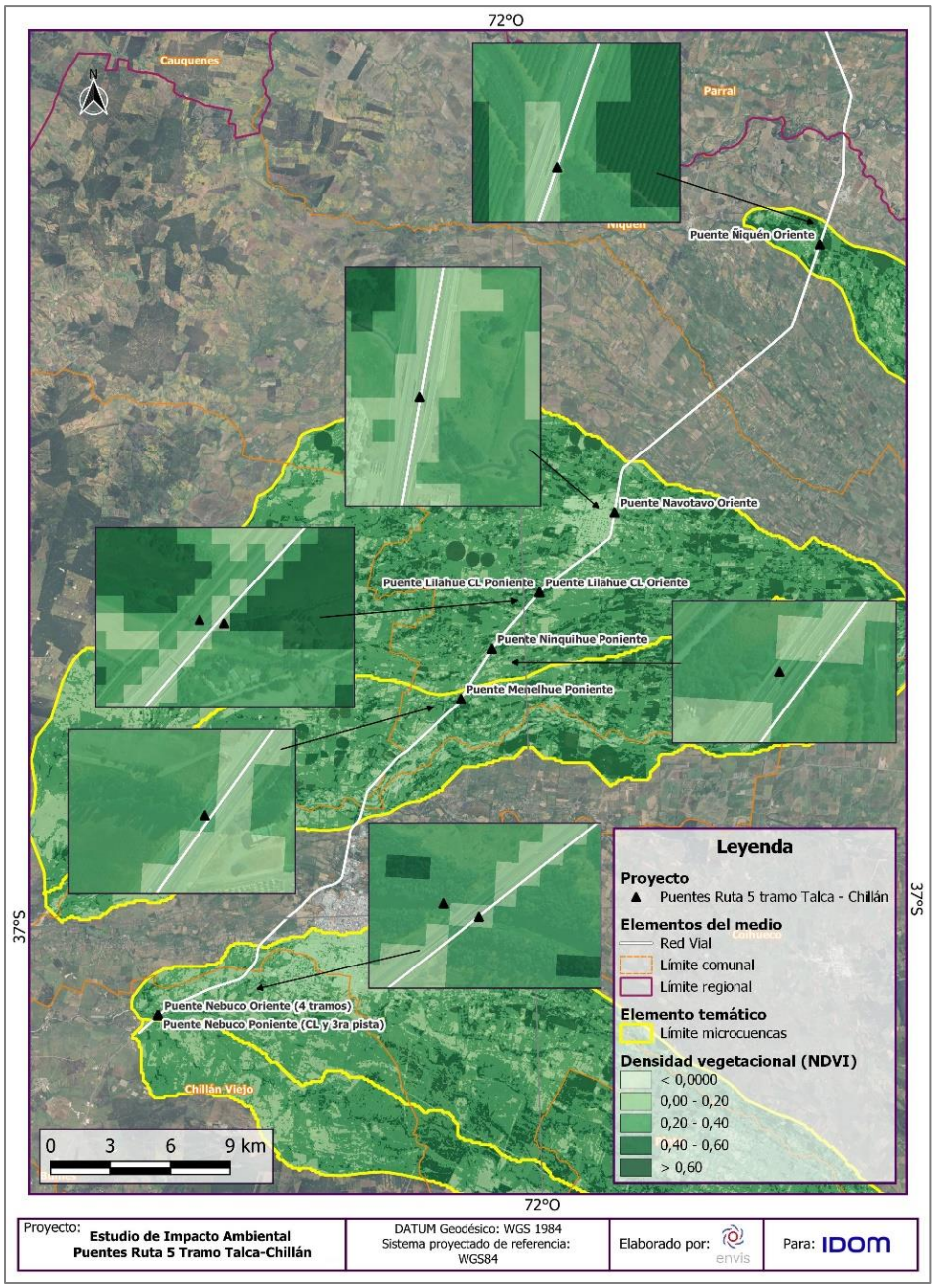
En las siguientes figuras, se observa el detalle de la densidad vegetacional en el área norte y sur del área influencia respectivamente.

Figura 3- 76: Densidad vegetacional en el sector norte del área de influencia.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 77: Densidad vegetacional en el sector sur del área de influencia.



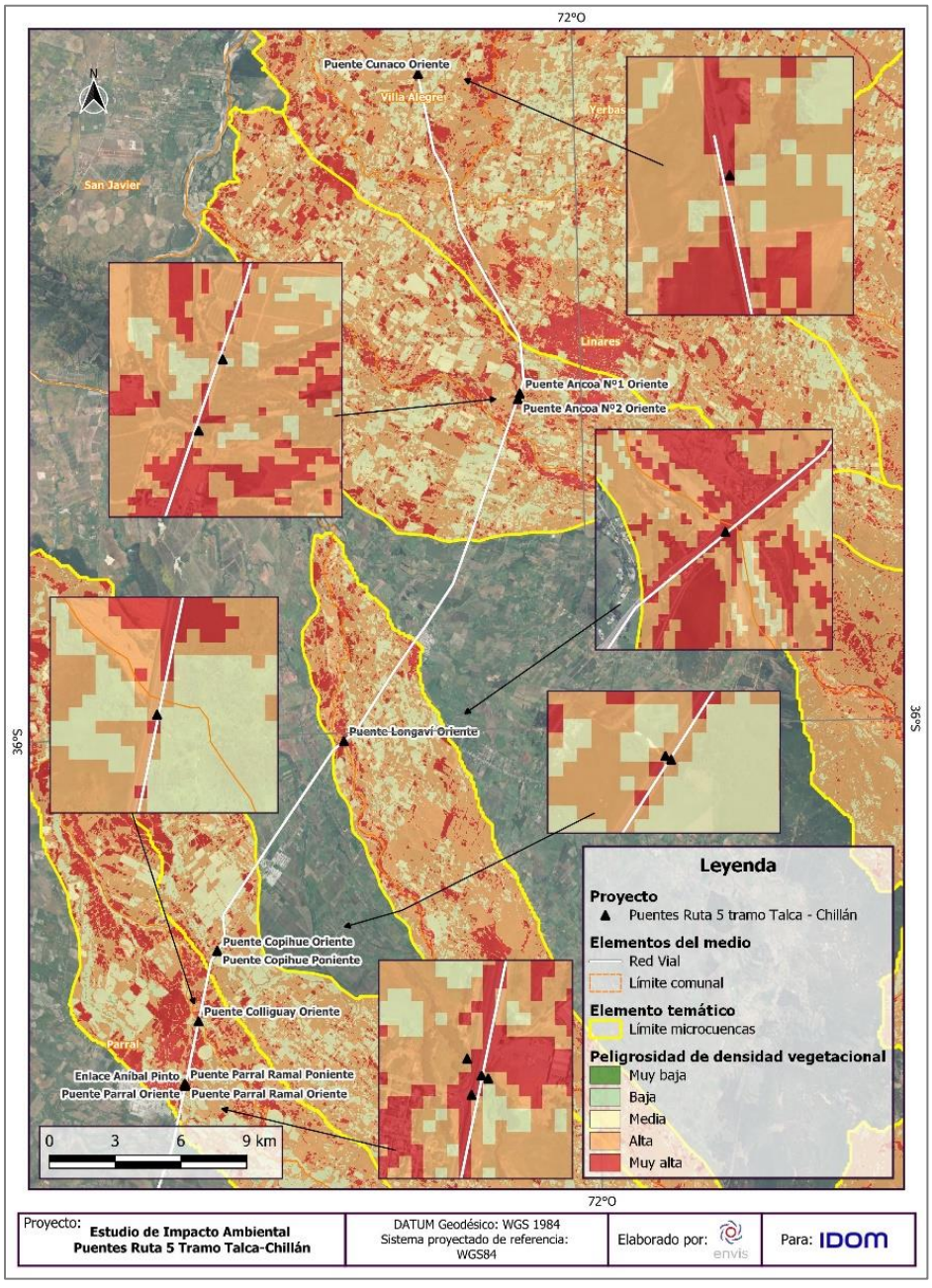
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la densidad vegetacional

El área del proyecto se encuentra principalmente en zonas con densidad vegetacional de 0.2 a 0.6, por lo tanto, y teniendo en cuanta la Tabla 3-92 de la sección sistematización: ponderaciones, la densidad vegetacional presenta mayormente una susceptibilidad media a alta de ser afectada por eventos de remoción en masa.

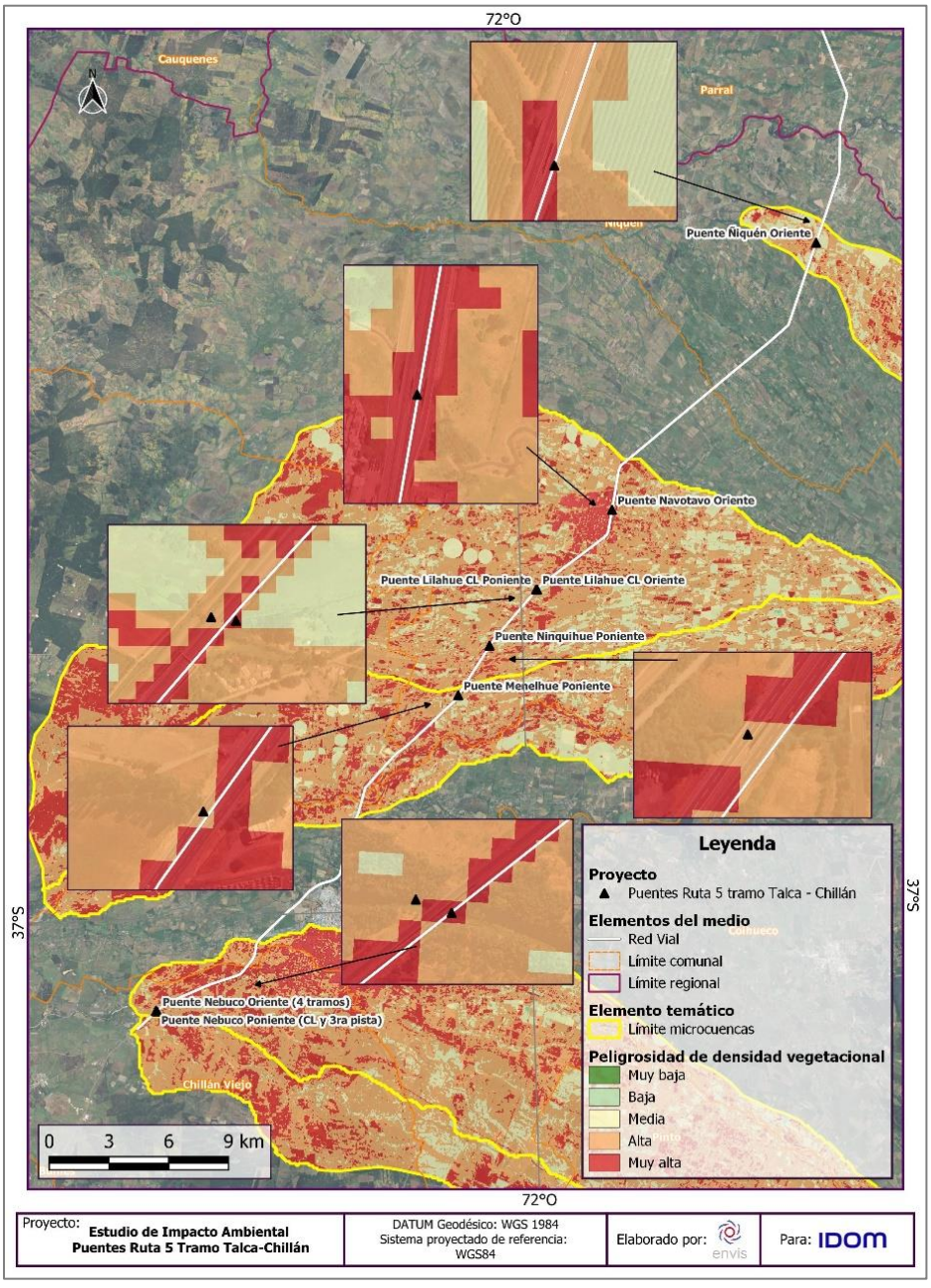
En las siguientes figuras se observa el detalle de la peligrosidad en las zonas norte y sur del área de influencia respectivamente:

Figura 3- 78: Peligrosidad de la densidad vegetacional por flujo de barro/detrito en el sector norte del área de influencia.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 79: Peligrosidad de la densidad vegetacional por flujo de barro/detrito en el sector sur del área de influencia.



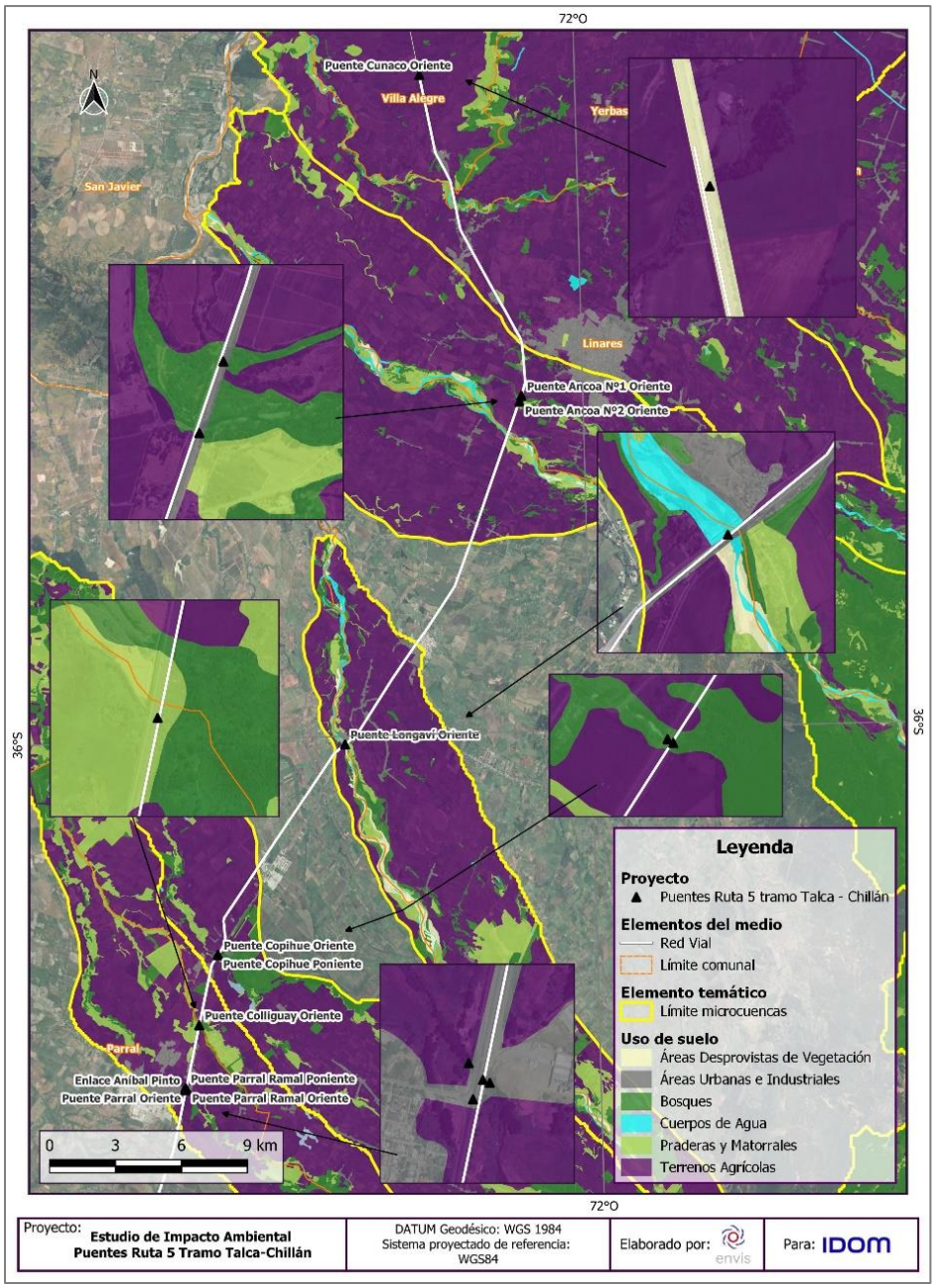
Fuente: ENVIS, 2024.

- Uso de suelo

En términos generales, en el área de influencia hay un amplio predominio de terrenos agrícolas y bosques de distinto tipo.

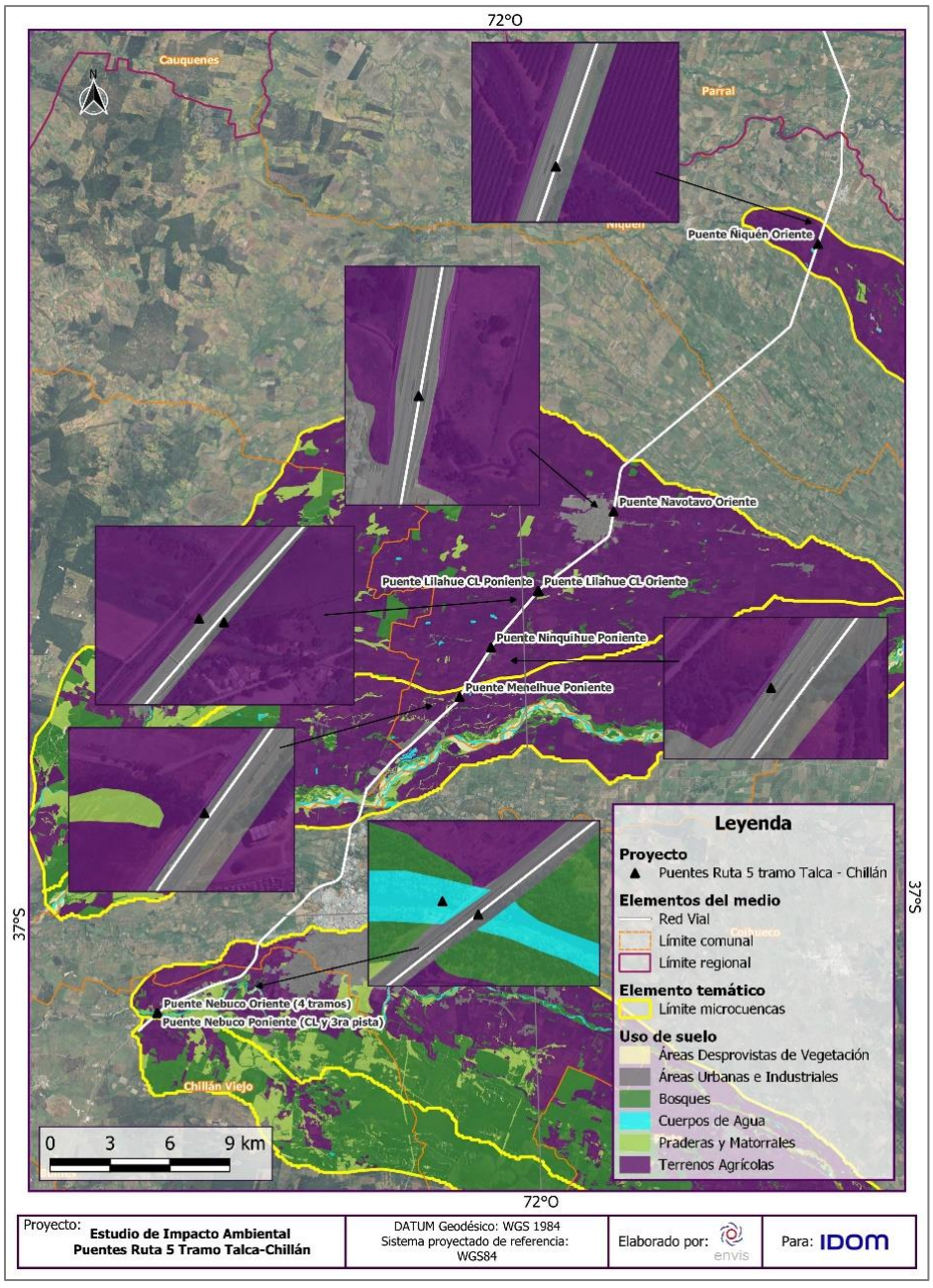
En las siguientes figuras se observa el detalle de los usos de suelo presentes en el área de influencia en la zona norte y sur respectivamente.

Figura 3- 80: Uso de suelo en el sector norte del área de influencia.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 81: Uso de suelo en el sector sur del área de influencia.

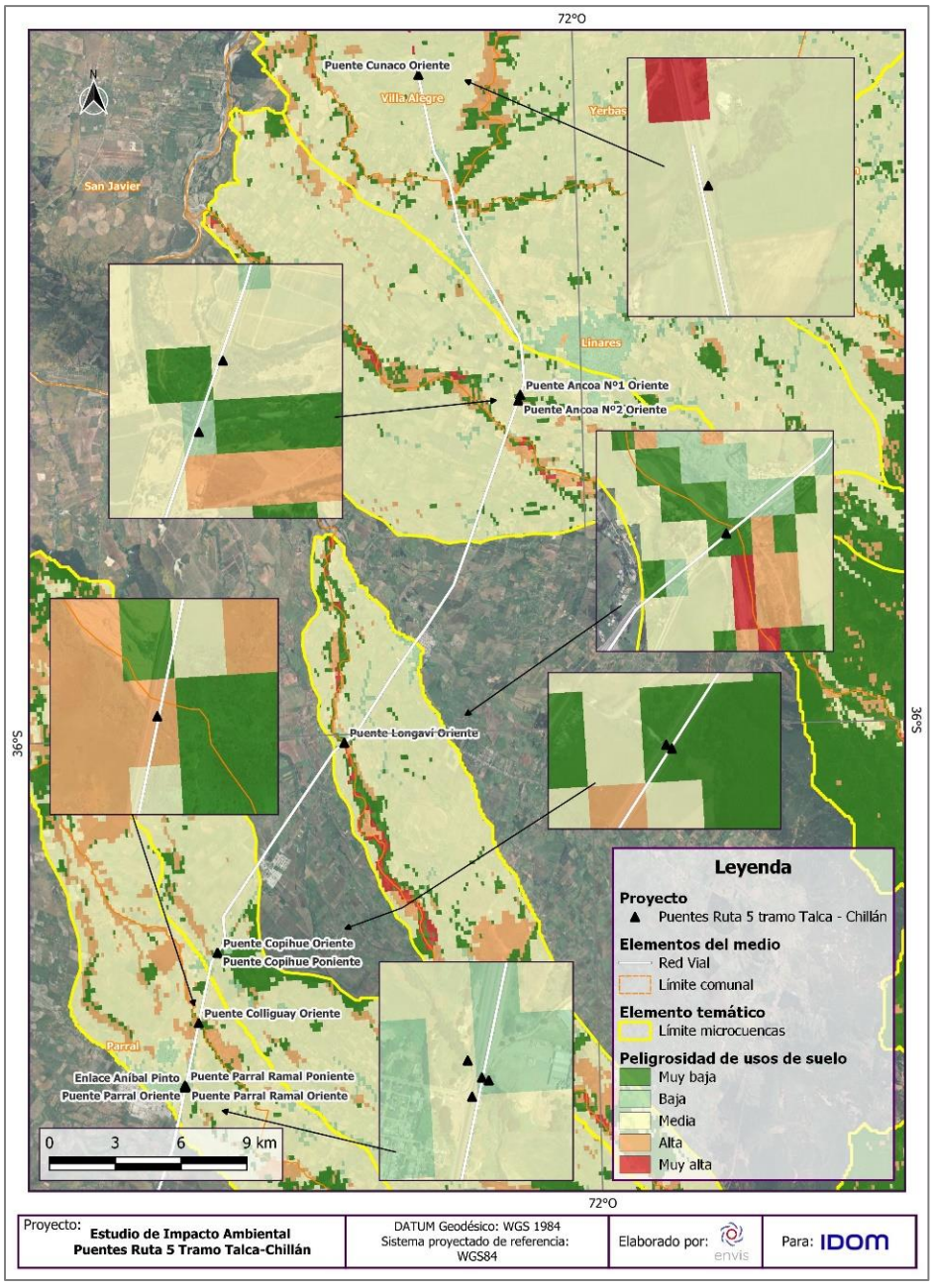


Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad del uso de suelo

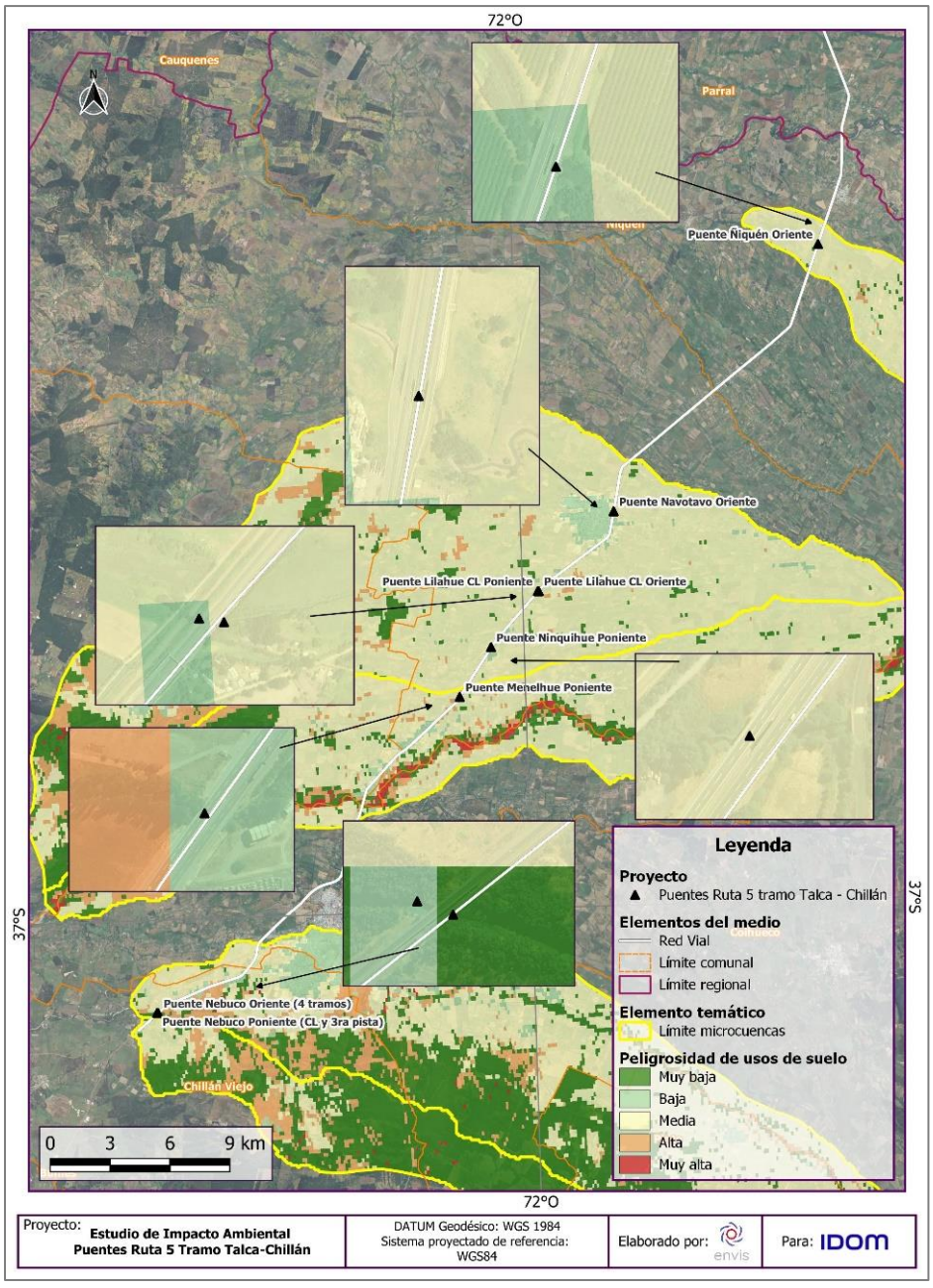
El área del proyecto se encuentra mayoritariamente en zonas de mediana a alta cobertura vegetal (terrenos agrícolas y bosques), por lo cual y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, la peligrosidad de una remoción en masa asociada al uso de suelo es predominantemente media en la zona llana y muy baja en las zonas cordilleranas. En las siguientes figuras se detalla la peligrosidad en las zonas norte y sur del área de influencia respectivamente.

Figura 3- 82: Peligrosidad del uso de suelo por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 83: Peligrosidad del uso de suelo por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.



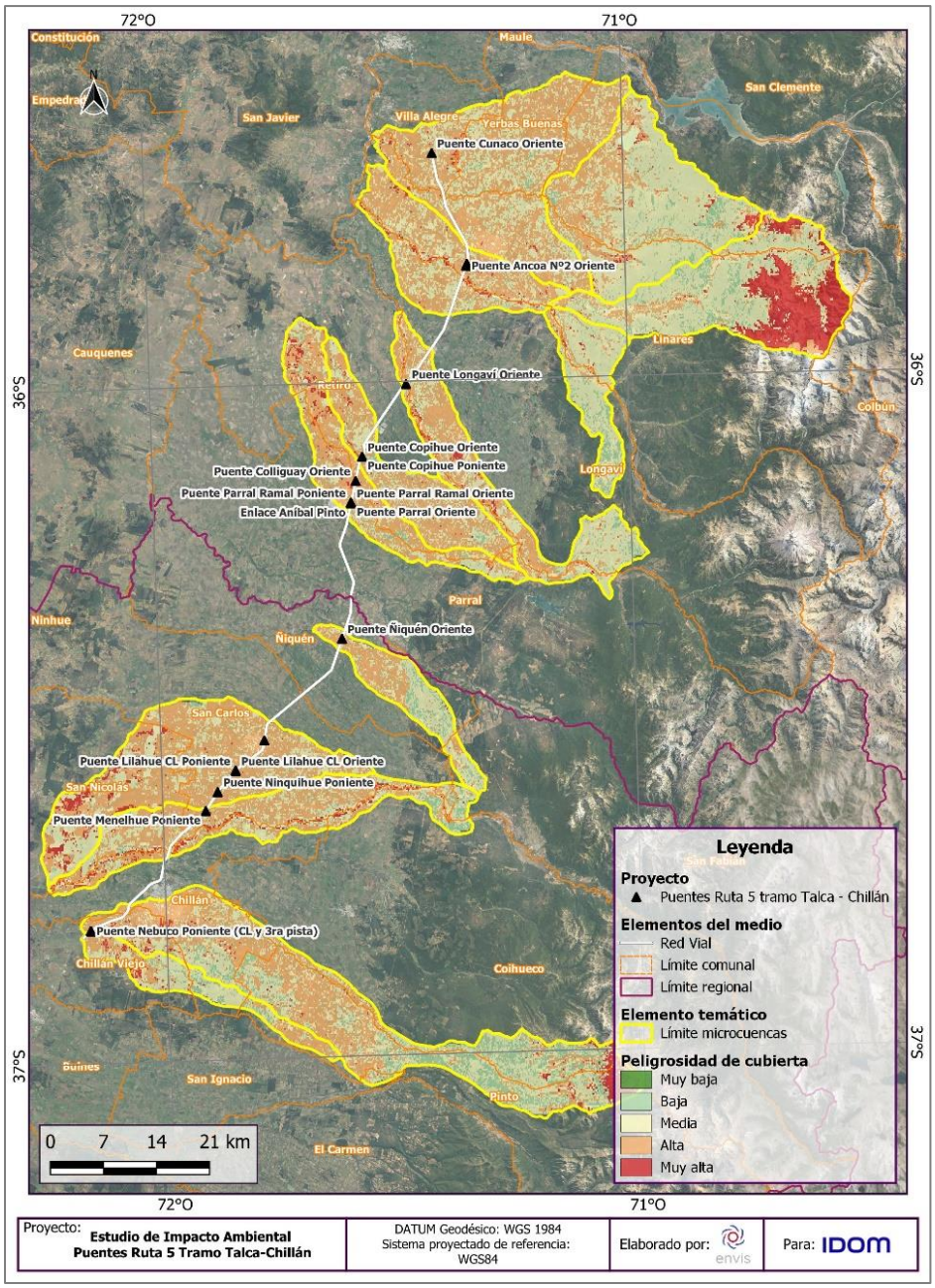
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la cubierta

De acuerdo con el análisis realizado a partir de subfactores de la cubierta presentes en el área de influencia, y teniendo en cuanta la relación definida en la sección sistematización: ponderaciones, se determina que la cubierta otorga una peligrosidad media a alta en las zonas llanas y baja en las zonas cordilleranas, además en menor medida aparece una peligrosidad muy alta asociada a las zonas sin cobertura como son las ciudades, los cauces más amplios, y las cumbres cordilleranas.

En la siguiente Figura se puede observar el detalle de la peligrosidad de la cubierta resultante.

Figura 3- 84: Peligrosidad de la cubierta asociada a flujo de barro/detrito en el AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

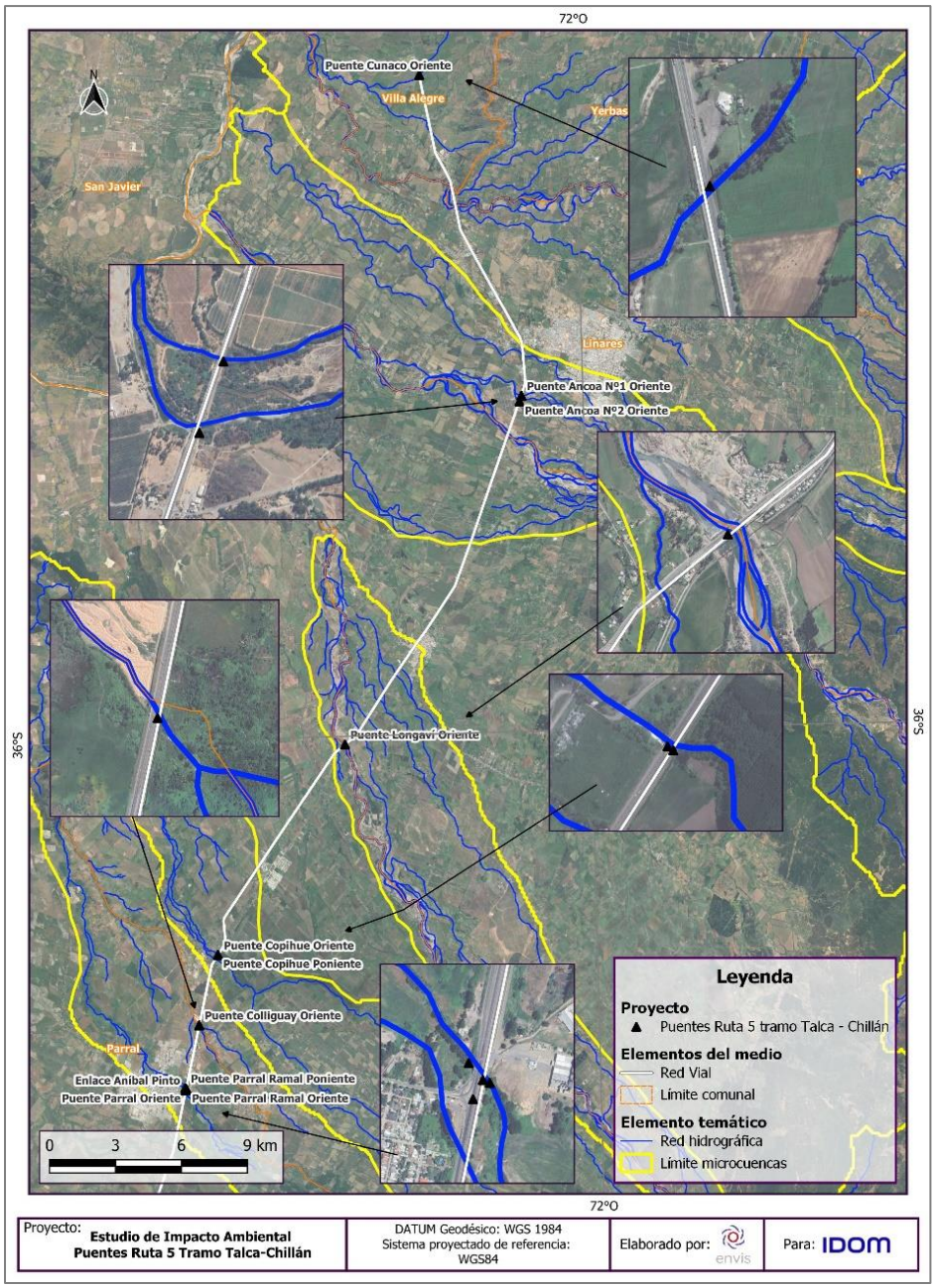
Parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas

- Red Hídrica

En el área de influencia hay una vasta y abundante red hídrica de carácter dendrítico, cuyas aguas fluyen desde la alta cordillera en el este, hacia las zonas más llanas hacia el oeste. Se destaca la importante presencia de cauces como el río Claro, el río Achibueno, el río Ancoa, el río Longaví, el río Ñuble, y el río Chillán.

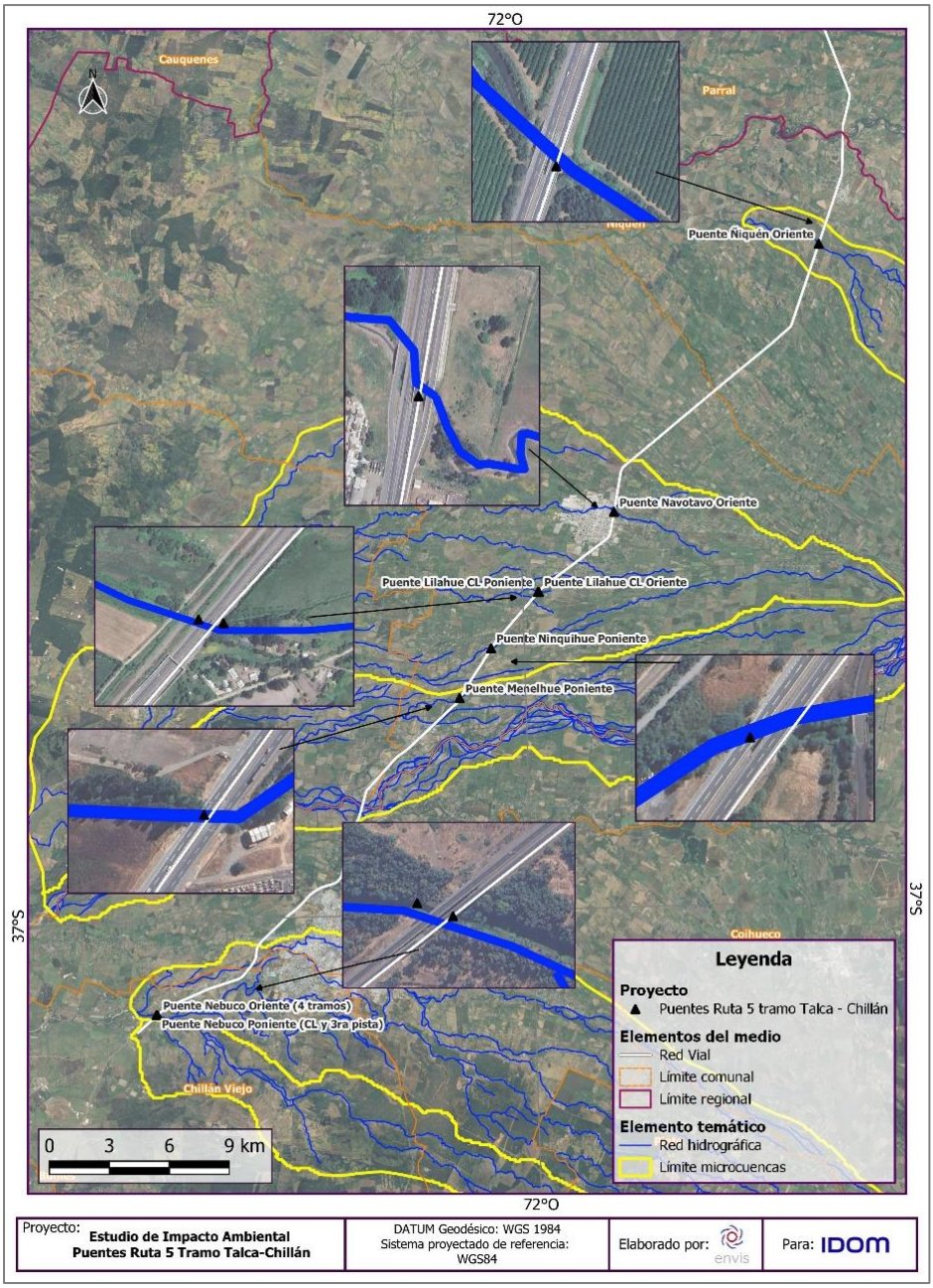
En las siguientes figuras, se observa el detalle de los distintos ríos y esteros presentes en el área de influencia en la zona norte y sur respectivamente.

Figura 3- 85: Red hídrica en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 86: Red hídrica en el sector sur del AI.



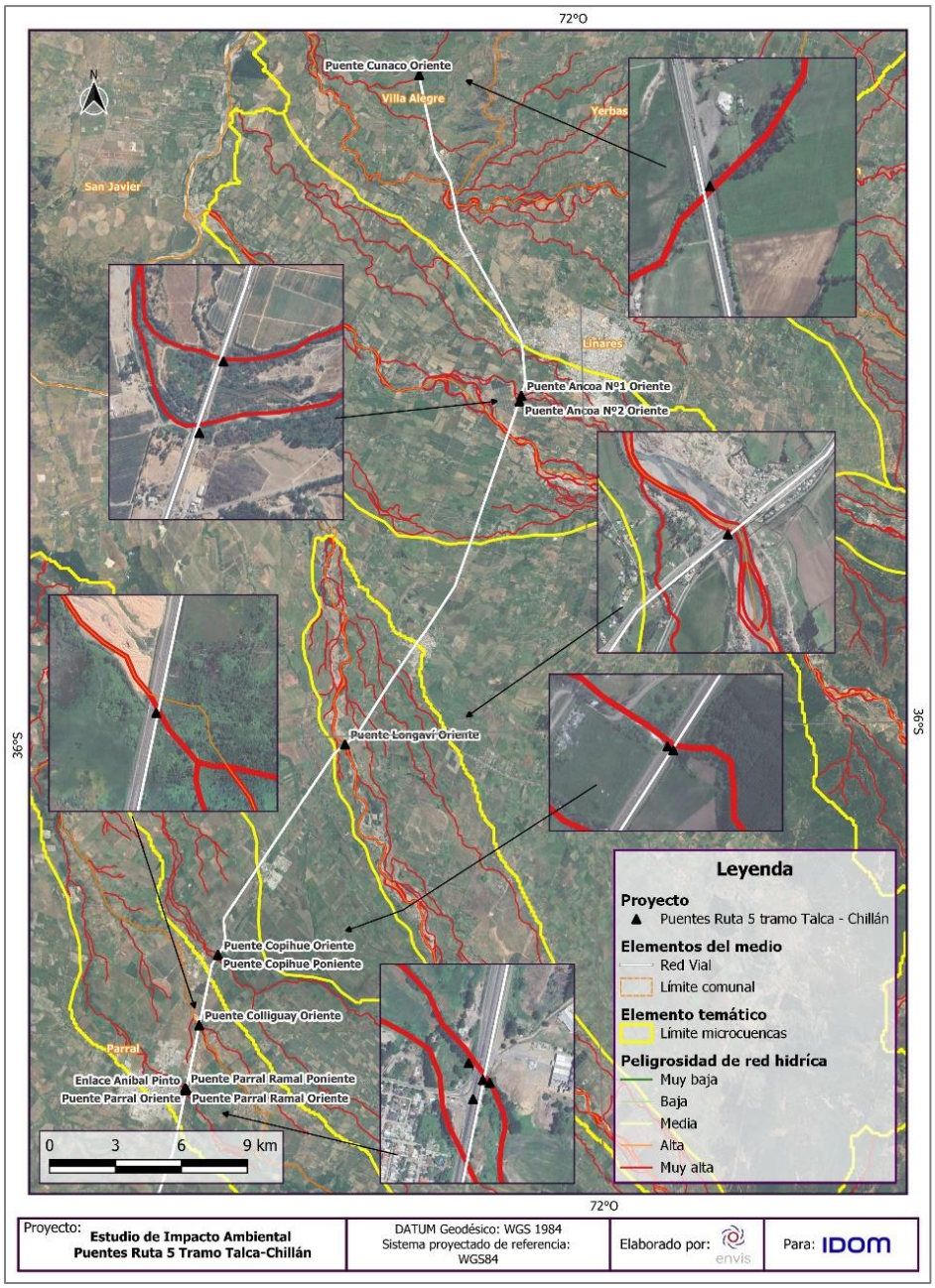
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la red hídrica

En el área del Proyecto se considera que todos los cauces tienen un nivel de peligrosidad muy alto debido a la importante y numerosa presencia de cauces muy amplios y caudalosos, donde los más relevantes son el río Claro, el río Achibueno, el río Ancoa, el río Longaví, el río Ñuble, y el río Chillán, Además cabe destacar que aún a nivel de microcuenca los cauces configuran una extensa red hídrica, por lo cual se puede inferir que hasta los esteros más reducidos poseen una diversa red de afluentes hacia las zonas de su naciente, lo cual les otorga un orden alto en la clasificación de Strahler.

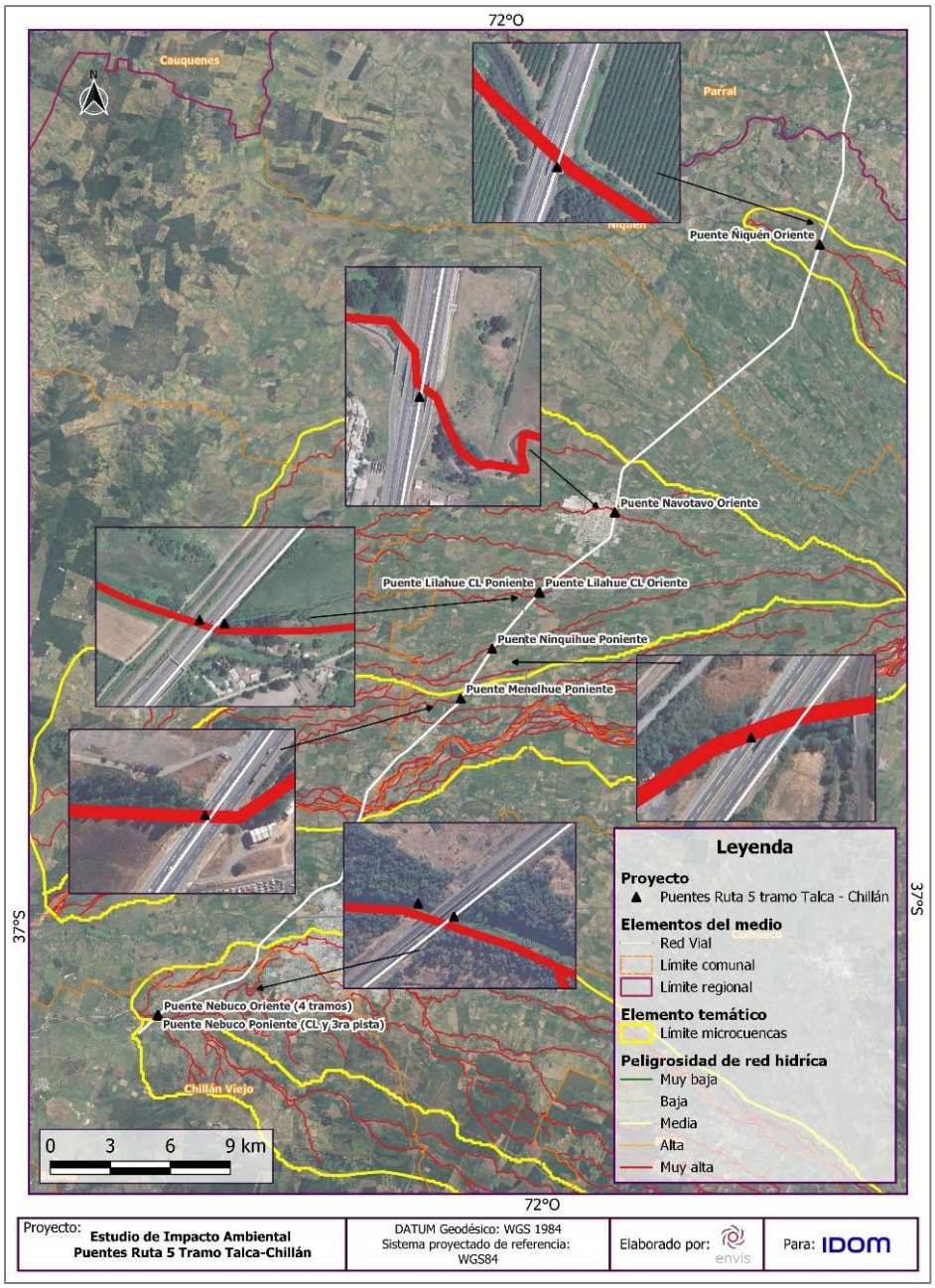
En las siguientes figuras se puede observar la representación de la peligrosidad de la red hídrica en la zona norte y sur del área de estudio respectivamente.

Figura 3- 87: Peligrosidad de la red hídrica por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 88: Peligrosidad de la red hídrica por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.

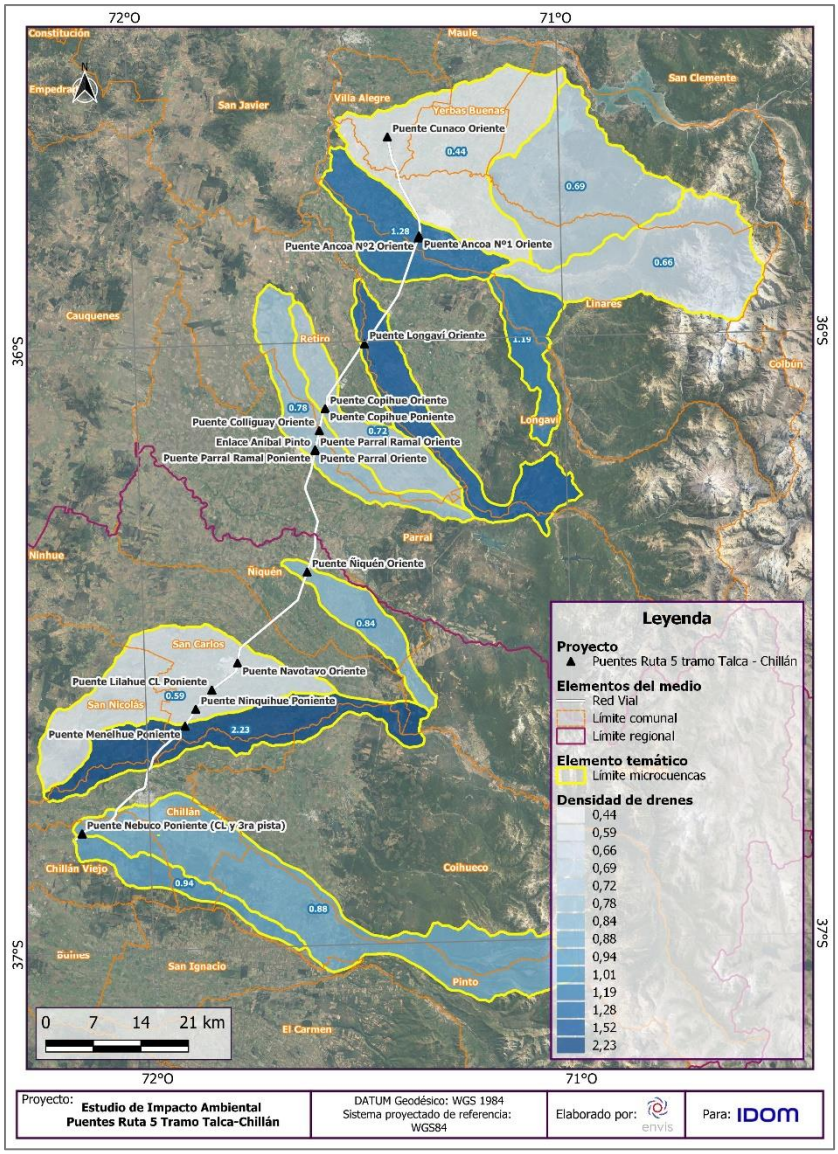


Fuente: ENVIS, 2024.

- Densidad de drenes

En términos generales casi la totalidad del área de influencia posee una red de drenaje eficiente (densidad > 0.5 km/km2). En la siguiente figura se observa el detalle de la densidad de drenaje para cada una de las microcuencas.

Figura 3- 89: Densidad de drenes en el AI.

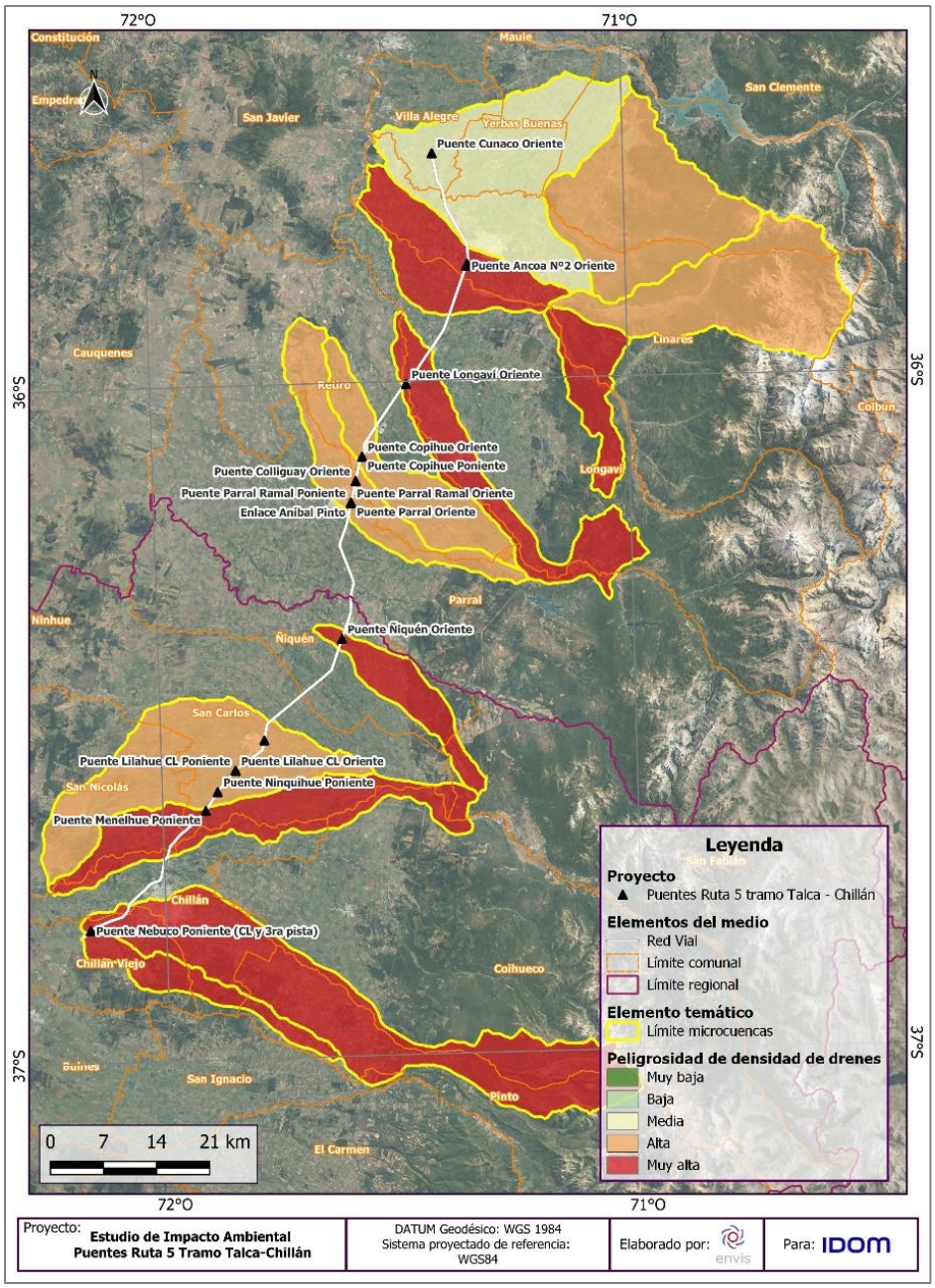


Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la densidad de drenes

El área del proyecto se encuentra en microcuencas con altas densidades de drenaje, por lo cual, y teniendo en cuanta la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, la peligrosidad asociada adquiere en su mayoría valores altos y muy altos. En la siguiente Figura se observa el detalle de la peligrosidad en el área de influencia.

Figura 3- 90: Peligrosidad de la densidad de drenes por flujo de barro/detrito en el AI.

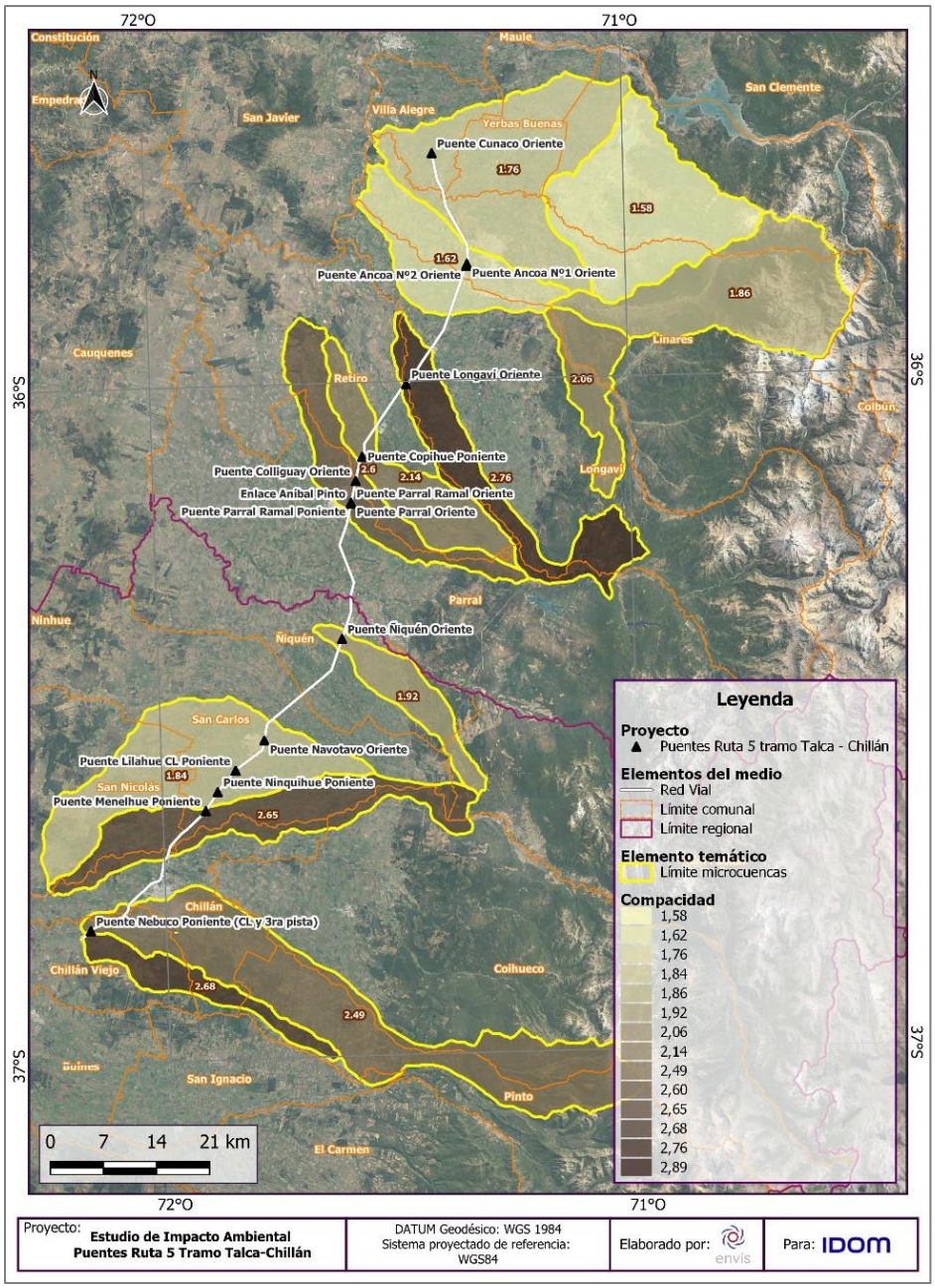


Fuente: ENVIS, 2024.

- Compacidad de Gravelius

En general, en el área de influencia hay un predominio de valores elevados de compacidad (> 1.80) asociado a la forma oblonga de las microcuencas. En la siguiente Figura se observa el detalle de la compacidad de Gravelius para cada una de ellas.

Figura 3- 91: Compacidad de Gravelius en el AI.

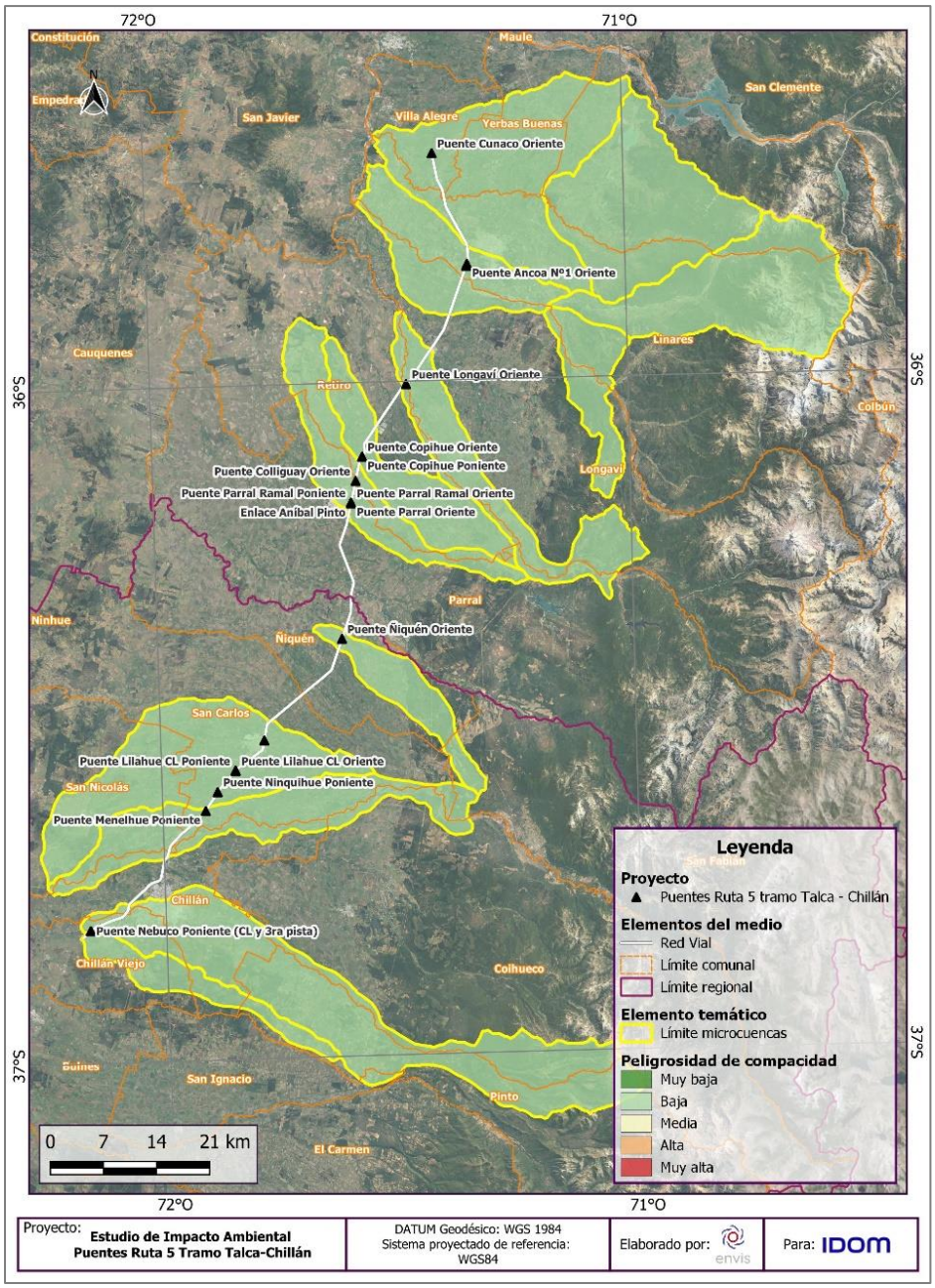


Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de la compacidad de Gravelius

El área del proyecto se encuentra en su totalidad dentro de cuencas oblongas, por lo cual, según la Tabla de la sección sistematización: ponderaciones, la peligrosidad de una remoción en masa asociada a la compacidad es baja. En la siguiente Figura se detalla la peligrosidad en el área de influencia.

Figura 3- 92: Peligrosidad de la compacidad de Gravelius por flujo de barro/detrito en el AI.



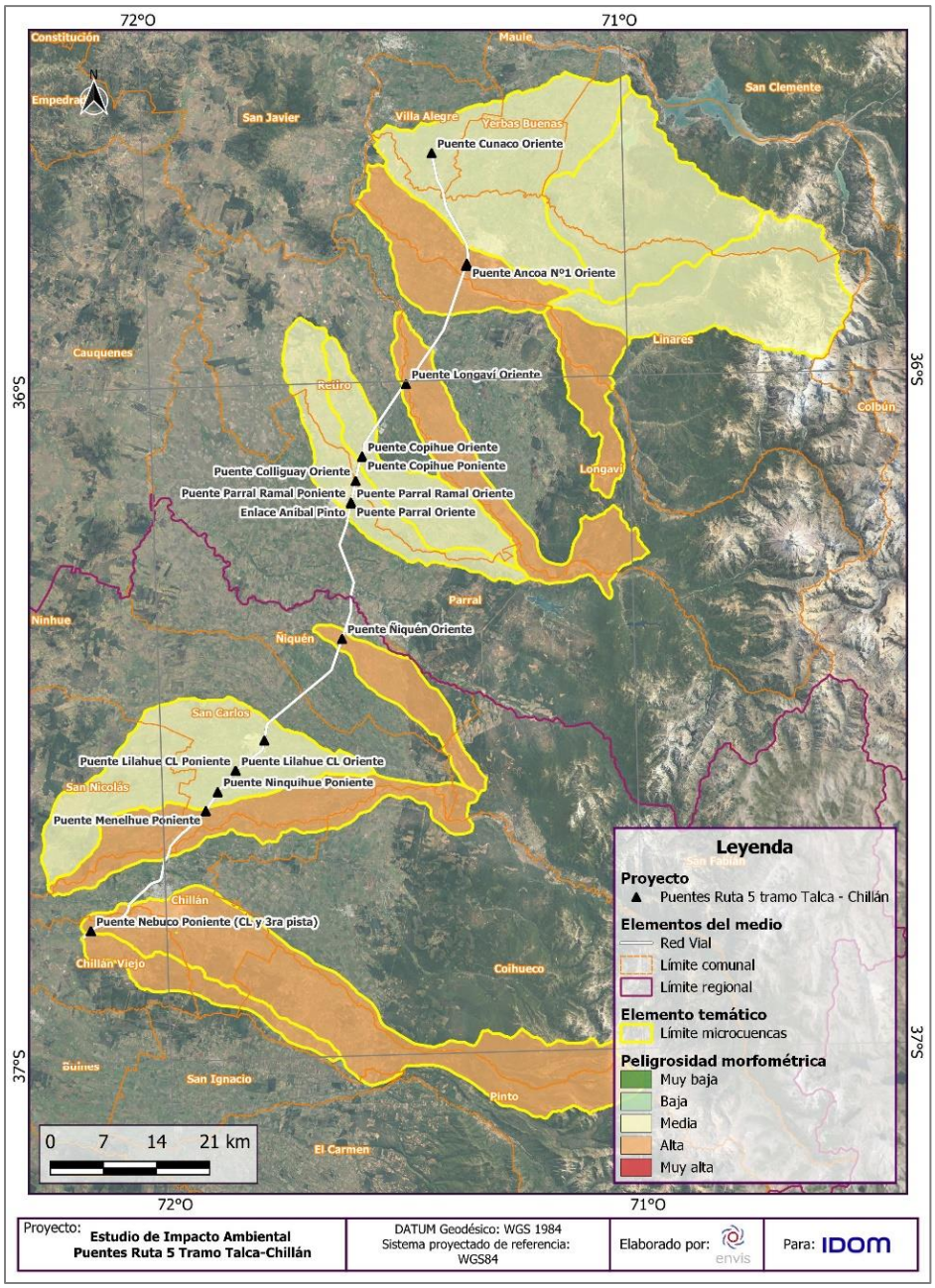
Fuente: ENVIS, 2024.

- Peligrosidad de los parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas

De acuerdo con el análisis realizado a partir de subfactores de los parámetros morfométricos de cuencas hidrográficas presentes en el área de influencia, y teniendo en cuanta la relación definida en la sección sistematización: ponderaciones, se determina que la morfometría otorga una peligrosidad general media a alta con zonas de peligrosidad muy alta asociada a los cursos de agua actuales.

En la siguiente Figura se puede observar el detalle de la peligrosidad de la morfometría integrada resultante.

Figura 3- 93: Peligrosidad de la morfometría asociada a flujo de barro/detrito en el AI.



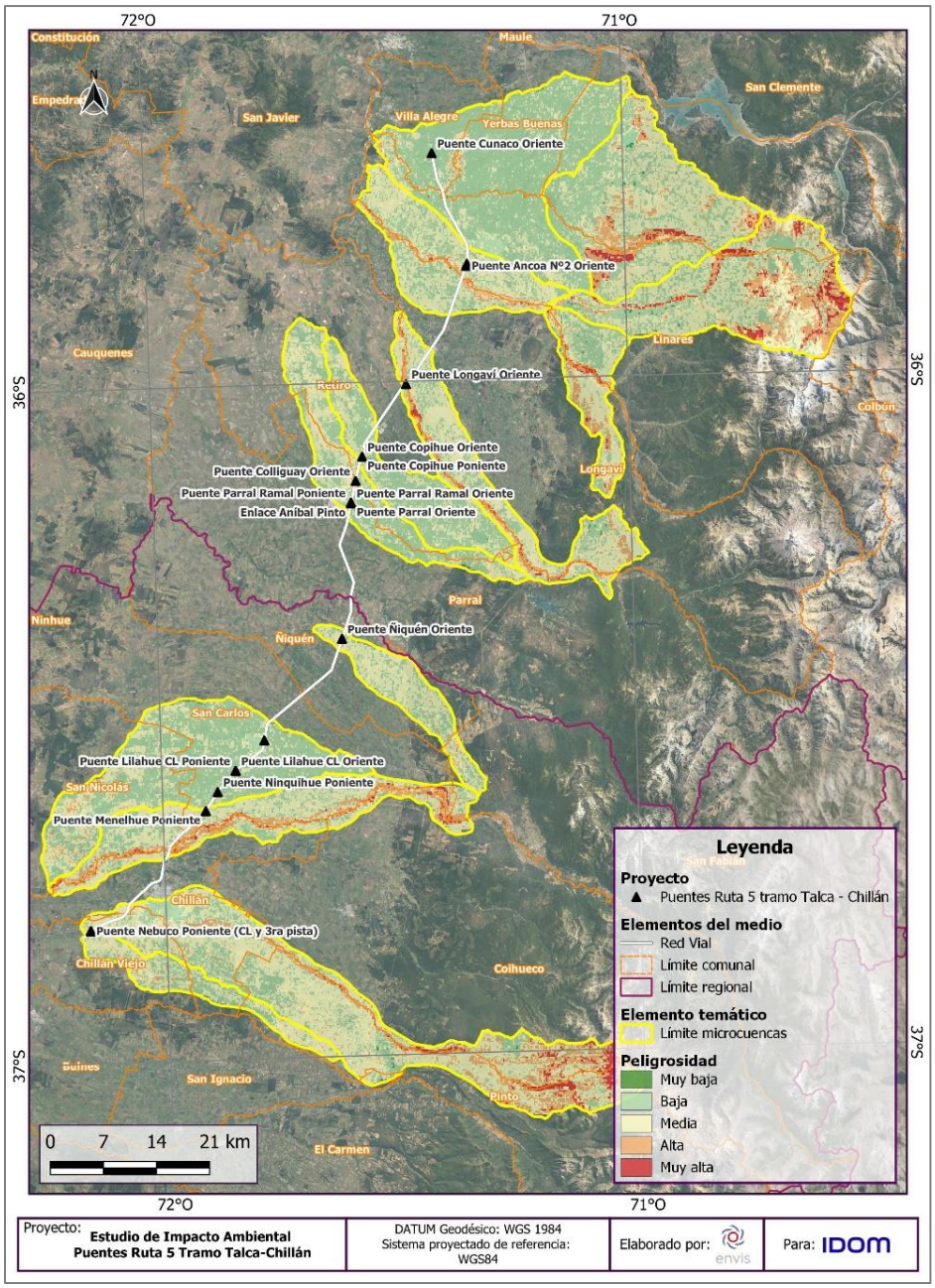
Fuente: ENVIS, 2024.

3.7.4 SÍNTESIS DEL PELIGRO EN EL AI

En general, el Proyecto se encuentra en zonas de peligrosidad baja a media y con una acotada peligrosidad alta a muy alta en las zonas de flujo de ríos y esteros.

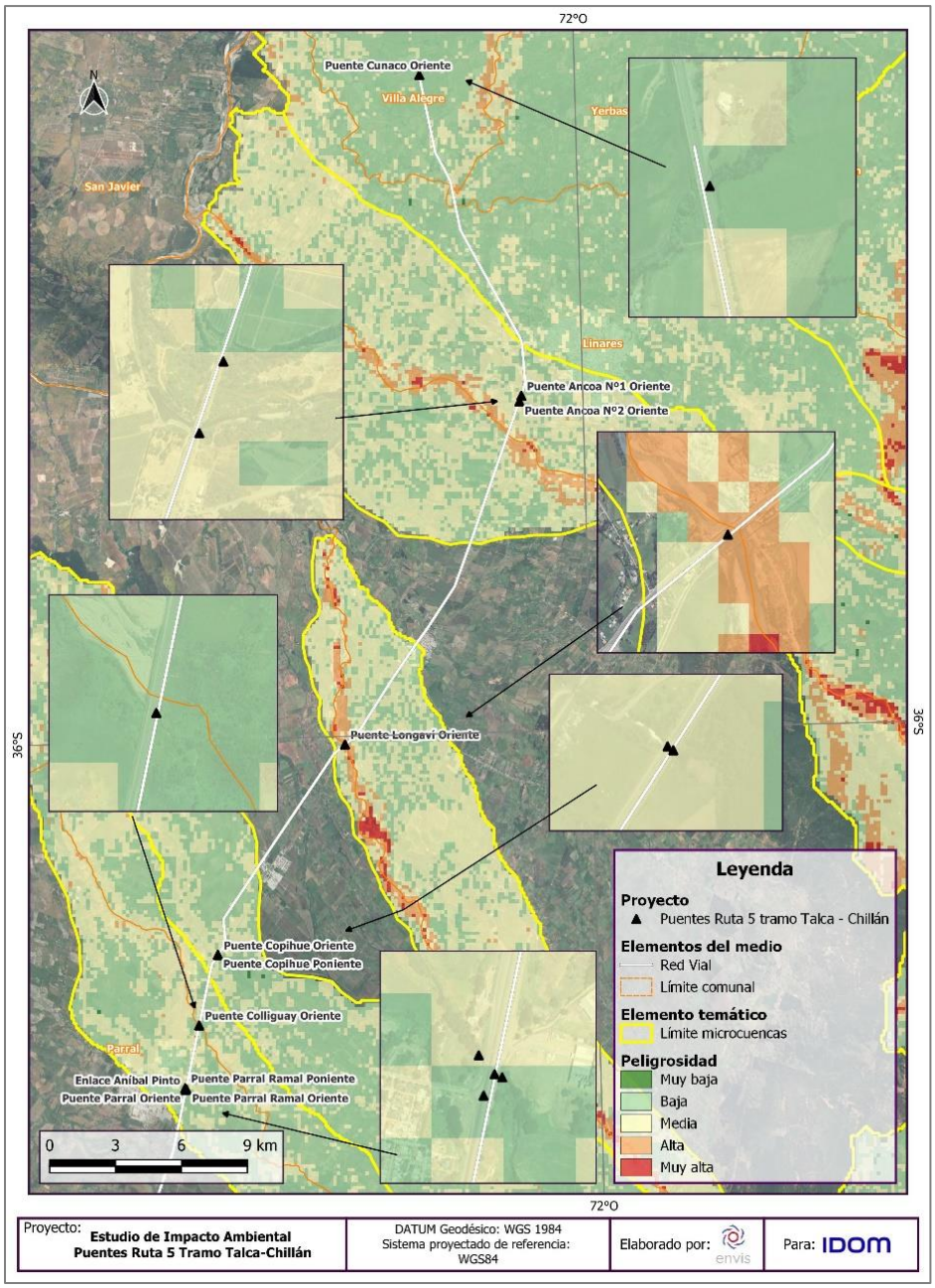
A continuación, se puede observar de manera amplia la peligrosidad integral asociada a los flujos de barro y detritos en el área de influencia, mientras que en las siguientes figuras se puede observar el detalle de la peligrosidad en las áreas más relevantes para el área de influencia del Proyecto.

Figura 3- 94: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el AI.



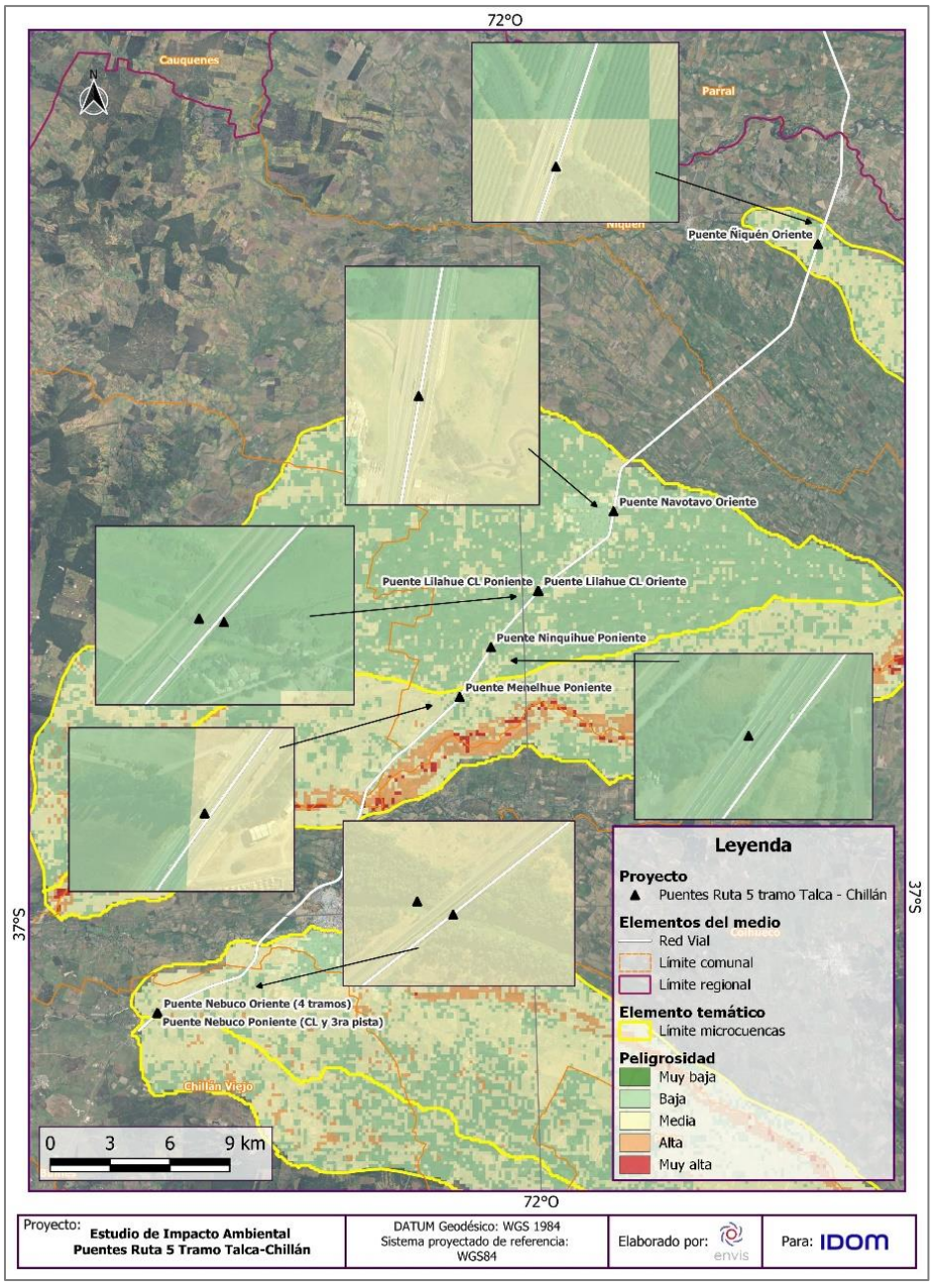
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 95: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el sector norte del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 96: Peligrosidad por flujo de barro/detrito en el sector sur del AI.



Fuente: ENVIS, 2024.

3.7.5 CONCLUSIONES

El presente informe desarrolló la caracterización del componente Riesgos Naturales en el área de influencia del Proyecto, con la finalidad de revisar y analizar la relación de este con el medio físico en el que se encontrará inserto.

El Proyecto “Construcción de nuevos puentes en los subsectores C y D del Sector 1-Ruta 5 Sur”, se encuentra emplazado entre el Dm 287,906 de la Ruta 5 Sur al norte de Linares en la Región del Maule, y la localidad de Nebuco al suroeste de Chillán en la Región del Ñuble.

Según la ubicación geográfica del Proyecto, en primer lugar, se puede concluir que este no se encuentra en zonas con un importante peligro volcánico ni riesgo de tsunami, por lo que el mayor peligro al que puede estar expuesto es a incendios forestales, inundaciones, sismos y eventos de remoción en masa, peligro que puede ser detonado por lluvias invernales o sismos cercanos al área.

Respecto a incendios forestales, el Proyecto se encuentra emplazado en la zona central de Chile, donde se evidencia una fuerte presencia de densidad vegetacional, lo que está directamente relacionado con el grado de peligrosidad. Aun así, las características de las obras y acciones del Proyecto no serían generadores de incendios.

Respecto a Inundaciones, las características propias de ingeniería del proyecto requieren la interacción directa con cauces naturales y por lo tanto estarían expuestos en su totalidad a posibles eventos de inundaciones. En tanto, el riesgo estaría asociado al daño que estos eventos provocarían en la infraestructura y comunidades aledañas. En consecuencia, se requiere contemplar en el diseño de las obras de ingeniería todas las medidas de seguridad y mitigación de impactos que sean aplicables según normativa vigente.

Para estimar la peligrosidad por flujos de barro/detrito en el área de influencia del Proyecto se ha empleado la secuencia de análisis *peligro – factor de peligro – subfactor de peligro – peligrosidad – ponderación de peligrosidad*. Esta permite transitar desde las consideraciones teóricas más generales de cada peligro (basadas en categorías de fenómenos) hasta consideraciones teóricas y empíricas específicas y mesurables en sentido *cualitativo ordinal* y espacial, es decir, valorando las variables territoriales en términos de nula (0), muy baja (1), baja (2), media (3), alta (4) y muy alta (5) propensión al peligro, es decir, probabilidad de ocurrencia de eventos capaces de causar daño.

Para el peligro asociado a las remociones en masa se definieron cuatro factores generales correspondientes al sustrato, formas, cubierta y morfometría, de los cuales se realizó la creación de modelos cartográficos que permitiesen representar su distribución y, posteriormente medir en forma geométrica el grado de exposición del Proyecto respecto del peligro. Los factores en cuestión abordan, en forma respectiva, el material presente en el espacio, su estructura topológica, los elementos fijos sobre el material, y finalmente los elementos movilizadores del material.

En cuanto a los subfactores y variables de cada factor estudiado, el factor sustrato considera las unidades geológicas según la estabilidad de los materiales que las componen y los niveles de erosión presente en ellas. El factor formas considera las unidades geomorfológicas según su naturaleza, posición y composición, además de sus respectivas pendientes según la inclinación de las geoformas. El factor cubiertas considera la densidad vegetacional y el uso de suelo según clases de uso humano-no humano de CIREN (2016). Finalmente, el factor morfometría considera los flujos hídricos respecto de sus magnitudes Strahler, junto a su densidad y compacidad asociada.

La clasificación anterior permitió caracterizar la distribución espacial de los valores de peligrosidad de acuerdo con la espacialidad de las variables de los subfactores. La integración de dichos valores se realizó en primera instancia a nivel de subfactores para obtener la peligrosidad a nivel de factores, y posteriormente a nivel de factores para obtener la peligrosidad general o síntesis de peligro. Las integraciones se realizaron mediante el proceso de álgebra de mapas, realizando sumas ponderadas de los subfactores y factores, respectivamente, con los criterios señalados en la sección de Sistematización del presente informe.

Por medio del proceso mencionado se obtuvo como resultado final el peligro para eventos de remoción en masa en el área de influencia del Proyecto. Del análisis presentado en este informe, se pueden concluir las siguientes afirmaciones:

I. El Proyecto se emplaza en un sector predominantemente de pendientes suaves donde confluyen flujos provenientes de la porción cordillerana en la parte este del área de influencia.
II. El área de influencia se encuentra en una zona de clima mediterráneo invernal, por lo cual el peligro de remociones en masa con un detonante asociado a lluvias adquiere relevancia en los meses más fríos (mayo, junio, julio, agosto), especialmente en el mes de junio.

III. Los componentes del Proyecto se ubican en zonas de baja, media y alta peligrosidad dependiendo principalmente de la magnitud del cauce con el que interactúan, debido a que ello influye directamente en el tipo de sustrato (más reciente y poco consolidado) y su forma (quebradas y escarpes). Por lo anterior, los mayores cauces se vuelven muy propicios para acrecentar y transportar el material generado ante una remoción, pudiendo constituir el mayor peligro presente en el área de influencia.

IV. Por todo lo anterior, los puentes, y sus elementos asociados, más expuestos a un peligro de remoción en masa son: Ancoa N°1 Oriente y Ancoa N°2 Oriente por su interacción con el río Ancoa, Longaví Oriente por su directa relación con el río Longaví, Menelhue Poniente por su cercanía al río Ñuble, Nebuco Oriente por su directa relación con el río Chillán y Nebuco Poniente calle local por su cercanía a este último.

Finalmente, se señala que para aquellos peligros evaluados frente a escenario de cambio climático se concluye lo siguiente:

I. Existe un alto riesgo de sequía en las regiones del Maule y de Ñuble, dada la proyección de bajas precipitaciones al año 2065.

II. Se proyecta un bajo impacto por frecuencias de olas de calor y moderado a alto riesgo de incendios en las regiones del Maule y de Ñuble, considerando la abundante cubierta vegetal de la zona. Se destaca que la comuna de Chillán Viejo presenta una categoría “muy alto” para riesgo de incendios frente a escenarios de cambio climático.

III. Si bien se proyecta una tendencia a la baja en las precipitaciones de manera general, no se descarta la ocurrencia de eventos de lluvias extremas frente a escenarios de cambio climático. Según lo analizado en la plataforma ARClim se observa que, la Región del Maule presenta un fuerte aumento de riesgo para desborde de ríos, mientras que la Región de Ñuble presenta una susceptibilidad menor a este tipo de eventos.

La siguiente tabla, describe la sensibilidad ambiental asociada a los puentes para la componente Riesgos Naturales:

Tabla 3- 107: Sensibilidad ambiental en cada puente para la componente Riesgos Naturales.

Nombre Puente	Descripción de la sensibilidad
Cunaco Oriente	De acuerdo con los análisis realizados en la línea de base, se señala que el proyecto es susceptible a ser afectado por eventos de remoción en masa. A continuación, se señalan las intervenciones que podrían favorecer en la ocurrencia de estos eventos: • Descompactación y erosión de terreno en las intervenciones realizadas durante la etapa de construcción: Erosión y arrastre de sedimento en las laterales de los cimientos de pilares (socavación), estribos de puentes y terrenos circundantes. Posibilidad de empeorar eventos de remoción en masa debido al arrastre de sedimentos, especialmente durante el reemplazo (demolición) y construcción de los nuevos puentes. • Obstrucción del arco del puente: incremento en la probabilidad de desbordamiento del cuerpo de agua durante la operación, afectando especialmente a áreas de menor elevación y zonas susceptibles a inundaciones. La intervención en sectores de cauces puede disminuir la densidad vegetacional, afectando la estabilidad de taludes o laderas.
Ancoa N°1 Oriente	
Ancoa N°2 Oriente	
Longaví Oriente	
Copihue Oriente	
Copihue Poniente	
Colliguay Oriente	
Parral Oriente	
Parral Ramal Oriente	
Parral Ramal Poniente	
Ñiquén Oriente	
Navotavo Oriente	
Lilahue Oriente Calle Local	
Lilahue Poniente Calle Local	
Ninquihue Poniente	
Menelhue Poniente	
Nebuco Oriente	
Nebuco Poniente (tercera pista y calle local)	

Fuente: ENVIS, 2023.

3.7.6 BIBLIOGRAFÍA

Ayala-Carcedo, F. J., & Olcina, J. (2002). Introducción al análisis y gestión de riesgos. Riesgos naturales. Barcelona: Ariel Ciencia, 133-146.

Börgel, R. 1983. *Geomorfología*. Santiago, Chile: Instituto Geográfico Militar. 82 páginas: ilustraciones (algunas en color), diagramas, mapas; 27 cm. + 1 mapa plegable en color en bolsillo.

DGA (2010). *Levantamiento de información hidrogeológica para modelación cuenca del Río Maule.*

DGA (2011). *Estudio hidrogeológico cuencas Biobío e Itata.* https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/5428

Ferrando, F. J. (2003). En torno a los desastres naturales: Tipología, conceptos y reflexiones. *revista INVI*, *18*(47), 15-31.

Gajardo, A. (1981). *Hoja de Concepción-Chillan, Región del Bío-Bío*. Instituto de Investigaciones Geológicas, Mapas Geológicos Preliminares 4: 32 p., escala 1:250.000.

Henríquez, C. (2009). El proceso de urbanización en la cuenca del río Chillán y su capacidad adaptativa ante precipitaciones extremas. Estudios Geográficos. LXX. 155-179. 10.3989/estgeogr.0447.

Keefer, D.K., (1984*). Landslides caused by earthquakes*. Geological Society of America

Bulletin, vol. 95, p. 406-421.

Lara, M. (2007). *Metodología para la evaluación y zonificación de peligro de remociones en masa con aplicación en Quebrada San Ramón, Santiago oriente, Región Metropolitana*. Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología.

ONU, E. (2004). Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. Vivir con el Riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Parte, 5, 383-369.

ONU-EIRD (Estrategia Internacional de Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, CH).2009. Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres 2009: riesgo y pobreza en un clima cambiante. Ginebra, CH.

Rodríguez, C. E., Bommer, J. J., & Chandler, R. J. (1999). Earthquake-induced landslides: 1980–1997. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18(5), 325-346.

Rojas, O. (2015). Cambios Ambientales y Dinámica de Inundaciones Fluviales en una Cuenca Costera del Centro Sur de Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales con mención en Sistemas Acuáticos Continentales. Universidad de Concepción.

Tripailaf, R. (2022). Gestión Del Riesgo De Inundaciones En El Área Urbana Del Río Chillán. Universidad de Concepción.

3.8 LÍNEA BASE SUELO

3.8.1 OBJETIVOS

3.8.1.1 Objetivo general

El objetivo general de la presente línea de base es determinar las características y el estado actual del recurso natural suelo en el área de Influencia del Proyecto, en conformidad a las directrices contenidas en el Decreto Supremo N°40/2012 y N°30/2023 que Aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

3.8.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos se aplican al área de influencia consolidada de suelo del Proyecto. A continuación, se mencionan:

- Caracterizar el estado actual del recurso natural suelo desde el punto de vista físico, morfológico y químico.
- Definir Unidades Homogéneas de Suelo (UHS).
- Evaluar y determinar la Clase de Capacidad de Uso de los suelos (CCUS).
- Caracterizar la erosión actual y el riesgo de erosión del suelo.
- Identificar los atributos sensibles o singularidades del recurso suelo o en su defecto, su ausencia.
- Caracterizar la capacidad del suelo para sustentar biodiversidad.
- Identificar sensibilidad del recurso suelo al cambio climático.

3.8.2 METODOLOGÍA

3.8.2.1 Marco de referencia técnico

La elaboración de la línea de base del componente Suelo se basó en los conceptos establecidos en las siguientes guías y lineamientos:

- Guía para la determinación del área de influencia en el SEIA. SEA, 2017.
- Guía de evaluación ambiental: recurso natural suelo. SAG, 2019.
- Pauta para estudios de suelos. SAG, 2011 rectificada 2016.
- Guía metodológica para determinar Riesgos de Activación de Procesos Erosivos. SAG, 2016.
- Guía para la descripción de los componentes Suelo, Flora y Fauna de Ecosistemas Terrestres en el SEIA, SEA 2015.
- Guía de campo para el muestreo y descripción de suelos. Schoeneberger *et al*., 2012.
- Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA, SEA 2023.
- Guía área de influencia de humedales en el SEIA, SEA 2023.

3.8.2.2 Levantamiento de información

3.8.2.2.1 Revisión bibliográfica

Para elaborar la línea de base del componente Suelo, en primera instancia, se revisaron todos los antecedentes proporcionados por el mandante para el desarrollo del estudio, tales como, descripción de las partes, obras y/o acciones del Proyecto. También se revisaron en el SEIA, DIAs y EIAs de los proyectos cercanos al área de influencia que tuvieran directa relación con las obras del proyecto.

Además, se realizó una búsqueda y recopilación de información disponible para el área de influencia del Proyecto, contenida en otros estudios realizados a nivel general, tales como:

- Suelos de Chile (Luzio *et al.,* 2010).
- Geografía de Chile, Geomorfología Tomo III. Instituto Geográfico Militar (BÖRGEL, 1983).
- Soil Survey Manual, Handbook N°18. Soil Survey Staff (USDA, 1999).
- Estudio Agrológico VII Región (CIREN, 1997) y VIII (CIREN, 2014).
- Estudio de determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, Región del Maule y Región de Ñuble (CIREN, 2010).

3.8.2.2.2 Campaña de terreno

El esfuerzo de muestreo se basó en la FICHA SU-04: SUELO de la Guía Descripción de Ecosistemas Terrestres en el SEIA (SEA, 2015), la cual propone la siguiente relación entre el tipo de estudio, la escala de la cartografía y el número de observaciones requeridas según hectárea de suelo, ver tabla siguiente.

Tabla 3- 108: Nivel de detalle según número de observaciones y escala cartográfica.

Nivel de detalle	Objetivo	Número de observaciones	Escala cartográfica
Muy alto (muy intensivo)	Para levantamiento normal según recomendación de escalas en Etapa IV establecida en la Guía. Descripción del suelo del AI	4 o más por Ha	1: 2.500
Alto (intensivo)		1 por cada 0,8 a 4 Ha	1: 10.000
Moderadamente alto (detallado)		1 cada 5 a 25 Ha	1: 25.000
Moderado (semidetallado)		1 cada 20 a 100 Ha	1: 50.000

Fuente: Guía Descripción de Ecosistemas Terrestres en el SEIA (SEA, 2015).

En base a lo anterior, el esfuerzo de terreno consideró una superficie total de 33,58 Ha, que corresponde al área de influencia (AI) consolidada de suelo, la cual incluyó la superficie de obras temporales y permanentes del Proyecto (5,09 Ha) más un buffer de 35 m desde el borde externo de obras permanentes y temporales (28,49 Ha). De este modo, el nivel de esfuerzo correspondió a uno Moderadamente alto (detallado), es decir, se caracterizó- toda vez que hubo hallazgo de suelo- una calicata por cada 4,80 Ha, a una escala cartográfica de 1:25.000.

3.8.2.2.3 Determinación de la distribución espacial de los puntos de muestreo y observación en el área de influencia

Para conseguir una distribución espacial representativa de los puntos de muestreo (calicatas y cortes de terreno y puntos de observación de suelo superficial), se sectorizó el área de influencia en base a características homogéneas de geoforma, uso actual del suelo y cobertura vegetacional. Estos sectores son identificados como Unidades Homogéneas de Suelo (UHS), siguiendo las directrices entregadas en la Guía de Evaluación Ambiental: Recurso Natural Suelo D-RRN-EIA-005 (SAG, 2019) y teniendo en consideración las series de suelos presentes en el área de influencia según la información contenida en el Estudio Agrológico VII (CIREN 1997) y VIII (CIREN, 1999), a una escala 1:50.000.

El conjunto de UHS resultante conforma el Mapa de Unidades Homogéneas de Suelo. A partir de la visualización que permite el mapa de UHS, se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo (C0) (calicatas) en proporción a la superficie relativa de cada UHS, efectuando en total siete (7) puntos de muestreo (C0).

En aquellos sitios cuyo suelo estaba intervenido, o fuese de uso industrial/urbano, o correspondiera a una caja de río y/o curso de agua (estero/río), o un suelo misceláneo con vegetación de bosque o matorral, se procedió a una evaluación a través de puntos de observación de suelo (PO0) (evaluación superficial del suelo y entorno). La cantidad final de puntos de observación de suelo (PO0) válidos es de 111. Inicialmente, se levantaron 121 (PO0), sin embargo, se excluyeron 10 (PO0) por estar fuera del área de influencia del suelo (AI), resultando en los 111 PO0 válidos mencionados. A pesar de esta exclusión, se mantuvo la nomenclatura original, comenzando la numeración en PO011 en lugar de PO001, para evitar confusiones y asegurar la consistencia con los registros previos

La geoforma y uso actual del suelo se determinó por medio de fotointerpretación de imágenes satelitales de Google Earth a una escala 1:10.000 a 1:25.000 e inspección en terreno. La vegetación actual (tipo y cobertura) se determinó por medio de fotointerpretación de imágenes satelitales de Google Earth a una escala 1:10.000 a 1:25.000 e información de los estudios de la zona.

Las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo (C0) (calicatas) y las coordenadas de los puntos de observación de suelo (PO0) se presentan en las tablas siguientes.

Tabla 3- 109: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo (calicatas) (C0) dentro del Área de Influencia del Proyecto.

N° Calicata (C0)	UTM WGS 84 HUSO 19 S	
	Este	Sur
C01	257.739	6.042.730
C02	262.360	6.027.808
C03	248.576	6.002.646
C04	245.999	5.978.589
C05	232.014	5.961.256
N° Calicata (C0)	UTM WGS 84 HUSO 18 S	
	Este	Sur
C06	765.503	5.956.213
C07	749.370	5.941.338

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 110: Coordenadas geográficas de los puntos de observación de suelo (PO0) en el Área de Influencia del Proyecto.

N° PO	UTM WGS 84 HUSO 19 S		N° PO	UTM WGS 84 HUSO 19 S	
	Este	Sur		Este	Sur
PO11	257.798	6.042.785	PO51	247.804	5.999.480
PO12	257.816	6.042.749	PO52	247.779	5.999.469
PO13	257.796	6.042.738	PO53	247.764	5.999.471
PO14	257.775	6.042.731	PO54	247.757	5.999.479
PO15	257.774	6.042.712	PO55	247.752	5.999.455
PO16	257.743	6.042.686	PO56	247.247	5.996.706
PO17	257.810	6.042.677	PO57	247.162	5.996.710
PO18	257.785	6.042.630	PO58	247.186	5.996.661
PO19	262.430	6.028.222	PO59	247.199	5.996.642
PO20	262.467	6.028.182	PO60	247.227	5.996.633
PO21	262.425	6.028.187	PO61	247.224	5.996.582
PO22	262.405	6.028.162	PO62	247.206	5.996.568
PO23	262.415	6.028.109	PO63	247.193	5.996.566
PO24	262.485	6.028.133	PO64	247.182	5.996.566
PO25	262.409	6.028.006	PO65	247.165	5.996.579
PO26	262.428	6.027.968	PO66	247.157	5.996.582

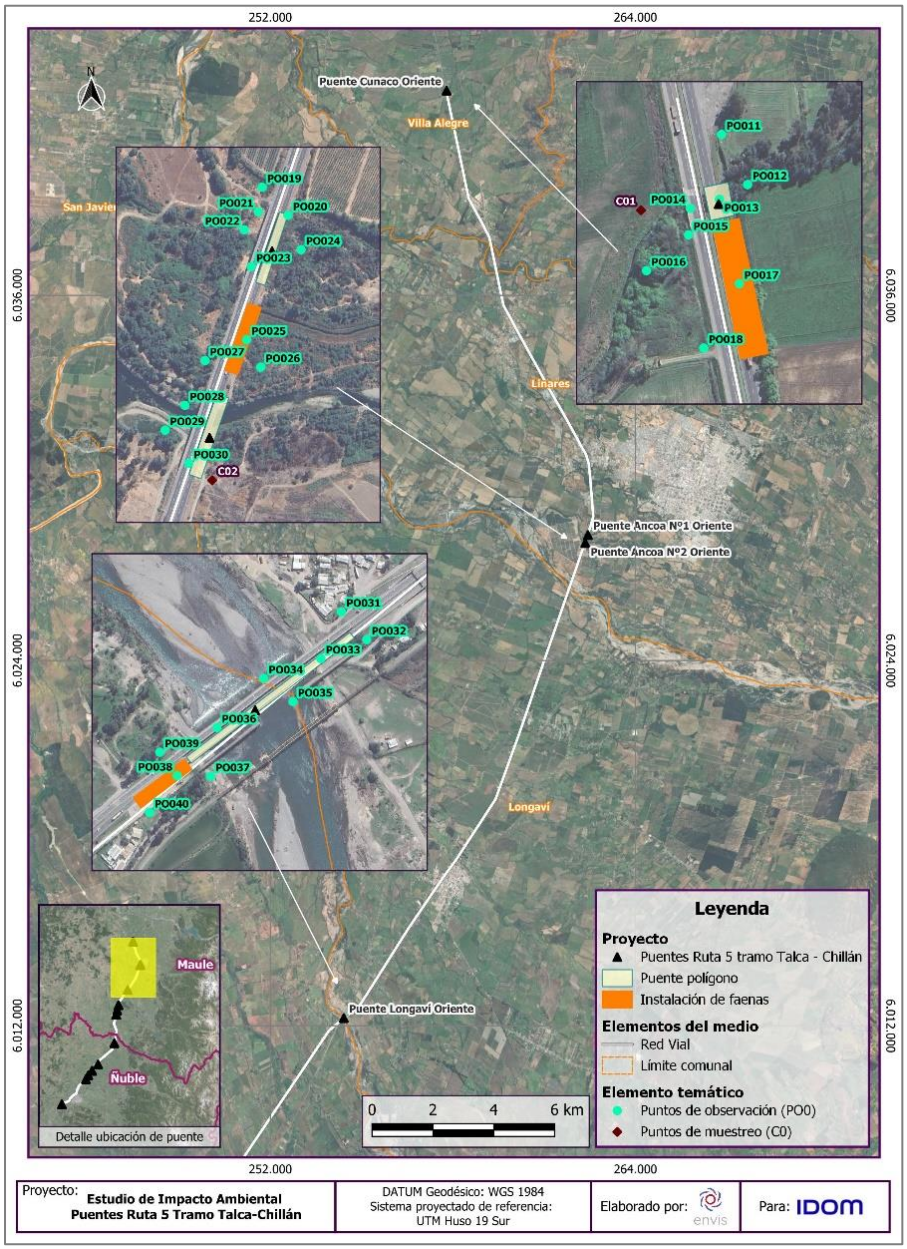
PO27	262.350	6.027.977	**PO67**	247.150	5.996.628
PO28	262.321	6.027.914	**PO68**	247.120	5.996.573
PO29	262.293	6.027.879	**PO69**	247.139	5.996.553
PO30	262.327	6.027.832	**PO70**	246.037	5.978.764
PO31	254.550	6.012.409	**PO71**	246.013	5.978.708
PO32	254.589	6.012.365	**PO72**	245.973	5.978.658
PO33	254.518	6.012.336	**PO73**	245.984	5.978.635
PO34	254.429	6.012.305	**PO74**	245.998	5.978.636
PO35	254.475	6.012.269	**PO75**	246.016	5.978.636
PO36	254.356	6.012.228	**PO76**	235.788	5.965.348
PO37	254.346	6.012.152	**PO77**	235.755	5.965.302
PO38	254.294	6.012.153	**PO78**	235.775	5.965.246
PO39	254.267	6.012.190	**PO79**	235.744	5.965.246
PO40	254.251	6.012.096	**PO80**	235.737	5.965.201
PO41	248.686	6.002.689	**PO81**	235.731	5.965.225
PO42	248.661	6.002.661	**PO82**	235.716	5.965.237
PO43	248.629	6.002.678	**PO83**	231.967	5.961.298
PO44	248.616	6.002.685	**PO84**	231.989	5.961.245
PO45	248.634	6.002.699	**PO85**	231.951	5.961.244
PO46	248.620	6.002.626	**PO86**	231.967	5.961.214
PO47	248.570	6.002.594	**PO87**	231.957	5.961.217
PO48	247.836	5.999.599	**PO88**	231.950	5.961.217
PO49	247.753	5.999.527	**PO89**	231.934	5.961.217
PO50	247.789	5.999.501	**PO90**	231.926	5.961.230
N° PO	**UTM WGS 84 HUSO 18 S**		**N° PO S**	**UTM WGS 84 HUSO 18 S**	
	Este	**Sur**		**Este**	**Sur**
PO91	767.155	5.958.637	**PO107**	765.414	5.956.122
PO92	767.168	5.958.603	**PO108**	765.403	5.956.109
PO93	767.206	5.958.587	**PO109**	765.417	5.956.103
PO94	767.124	5.958.535	**PO110**	765.394	5.956.097
PO95	767.103	5.958.539	**PO111**	749.380	5.941.322
PO96	767.088	5.958.512	**PO112**	749.362	5.941.267
PO97	767.099	5.958.500	**PO113**	749.383	5.941.233
PO98	767.108	5.958.515	**PO114**	749.321	5.941.248
PO99	767.134	5.958.505	**PO115**	749.255	5.941.266

PO100	765.446	5.956.223	**PO116**	749.254	5.941.239
PO101	765.488	5.956.190	**PO117**	749.301	5.941.231
PO102	765.453	5.956.160	**PO118**	749.334	5.941.216
PO103	765.408	5.956.170	**PO119**	749.274	5.941.175
PO104	765.359	5.956.132	**PO120**	749.200	5.941.174
PO105	765.357	5.956.122	**PO121**	749.215	5.941.123
PO106	765.381	5.956.119			

Fuente: ENVIS, 2023.

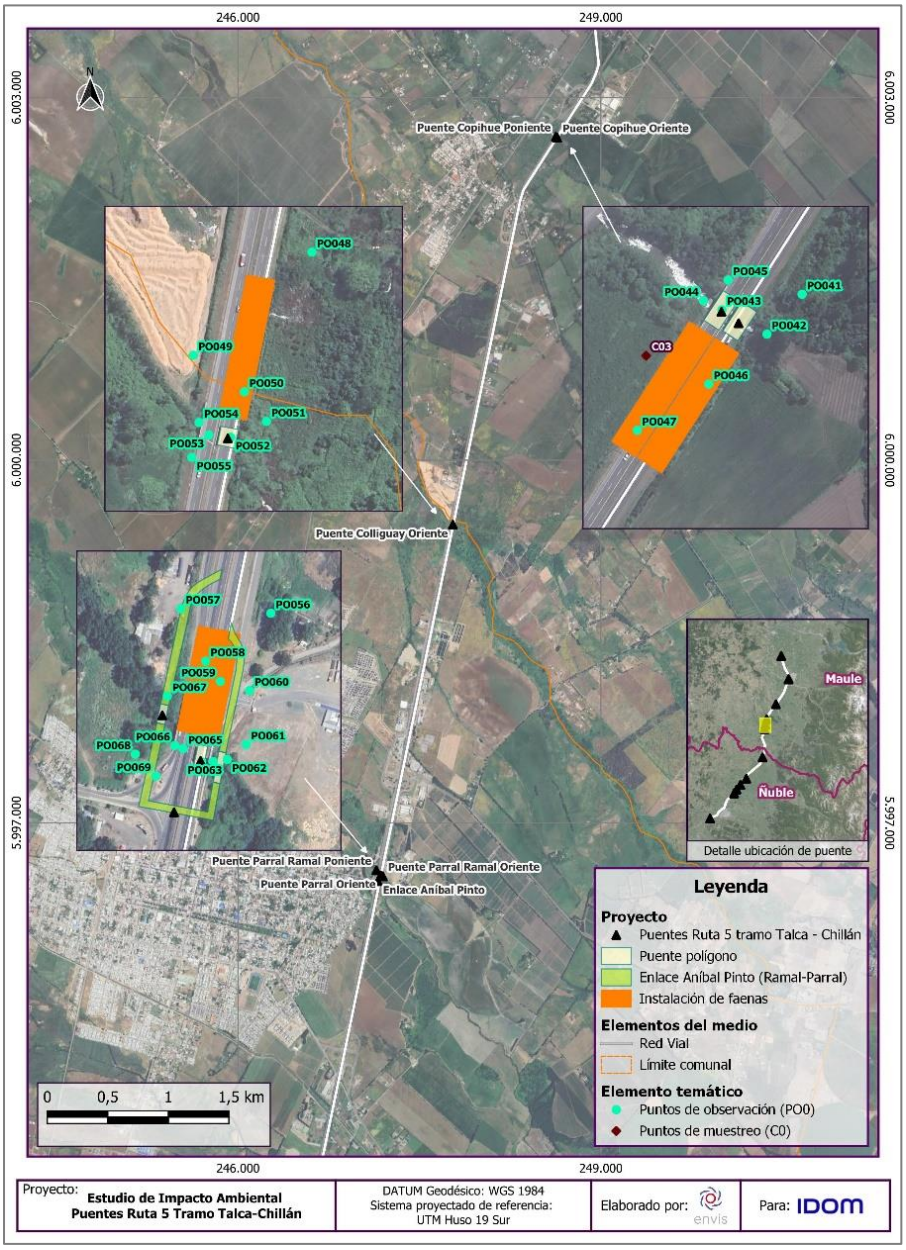
A continuación, se presenta en las siguientes figuras, donde identifican los puntos de muestreo (C0) y los puntos de observación de suelo (PO0) levantados en terreno.

Figura 3- 97: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



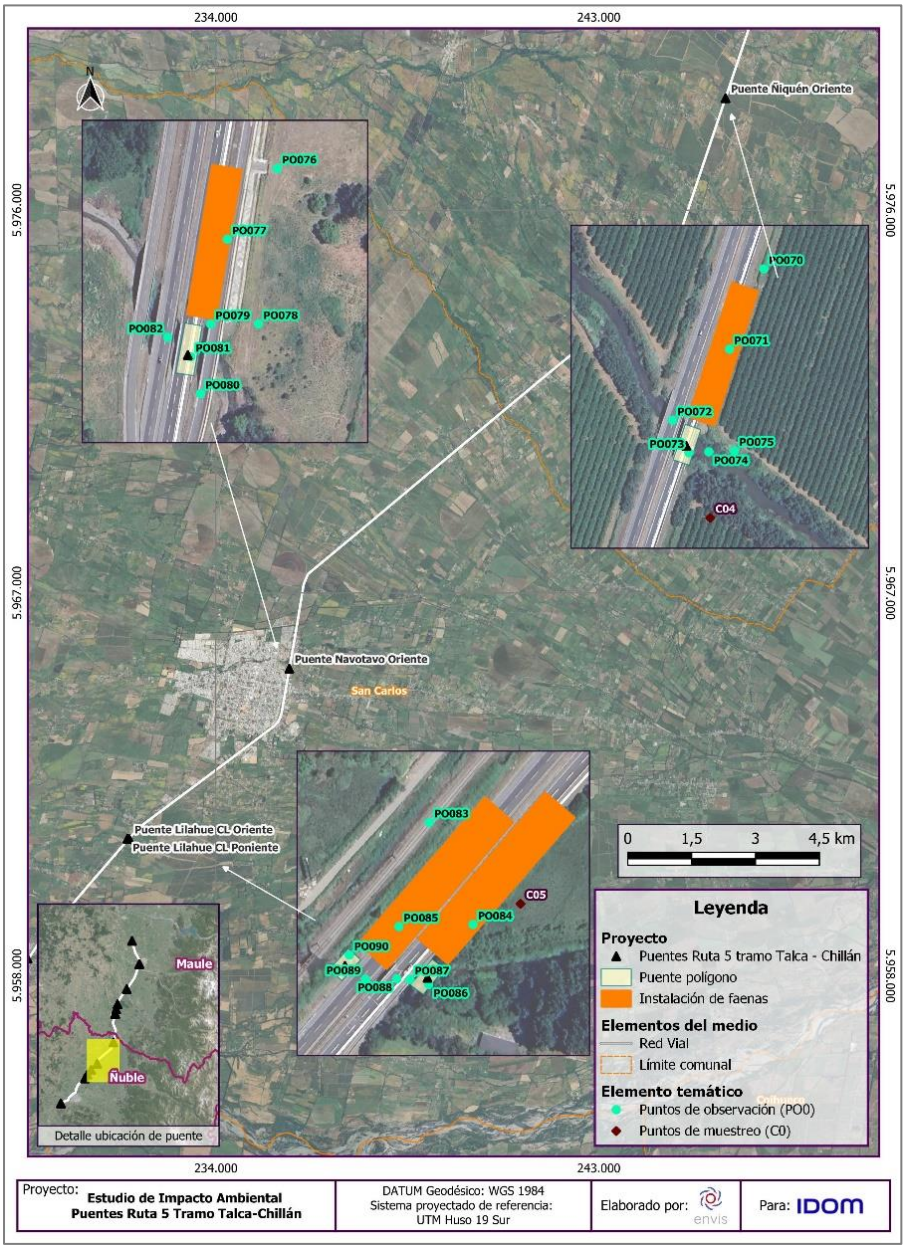
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 98: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



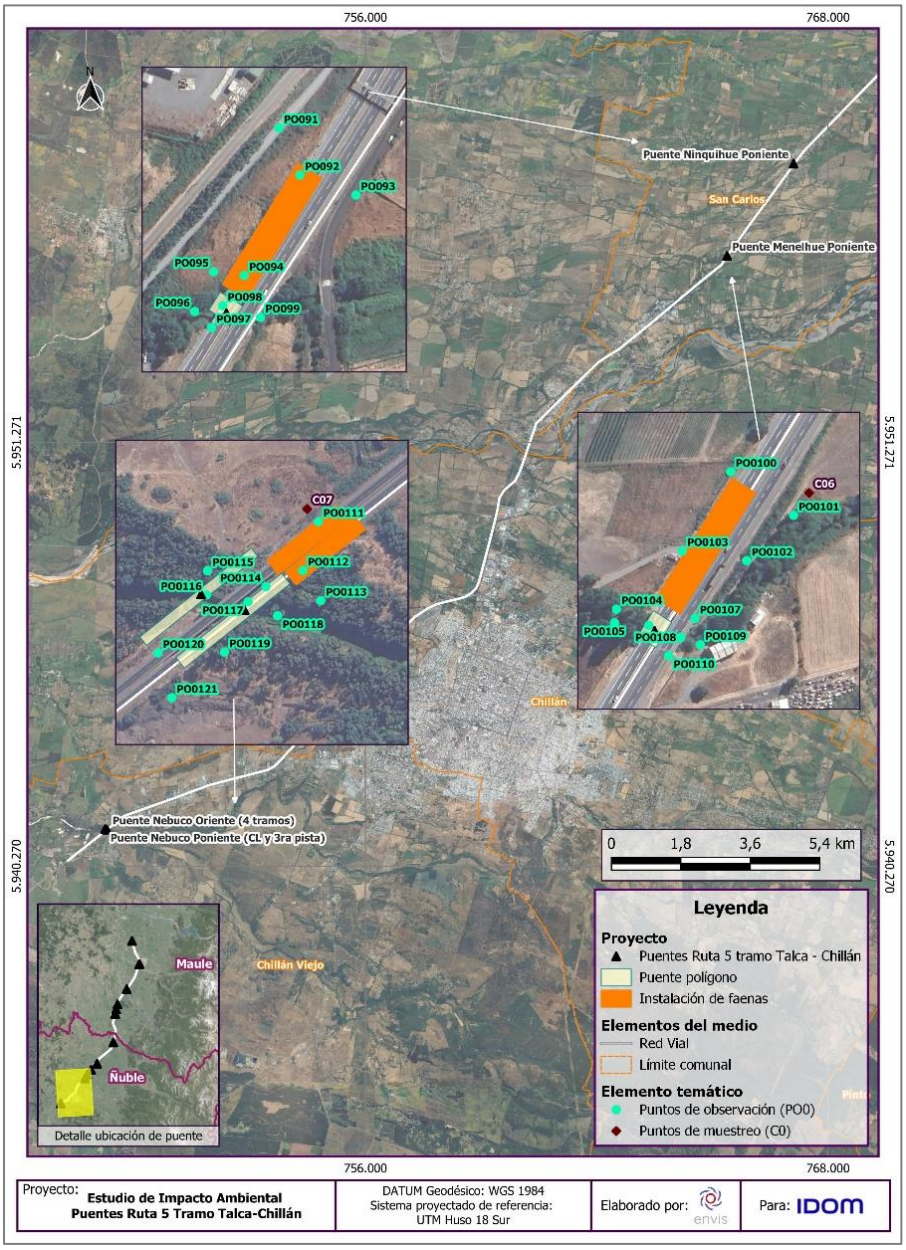
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 99: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 100: Puntos de muestreo (C0) y/o Puntos de observación de suelo (PO0) entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y al Puente Nebuco Poniente (tercera pista y Calle Local) (411.070- 411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.2.2.4 Descripción metodológica para la toma de datos

En las unidades homogéneas de suelo (UHS) definidas en la etapa anterior, se describieron pedones representativos de suelo y/o descripciones superficiales (PO0) del sitio, dependiendo de la existencia o no de suelo natural no intervenido. La descripción del pedón se realizó por medio de puntos de muestreo (C0) (calicatas de 1,0 metro de ancho, 1,0 m de largo y 1,0 m de profundidad), cuya profundidad de excavación varió en función de la presencia de capas limitantes.

La descripción de pedones representativos (calicatas) considera la medición de las propiedades físicas y morfológicas, tales como: color, textura, estructura de los agregados, consistencia, profundidad, poros, pedregosidad subsuperficial y morfología de límite. También se realizó una descripción del contexto ambiental en el cual se inserta el pedón, evaluando aspectos tales como pendiente, exposición, clase de drenaje, pedregosidad superficial, cobertura vegetal y presencia de rasgos erosivos. En los puntos de observación de suelo (PO0), se describió el contexto ambiental (pendiente, cobertura vegetal y presencia de rasgos erosivos (SAG, 2016), y propiedades físicas en el material extraído en superficie, como es: consistencia, clase textural y presencia de carbonatos (USDA, 1999).

De cada calicata se extrajeron muestras de suelo de 1,5 kg aproximadamente, para ser analizadas en el Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA La Platina, laboratorio acreditado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), que establece la nómina de laboratorios aptos para análisis de suelos ácidos y para suelos afectados por sales (Resolución exenta N°489/2020), y además, acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA), de la Sociedad Chilena de la Ciencias del Suelo, para los análisis referidos a tejidos vegetales (certificación otorgada el 12 de agosto de 2022). El procedimiento para la manipulación de las muestras considera su almacenamiento en bolsas de polietileno, apropiadamente selladas y rotuladas.

Los parámetros químicos y físicos analizados en cada muestra corresponden a los requeridos para la determinación de la Clase de Capacidad de Uso de acuerdo con la Pauta para Estudios de Suelos del SAG (2011 rectificada 2016), tales como: pH, materia orgánica (MO) (%), conductividad eléctrica por extracto (C.E) (dS m^{-1}), relación de absorción de sodio (RAS (%), textura, densidad aparente (g cm^{-3}) y columna de agua (cm c.a.)

3.8.2.3 Sistematización

3.8.2.3.1 Caracterización general del suelo

Para los antecedentes generales de los suelos se utilizó información proveniente de “Suelos de Chile” (Luzio *et al.,* 2010), en el cual se hace una revisión detallada de las características de los suelos del país, con información sistematizada y ubicada en un contexto geográfico y geomorfológico, que proviene de los estudios agrológicos publicados por organismos públicos y privados, e incorpora una cantidad importante de antecedentes inéditos de los autores. Además, para determinar la geomorfología donde se insertan estos suelos, se recurrió a lo descrito por Börgel en la “Geografía de Chile, Geomorfología Tomo III. Instituto Geográfico Militar” (Börgel, 1983) y para clasificar los suelos desde un punto de vista taxonómico, se utilizó como base el manual de reconocimiento de suelos de USDA (Soil Survey Manual, Handbook N°18. Soil Science Division Staff. USDA, 2017).

En cuanto a la caracterización agrológica general de los suelos, se recurrió al Estudio Agrológico VII y VIII Región, elaborados por CIREN (1997 y 2014, respectivamente), a una escala cartográfica de 1:50.000.

En la caracterización general de la erosión del suelo, se utilizó como referencia el “Estudio de determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile, Región de Maule y Bio-Bio (CIREN, 2010)”, escala 1:50.000. Este estudio se basa en un modelo de erosión actual y un modelo de riesgo de erosión potencial.

En el modelo de erosión actual, se realizó un análisis interpretativo visual de imágenes satelitales Landsat TM 5, datos de estudios agrológicos, curvas de nivel, e índices espectrales confrontadas con las observaciones tomadas en las campañas de terreno de la región. Tales capas de información se integraron mediante SIG, estableciéndose seis categorías: nula o sin erosión, ligera, moderada, severa, muy severa y erosión no aparente.

Para estimar la erosión potencial de los suelos, CIREN (2010) utilizó un modelo empírico cualitativo (IREPOT), el cual integra las características intrínsecas del suelo (clase textural, materia orgánica, permeabilidad y profundidad), la topografía (riesgo físico), el clima (agresividad climática) y las características de la vegetación presente (cobertura vegetacional), que se relacionan en dos componentes principales, erodabilidad del suelo y erosividad de la lluvia. Los niveles de riesgo de erosión actual definidos por CIREN corresponden a cuatro, correspondiendo a clase baja o nula, moderada, severa y muy severa.

Ante la falta de normativa o metodología estandarizada para caracterizar la capacidad del suelo para sustentar biodiversidad (CSB) animal y vegetal, se estableció una adecuación relativa al sustento de la biodiversidad en el suelo, considerando parámetros abióticos (agua aprovechable, pedregosidad, conductividad eléctrica y pH), y parámetros bióticos (macrofauna, contenido de materia orgánica del suelo y profundidad de las raíces); y Además, se considera el uso del territorio (uso del suelo actual). Como resultado del análisis integrado de estos parámetros, se estableció la CSB del área de influencia del Proyecto, en tres categorías: Baja CSB, Moderada CSB y Alta CSB.

Y para evaluar los objetos de protección o singularidades, tanto en humedales y su entorno, como en lo referido al cambio climáticos, se utilizaron las metodologías propuestas por la Guía área de influencia en humedales en el SEIA, 2023 y Guía Metodológica para la Consideración del Cambio Climático en el SEIA, 2023.

3.8.2.3.2 Determinación de la Clase de Capacidad de Uso de los suelos (CCU)

A partir de la caracterización del componente suelo, obtenida del levantamiento de información, tanto de terreno como bibliográfico, se establecieron los Criterios de Aproximación (Profundidad, Pendiente, Pedregosidad Superficial y Clase de Drenaje), Criterios de Definición (Textura, Agua Aprovechable, Pedregosidad Subsuperficial, Clases de Erosión y Clima) y Criterios Especiales (Inundación, Salinidad, Sodicidad y Alcalinidad), que en su conjunto permiten determinar la Clase de Capacidad de Usos del Suelo del Proyecto, tal como se resume en la siguiente tabla.

Tabla 3- 111: Clases de Capacidad de Uso de Suelos en función de los Criterios de Clasificación.

CLASE	CRITERIOS DE APROXIMACIÓN						CRITERIOS DE DEFINICIÓN							CRITERIOS ESPECIALES			
	Profundidad	Pendiente		Pedregosidad superficial (%)		Drenaje	Textura	Agua Aprovechable (cm c.a.)	Pedregosidad (%)	Erosión	Clima		Inundación	Salinidad (dS/m)	Sodicidad	Alcalinidad (%)
		Simple	Compleja	Gravas	Piedras				Subsuperficial		Días Libre de Heladas	Vientos			(RAS (%)	
				(2,0 -7,5 cm diam)	(>7,5 cm diam)				(>2,0 cm diam)							
I	>90	<1	<3	<10	<5	Bien Drenado	Fa $_{mf}$ - FAL	18 o más	<5	No aparente	150 o más	Ausente a Moderado	Ninguna	<2	<5	0
II	>70	<5	<5	<10	<5	Bien Drenado a Drenaje Moderado	aF - A	12 a < 18	<15	No aparente a Ligera	≥ 100	Ausente a Moderado	Ninguna	<2	<5	0
III	>40	<8	<8	<20	<15	Bien Drenado a Drenaje Imperfecto	a_F - A	9,5 a < 12	<35	No aparente a Moderada	≥ 80	Ausente a Moderado	Ninguna a Frecuente	<4	<13	<2
IV	>20	<15	<15	<40	<35	Bien Drenado a Pobremente Drenado	a_g - A	5 a < 9,5	<35	No aparente a Moderada	≥ 50	Ausente a Moderado	Ninguna a Frecuente	<8	<18	2 a 10
V	Cualquiera	<1	<3	Cualquiera	Cualquiera	Pobremente Drenado a muy Pobremente Drenado	a_g - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	≥ 50	Cualquiera	Muy Frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VI	>20	<45	<45	≤85	≤50	Drenaje Imperfecto a Excesivamente Drenado	a_g - A	Cualquiera	<60	No aparente a Severa	≥ 50	Cualquiera	Ninguna a Muy Frecuente	<12	<28	Cualquiera
VII	Cualquiera	<60	<60	Cualquiera	Cualquiera	Drenaje Imperfecto a Excesivamente Drenado	a_g - A	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguna a Muy Frecuente	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
VIII	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera

Fuente: Pauta para Estudios de Suelos (SAG, 2011 rectificada 2016).

A continuación, se presenta el modo utilizado en la determinación de los parámetros de aproximación, definición y criterios especiales.

- Criterios de aproximación

Los parámetros Profundidad, Pedregosidad Superficial y Clase de Drenaje, fueron obtenidos a partir de la descripción física y morfológica de los suelos efectuada en la campaña de terreno que fue realizada en entre los días 24 al 27 de enero 2023 y entre los días 15 al 20 de agosto de 2023.

Por su parte, la Pendiente fue medida con un clinómetro Suunto XX en la campaña de terreno de enero 2023 y en la siguiente campaña de invierno en agosto de 2023., cuyos datos fueron correlacionados con un DTM (Digital Terrain Model) de levantamiento primario, con resolución espacial de 1 metro. El cálculo de pendientes se realizó en el software QGIS 3.22.5, implicando las siguientes etapas:

- Preprocesamiento del DTM: Revisión de consistencia en el sistema de coordenadas de referencia (UTM WGS-84 Zona 19S) e interpolación de píxeles sin datos o con errores;
- Recorte del DTM a escala del Área de Influencia del Proyecto;
- Cálculo mediante análisis del terreno ráster de QGIS, para obtener una imagen ráster con pendientes en porcentaje (%);
- Reclasificación del ráster de pendientes según la categorización de pendientes indicada en la Pauta del SAG (2011 rectificada 2016).

Los cuatro parámetros de aproximación fueron categorizados de acuerdo con la Pauta para Estudio de Suelos (SAG 2011, rectificada 2016).

- Criterios de definición

Para determinar los parámetros Textura y Agua Aprovechable, se obtuvieron muestras representativas de suelo los horizontes de suelo procedentes de las calicatas realizadas en la campaña de terreno durante enero 2023, las que fueron enviadas a análisis de laboratorio, donde se determinó la clase textural, la densidad aparente (d.a.) por el método del terrón y los valores de capacidad de campo (C.C.) y punto de marchitez permanente (P.M.P). Considerando la información anterior, para la estimación del agua aprovechable (HA) se realizó en base a la siguiente ecuación (1) propuesta por Sandoval *et al*. (2012):

(1) $$HA = \left(\frac{CC-PMP}{100}\right) * \frac{Da}{Dw} * Z * (1 - P)$$

Donde:

- *HA* = Altura de agua (cm c.a.).
- *CC* = Capacidad de campo (%).
- *PMP* = Punto de marchitez permanente (%).
- *Da* = Densidad aparente del suelo (g cm^{-3}).
- *Dw* = Densidad del agua (g cm^{-3}).
- *Z* = Profundidad de la estrata (cm).
- *P* = Fracción relativa de pedregosidad (sólo si existe pedregosidad).

Por otra parte, la textura en los puntos de observación -toda vez que hubo hallazgo de suelo-se determinó por el método manual de la clase textural (Schoeneberger *et al*., 2012).

Los parámetros Pedregosidad Subsuperficial y/o la Clases de Erosión actual, fueron registrados en la campaña de terreno de enero 2023 y agosto 202, respectivamente.

En cuanto al Clima (Periodo libre de heladas y Viento), la información fue obtenida del atlas agroclimático de Chile (Centro AGRIMED, 2017). La información climática entregada por el Centro AGRIMED (2017) sitúa el área de influencia dentro del Distrito 7-8-7: Talca, Distrito 7-8-5: Linares y Distrito 7-9-1: Chillán.

Todos los parámetros de Definición (Textura, Agua Aprovechable, Pedregosidad Subsuperficial, Clases de Erosión y Clima), fueron categorizados de acuerdo con la Pauta para Estudio de Suelos (SAG 2011, rectificada 2016).

- Criterios especiales

Las clases de inundación, que se conceptualizan en función del número de eventos de inundación en un año, considerando una duración del evento mayor a 7 días, se obtuvo relacionando lo observado en terreno a partir de hallazgos redoximórficos en superficie y condiciones de anegación (colores, etc.), siempre que existieran.

El resto de los parámetros químicos como Salinidad y Sodicidad, se obtuvo a partir de muestras representativas de suelo procedentes de la campaña de terreno de enero 2023, que fueron enviadas a análisis de laboratorio. Finalmente, la Alcalinidad (presencia de carbonatos) de los suelos, se obtuvo por medio de pruebas in situ utilizando ácido clorhídrico (HCl) al 33%, a partir de la efervescencia producida al agregar al suelo gotas de HCl diluido.

Los cuatro parámetros Especiales fueron categorizados de acuerdo con la Pauta para Estudio de Suelos (SAG 2011, rectificada 2016).

3.8.2.3.3 Determinación de Unidades Cartográficas de Suelo y Elaboración de Mapa de Suelos

La determinación de las Unidades Cartográficas de Suelo (UCS) se basa en la correlación de la caracterización edafológica realizada a cada uno de los puntos de muestreo y/o de observación, con el Mapa de Unidades Homogéneas previamente elaborado. Producto de esta correlación de datos, se realiza la extrapolación de la clasificación edafológica de cada punto de observación a una determinada superficie determinando la respectiva UCS. El conjunto de UCS conforma el Mapa de Suelos del área de influencia.

3.8.2.3.4 Caracterización la erosión actual y el riesgo de erosión del área de influencia

- Erosión actual del suelo

La erosión de un determinado suelo se considera como el proceso de pérdida de capas o movimiento de partículas de éste, generado por agentes externos naturales (viento, agua, hielo) y/o antrópicos (FAO, 2009). De acuerdo con esta definición, la erosión actual es la pérdida de suelo que se produce en un sitio, en un momento determinado del tiempo.

El sitio se considera, como aquel que es resultante de una combinación del clima, materiales parentales (geológicos), procesos geomorfológicos, topografía, suelo, sucesiones vegetacionales y manejo cultural (uso) y por consiguiente difiere de un lugar a otro de la tierra. De acuerdo con ello, la erosión del suelo y el riesgo de erosión es variable, dependiendo al mismo tiempo del vector desencadenante del proceso, que principalmente puede ser la lluvia y/o el viento o la propia acción antrópica.

En relación con lo anterior, la erosión actual del suelo refleja la condición “sin proyecto”. Es decir, la erosión bajo las actuales condiciones de sitio (cobertura vegetal, suelo, relieve y agresividad climática). Para su caracterización, se utilizó la metodología especificada en el documento Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016), que propone efectuar los levantamientos de erosión actual a partir de la observación de indicadores en terreno y categorizarlos en clases cualitativas (no aparente, ligera, moderada, severa, muy severa), las que definidas en términos periódicos permiten determinar la dinámica de cambios por pérdida de suelo.

Los indicadores de erosión, tales como, pérdida laminar, canalículos o regueros, cárcavas o surcos, pedestales, costras, pavimentos de erosión y exposición de raíces, fueron determinados en la campaña de terreno de enero 2023 y agosto 2023. En la siguiente Tabla se entrega un resumen de los indicadores a considerar por clases de erosión actual.

Tabla 3- 112: Resumen de indicadores a considerar por clases de erosión actual.

Clase de erosión	Color	Porcentaje de suelo perdido	Cobertura vegetación intervenida	Sup. Perdida laminar	Canalículos o regueros	Pedestales	Pavimentos de erosión	Costras	Exposición de raíces	Surcos o cárcavas	% sup. De arrastre o acumulación en UCH
Erosión no aparente (E1)	Sin cambios	Sin cambios	>95 %	Sin cambios	Sin presencia	No/Efecto eólico	No/Efecto eólico	Sin presencia	No	No/Antrópicas	0
Erosión Ligera (E2)	Cambios ligeros en color	20 a < 40%	Menor a 25%	Baja (<15%)	Sin presencia	Presencia ocasional, de altura 1 a 2 cm	Presencia ocasional (<15%)	Sin presencia	Ocasional	No	0 a <15
Erosión Moderada (E3)	Cambios fuertes de color	Entre 40 a < 60%	≥25 a <50%	≥15 a <60%	Ocasional	Entre 1 a 15%, de altura 2 a 5 cm	15 a <60%	Entre 1 a <15%	Expuestas en forma frecuente a nivel de superficie	No	≥15 a <33
Erosión Severa (E4)	Color heterogéneo corresponde al subsuelo (horizonte B)	Horizonte A está removido, % de suelo perdido entre 60 a <80%	≥50 a <75%	≥60 a <80%	Frecuentes	≥15 a <60%, de altura entre 5 a 25 cm	≥60 a <80%	≥15 a <60%	Raíces expuestas y colgantes	Frecuentes, distanciamiento entre 10 a 20 m. Profundidad entre 0,5 a 1 m	≥33 a <66
Erosión Muy Severa (E5)	Color heterogéneo corresponde al subsuelo (horizonte B) y al horizonte C	Entre ≥80 a 100%	≥75%	≥80 hasta 100%	Muy frecuentes	≥60%, de altura entre 5 a 25 cm	≥80%	≥60%	No aplica	Muy frecuentes, distanciamiento entre 10 m	≥66

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2011 rectificada 2016).

- Riesgo de erosión del suelo

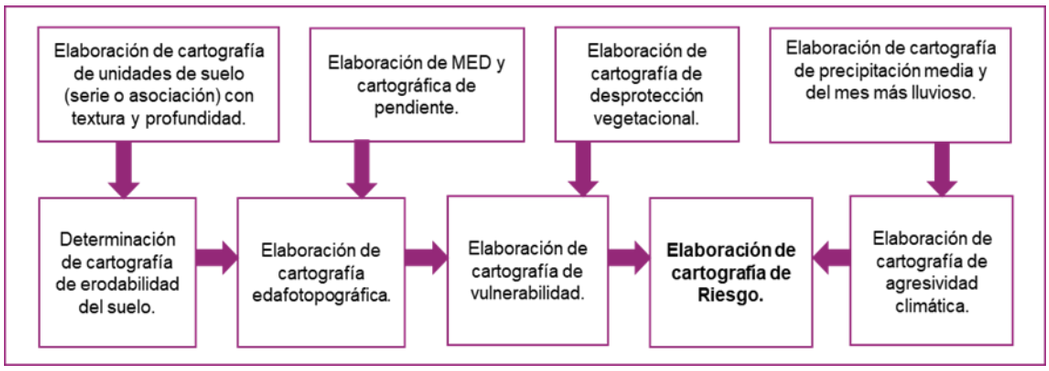
SAG (2016), define el riesgo de erosión como la probabilidad de desencadenarse un proceso erosivo por la fuerza externa de la lluvia, y/o el viento o por alguna acción antrópica directa sobre el suelo. El suelo, de acuerdo con sus características internas (textura y profundidad principalmente) y externas (agresividad climática, relieve/pendiente y cobertura vegetal de protección principalmente), se encuentra en un estado de mayor o menor vulnerabilidad a perder sus características originales o en formación y con ello a degradarse, reducir su capacidad de uso y su capacidad para sustentar biodiversidad.

En el presente acápite se determina el riesgo de erosión o riesgo de activación de procesos erosivos diferenciándolo en base a si reflejan la condición “sin proyecto” o “con proyecto”. El riesgo de erosión que refleja la condición “sin proyecto”, corresponde al riesgo de erosión bajo las actuales condiciones de cobertura vegetal, erodabilidad, relieve (pendiente) y agresividad climática, mientras que, el riesgo de erosión potencial refleja la condición “con proyecto”, es decir, considera las actividades o acciones del Proyecto que pudieran generar riesgos de erosión del suelo asociadas al emplazamiento de las obras tanto de carácter permanente como temporales.

Para determinar el riesgo de erosión actual y potencial del suelo, y elaborar sus respectivos mapas, se utilizó la metodología especificada en el documento Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016), que propone el siguiente diagrama metodológico (ver Figura siguiente) con las variables relevantes consideradas para la estimación del riesgo de erosión del suelo.

Para determinar el riesgo de erosión actual y potencial del suelo, se utilizó la metodología especificada en el documento Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016), que propone el flujo específico para el Riesgo de la Erosión Zona IV (Región de Valparaíso a la Región de los Lagos) siguiente diagrama metodológico (ver Figura 3 5).

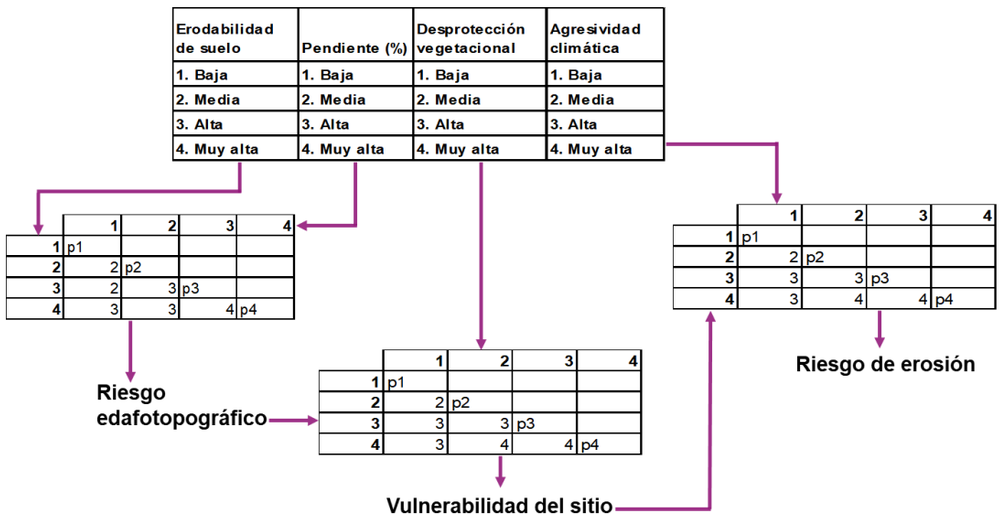
Figura 3- 101: Diagrama metodológico general para determinación de riego de erosión de suelo en zona IV.



Fuente: Informe Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

Para cada una de las variables consideradas (profundidad de suelo, textura, pendiente, tipo de cobertura vegetal de protección y agresividad climática) se generaron coberturas de polígonos, con atributos espaciales, a partir de la forma intercalar de 4 clases: 1) riesgo bajo, 2) riesgo medio, 3) alto, 4) muy alto, las que se relacionan en forma matricial siguiendo el siguiente esquema (ver figura siguiente).

Figura 3- 102: Esquema de obtención de riesgo de erosión en zona IV.



Fuente: Informe Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

Para la determinación y combinación espacial de estas variables, se utilizó el programa “Qgis”, donde se realizan operaciones en base a sentencias condicionales de matrices referenciales propuestas por la Guía SAG (2016), de esta forma se obtiene el nivel de riesgo asociado, las cuales varían dependiendo de la región analizada.

En la tabla siguiente se presentan los niveles de riesgo de erosión definidos en la guía metodológica (SAG, 2016):

Tabla 3- 113: Nivel de Riesgo de Erosión.

Nivel	Descripción
1	Bajo
2	Medio
3	Alto
4	Muy Alto
5	**Otros usos del territorio (áreas donde no aplica la evaluación de la erosión)**

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

El nivel “Otros usos del territorio” se asocia a lugares en los cuales las condiciones originales del suelo han sido modificadas de manera significativa, coincidente con áreas construidas (red vial) o “urbanas” (edificaciones, etc.), por lo que no aplica (n.a.) la evaluación del Riesgo de erosión Actual y Potencial, y la erosión actual.

Erodabilidad

A continuación, se definen los niveles de erodabilidad utilizados como referencia, en base a metodología del SAG (2016).

Tabla 3- 114: Nivel de Erodabilidad

Nivel	Descripción	Detalle
1	Erodabilidad Baja	Textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa o textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo arenosa, arenosa franca y arenosa con profundidad mayor a 90 cm. o textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa y profundidad entre 70 y menos de 90 cm.
2	Erodabilidad Media	Textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad mayor a 90 cm o textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa y profundidad

Nivel	Descripción	Detalle
		entre 70 y menos de 90 cm o textura arcillosa, arcillo limosa, y arcillo arenosa y profundidad entre 40 y menos de 70 cm.
3	Erodabilidad Alta	Textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad entre 70 y menos de 90 cm o textura franca arcillo-limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa o franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita) y profundidad entre 40 y menos de 70 cm o textura franca arcillo limosa, franca arcillosa, franca arcillo-arenosa, arenosa franca y arenosa y profundidad menos de 40 cm.
4	Erodabilidad Muy Alta	Textura franca arenosa, franca y profundidad entre 40 a menos de 70 cm o textura franca arenosa, franca, franca limosa, limosa. Arcillas dispersivas (montmorillonita, illita), franca arenosa, franca y profundidad menor a 40 cm.

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

Los datos de textura y profundidad de suelo para determinar el factor de Erodabilidad provienen de la línea de base de suelos del Proyecto.

Pendiente

A continuación, se muestran los niveles de pendiente utilizados como base para la determinación del nivel de riesgo de erosión en el área de influencia, según lo recomendado por SAG (2016), que define para los valles centrales entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos la siguiente asociación entre rangos de pendiente y riesgo de erosión.

Tabla 3- 115: Riesgo según rangos de pendiente.

Nivel	Rango de Pendiente (%)	Descripción
1	0 a < 4,5%	Riesgo bajo
2	4,5 a < 10,5%	Riesgo medio
3	10,5 a < 17,5%	Riesgo alto
4	17,5% y más	Riesgo muy alto

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos Zona Geográfica IV: Región de Valparaíso a la Región de los Lagos (SAG, 2016).

Los datos de pendiente para establecer esta variable provienen del modelo digital de elevación (DEM) de datos de la USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). Del ráster se obtienen las curvas de nivel (1,0 x 1,0 m de resolución), utilizando software Qgis 3.14.0 with GRASS 7.8.3. Datos de la USGS.

Desprotección de la vegetación

La cobertura vegetacional, así como su composición y estructura, determina el grado de protección o desprotección que entregan al suelo, al ser intervenida por acción antrópica, aumenta la vulnerabilidad del suelo frente a la acción erosiva del agua o del viento y con ello aumenta el riesgo de erosión.

Para efectos de estimar esta variable, SAG (2016) recomienda aplicar las clases vegetacionales (tipo de cobertura) determinadas por el Catastro Nacional de Vegetación Nativa (CONAMA-CONAF), las cuales se presentan la tabla siguiente. Los tipos de formaciones vegetales, su ubicación y superficies fueron obtenidos a partir de la Carta de Ocupación de Tierras (COT) generada en la línea de base de vegetación terrestre del Proyecto.

Tabla 3- 116: Definición de la clase de desprotección según tipos de cobertura vegetacional.

Clase de Desprotección	Descripción	Tipo de Cobertura Vegetacional
1	Baja	Bosque Nativo-Renoval Denso
1	Baja	Bosque Nativo-Renoval Semidenso
1	Baja	Bosque Nativo Adulto Denso
1	Baja	Bosque Nativo Adulto Semidenso
1	Baja	Matorral Denso
1	Baja	Matorral Arborescente Denso
1	Baja	Renoval Semidenso
1	Baja	Renoval Denso
1	Baja	Praderas Perennes
1	Baja	Vegas
2	Media	Bosque Nativo achaparrado Semidenso.
2	Media	Bosque Nativo Adulto Abierto
2	Media	Matorral-Suculentas Denso
2	Media	Matorral Semidenso
2	Media	Matorral Arborescente Semidenso
2	Media	Matorral Pradera Semidenso
2	Media	Plantaciones Forestales
2	Media	Plantación Frutal Adulta
2	Media	Cultivo agrícola
3	Alta	Bosque Nativo achaparrado Abierto
3	Alta	Matorral- Suculentas Abierto
3	Alta	Matorral-Suculentas Semidenso
3	Alta	Matorral Abierto
3	Alta	Matorral Arborescente Muy Abierto
3	Alta	Matorral Arborescente Abierto
3	Alta	Matorral Pradera Abierto
3	Alta	Plantaciones jóvenes o recién cosechada
3	Alta	Plantación Frutal joven
3	Alta	Renoval Abierto
4	Muy alta	Bosque Nativo Adulto Muy Abierto
4	Muy alta	Estepa Andina Central
4	Muy alta	Matorral Suculentas Muy Abierto
4	Muy alta	Matorral Muy Abierto
4	Muy alta	Matorral Pradera Muy Abierto
4	Muy alta	Minería industrial
4	Muy alta	Suculentas
4	Muy alta	Renoval Muy Abierto
4	Muy alta	Praderas anuales
4	Muy alta	Rotación cultivo-pradera

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

La clase de desprotección 1 comprende todas las clases vegetacionales que ofrecen mayor cobertura y protección al suelo, tanto por la estructura, composición y cobertura del dosel, mientras que la clase 4 es la de mayor desprotección.

Agresividad climática

Por la experiencia desarrollada en Chile (Pizarro et al, 2012; Castro y Lagos, 2001), el índice de Fournier modificado (IFM) es una buena representación de la agresividad de la lluvia y de su impacto sobre el suelo. Su expresión es la siguiente ecuación (3):

$$\text{IFM} = \frac{\sum_{i=1}^{12}(P_{ij})^2}{P_m}$$

IFM = Índice de Fournier modificado, para el año j.

Pij = Precipitación mensual del mes i (mm), del año j.

Pm = Precipitación media anual (mm).

La determinación del IF para el área de influencia del Proyecto, se obtuvo a partir de la información climática especializada generada por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia – CR2, a partir de set de datos de 30 años de la localidad definida. A partir de esta información, los niveles de agresividad climática se presentan a continuación.

Tabla 3- 117: Nivel de Agresividad Climática.

Nivel	Descripción
1	Agresividad climática baja: menos de 50
2	Agresividad climática media: 50 a 150
3	Agresividad climática alta: 150 a 200
4	Agresividad climática muy alta: mayor de 200

Fuente: Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos (SAG, 2016).

- Determinación de nivel de riesgo de erosión actual

Para determinar el nivel de riesgo de erosión actual en el área de influencia, se establecieron cada una de las variables relevantes descritos anteriormente, para luego, utilizando un modelo matricial del software QGIS Desktop 3.25.5 with GRASS 7.8.3, para luego combinar espacialmente los distintos niveles de acuerdo a las operaciones (sentencia condicional) de las matrices referenciales propuestas por la Guía SAG (2016), obteniendo como resultado alguno de los niveles de riesgo de erosión previamente definidos (ver Tabla siguiente).

Tabla 3- 118: Niveles para estimación de riesgo de erosión actual.

Factor	Nivel
Riesgo bajo	1
Riesgo medio	2
Riesgo severo	3
Riesgo muy severo	4

Fuente: ENVIS, 2023.

- Determinación de nivel de riesgo de erosión potencial

Para determinar el nivel de riesgo de erosión potencial (con impacto de obras) en el área de influencia, se determinaron cada una de las variables relevantes descritas bajo la situación “con proyecto”, es decir, considerando el emplazamiento de los puentes, caminos de servidumbre e instalación de faenas, y en general toda superficie afecta a corta de vegetación.

Las ponderaciones utilizadas para diferenciar la influencia de cada variable en la determinación del riesgo de erosión potencial son los mismos que los utilizados para riesgo de erosión actual (ver Tabla siguiente). Lo que cambia, como se señaló en el párrafo precedente, es la clasificación que se otorga al índice de desprotección vegetal y erodabilidad, aumentadas ambas en un grado.

Finalmente, para clasificar el riesgo de erosión potencial en alguno de los cuatro niveles especificados en la metodología de SAG (2016), también se utilizó la misma metodología presentadas en el riesgo de erosión actual, otorgando algunos de los niveles definidos (ver tabla anterior).

Cabe mencionar, al respecto altamente intervenidos (áreas edificadas y caminos preexistentes) dentro de AI consolidada de suelo, se consideró reclasificarlas en el mapa de riesgo de erosión actual y potencial como “Otros usos del territorio”, ya que no hay suelo presente. De este modo, en el AI consolidada de suelo de 33,58 Ha, se observó una superficie asociada a “Otros usos del territorio” con 22,38 Ha equivalente al 69,96% del AI.

3.8.2.3.5 Susceptibilidad al Cambio Climático

Para el análisis de los riesgos de la componente ambiental suelo ante los efectos adversos del Cambio Climático, se utilizó la “Guía Metodológica para la consideración del Cambio Climático en el SEIA” (SEA, 2023). La guía proporciona los pasos metodológicos para obtener la significancia ponderada de los impactos bajo la condición más desfavorable para los Objetos de Protección (OP).

El riesgo climático (R) es un indicador de la magnitud del daño que podría experimentar el componente suelo frente a un cambio en las condiciones climáticas. Para la evaluación se consultó el visualizador web “Atlas de Riesgos Climáticos” (ARClim) basado en el concepto de riesgo planteado por el IPCC en 2014. ARClim es un proyecto del Ministerio del Medioambiente del Gobierno de Chile, desarrollado por el Centro de Investigación del Clima y la Resiliencia (CR2) y el Centro de Cambio Global (CCG-Universidad Católica de Chile), en colaboración con otras instituciones nacionales e internacionales.

La identificación y evaluación del riesgo climático se realiza a través del análisis en conjunto de tres factores: la amenaza climática, la vulnerabilidad y la exposición de los componentes en cada territorio.

Figura 3- 103: Factores que constituyen el riesgo climático.



Fuente: SEA 2023, adaptado de MMA, 2020.

A continuación, se presentan los factores indicados en la figura anterior:

- **Riesgo Climático (R):** Probabilidad e intensidad esperada de impactos negativos sobre sistemas ecológicos o la evolución de los componentes ambientales a causa del cambio climático. Se categoriza en muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto.

- **Amenaza (A)**: probabilidad o intensidad esperada de condiciones climáticas adversas en cierto territorio entre el pasado reciente (1980-2010) y el futuro cercano (2035-2065) bajo un escenario pesimista de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) RCP 8,5.
- **Exposición (E)**: relación con la presencia y dimensión de componentes ambientales (tamaño absoluto o relativo) potencialmente susceptible de ser afectados negativamente por sucesos climáticos en un sector o sistema.
- **Vulnerabilidad (V)**: Factores no climáticos que indican la propensión o predisposición a que un territorio, ecosistema, comunidad o sector se vea afectado negativamente a partir de la sensibilidad o susceptibilidad al daño y a la falta de capacidad para responder y adaptarse.

A su vez, la vulnerabilidad está compuesta de:

- **Sensibilidad**: Es determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático. Lo anterior incluye atributos físicos (como, por ejemplo, el material de construcción de las viviendas, el tipo de suelo agrícola); y sociales, económicos y culturales (como la estructura demográfica) del sistema.
- **Capacidad Adaptativa**: Es la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles.

A su vez, el Riesgo Climático (R) se puede relacionar a cadena de impactos predeterminadas en ARClim, o en su defecto asociarlo a otros riesgos climáticos que no se visualicen en la plataforma y que sean relevantes para la exposición del proyecto y del componente ambiental. De esta forma:

- **Cadenas de impactos**: Se define como los efectos desencadenados por el cambio climático tanto sobre componentes ambientales como sobre sectores productivos.

La guía propone ocho pasos para reconocer los proyectos o actividades que deben tener en consideración los efectos adversos del cambio climático sobre los componentes ambientales definidos como objeto de protección, teniendo presente tanto el análisis de impactos ambientales como también de riesgos. a continuación, se indican:

1. Identificar los componentes ambientales que son objeto de protección del SEIA y que pueden verse afectados por el cambio climático.
2. Identificar los impactos que el proyecto puede tener sobre los componentes ambientales y delimitar las áreas de influencia.
3. Describir detalladamente los componentes ambientales que pueden verse afectados significativamente por el proyecto.
4. Realizar una predicción de los impactos que el proyecto puede tener sobre los componentes ambientales e identificar su significancia.
5. Elaborar medidas y planes de seguimiento para mitigar los impactos ambientales del proyecto.
6. Describir los riesgos asociados al proyecto y elaborar planes de contingencia y de emergencia para prevenir y responder a situaciones de emergencia.
7. Evaluar los impactos ambientales del proyecto que no son significativos y determinar si se requiere alguna medida de mitigación.
8. Presentar la información de manera clara y accesible para la participación ciudadana y la toma de decisiones informada.

Respecto de los puntos mencionados en el párrafo precedente, para esta etapa de proyecto corresponde evaluar hasta el punto 3.

3.8.2.3.6 Identificación de suelo hídrico y presencia de humedales

Considerando lo expuesto en la Guía área de influencia de humedales en el SEIA (SEA 2023) y de acuerdo con la metodología propuesta para la evaluación de impactos, se identificaron los distintos recursos naturales y Servicios Ecosistémicos (SSEE) que forman parte de los humedales y que tienen relación con el componente suelo hídrico. De esta forma, a partir de la iteración de siete pasos, se establece la evaluación de la componente.

A continuación, se define cada uno:

- Paso 1: Identificación del área de influencia del proyecto y los humedales que se verán afectados por el mismo. Se debe realizar una descripción detallada de los humedales y su entorno, incluyendo la identificación de los componentes ambientales y los recursos naturales y SSEE que forman parte de ellos.

- Paso 2: Identificación de los objetivos y metas del proyecto, así como de las alternativas de proyecto que se están considerando. Se debe evaluar la necesidad del proyecto y su compatibilidad con los planes y políticas de desarrollo regional y nacional.

- Paso 3: Descripción de los componentes ambientales de los humedales y su entorno, incluyendo el suelo, y espacialización de su ubicación. Se debe identificar los distintos recursos naturales y SSEE que forman parte de los humedales y su entorno, y considerar la variabilidad estacional de los componentes ambientales.

- Paso 4: Evaluación de los impactos ambientales potenciales del proyecto en los componentes ambientales identificados en el paso 3. Se debe considerar la magnitud, duración, frecuencia, reversibilidad, acumulación y sinergia de los impactos ambientales.

- Paso 5: Identificación de las medidas de mitigación y compensación necesarias para reducir o eliminar los impactos ambientales negativos del proyecto. Se deben considerar medidas de mitigación y compensación para cada uno de los impactos ambientales identificados en el paso 4.

- Paso 6: Evaluación de la efectividad de las medidas de mitigación y compensación propuestas. Se debe evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y compensación propuestas en el paso 5, y considerar la necesidad de ajustarlas o complementarlas.

- Paso 7: Presentación de un plan de monitoreo y seguimiento para garantizar que se implementen las medidas de mitigación y compensación y se evalúe su efectividad a largo plazo. Se debe presentar un plan de monitoreo y seguimiento que permita evaluar la efectividad de las medidas de mitigación y compensación a largo plazo y garantizar su implementación.

En relación con los pasos definidos en el párrafo que precede, para esta etapa de proyecto se ejecuta hasta el paso 3. De esta forma, y de acuerdo con las características específicas del Proyecto y del humedal en cuestión, y considerando la Guía para la delimitación y caracterización de humedales urbanos de Chile (SEA, 2023), los suelos hídricos se identificaron si presentaron algunos de los rasgos característicos de la tabla a continuación.

Tabla 3- 119: Rasgos característicos asociados a la delimitación de suelo hídrico.

N°	Características de suelos hídricos
Rasgo 1	La tierra soporta vegetación predominantemente hidrófila de forma periódica.
Rasgo 2	El sustrato es predominantemente suelo hídrico (con mal drenaje o sin drenaje).
Rasgo 3	El sustrato está saturado con agua o cubierto con aguas superficiales en algún momento durante la temporada de crecimiento vegetacional anual.
Rasgo 4	El suelo está dentro del área definida por el Inventario Nacional de Humedales.

Fuente: Adaptado de SEA, 2023.

Pasos metodológicos para describir un suelo hídrico

De acuerdo con la guía de campo para la delimitación y caracterización de Humedales urbanos de Chile (MMA, 2022), indica que las características morfológicas de los suelos reducidos estacionalmente incluyen patrones de colores específicos, olores, cambios de color que se producen al exponerse al aire o un tipo específico de material orgánico. Estas características pueden ocurrir a cualquier profundidad en el suelo, y la abundancia de una característica dada es variable. Las características son indicadores directos de que el suelo se redujo en algún momento de su historia y se utilizan para estimar qué parte del suelo está saturada estacionalmente con agua libre. En la siguiente tabla se indican otros rasgos identificadores de suelos hídricos que fueron utilizados para la delimitación del componente.

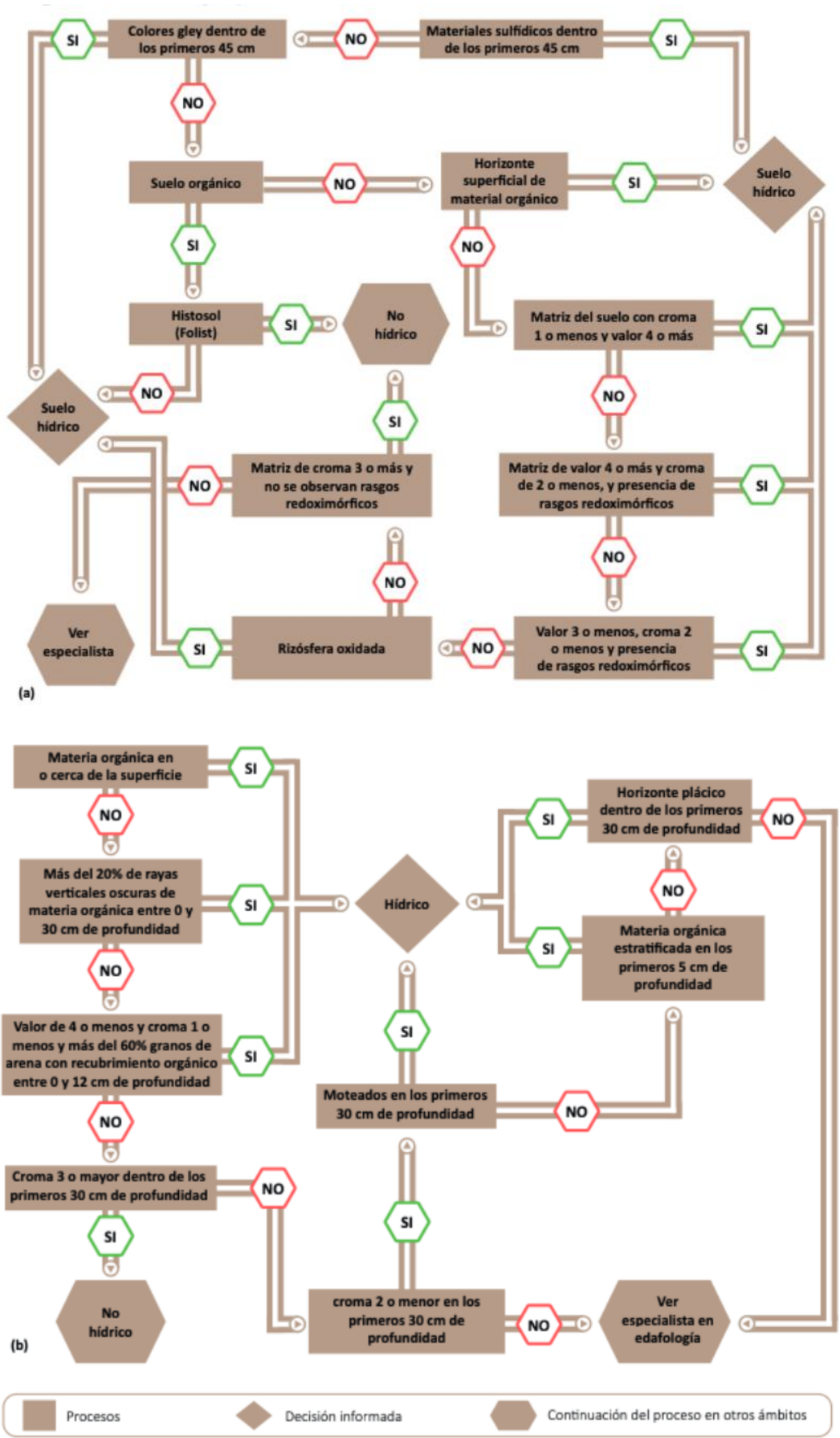
Tabla 3- 120: Rasgos característicos asociados a la delimitación de suelo hídrico.

N°	Características de suelos hídricos
Rasgo 5	Horizonte superficial de material orgánico (fíbrico, hémico o sáprico) de 20 cm de espesor o más grueso.
Rasgo 6	Si hay rasgos redoximórficos o moteados presentes (generalmente anaranjado, amarillento o pardo rojizo), colores dominantes en la matriz de suelo mineral de croma de 2 o menos (ver Anexo 2 Tabla de matrices típicas de suelos hídricos).
Rasgo 7	Si no hay moteados presentes, colores dominantes en la matriz de suelo mineral de croma 1 o menos.
Rasgo 8	Materia orgánica estratificada en suelos arenosos.
Rasgo 9	Olor característico de la presencia de ácido sulfhídrico en la parte superior del suelo.
Rasgo 10	Presencia de horizontes gley en los primeros 30 cm desde la superficie.

Fuente: MMA, 2022.

La identificación de suelo hídrico consideró la utilización de los siguientes diagramas de flujos de la Guía de campo para la delimitación y caracterización de los humedales urbanos en Chile (MMA, 2022), los cuales establecen las diferencias a considerar en suelos arenosos y suelos no arenosos.

Figura 3- 104: (a) Diagrama de flujo. Indicadores de suelos hídricos en suelos no arenosos (b) Diagrama de flujo, indicadores de suelos hídricos en suelos arenosos.



Fuente: Adaptado en la Guía de Campo para la Delimitación y Caracterización de los Humedales Urbanos en Chile. (MMA, 2022) (USDA ,1990, citado en Tiner. 2017).

3.8.2.3.7 Caracterización de la capacidad del suelo para sustentar biodiversidad

Ante la falta de normativa o metodología estandarizada para caracterizar la capacidad del suelo para sustentar biodiversidad (CSB) animal y vegetal, se establece una adecuación relativa al sustento de la biodiversidad en el suelo, considerando los siguientes parámetros:

Parámetros Abióticos: factores físicos y químicos que determinan la vida en el suelo, tales como, agua aprovechable, pedregosidad, conductividad eléctrica y pH.

Parámetros Bióticos: caracterización en terreno de la actividad biológica del suelo (macrofauna), contenido de materia orgánica del suelo y profundidad de las raíces. Además, se considera el uso del territorio (uso del suelo actual).

Como resultado del análisis integrado de estos parámetros, es posible establecer la CSB del área de influencia del Proyecto, en tres categorías: Baja CSB, Moderada CSB y Alta CSB.

A continuación, se definen los parámetros utilizados para caracterizar la CSB:

Parámetros Abióticos: En base a la caracterización edafológica del área de influencia, se utilizan algunos criterios de aproximación, de definición y criterios especiales definidos por la Pauta de Estudio de Suelos (SAG, 2011 rectificada 2016), tales como, agua aprovechable, pedregosidad, salinidad (C.E.) y, además, otros parámetros recogidos tanto de la descripción físico-morfológica de suelo como del análisis de las muestras de suelo en laboratorio.

- Estructura de suelo: la estructura del suelo influye en la porosidad y permeabilidad, lo que a su vez afecta la disponibilidad de agua y aire para los organismos del suelo. Los suelos con buena estructura tienden a tener una mayor diversidad biológica. Lo caracterización de la estructura contempla elementos tales como, forma (tipo), tamaño y grado estructural.

- Agua Aprovechable: suelos en condición Buena (12 a < 18 cm.c.a) o Muy Buena (18 cm.c.a. o más), presentan condiciones más adecuadas para albergar biodiversidad que suelos en condición Pobre (5 a < 9,5 cm.c.a.) o Muy pobre (menos de 5 cm.c.a.), debido a que, en estos últimos, la escasa agua disponible en el perfil se pierde con una rapidez tal, que restringe severamente el número de especies capaces de establecerse en dicho suelo.

- Pedregosidad: se plantea que suelos Sin Pedregosidad o con Pedregosidad Ligera, tienen mayor CSB que suelos con Pedregosidad Abundante o Muy Abundante, simplemente porque los primeros tienen un mayor volumen disponible para la reproducción y desarrollo de la micro y meso flora y fauna habitante del perfil del suelo, cuando comparamos puntos de observación que pertenecen a un mismo ecosistema y zona climática. Esto en el entendido que los fragmentos rocosos representan un volumen inerte incapaz de contener vida orgánica.

- Conductividad eléctrica (C.E.): la medición de la C.E. permite identificar la presencia de un suelo salino, el cual puede afectar la actividad microbiana del suelo, la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de estas. Por ello, es posible afirmar que mientras más salino sea el suelo, menor será su CSB.

- pH del suelo: el pH del suelo es un indicador importante de la calidad del suelo porque afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la actividad biológica en el suelo. La mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas están disponibles en un rango de pH específico, y el pH del suelo puede afectar la solubilidad y movilidad de estos nutrientes. Además, el pH del suelo puede influir en la actividad microbiana y en la descomposición de materia orgánica, lo que a su vez puede afectar la estructura del suelo

y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. Así, por ejemplo, la mayoría de las plantas se adaptan mejor a rangos de pH de 5.5 a 7.5, aunque algunas especies prefieren suelos ácidos o alcalinos. Por su parte, las lombrices tienen en general mayor biomasa y diversidad en pH neutro (European Comission Environment, 2010. Soil biodiversity).

Parámetros Bióticos:

- Presencia y profundidad de raíces: se plantea que el desarrollo y/o presencia de raíces da cuenta de que el suelo sirve de sustrato a raíces y proporciona el hábitat de especies animales. Así, a una mayor abundancia y profundidad de raíces, mayor será su CSB, dentro de un mismo ecosistema y zona climática. Los suelos delgados y muy delgados reducen significativamente el volumen de suelo apto para albergar biodiversidad.

- Materia orgánica (%): la M.O. al tener efectos sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo, formando agregados, dando estabilidad estructural y porosidad, favoreciendo la penetración del agua y su retención, aumenta la capacidad del suelo para poder sustentar el crecimiento y desarrollo de la vegetación. Por lo anterior, es posible afirmar que, a un mayor contenido de materia orgánica del suelo, mayor será su CSB.

- Caracterización en terreno de la macrofauna del suelo: a partir de la descripción de las calicatas, se definirá la abundancia de lombrices, insectos, arácnidos u otros animales visibles en los primeros horizontes del suelo, además de indicadores de su actividad dentro del perfil (coprolitos, crotovinas, galerías, etc.), ya que su presencia es considerada un indicador de la salud del suelo y su capacidad para sustentar biodiversidad.

Finalmente, teniendo en consideración que la calidad biológica del suelo puede variar según el uso y manejo al suelo (territorio), es posible plantear que los suelos de uso agrícola, barbechos, praderas o plantaciones forestales tienen menor calidad biológica que suelos con una cobertura vegetal densa, compuesta principalmente por especies nativas (ej.: matorrales y bosque nativo).

3.8.2.3.8 Identificación de los atributos sensibles, singularidades del suelo u objetos de protección.

Este punto, busca identificar la existencia de posibles singularidades del suelo potencialmente afectadas, sobre la base de la presente caracterización del suelo, de la recopilación de información disponible en publicaciones científicas, informes de expertos, EIA o DIA precedentes, y de bases de datos cartográficas. Se entenderá como singularidad ambiental a las características intrínsecas del suelo que lo hacen relevante, escaso, único, relictual o representativo del área.
A modo de ejemplo, a continuación, se listan las singularidades establecidas en la Guía (SEA, 2015) que presentan relación con el componente suelo:

Tabla 3- 121: Ejemplos de singularidades ambientales del componente edafología definidas en la Guía (SEA, 2015).

N°	Singularidad Ambiental
S-1	Presencia de suelos frágiles altamente erosionables o móvil (por ejemplo, suelo de altas pendientes, dunas, suelo de borde costero, entre otros).
S-2	Presencia de suelo con potencial presencia de contaminantes o contaminado.
S-3	Presencia de suelos relevantes para la recarga de acuíferos.

Fuente: Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA (SEA, 2015).

A su vez, en la tabla siguiente se listan otros ejemplos de singularidades ambientales adicionales que presentan relación con el componente suelos y que no se encuentran en la Guía (SEA, 2015):

Tabla 3- 122: Singularidades ambientales adicionales del componente edafología.

N°	Singularidad Ambiental
S-4	Presencia de suelos dentro de Áreas Protegidas o Sitios Prioritarios del Estado. .
S-5	Presencia de suelos con características intrínsecas únicas o escasas.
S-6	Presencia de suelos en hábitat de especies amenazadas o frágiles.
S-7	Presencia de suelos con capacidades de uso agrícola (I a III) escasas en la región.
S-8	Presencia de suelos con alta capacidad para sustentar Biodiversidad.

Fuente: Modificado de la Guía para la descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA (SEA, 2015).

Además, se listan ejemplos de objetos de protección asociados al recurso suelo, presentes en la Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA (SEA 2023) y la Guía área de influencia de humedales en el SEIA (SEA 2023).

Tabla 3- 123: Singularidades ambientales vista como objetos de protección del componente edafología

N°	Singularidad Ambiental
S-9	Presencia de suelos con Erosión actual de suelo.
S-10	Presencia de suelos con Riego de activación de fenómenos erosivos.
S-11	Presencia de suelos con Riesgo por inundación.
S-12	Presencia de suelos hídricos

Fuente: Modificado de la Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA (SEA 2023) y la Guía área de influencia de humedales en el SEIA (SEA 2023).

3.8.3 RESULTADOS

3.8.3.1 Antecedentes climáticos

El área de influencia de suelo se encuentra inserta en tres distritos agroclimáticos de acuerdo con el puente evaluado, estos son: Distrito 7-8-4 Talca (desde el puente Cunanco Oriente 287.906 dm al Puente Ñiquén Oriente 357.965 dm), Distrito 7-8- Linares (desde el Puente Navotavo Oriente 375.580 dm al Puente Menelhue Poniente 387.971 dm) y Distrito 7-9-1 Chillán (Puente Nebuco Oriente y puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local 411.070 - 411.303 dm).

De acuerdo con la información del Centro AGRIMED (2017), el distrito Talca posee un clima templado cálido supratermal con régimen de humedad semi árido (Csb2Sa), la temperatura varía entre un máximo de enero de 29,7°C y un mínimo de julio de 3,4°C. Presenta en promedio de 228 días consecutivos libres de heladas y en el año se registra un promedio de 15 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.707 días grados y 784 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio. La precipitación media anual es de 720 mm y un período seco de 7 meses, con un déficit hídrico de 1.030 mm año^{-1}. El período húmedo dura 4 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 229 mm.

Por otro lado, el distrito el Linares posee un clima templado cálido supratermal con régimen de humedad subhúmedo seco (Csb2Shs), la temperatura varía entre un máximo de enero de 29,1°C y un mínimo de julio de 3,5°C. Presenta en promedio de 211 días consecutivos libres de heladas

y en el año se registra un promedio de 20 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.535 días grados y 949 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio. La precipitación media anual es de 1.137 mm y un período seco de 5 meses, con un déficit hídrico de 846 mm año^{-1}. El período húmedo dura 5 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 528 mm (Centro AGRIMED, 2017).

Finalmente, el distrito Chillán posee un clima templado cálido supratermal con régimen de humedad subhúmedo seco (Csb2Shs), la temperatura varía entre un máximo de enero de 29,5°C y un mínimo de julio de 3,5°C. Presenta en promedio de 211 días consecutivos libres de heladas y en el año se registra un promedio de 17 heladas. El período de temperaturas favorables a la actividad vegetativa dura 9 meses. Registra anualmente 1.606 días grados y 949 horas de frío acumuladas hasta el 31 de Julio. La precipitación media anual es de 1.035 mm y un período seco de 5 meses, con un déficit hídrico de 789 mm año^{-1}. El período húmedo dura 5 meses durante los cuales se produce un excedente hídrico de 446 mm (Centro AGRIMED, 2017).

3.8.3.2 Antecedentes generales del medio edáfico el área de influencia de suelo del proyecto

A una escala regional de análisis y basados en lo descrito por Börgel (1983), el Área de Influencia (AI) se encuentra inserta dentro de la Región Central de las Cuencas y del Llano Fluvio-Glacio-Volcánico, específicamente en la unidad Llano Central Fluvio-Glacio-Volcánico. El Llano Central presenta el aspecto de una planicie suavemente ondulada, plana en algunos sectores, intensamente regada, bajo condiciones suelo y clima que han favorecido la ocupación del hombre, cuya actividad antrópica ha dejado en manifiesto la desprotección de orillas de río, lo que, por erosión lateral, tiende a convertir en un amplio pedregal para uso agrícola. Dentro del Llano Central, los ríos llegan desde la cordillera de los Andes y orientan sus lechos en variadas disposiciones, de acuerdo con la potencia y desarrollo de los campos aluviales que ellos mismos han construido. Así también, las condiciones de los suelos son variables debido a que la distinta proporción en que se integran los materiales de sedimentación fluvio-glacio-volcánica. Hay sectores donde los materiales de lajas y costras, de marcado origen volcánico, han establecido el dominio de suelo empobrecidos, muy esqueléticos y de estructura impermeables.

Acorde a Luzio *et al.* (2010), los suelos del área de influencia (AI) del Proyecto se encuentran dentro de la Zona Mediterránea Árida (desde el 32°00’LS hasta 37°45’LS), específicamente en los suelos de la Depresión Intermedia de terrazas aluviales.

Los suelos en terrazas aluviales de la Región de Maule, se deben su origen al transporte y depositación aluvial. La profundidad de los suelos es muy variable, desde los suelos delgados (menos de 50 cm) hasta suelos profundos (más de 100 cm). El sustrato está constituido, por gravas redondeadas y subredondeadas de tamaño variable y en cantidad variable, con una matriz que va de una fracción gruesa (arenosa o franco arenoso) a una matriz más media (franco arcilloso, franco limoso o franco arcillo arenosa). Las clases texturales de los horizontes superficiales pueden ser franca, franco limoso, franco arcilloso, franco arcillo limosa y, en una menor cantidad de suelos, puede ser de clases más gruesas, tales como franco arenoso o franco arenoso fino.

La mayoría de los suelos muestra una gran homogeneidad estructural, que se manifiesta por la presencia de bloques subangulares medios y finos con diferente consistencia; y tanto en superficie como en profundidad dominan los colores pardos y pardos oscuros (10YR y 7.5YR). Son suelos con drenaje imperfecto pueden, y su color puede variar entre el pardo grisáceo, el gris oscuro y el negro. Las Clases de Capacidad de Uso de estos suelos de origen aluvial pueden variar desde Clase I a IV, ya sea por una disminución en su profundidad, un aumento en la pedregosidad en el perfil o un drenaje más pobre o un conjunto de todas estas características.

Por otro lado, Luzio *et al.* (2010) indica que existen suelos en el área de influencia del Proyecto sobre toba volcánica, como sustrato de estos suelos. Las pendientes van 0 a 3% y la unidad geomorfológica en la que se encuentran puede ser variable, pues se han descrito sobre abanicos piroclásticos, terrazas remanentes, paisajes lacustres y planos depositacionales deprimidos. Las clases texturales resultan de medias a finas en los horizontes superficiales (franco arcilloso, franca, franco arcilloso limosa) que se hacen más finas hacia los horizontes más profundos (arcillosa). La profundidad de los suelos se puede encontrar desde 50 a 130 cm.

El color de los horizontes superficiales varía principalmente en los matices 5YR y 10YR. ya sea pardo rojizo oscuro o pardo grisáceo oscuro, y en profundidad aumenta el valor, siendo más grises y pálidos. La estructura es de bloques subangulares medios moderados en los horizontes superficiales, la cual desaparece en los horizontes que se encuentran en contacto con la toba, y se describe como masiva. La actividad radical depende de la profundidad de la toba, que en profundidad se vuelven inexistentes. El drenaje va moderado a pobre, con presencia de rasgos redoximórficos de comunes a abundantes desde la superficie, evidenciando problemas de drenaje. Las Clases de Capacidad de Uso varían entre IIIw a Vlw.

3.8.3.3 Caracterización del suelo en el área de influencia del proyecto

3.8.3.3.1 Clasificación Taxonómica

La Cordillera de la Costa se define como una unidad independiente, con la aparición de la Depresión Central desde Santiago hacia el sur. En su borde occidental se compone principalmente de suelos que se pueden agrupar según la USDA (1999), en diferentes clases taxonómicas, las cuales dependen de una distribución paisajística y parámetros de formación. Según la clasificación entregada por el Estudio Agrológico de la Región VII (CIREN, 1997) y VIII (CIREN, 1999), dentro del área de influencia, se identificaron trece (13) series de suelo: Linares, Putagán, La Obra, San Rafael, Villaseca, Miraflores, Diguillin, Tiuquilemu, Lo Salas, Quilmen, Quella, Ninquihue y Macal Poniente, cuyas capacidades de uso van de clase II, III y IV sub-clase w, principalmente por drenaje; IV y VI, sub-clase s, por suelo; y otras unidades como cajas de río y esteros, y suelos misceláneos en quebradas con clase de uso VII; y otras zonas de no suelo pertenecientes a sitios urbanos/industriales e intervenidos.

De acuerdo con CIREN VII Región (1997) y VIII (1999), las series representativas, en términos generales, las describen como

- **Linares (LNS):** la Serie Linares es un miembro de la Familia franca gruesa, mixta, térmica de los Typic Xerorthents (Entisol). Suelo sedimentario, de origen aluvial, en posición de abanico aluvial reciente y en las márgenes de los ríos y esteros. Suelo delgado sobre un substrato aluvial constituido por gravas y piedras de composición mixta con matriz de textura arenosa. De color pardo grisáceo muy oscuro y de textura franco arenosa fina en superficie y de color pardo oscuro, de textura areno francosa en profundidad. Suelo de topografía plana a casi plana, de drenaje excesivo, de permeabilidad muy rápida y escurrimiento superficial lento a muy lento. Ligera pedregosidad superficial.

- **Putagán (PUT)**: La Serie Putagán es un miembro de la Familia franca gruesa sobre arenosa esqueletal, mixta, térmica de los Typic Xerochrept (Inceptisol). Suelo sedimentario de origen aluvial, en posición de terraza o abanico aluviales, de profundidad ligeramente profundo. De textura franco arenosa muy fina y color pardo oscuro en superficie y de textura franco arenosa, de color pardo oscuro a pardo amarillento oscuro en profundidad, descansando sobre un substrato aluvial constituido por piedras y gravas de hasta 25 cm de diámetro que ocupan hasta el 85% del volumen del suelo con matriz arenosa. Suelo de topografía plana, bien drenado, de permeabilidad moderada y escurrimiento superficial lento.

- **La Obra (LOB)**: La Serie La Obra es un miembro de la Familia limosa fina, mixta, térmica de los Aquultic Haploxeralfs (Alfisol). Suelo sedimentario, en posición de terraza remanente, ligeramente profundo. De textura superficial franco arcillosa y color pardo oscuro, de textura franco arcillosa con piedras y de color pardo a pardo oscuro en profundidad. Suelo de topografía plana, de drenaje imperfecto, permeabilidad moderadamente lenta y escurrimiento superficial muy lento. Desde los 38 a 40 cm de profundidad presenta piedras redondeadas que ocupan un 20% del volumen del suelo.

- **San Rafael (SRF):** La Serie San Rafael es un miembro de Familia franca fina, mixta, térmica de los Aquic Durixerolls (Mollisol). Suelo sedimentario en posición de terraza remanente intermedia, descansando sobre toba volcánica que constituye una arenisca. De textura franco arcillosa, de color pardo rojizo oscuro en superficie; de color vario, dominante rojo amarillento, de textura franco arcillosa en profundidad; desde los 55 cm de profundidad presenta moteados abundantes y concreciones de hierro y manganeso de color negro, abundantes; el substrato está constituido por una toba fuertemente cementada por sílice y hierro principalmente, que es impermeable al paso de agua. El desarrollo radicular se observa hasta los 55 cm de profundidad. Suelo de topografía casi plana, de drenaje imperfecto, permeabilidad lenta y escurrimiento superficial lento. El nivel freático se presenta entre los 50 y 70 cm de profundidad.

- **Villaseca (VIC)**: La Serie Villaseca es un miembro de la Familia fina, mixta, térmica, delgada de los Mollic Endoaquepts (Inceptisol). Suelo sedimentario de origen lacustrino. De textura franco arcillosa y color gris oscuro en superficie y de textura arcilla densa y color pardo pálido en profundidad. Suelo de topografía plana, delgado, de drenaje pobre (el nivel freático fluctúa entre 20 y 40 cm de profundidad), de permeabilidad muy lenta y escurrimiento superficial muy lento. El substrato está constituido por toba volcánica.

- **Miraflores (MRF):** La Serie Miraflores es un miembro de la Familia franca gruesa, mixta, térmica de los Mollic Endoaquents (Entisol). Suelo sedimentario, de origen aluvial, en posición de terraza aluvial, el nivel freático se presenta a los 30 cm de profundidad. De textura franco arenosa muy fina y color gris oscuro en superficie; de textura franco limosa y color pardo grisáceo a pardo grisáceo oscuro en profundidad. Suelo cuya profundidad efectiva varía entre 5 y 40 cm, plano, de drenaje pobre, permeabilidad lenta y escurrimiento superficial muy lento.

- **Dieguillin (DIG)**: La Serie Diguillín es de Familia medial, térmica, de los Humic Haploxerands (Andisol). Suelo sedimentario de origen volcánico (cenizas volcánicas), en posición de terraza remanente, profundo. De textura franco limosa y color negro en superficie y de textura franco arcillo limosa; de color pardo fuerte en profundidad. Suelo de topografía plana, bien drenado, de permeabilidad moderada y escurrimiento superficial lento; no presenta nivel freático dentro de los 120 cm de profundidad.

- **Tiuquilemu (TQL)**: La Serie Tiuquilemu es un miembro de Familia franca, fina, mixta, térmica de los Dystric Fluventic Xerochrepts (Inceptisol). Suelo profundo y desarrollado sobre la unidad geomorfológica denominada Abanico de San Carlos y ocupa una posición baja, plana a casi plana. Presenta textura franco arcillosa de colores pardo rojizo oscuro en el matiz 5YR en la superficie y texturas franco arcillosas a francas de colores pardo rojizo oscuro y gris rojizo en el matiz 5YR en profundidad. Descansa sobre un substrato constituido por arenisca de dureza y espesor variable. Sobre la arenisca puede presentarse un pan silícico de 1a 2 mm de espesor. Suelo de permeabilidad moderada y de drenaje imperfecto.

- **Lo Salas (LOS)**: La Serie Lo Salas es un miembro de la Familia limosa fina, mixta, térmica de los Typic Argixerolls (Mollisol). Suelo sedimentario, profundo; de textura franca de color pardo oscuro en el matiz 7.5YR en la superficie y texturas franco arcillosas de color pardo oscuro en los matices 7.5YR y 10YR en profundidad. Suelo de topografía plana, de

permeabilidad moderada, bien estructurado y de buen drenaje. Presenta cristales de mica en todo el perfil y cuarzo abundante en profundidad.

- **Quilmén (QUM)**: La Serie Quilmén es un miembro de la Familia fina, mixta, térmica de los Typic Xerochrepts (Inceptisol). Son suelos con algunas características vérticas y por ello no muestran diferencias en los pedones por efecto del movimiento rotativo de las arcillas que son del tipo montmorillonítico; aparentemente estos suelos derivan de tobas volcánicas depositadas en condiciones de aguas tranquilas, posiblemente lacustrinas. Son suelos profundos, arcillosos, no estructurados (macizos), de permeabilidad lenta y drenaje imperfecto a moderado, generalmente no presentan nivel freático desde principios de primavera hasta bien entrado el otoño. Se presentan en una topografía plana con pendientes dominantes de 0 a 2%.

- **Quella (QLA)**: La Serie Quella es un miembro de la Familia fina, smectítica, térmica de los Aquic Durixerert (Vertisol). Suelo en posición baja de plano depositacional (lacustrino); de textura superficial franco arcillosa y color pardo grisáceo muy oscuro; de textura arcillosa (arcilla densa) y color gris oscuro en profundidad. Presenta estructura prismática gruesa. Suelo de topografía plana, de permeabilidad lenta, drenaje imperfecto y escurrimiento superficial muy lento. Substrato de toba volcánica.

- **Ninquihue (NIN)**: los Ultic Haploxerolls (Mollisol). Son suelos desarrollados sobre la unidad geomorfológica denominada Abanico de San Carlos, ocupando la parte central y ligeramente convexa de ella; son suelos moderadamente profundos, de drenaje moderado, de colores pardo rojizo oscuro en matiz 5YR, texturas medias y subsuelos que son característicos de la familia: gris oscuro, de textura franca a franco arcillosa, macizas, densos, que restringen considerablemente el crecimiento radicular, presentan concreciones finas en cantidad variable y manchas de color oscuro correspondientes a materiales volcánicos parcialmente meteorizados.

  Estos materiales volcánicos distribuidos consistentemente en los pedones, están constituidos por fragmentos de pómez del tamaño de gravas medias y son fácilmente reconocibles cuando los suelos están secos y muy difícilmente identificables cuando están húmedos, porque los colores tienden a confundirse con los materiales que los rodean, sólo las texturas son generalmente más livianas que el material exterior; estos materiales primitivos tienen escaso peso en volumen y son un rasgo característico de los suelos de la Serie. El suelo descansa sobre un substrato de gravas y piedras frescas y descompuestas con matriz franco arcillosa; en sectores, tobas del tamaño de arenas medias o finas, muy duras, reemplazan a las gravas y piedras. La permeabilidad es moderada y el escurrimiento superficial es moderado.

- **Macal Poniente (MCP)**: La Serie Macal Poniente es un miembro de la Familia franca gruesa, mixta, térmica de los Mollic Xerofluvents (Inceptisol). Son suelos formados sobre sedimentos aluviales recientes que han recibido considerables aportes de cenizas volcánicas recientes y que se presentan ocupando las terrazas aluviales más bajas del río Ñuble en el sector de San Fabián. Son suelos profundos, bien drenados, de color pardo oscuro que en la parte baja del subsuelo toman coloraciones pardo grisáceo muy oscuro a gris muy oscuro, las primeras en matices 7.5YR y las segundas en matices 10YR; texturas medias en la superficie, moderadamente gruesas desde los 25 cm y gruesas por debajo del metro; débilmente estructuradas en la superficie y de grano simple en profundidad, consistencia friable o muy friable y alta porosidad asociada a un buen arraigamiento desde la superficie a la parte media del pedón, raíces escasas por debajo del metro. Estos suelos ocurren en una topografía plana o casi plana, presentan una permeabilidad rápida y un escurrimiento superficial lento.

- **Misceláneo quebrada (MQ):** Corresponde a terrenos de pendientes abruptas cubiertos con vegetación nativa y/o pinos, por donde escurren las aguas lluvias de las partes altas. Se clasifica en:

- **Misceláneo estero (ME):** Corresponde a terrenos existentes en el cauce y bordes de cursos menores de agua, muy delgados, de topografía irregular, de drenaje pobre y sometido a inundaciones ocasionales.

- **Misceláneo suelo (MS):** Corresponde a terrenos de texturas franco arenosa a areno francosa, muy delgados, planos y con microrelieve moderado y de drenaje excesivo.

- **Misceláneo río (MR):** Corresponde a los sectores cubiertos por el río o el cauce que cubre en sus crecidas y que no tiene ningún uso. Presentan matriz arenosa, que se ubican en las terrazas bajas y recientes de los ríos del área de estudio y en parte cubiertos de vegetación rala de pastos y arbustos.

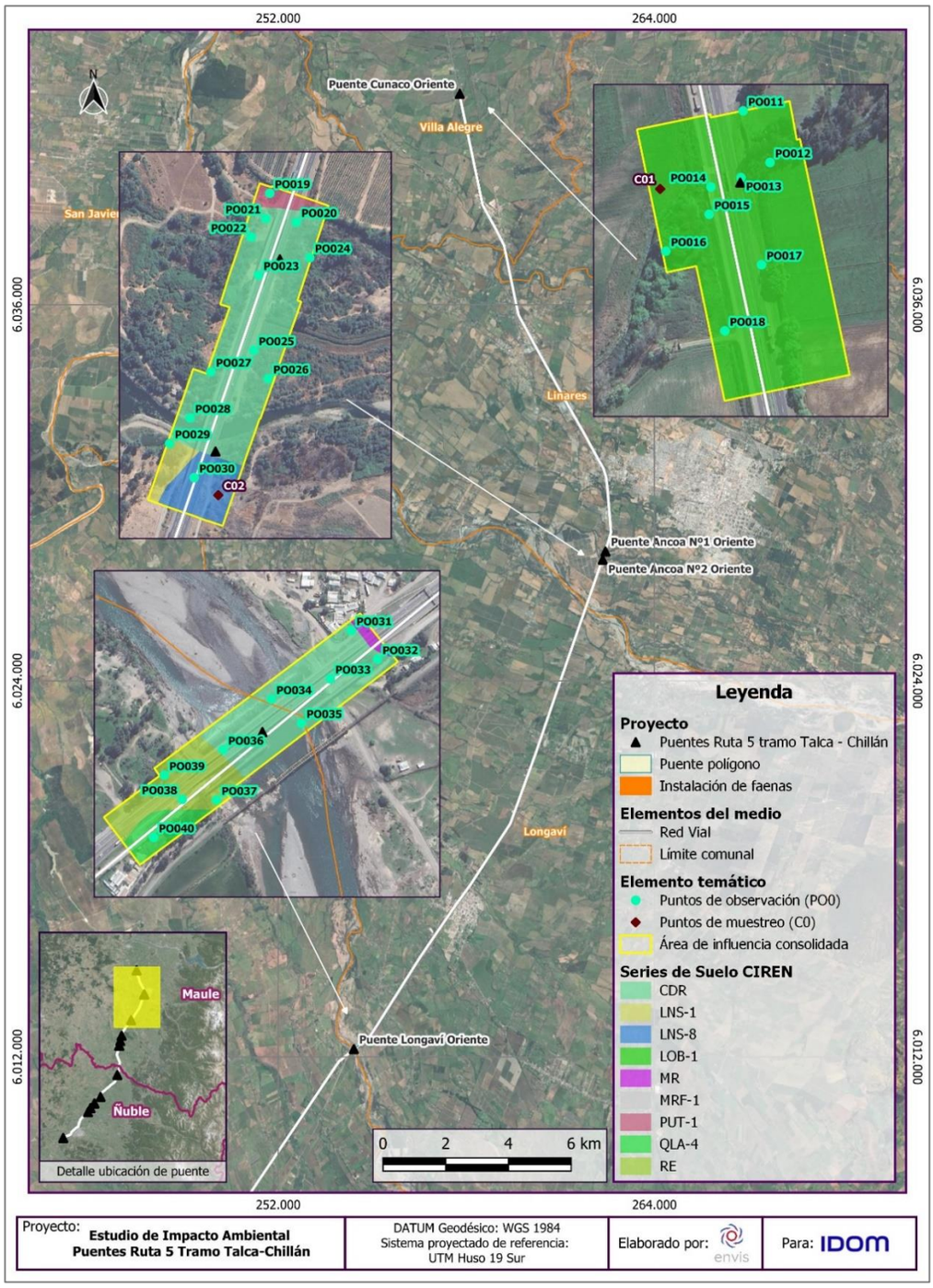
- **Urbano (UR):** Corresponde a terrenos urbanizados, fuertemente intervenidos**.**

- **Relleno (RE):** Corresponde a terrenos con depositación de matrices de diferentes orígenes y granulometrías.

- **Caja de río (CDR):** Corresponden a terreno pedregosos, que se ubican en los ríos recientes.

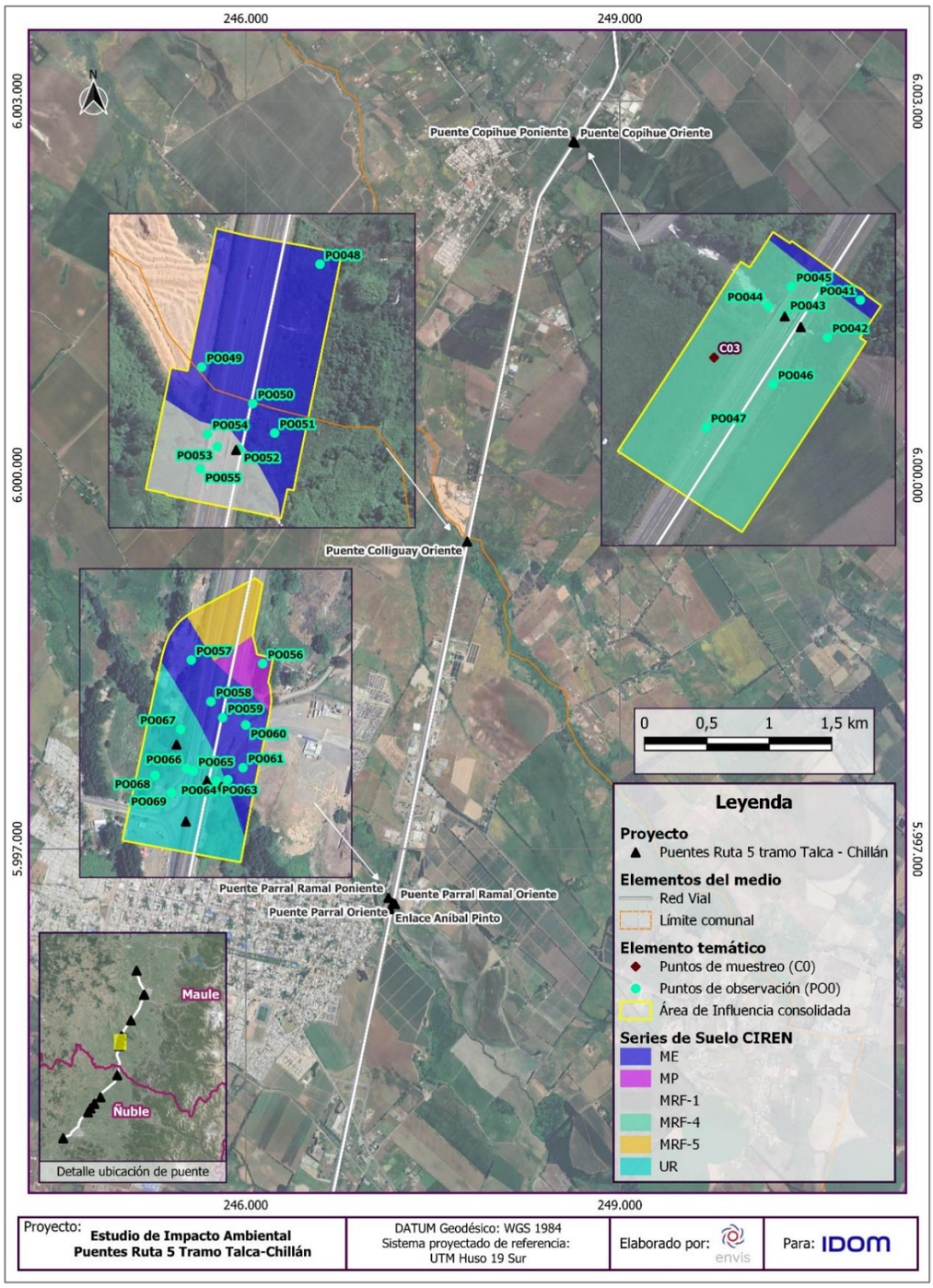
A continuación, en las siguientes figuras se muestran las series de suelo identificadas el área de influencia del componente suelo, separada por tramos a lo largo del Proyecto.

Figura 3- 105: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



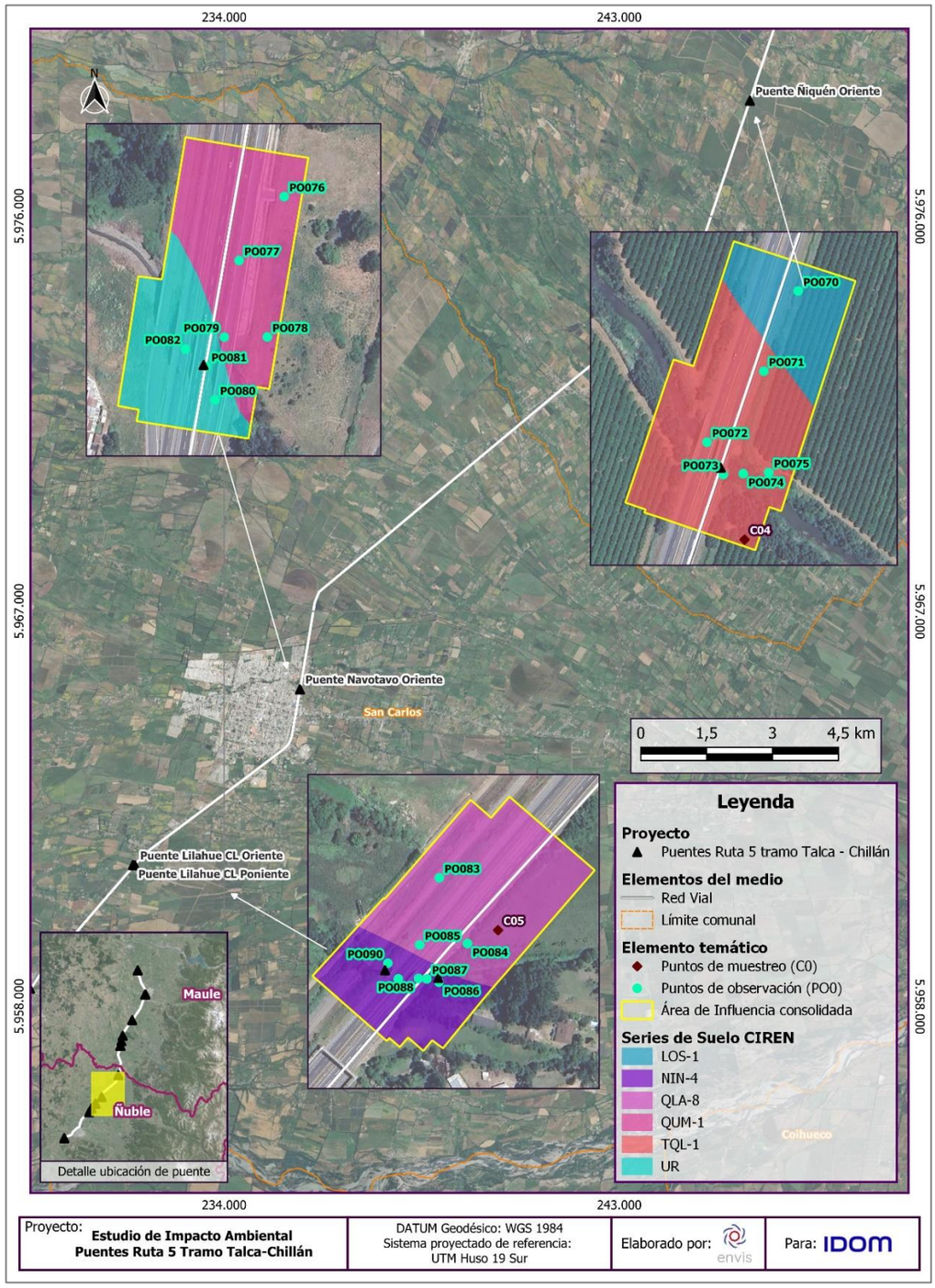
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 106: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

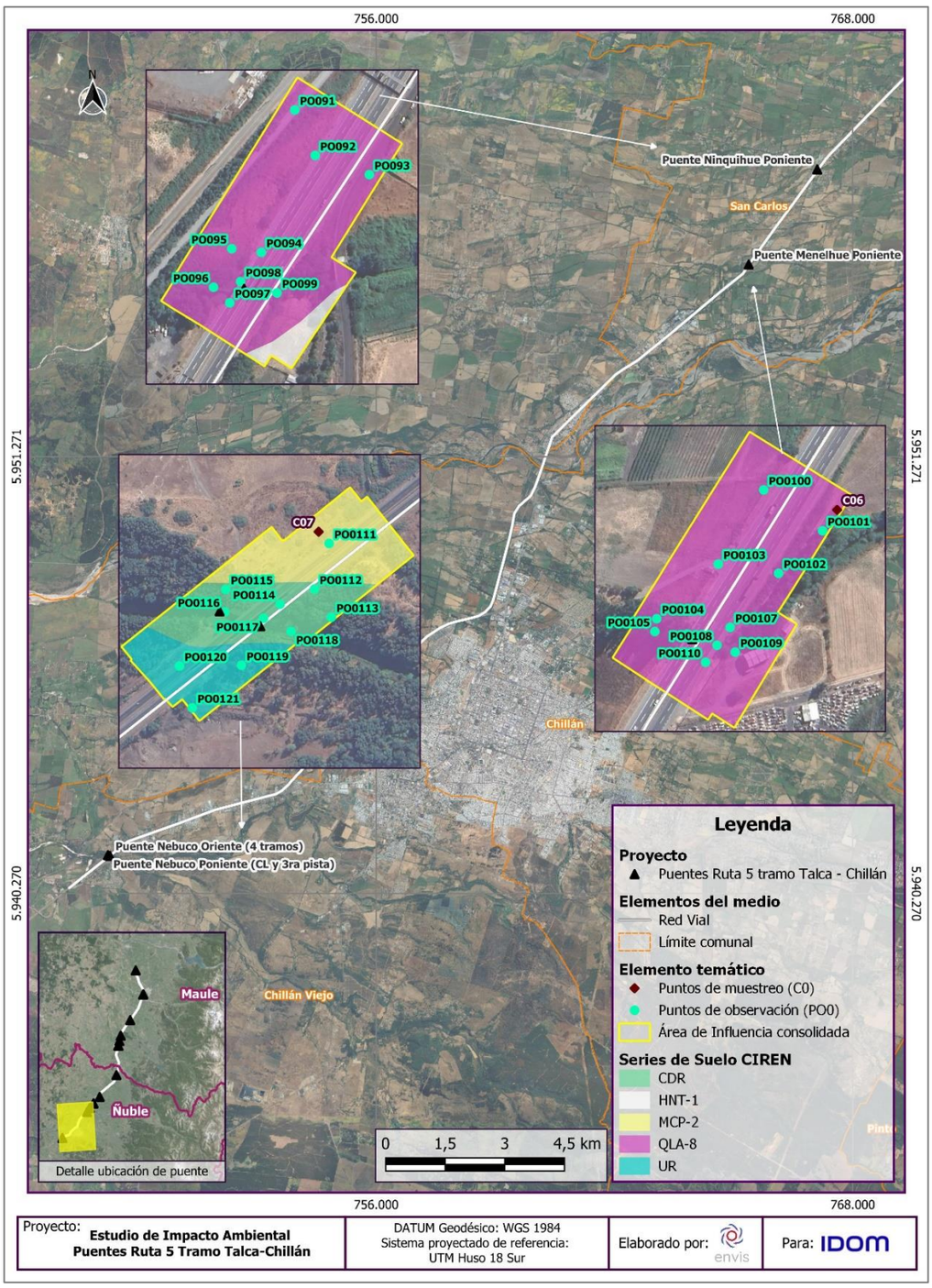
Figura 3- 107: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

.

Figura 3- 108: Series de suelo identificadas para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y al Puente Nebuco Poniente tercera pista y Calle Local (411.070- 411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.3.3.2 Caracterización Físico-morfológico del Suelo

A partir del levantamiento de información de terreno, se encontró que el 100% de la superficie donde se posicionarán las obras temporales y permanentes se encuentra fuertemente intervenida, siendo un sitio considerado como no suelo debido a la presencia de obras ya existentes, tales como caminos de servidumbre y puentes, asentamiento urbano e industriales y otras condiciones naturales como cajas de río y esteros. Debido a la ausencia de suelo natural no intervenido, no fue posible caracterizarlo a través de puntos de muestreo (calicatas) por lo que se realizaron ciento once (111) puntos de observación de suelo (PO0) en total, distribuidos

en el tramo analizado y solo pudo ser posible describir siete (7) puntos de muestreo (calicatas - C0) en el entorno de las obras, dentro del área de influencia del Proyecto.

La caracterización del suelo, toda vez que hubo hallazgo, fue desarrollada dentro del entorno de cada obra, inserta en el área de influencia de suelo. De este modo, la descripción del pedón representativo consideró la medición de las propiedades físicas y morfológicas, tales como: color, textura, estructura de los agregados, consistencia, profundidad, poros, pedregosidad subsuperficial y morfología de límite (USDA, 1999). Además, se describió el contexto ambiental en el cual se inserta el pedón, evaluando aspectos tales como pendiente, exposición, clase de drenaje, pedregosidad superficial, cobertura vegetal y presencia de rasgos erosivos (SAG, 2011, rectificada 2016).

De cada calicata se extrajeron muestras compuestas de suelo de 1,5 kg aproximadamente (de horizontes superficiales y subsuperficiales), para ser analizadas en un laboratorio acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo y por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), correspondiente al Laboratorio de INIA la Platina. El procedimiento para la manipulación de muestras consideró su almacenamiento en bolsas de polietileno, apropiadamente selladas y rotuladas.

La caracterización físico-morfológica del suelo, obtenida a partir de las calicatas efectuadas, junto a la caracterización general de los puntos de observación del entorno- paisaje, se entrega en el Anexo 3-5 Suelo.

3.8.3.3.3 Caracterización Físico – química del Suelo

A partir de los resultados de Laboratorio para los análisis físico-químico de muestras de suelo obtenidas de los puntos muestreo y el entorno inmediato a ellos, muestras compuestas superficiales y subsuperficiales según horizonte. El informe de laboratorio presentando por Laboratorio INIA La Platina, se observa en el Anexo 3-5 Suelo.

De acuerdo con la analítica se obtuvo que:

Propiedades químicas

- pH: En el área de influencia se encontraron suelos cuyo pH corresponde a moderadamente ácido, en 6,0 la calicata C06, un pH ligeramente ácido para los puntos C01, C02, C04. C05 y C07, con valores de 6,2 a 6,5, y por último un pH neutro, correspondiente a C03. De acuerdo con las referencias interpretativas de la tabla siguiente, se observa que la disponibilidad de los elementos en el suelo depende del pH, considerando lo expuesto, los suelos se presentan adecuados para la producción de cultivo, en cuanto al pH se refiere, ya que la mayor disponibilidad de nutrientes ocurre entre pH 5,6 a 7,3, diferenciándose entre ellos, en que a medida que aumenta el pH, mayor será el contenido de carbonatos.

- Los carbonatos por su parte de evaluaron in situ con la prueba de efervescencia, utilizando ácido clorhídrico (HCl) al 33,3%; encontrándose que en todas las muestras no hubo reacción a los carbonatos utilizando HCl.

Tabla 3- 124: pH del suelo y efectos esperables en las plantas

Rango de pH (H_2O 1:2,5)	Término descriptivo	Efectos esperables
<3,5	Ultra ácido	Condiciones muy desfavorables. Toxicidad de Al.
3,6 – 4,4	Extremadamente ácido	Posible toxicidad por Al^{3+} y Mn.
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al^{3+} y Mn.
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato de Calcio. Actividad bacteriana escasa.

Rango de pH (H_2O 1:2,5)	Término descriptivo	Efectos esperables
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido	Adecuado para la mayoría de los cultivos.
6,1 – 6,5	Débilmente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,6 – 7,3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos. Bajo pH 7,0 no hay carbonato de calcio
7,4 – 7,8	Débilmente alcalino	Suelos generalmente con $CaCO_3$
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino	Disminuye la disponibilidad de P y B. Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Clorosis férrica
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino	En suelos no sódicos, pueden haber MgCO3. Mayores problemas de clorosis férrica. Toxicidad de B.
>9,0	Muy Fuertemente alcalino	Presencia de carbonato de sodio. Suelo sódico. Toxicidad: Na, B. Movilidad del P como Na3PO4. Actividad microbiana escasa. Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo. Condiciones muy desfavorables.

Fuente : Havlin *et al*., 2017; Brady y Weil 2002; Schoeneberger *et a*l. (2012).

- Materia orgánica – MO (%): La materia orgánica del suelo representa, entre otras cosas, las reservas de nutrientes y la fertilidad propia del suelo, entregando antecedentes sobre los contenidos orgánicos lábiles asociados al ciclo de nutrientes. Respecto de lo anterior, los contenidos de materia orgánica van de contenidos bajos (2,1 a 2,9%) en la calicata C01, C02, C04, C06 y C07, contenidos medios de 3,7% en C03, y altos de 7,7 en C05. Considerando la información interpretativa de la tabla a continuación, a menor contenido de materia orgánica, menores son las condiciones de estructuración, reserva de nutrientes y agua. Los contenidos de materia orgánica encontrados se asocian al continuo laboreo y manejo agropecuario del suelo, con baja renovación de nutrientes. Los suelos con niveles medios se presentan fértiles, no siendo los óptimos para la producción de cultivos, y los suelos con los altos contenidos, presentan mejores propiedades de suelo, propician desde un mayor establecimiento de raíces a la obtención de mayores rendimientos de cultivo.

Tabla 3- 125: Rangos y categorías de contenido de materia orgánica de suelos

Materia Orgánica (%)	Categoría	Observaciones
<1,5	Muy bajo	Muy bajo contenido de N total, y muy pobre condición física y biológica del suelo.
1,6 – 3,0	Bajo	Bajo contenido de N total, y pobre condición física y biológica del suelo.
3,1 – 4,5	Medio	Contenido medio de N total, mejor condición física y biológica del suelo sin ser óptima.
4,6 – 8,0	Alto	Contenido moderadamente alto de N total, buena condición física y biológica del suelo, buen arraigamiento de raíces.
>8,1	Muy Alto	Alto contenido de N total, buena condición física del suelo, estructurado, de buena aireación e infiltración y muy buen arraigamiento de raíces.

Fuente: Adaptada de Sierra (2003).

- Conductividad eléctrica: Representa las sales disueltas en la solución suelo, y que se relaciona directamente con la competencia con nutrientes necesario para las plantas. Los resultados indican que todas las muestras presentan condiciones no salinas, con valores 0,14 a 0,75 dS m-1, de acuerdo con los criterios expuestos a continuación:

Tabla 3- 126: Clases de Salinidad.

Salinidad (dS m^{-1})	Clasificación
0 <2	No salino
2 a <4	Ligeramente Salino
4 a <8	Moderadamente Salino
8 a <12	Muy Salino
12 o más	Extremadamente Salino

Fuente: SAG (2011, rectificada 2016).

Propiedades físicas

- Textura: Las muestras superficiales presentaron clases texturales de gruesa (areno francosa) a moderadamente fina (franco arcilloso) en superficie. Cabe destacar que las calicatas C02, C03 y C07, presentaron clases texturas moderadamente gruesas, y las calicatas C01, C04, C05 y C06, presentaron clases texturales de media a moderadamente finas.

- Densidad aparente: corresponde a la densidad del sistema trifásico, indicando la razón entre la masa de las partículas (Ms) y el volumen total de suelo (Vt), incluidos los espacios porosos entre las partículas (Sandoval et al., 2011). Con relación a la medición en suelo, y de acuerdo con los informado por Sandoval et al., (2011), los suelos presentaron valores entre 1,22 a 1,55 (Mg m-3), estos valores pueden variar de acuerdo con lo manejos implicados en cada condición; es de esperar que a medida que aumenten los niveles de arcilla en suelo, mayores serán los valores de densidad aparente en el suelo, considerando el método del terrón (ver tabla).

Tabla 3- 127: Densidad aparente por el método del terrón en diferentes clases texturales.

Clase textural	Da terrón (Mg m^{-3})
Franco arenoso	1,5
Franco	1,39
Franco arcillo arenoso	1,51
Franco arcilloso	1,87
Arcilloso	1,8
Andisol (franco limoso)	0,75

Fuente: Sandoval *et al*., 2011.

- Agua aprovechable en cm de columna de agua (c.a.), corresponde al reservorio de agua en el suelo y que está disponible para las plantas; se obtiene a partir de los resultados de capacidad de campo (CDC) y punto de marchitez permanente (PMP). Al respecto, y de acuerdo con la Clase de agua aprovechable (ver tabla siguiente), en la calicata C05 se obtuvo una clase muy buena (H1), con un valor de 25,02 cm c.a.; para las calicatas C01, C03, C04 y C06, una condición buena (H2), cuyos valores están entre 12,28 a 16,31 cm c.a., y finalmente, en C02 y C07 se obtuvo una condición pobre (H4), cuyo valor es de 7,17 a 8,98 cm c.a.

Tabla 3- 128: Clases de agua aprovechable.

Símbolo	Condición	Descripción
H1	Muy Buena	18 cm c.a. o más
H2	Buena	de 12 a <18 cm c.a.
H3	Regular	de 9,5 a <12 cm c.a.
H4	Pobre	de 5 a <9,5 cm c.a.
H5	Muy Pobre	menos de 5 cm c.a.

Fuente: SAG (2011, rectificada 2016).

3.8.3.3.4 Clasificación de Unidades Homogéneas de Suelo (UHS)

En base al levantamiento de información de terreno, se validó información sobre unidades homogéneas de suelo (UHS), reconociendo 5 unidades principales: UHS 1 – Zona Intervenida, UHS 2 – Zona Urbana/ Industrial, UHS 3 – Caja de Río/Curso de Agua, UHS 4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral y UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola (ver tabla siguiente).

Tabla 3- 129: UHS del AI consolidada del proyecto.

UHS	Superficie (Ha)	% de AI del proyecto
UHS 1 – Zona Intervenida	18,07	53,83
UHS 2 – Zona Urbana/Industrial	2,33	6,94
UHS 3 – Caja de Río/ Curso de Agua	3,34	9,94
UHS 4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral	5,45	16,22
UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola	4,39	13,07
Total	**33,58**	**100,00**

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, se describe cada una de las UHS identificadas:

- **UHS 1 – Zona Intervenida:** Corresponde a superficie fuertemente intervenida por la construcción actual de puentes, o sitios con suelo removido para la generación de caminos de servidumbre o sitios con depósito de material colindante a la zona de puentes, con pendiente simple, menos de 3%). Presenta vegetación alóctona asilvestrada, herbazal ruderal, ribereña y pradera de la estación (ver Fotografía siguiente). Los puntos de observación de suelo representativos corresponden a: PO013, PO014, PO017, PO018, PO020, PO023, PO025, PO030, PO032, PO033, PO036, PO038, PO039, PO043, PO045, PO046, PO047, PO050, PO053, PO054, PO055, PO057, PO058, PO059, PO063, PO064, PO065, PO066, PO069, PO070, PO071, PO072, PO073, PO077, PO078, PO079, PO080, PO081, PO082 PO083, PO084, PO085, PO087, PO088, PO089, , PO090, PO091, PO092, PO093, PO094, PO095, PO096, PO097, PO099, PO0100, PO0102, PO0106, PO0107, PO0108, PO0110, PO0111, PO0112, PO0114, PO0117, PO0120 y PO0121. La Clasificación de Capacidad de Uso de Suelo (CUS) no aplica (n.a.) para estos puntos de observación de suelo, por tratarse de sitios fuertemente intervenidos, carentes de suelo natural. La superficie total corresponde a 18,07 Ha equivalente al 53,83% del AI consolidada de suelo.

Fotografía 8: Fotografías de la unidad: UH1 – Zona Intervenida.



Fuente: ENVIS, 2023.

- **UHS 2 – Zona Urbana/Industrial:** Comprende sitios fuertemente intervenidos con establecimiento con viviendas y/o industrias, o que corresponden a sitios con depósitos de materiales, caminos urbanos, estacionamientos y/o línea de ferrocarril. Con pendiente simple, menos 5%. Presentan vegetación silvestre y/o especies introducidas (ver Fotografía siguiente). Los puntos de observación de suelo representativos corresponden a: PO011, PO031, PO037, PO040, PO049, PO056, PO060, PO061, PO067, PO068, PO076 y PO0103. La clasificación de Capacidad de Uso de Suelo (CUS) no aplica para estos puntos, por deberse a un sitio altamente intervenidos, carente de suelo natural. La superficie total corresponde a 2,33 Ha equivalente al 6,94% del AI consolidada de suelo.

Fotografía 9: Fotografías de la unidad: UH2 – Zona Urbana/ Industrial.



Fuente: ENVIS, 2023.

- **UHS 3 – Caja de Río/ Curso de Agua:** Comprende la zona de río o estero donde puedo o no existir un curso de agua activo, con pendiente simple, menores <3%, presenta presencia de piedras (>50%), grava gruesa (>40%) y en matriz de texturas gruesas (arenosas). Presenta vegetación alóctona asilvestrada y ribereña (ver Fotografía siguiente). Los puntos de observación de suelo representativos corresponden a: PO012, PO015, PO016, PO019, PO021, PO022, PO024, PO028, PO034, PO035, PO044, PO052, PO74, PO086, PO098, PO0105, PO0116 y PO0118. Para estos puntos no aplica (n.a.) la Clasificación de Uso de Suelo (CUS) por deberse a una condición de no suelo. La superficie total corresponde a 3,34 Ha equivalente al 9,94% del AI consolidada de suelo.

Fotografía 10: Fotografías de la unidad: UH3 – Caja de Río/ Curso de Agua.



Fuente: ENVIS, 2023.

- **UHS 4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral:** Unidad de suelo con diversas pendientes, que pueden variar de ligeramente inclinado (>1) a ligeramente escarpado (15 a <30%), encontrándose algunos puntos con pendientes escarpadas (45 a <60%) dependiendo de la cercanía al estero, cuyos suelos pueden estar en bordes de río o en posición de quebradas. La vegetación está compuesta de especies alóctona asilvestrada y manchones nativos, formando bosques o renovales, la cobertura vegetal mayor al 50%Existen otras composiciones vegetacionales de matorrales, con coberturas mayores al 60%. De textura superficial de muy fina (A, Aa, FA, FAa), media (FL, F). Con pedregosidad superficial de moderada a sin pedregosidad (ver fotografías a continuación). Los puntos representativos corresponden a: PO026, PO027, PO041, PO042, PO048, PO051, PO062, PO075, PO0101, PO0104, PO0109, PO0113 y PO0115. Debido a la fragilidad del sistema, por causa de la pendiente y por posible escorrentía superficial generada por desbordes de cauces o río, donde las especies vegetales conforman un sistema de protección a dichos procesos erosivos. Por lo anterior, la zona corresponde una unidad de conservación de suelo. La Clase de Capacidad de Uso del Suelo (CCUS), fue determinada. La Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CUS) se determinó en función de los criterios de aproximación establecidos en la Pauta para Estudios de Suelo (SAG, 2011, rectificada 2016). La superficie total corresponde a 5,45 Ha equivalente al 16,22% del AI consolidada de suelo.

Fotografía 11: Fotografías de la unidad: UH4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral.



Fuente: ENVIS, 2023.

- **UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola:** Suelo con pendientes simples, ligeramente inclinado (1 a <3) a suavemente inclinado (3 a <5%). Con vegetación de pradera anuales, rastrojos de cultivos anuales (trigo y avena) o cultivos de exportación frutícola (avellano europeo). La profundidad es de ligera (40 a 70 cm) a profunda (>90 cm). Erosión de no aparente a moderada (visibilidad de horizonte B). Textura superficial de muy fina (arcillosa) a moderadamente gruesa (franco arenoso). Sin pedregosidad superficial (0 a <5% piedras y 0 a <10% de grava gruesa) y con pedregosidad subsuperficial de moderada (15 a <35%) a sin pedregosidad (<5%); el drenaje va desde pobre a bien drenado (W2 a W5) (ver Fotografía siguiente). Los puntos de muestreo representativos corresponden a las calicatas: C01, C02, C03, C04, C05, C06, C07, PO029 y PO0119. La Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CUS) se determinó en función de los criterios establecidos en la Pauta para Estudios de Suelo (SAG, 2011, rectificada 2016). La superficie total corresponde a 4,39 Ha equivalente al 13,07% del AI consolidada de suelo.

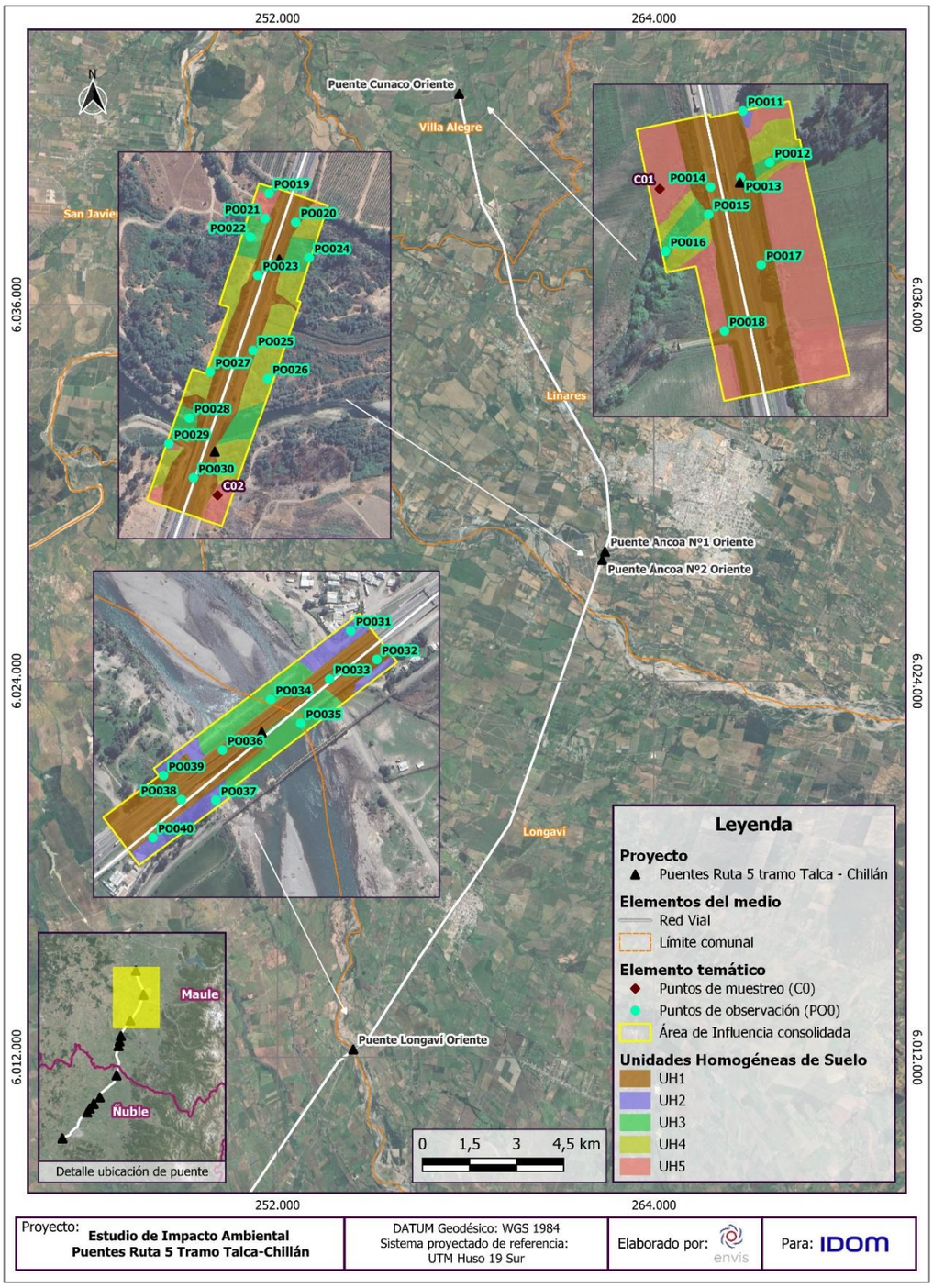
Fotografía 12: Fotografías de la unidad: UH5 – Terraza Aluvial/ Agrícola.



Fuente: ENVIS, 2023.

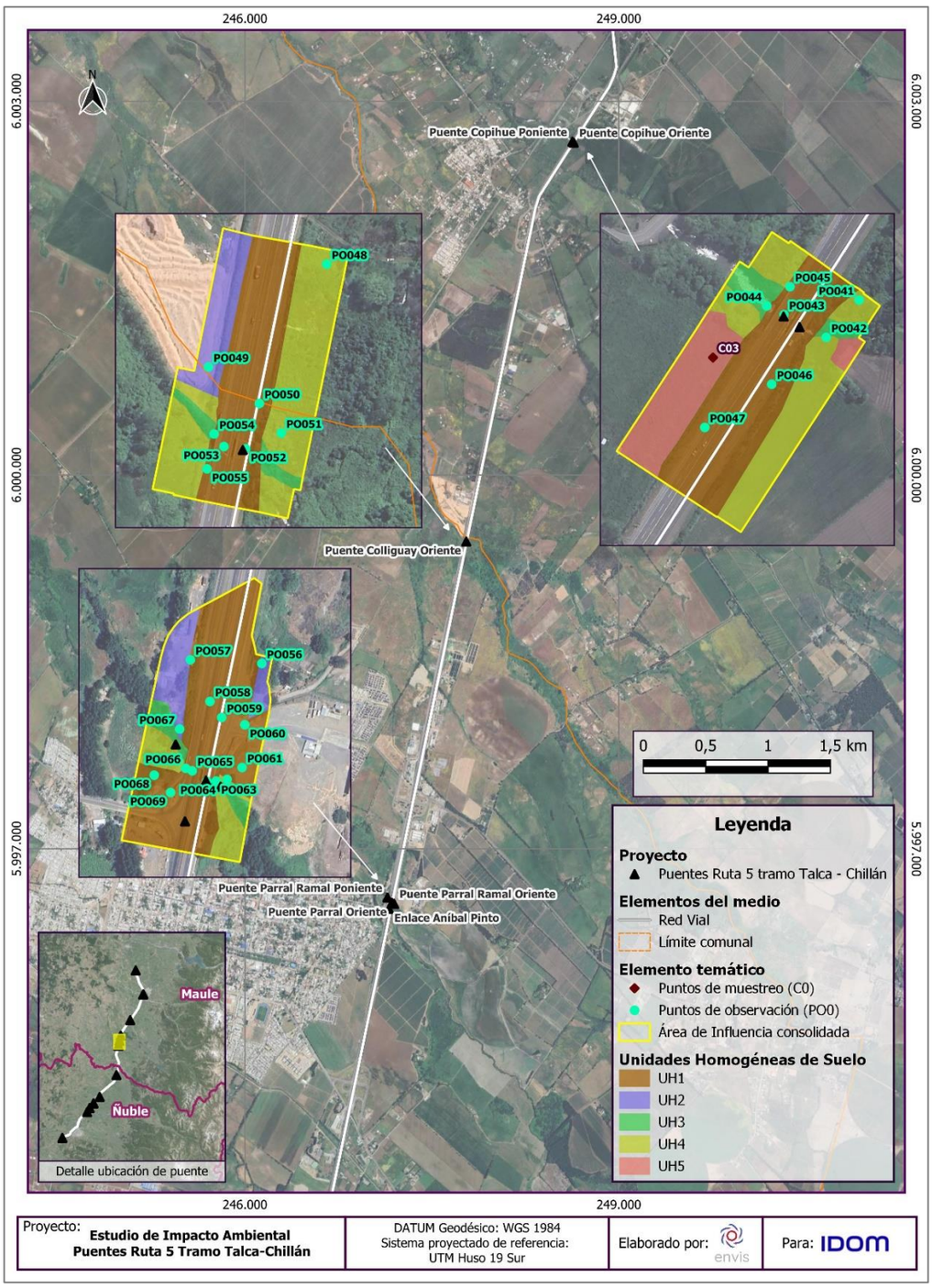
A continuación, en las siguientes figuras se presentan la distribución de las cinco unidades de suelo (UHS) junto con los puntos de muestreo y observación de suelo asignados en cada unidad. Las unidades son: UHS 1 – Zona Intervenida, UHS 2 – Zona Urbana/Industrial, UHS 3 – Caja de Río/ Curso de agua, UHS 4 – Misceláneo / Bosque-Matorral y UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola.

Figura 3- 109: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



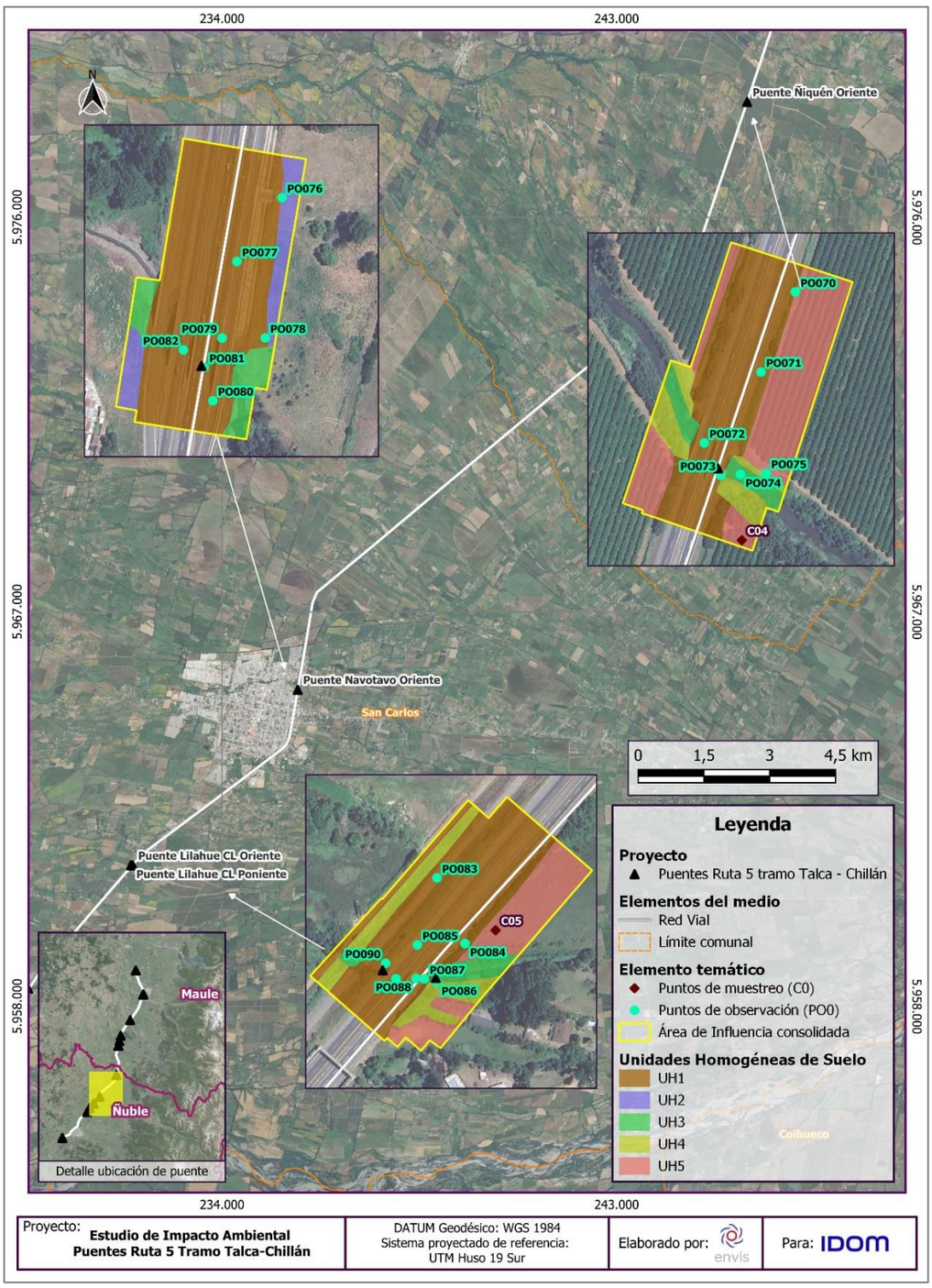
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 110: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



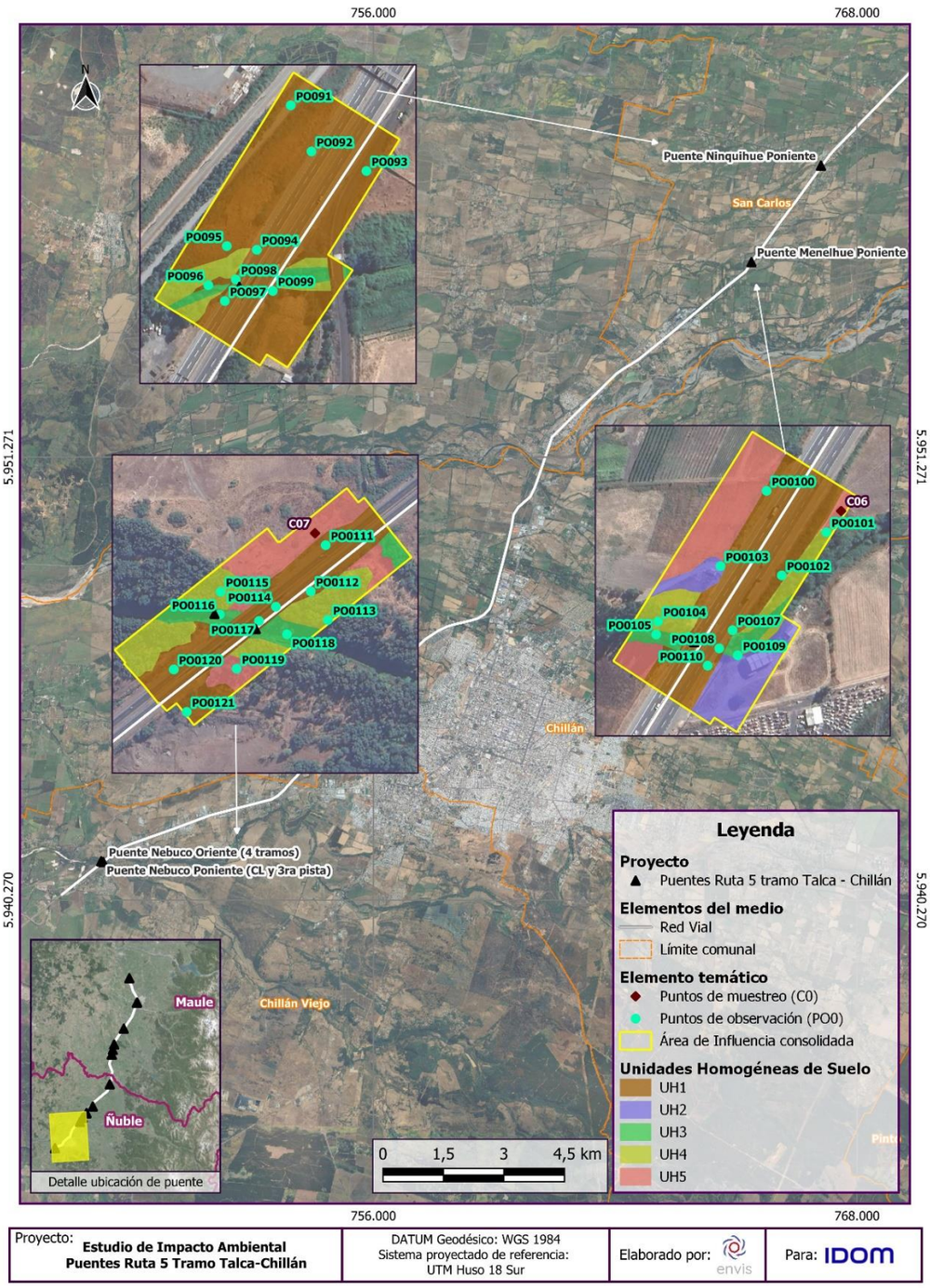
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 111: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 112: Unidades de Suelo (UHS) identificadas en el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070- 411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.3.4 Determinación de la Clase de Capacidad de Uso de los Suelos (CCUS)

Acorde a la cartas agrológicas de CIREN VII (1997) y VIII Región (1999), en el área de influencia de suelo, existen 13 series de suelo: Linares, Putagán, La Obra, San Rafael, Villa seca, Miraflores, Diguillin, Tiuquilemu, Lo Salas, Quilmén, Quella, Ninquihue y Macal Poniente, cuyas capacidades de uso van de clase II, III y IV sub-clase w, principalmente por drenaje; IV y VI, sub-clase s, por suelo; y zonas de no suelo pertenecientes a sitios urbanos/industriales, y otras unidades como cajas de río y esteros, y suelos misceláneos en quebradas con clase de uso VII.

La definición de los puntos de muestreo (calicatas) se extendió a los alrededores de las obras del Proyecto, debido a que el área donde se insertan las obras temporales y permanentes se encuentra 100% alterada por las construcciones de los actuales puentes. Los alrededores dentro del área de influencia, reflejaría las condiciones que posiblemente el suelo presentó antes de la construcción de los actuales puentes.

En los alrededores, se situaron los puntos de muestreo y puntos de observación, ya que fue posible evidenciar diferentes condiciones: suelos agrícolas, suelos en posición de bordes de río no aptos para el laboreo y suelos en posición de quebradas adyacentes a la caja de ríos. Además, de zonas de no suelo como esteros y cajas de río, y sitios urbanos, industriales e intervenidos, donde no aplica la clasificación de capacidad de uso de suelo

En base al levantamiento de terreno de los alrededores de las obras del Proyecto, se encontró porciones de suelo agrícola con clases de capacidad de uso de suelo (CCUS) II, sub-clase s, debido a que presenta un nivel de aprovechamiento de agua entre 12 a <18 cm c.a.; un CUS clase III , sub-clase w, por el drenaje imperfecto (W3) y IV subclase w, por el drenaje pobre (W2), con evidencia de rasgos redoximórficos (moteados) en superficie, suelos con CUS IV o VI, sub-clase s, debido a la pedregosidad subsuperficial abundante y corresponder a suelos excesivamente drenados debido a la textura del suelo.

De los puntos de muestreo considerados, los que presentaron mayores limitaciones corresponde a la calicata C07 con una clase de uso VI, sub-clase s, debido a condiciones de muy abundante pedregosidad subsuperficial (9), en las calicatas C02 y C03 la clase de uso es IV, sub-clase s debido a la baja retención de humedad en la primera (sub-clase 8) (C02), y la moderada pedregosidad subsuperficial en la segunda (sub-clase 9) y nivel fluctuante de napa freática (C03); en la calicata C05 en cambio, con clase IV, sub-clase w, debido a la condición de drenaje (sub-clase 4) y presencia de nivel freático fluctuante (sub-clase 14) pobre evidenciado por la presencia de rasgos redoximórficos desde los 3 cm de profundidad, condición que implica suelos con problemas de aireación para las raíces, limitando el manejo agronómicos

Las mejores condiciones se dieron en las calicatas C04 y C06, presentando una clase III, sub-clase w debido al drenaje imperfecto (sub-clase 4), tras la evidencia de rasgos redoximórficos (moteados) entre los 20 a 60 cm de profundidad, y finalmente en la calicata C01, que presentó la mejor clase de capacidad de usos, correspondiente a II sub-clase s, siendo su única principal limitante el contenido de agua aprovechable (sub-clase 8) categorizada como buena lamina (cm c.a.).

Según lo visto en terreno preliminarmente, los suelos se asemejan medianamente a lo descrito por el estudio agrológico de CIREN VII y VIII Región. Existen discrepancias en cuanto a la profundidad de los rasgos redoximórficos, que evidencian mayores o menores problemas de drenaje, la profundidad efectiva y la textura de suelo.

En la siguiente tabla se presenta un resumen con los criterios utilizados para la clasificación de la capacidad de uso de suelo (CUS) en los puntos de muestreo (calicatas). Además, tal como se mencionó anteriormente, en los alrededores de las obras del Proyecto, se encontraron sitios intervenidos o condiciones de no suelo, las que fueron clasificadas como no aplica (n.a.) para la clasificación de capacidad de uso de suelo (CUS) debido a la ausencia de suelo natural. Asimismo, se encontraron suelos en posición de bordes de río o cauces y quebradas, con vegetación de bosques alóctonos asilvestrados o matorrales, los cuales debido a las condiciones edáficas y acorde a lo descrito por CIREN (1997 y 2014), presentaron una clasificación de capacidad de uso de suelos (CUS) equivalentes a una clase VI y VII, con sub-clase s y e, debido a las condiciones de suelo como pedregosidad, pendiente del sitio y nivel freático, respectivamente, de acuerdo a criterios de aproximación.

Tal como fue mencionado en la caracterización físico-morfológico del suelo (3.8.3.3.2), la descripción de los puntos de muestreo (C0) y puntos de observación de suelo (PO0) junto con sus fotografías respectivas, se aprecian en el Anexo 3-5.

Tabla 3- 130: Superficies de suelos categorizadas según su CCUS en el área de influencia del **Proyecto (Calicatas C01 a C07).**

CRITERIOS	PARÁMETROS	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07
APROXIMACIÓN	Profundidad	D5	D4	D5	D5	D5	D5	D4
	Pendiente simple	A	A	B	A	A	A	A
	Pedregosidad superficial	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
	Drenaje	W5	W6	W3	W3	W2	W3	W6
	Textura	FA, FA, A	Fa, Fa, a	Fa, F, Fa	Fl, F, Fa	Fl, F, Fl	Fl, Fl, Fl	aF, Fa, aF
DEFINICIÓN	Agua aprovechable	H2	H4	H2	H2	H1	H2	H4
	Pedregosidad subsuperficial	DP1	DP1	DP3	DP1	DP1	DP3	DP5
	Erosión	E1	E1	E1	E3	E1	E1	E1
	Viento	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1
ESPECIALES	Inundación	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1
	Salinidad	S0	S0	S0	S0	S0	S0	S0
	Sodicidad	N0	N0	N0	N0	N0	N0	N0
	Alcalinidad	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A1
OTROS	Serie DE SUELO	LOB-1	LNS-8	CDR	TQL-1	QLA-8	QLA-8	MCP-2
	CUS CIREN	III s	VI s	IV w	III w	IV s	IV s	II w
	CUS Campaña de Terreno/ Estudio	II s-8	IV s-8	IV s-9	III w-4	IV w-4	III w-4	VI s-9
	Limitantes	Suelo	Suelo	Suelo	Humedad	Humedad	Humedad	Suelo
	Unidad limitante	8	8	9	4	4	4	9
	UHS	UHS 5	UHS 5	UHS 5	UHS 5	UHS 5	UHS 5	UHS 5

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 131: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO013 al PO025.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO011	PO012	PO013	PO014	PO015	PO016	PO017	PO018	PO019	PO020	PO021	PO022	PO023	PO024	PO025
Otros	Serie de Suelo	LOB-1	LOB-1	LOB-1	LOB-1	LOB-1	LOB-1	LOB-1	LOB-1	PUT-1	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR
	CUS CIREN	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	IIIs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS2	UHS3	UHS1	UHS1	UHS1	UHS3	UHS1	UHS1	UHS3	UHS1	UHS3	UHS3	UHS1	UHS3	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 132: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO026 al PO037.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO026	PO027	PO028	PO029	PO030	PO031	PO032	PO033	PO034	PO035	PO036	PO037
Otros	Serie de Suelo	CDR	CDR	CDR	LIN-1	LIN-8	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	RE
	CUS CIREN	n.a.	n.a.	n.a.	IVs	VIs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	CUS Estudio	VIIs	VIIs	n.a.	Vw	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS1	UHS1	UHS3	UHS1	UHS1	UHS2	UHS1	UHS1	UHS3	UHS3	UHS1	UHS2

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 133: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO038 al PO048.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO038	PO039	PO040	PO041	PO042	PO043	PO044	PO045	PO046	PO047	PO048
Otros	Serie de Suelo	RE	RE	QLA-4	ME	MRF-4	MRF-4	MRF-4	MRF-4	MRF-4	MRF-4	ME
	CUS CIREN	n.a.	n.a.	IVs	VIII	IVw	IVw	IVw	IVw	IVw	IVw	VIII
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	n.a.	VIIs	VIIs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	VIIs
	UHS	UHS1	UHS1	UHS2	UHS4	UHS4	UHS1	UHS3	UHS1	UHS1	UHS1	UHS4

*n.a. = No Aplica

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 134: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO049 al PO060.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO049	PO050	PO051	PO052	PO053	PO054	PO055	PO056	PO057	PO058	PO059	PO060
Otros	Serie de Suelo	ME	ME	ME	MRF-1	MRF-1	MRF-1	MRF-1	MP	ME	ME	ME	ME
	CUS CIREN	VIII	VIII	VIII	IVw	IVw	IVw	IVw	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	VIIs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS2	UHS1	UHS4	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS2	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 135: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO061 al PO072.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO061	PO062	PO063	PO064	PO065	PO066	PO067	PO068	PO069	PO070	PO071	PO072
Otros	Serie de Suelo	ME	ME	UR	UR	UR	UR	UR	UR	UR	LOS-1	TQL-1	TQL-1
	CUS CIREN	VIII	VIII	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	IIw	IIIw	IIIw
	CUS Estudio	n.a.	VIIe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS1	UHS4	UHS1	UH1S	UHS1	UHS1	UHS2	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.**Fuente: ENVIS, 2023.**

Tabla 3- 136: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO073 al PO084.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO073	PO074	PO075	PO076	PO077	PO078	PO079	PO080	PO081	PO082	PO083	PO084
Otros	Serie de Suelo	TQL-1	TQL-1	TQL-1	QUM-1	QUM-1	QUM-1	QUM-1	UR	UR	UR	QLA-8	QLA-8
	CUS CIREN	IIw	IIw	IIw	IVw	IVw	IVw	IVw	n.a.	n.a.	n.a.	IVw	IVw
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	VIIe	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS1	UHS3	UHS5	UHS2	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 137: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO085 al PO096.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO085	PO086	PO087	PO088	PO089	PO090	PO091	PO092	PO093	PO094	PO095	PO096
Otros	Serie de Suelo	QLA-8	NIN-4	NIN-4	NIN-4	NIN-4	NIN-4	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s
	CUS CIREN	IVw	IIIw	IIIw	IIIw	IIIw	IIIw	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 138: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO097 al PO0108.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO097	PO098	PO099	PO0100	PO0101	PO0102	PO0103	PO0104	PO0105	PO0106	PO0107	PO0108
Otros	Serie de Suelo	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8	QLA-8
	CUS CIREN	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s	IV s
	CUS Estudio	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	VIIs	n.a.	n.a.	VIIs	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	UHS	UHS1	UHS1	UHS1	UHS1	UHS4	UHS2	UHS2	UHS4	UHS3	UHS1	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 139: Criterios de Clasificación de la Capacidad de Uso de Suelo (CUS) del Proyecto de los puntos de observación del PO0109 al PO0121.

CRITERIOS	PARÁMETROS	PO0109	PO0110	PO0111	PO0112	PO0113	PO0114	PO0115	PO0116	PO0117	PO0118	PO0119	PO0120	PO0121
Otros	Serie de Suelo	QLA-8	QLA-8	MCP-2	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	CDR	UR	UR	UR
	CUS CIREN	IV s	IIw	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	IV s
	CUS Estudio	VIIs	n.a.	n.a.	n.a.	VIIs	n.a.	VIIs	n.a.	n.a.	n.a.	VIs	n.a.	n.a.
	UHS	UHS4	UHS1	UHS1	UHS1	UHS4	UHS1	UHS4	UHS3	UHS1	UHS3	UHS4	UHS1	UHS1

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, en la siguiente tabla se observa las superficies y los porcentajes de las unidades homogéneas de suelo (UHS) con su respectiva clasificación de capacidad de uso de suelo (CUS).

Tabla 3- 140: Superficies de suelos categorizadas según su CCUS en el área de influencia del Proyecto.

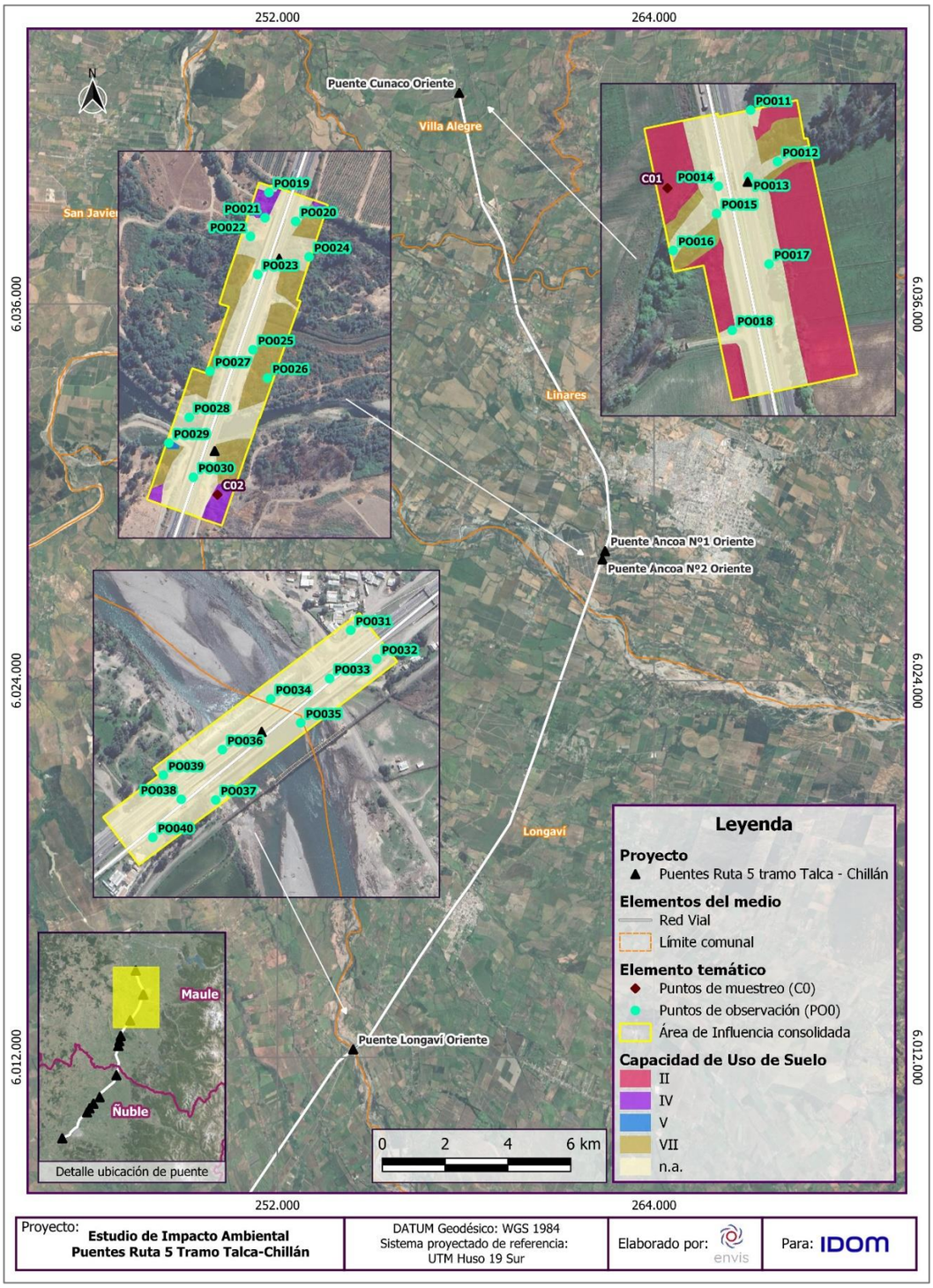
Unidad Homogénea de Suelo (UHS)	Capacidad de Uso de Suelo (CUS)	Superficie (Ha) en el AI	Porcentaje (%) en el AI
UHS 1 - Zona Intervenida	n.a.	18,07	53,83
UHS 2 - Zona Urbana/Industrial	n.a.	2,33	6,94
UHS 3 - Caja de Río / Curso de Agua	n.a.	3,34	9,94
UHS 4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral	VIIe-2	0,18	0,53
	VIIs-1	2,32	6,91
	VIIs-3	0,14	0,41
	VIIs-8	1,82	5,42
	VIIs-9	0,69	2,05
	VIs-9	0,30	0,90
UHS 5 - Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola	IIIw-4	1,20	3,57
	IIs-8	0,88	2,61
	IVs-8	0,34	1,02
	IVs-9	0,47	1,39
	IVw-4	0,51	1,51
	VIs-9	0,98	2,91
	Vw-13	0,02	0,05
TOTAL		**33,58**	**100,0**

*n.a. = No Aplica.

Fuente: ENVIS, 2023.

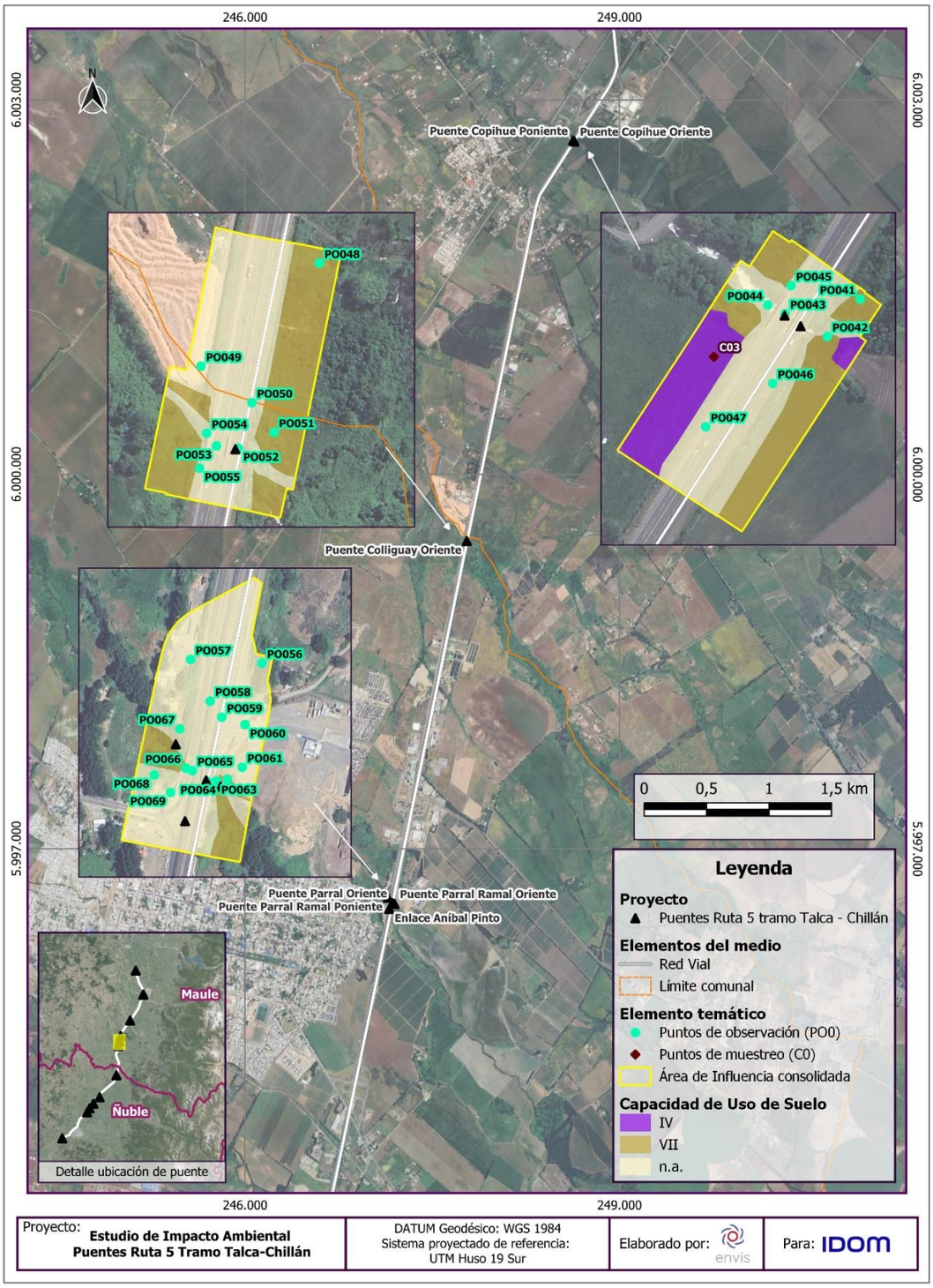
En las siguientes figuras se observa tanto la clasificación de capacidad de uso de suelo (CUS) y la denominación de “no aplica (n.a) los criterios CUS” en sitios intervenidos, separada por tramo a lo largo del Proyecto.

Figura 3- 113: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



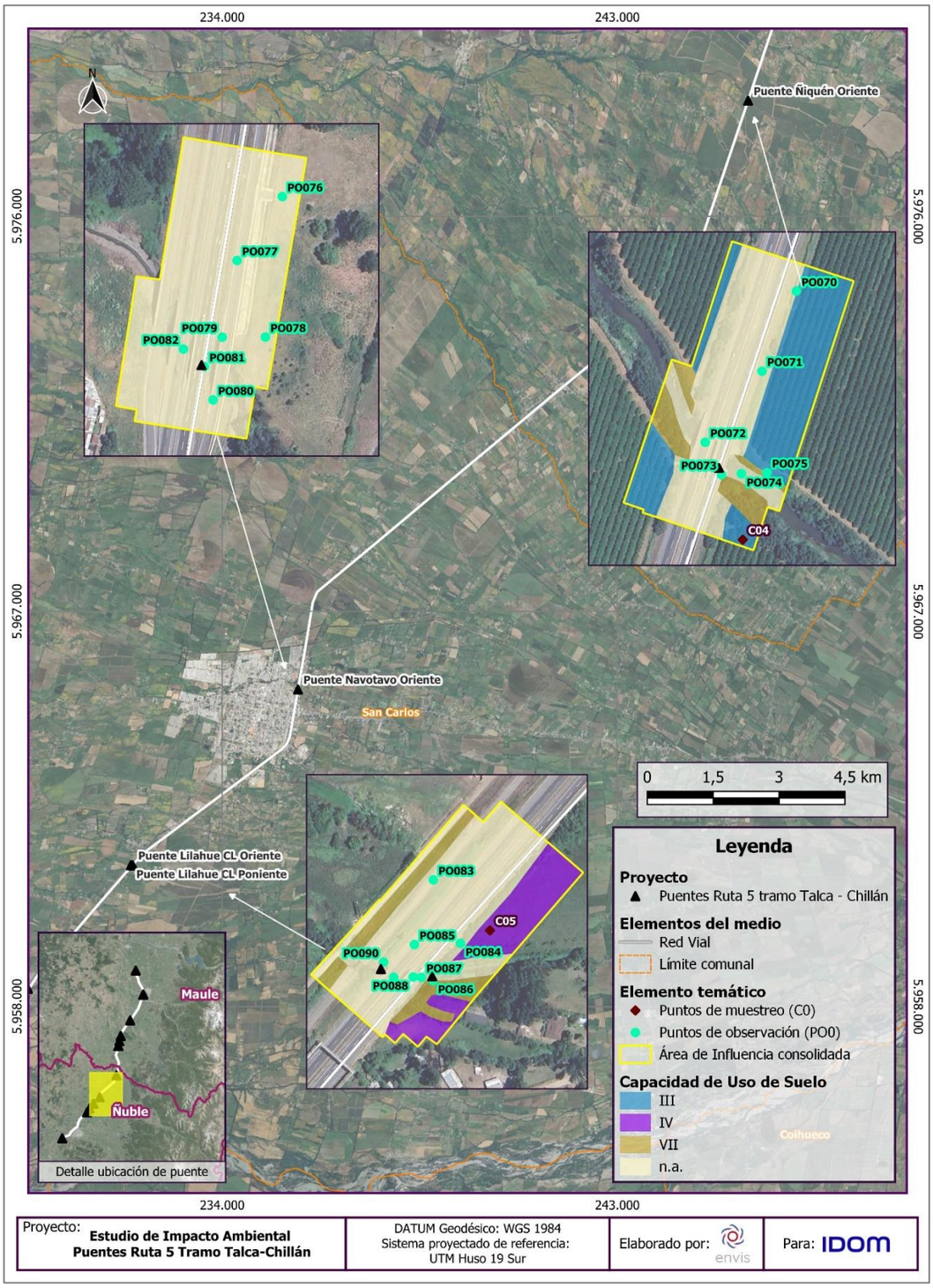
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 114: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



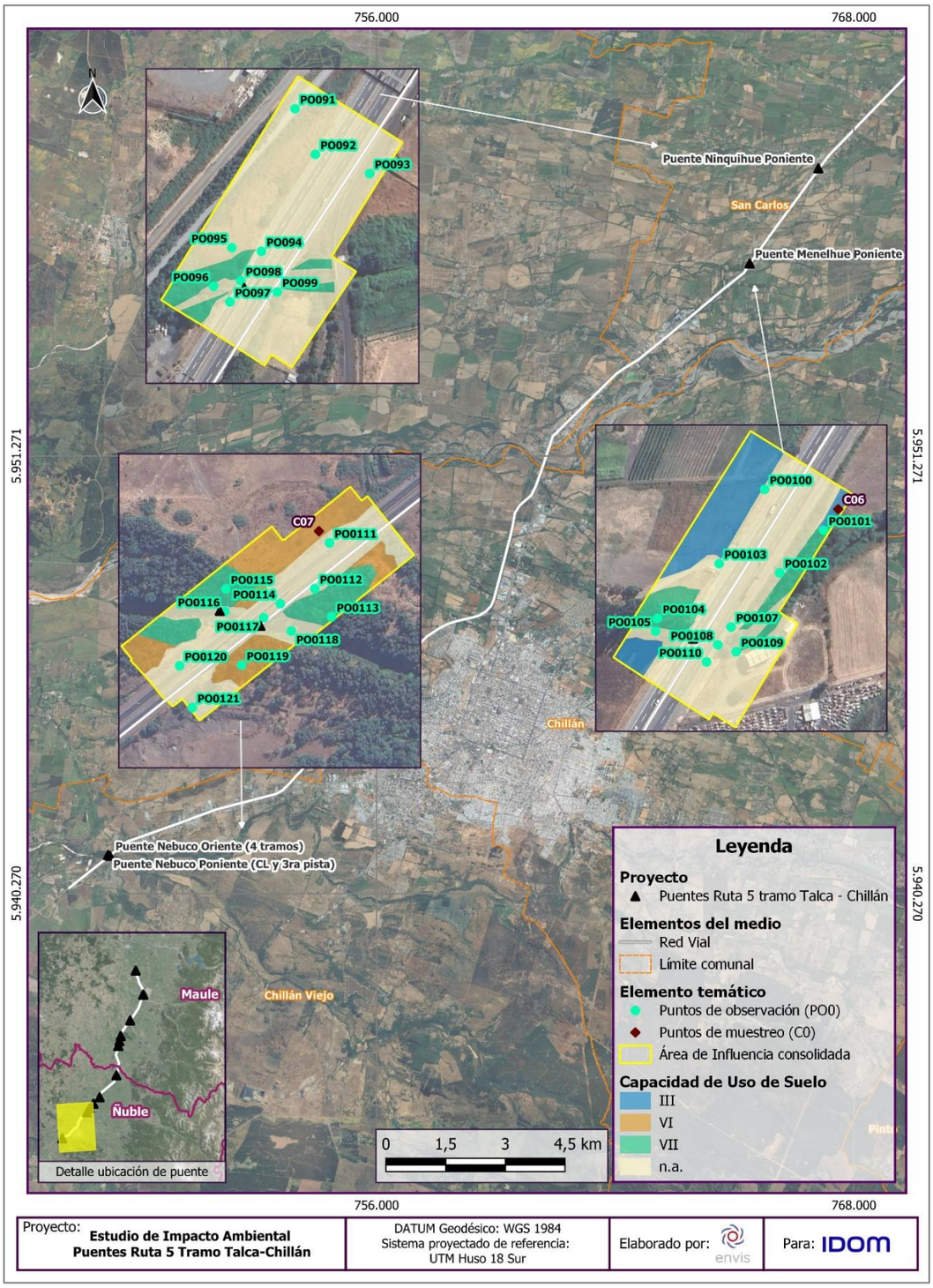
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 115: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 116: Clasificación de la Clase de Uso de Suelo (CUS) identificadas para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070- 411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.3.5 Caracterización de la Erosión Actual y del Riesgo de Erosión Actual y Potencial en el Área de Influencia del Proyecto

3.8.3.5.1 Erosión Actual del Suelo

Considerando los elementos caracterizados en la etapa de terreno, se encontró que la mayoría de los suelos no evidenciaron signos de erosión, siendo categorizados con erosión no aparente, los cuales correspondieron a los puntos de muestreo C01, C03, C05, C06 y C07, y a los puntos de observación de suelo PO026, PO027, PO029, PO041, PO042, PO048, PO051, PO062, PO075, PO0101, PO0104, PO0113 y PO0119, correspondiente a una superficie de 8,39 Ha equivalente al 24,98% del AI consolidada de suelo.

Los sitios que presentaron algún grado de erosión fueron representados por el punto de muestreo C02 y el punto de observación PO115, categorizados con erosión ligera debido a la perdida de cobertura vegetal (<25%) abarcando una superficie de 0,68 Ha (2,02% del AI consolidada de suelo); y finalmente, el punto de muestreo C04 presentó erosión actual moderada debido a la pérdida de suelo superficial (menos de 40%,) por la exposición del horizonte B, a causa de la remoción y depositación de suelo colindante para generación de camellones agrícola que representa 0,77 Ha de superficie y corresponde al 2,28% del AI consolidada de suelo.

Por otra parte, un total de 23,74 Ha fueron clasificadas como Otros usos del territorio por corresponder a un sitio fuertemente intervenido y donde no es aplicable la determinación de erosión actual, representando un 70,72% del AI consolidada de suelo.

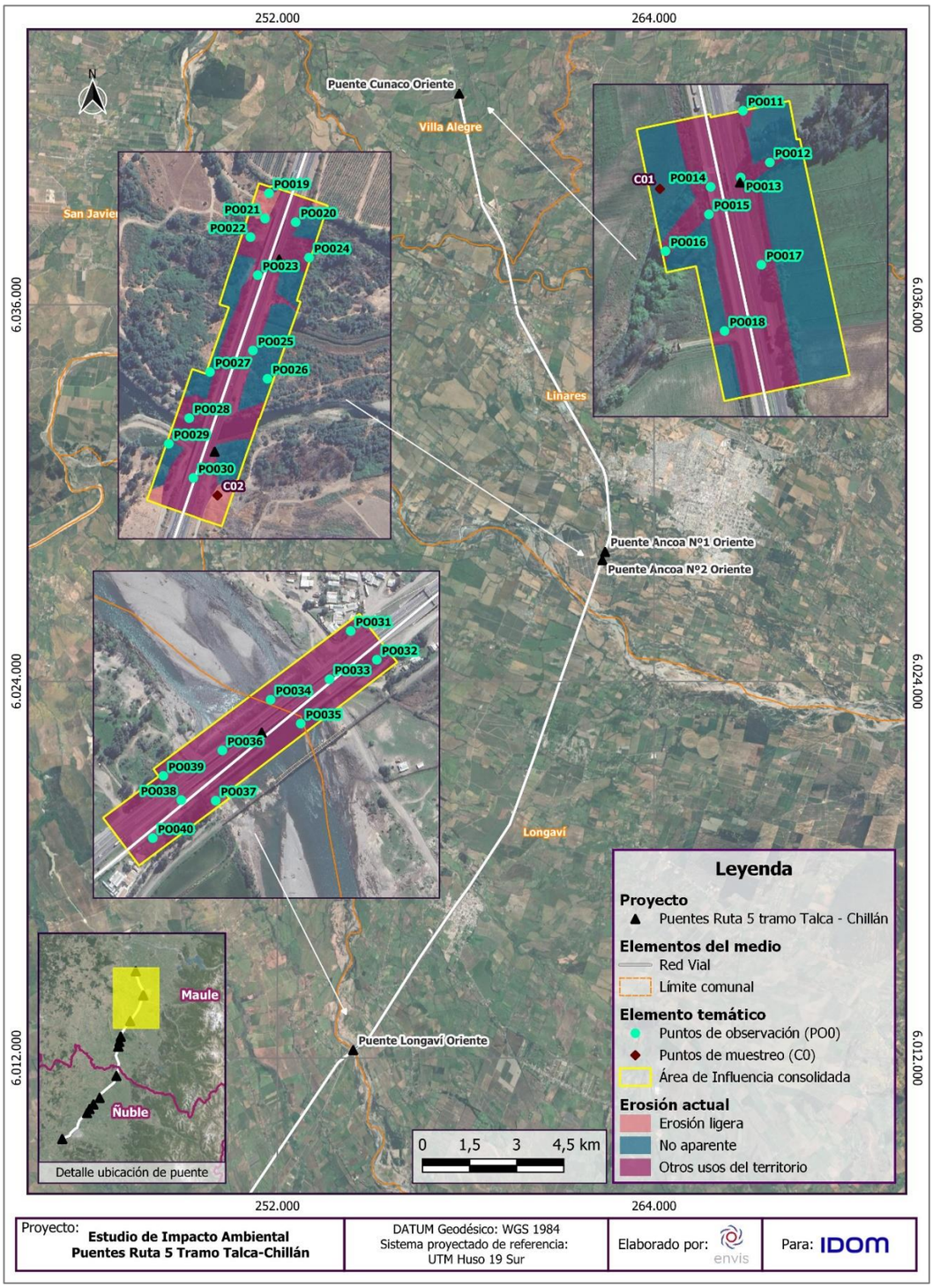
En la siguiente se presenta un resumen de erosión actual en el AI consolidada de cada puente proyectado. Además, en las figuras se observa la erosión actual en cada puente dentro del área de influencia de suelo, separada por tramo a lo largo del Proyecto.

.

Tabla 3- 141: Erosión Actual en el área de **influencia del Proyecto por cada puente evaluado.**

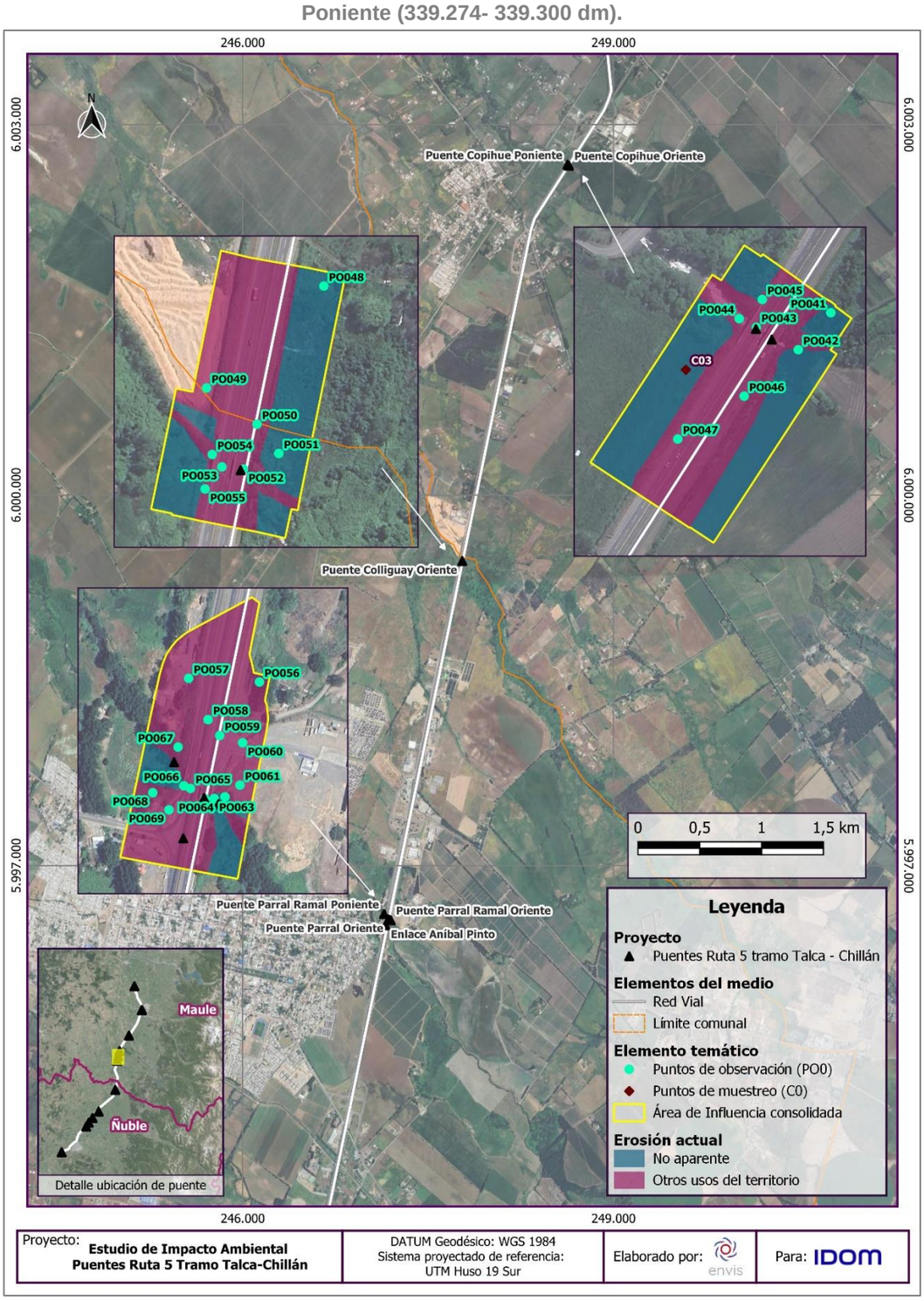
N°	PUENTE	EROSIÓN ACTUAL							
		No aparente	Representación del AI de suelo (%)	Erosión ligera	Representación del AI de suelo (%)	Erosión moderada	Representación del AI de suelo (%)	Otros usos del territorio	Representación del AI de suelo (%)
1	Puente Cunaco Oriente	1,05	3,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	2,83
2	Puente Ancoa N°1 y N°2 Oriente	1,46	4,35	0,34	1,02	0,00	0,00	2,89	8,60
3	Puente Longaví y Longaví Oriente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,68	13,93
4	Puente Copihue Oriente y Poniente	1,09	3,24	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	3,33
5	Puente Colliguay Oriente	0,78	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	3,07
6	Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente	0,43	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	10,43
7	Puente Ñiquén Oriente	0,18	0,53	0,00	0,00	0,77	2,28	1,01	3,01
8	Puente Navotavo y Navotavo Oriente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,01	5,98
9	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	0,82	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	4,40
10	Puente Ninquihue Poniente	0,16	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	1,71	5,10
11	Puente Menelhue Poniente	0,59	1,76	0,07	0,21	0,00	0,00	1,28	3,80
12	Puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)	1,83	5,46	0,27	0,79	0,00	0,00	2,09	6,22
TOTAL		**8,39**	**24,98**	**0,68**	**2,02**	**0,77**	**2,28**	**23,74**	**70,72**

Figura 3- 117: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



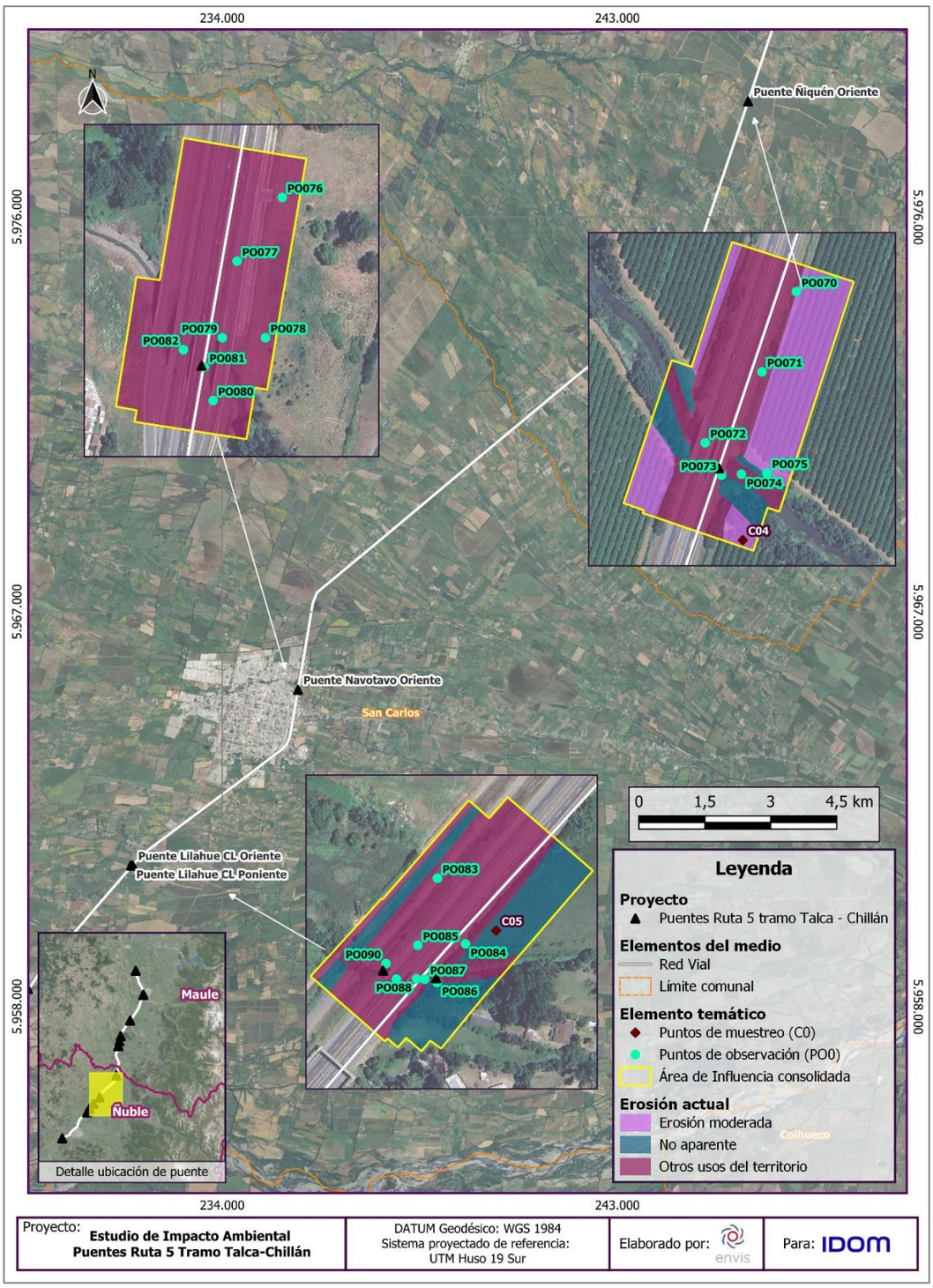
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 118: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



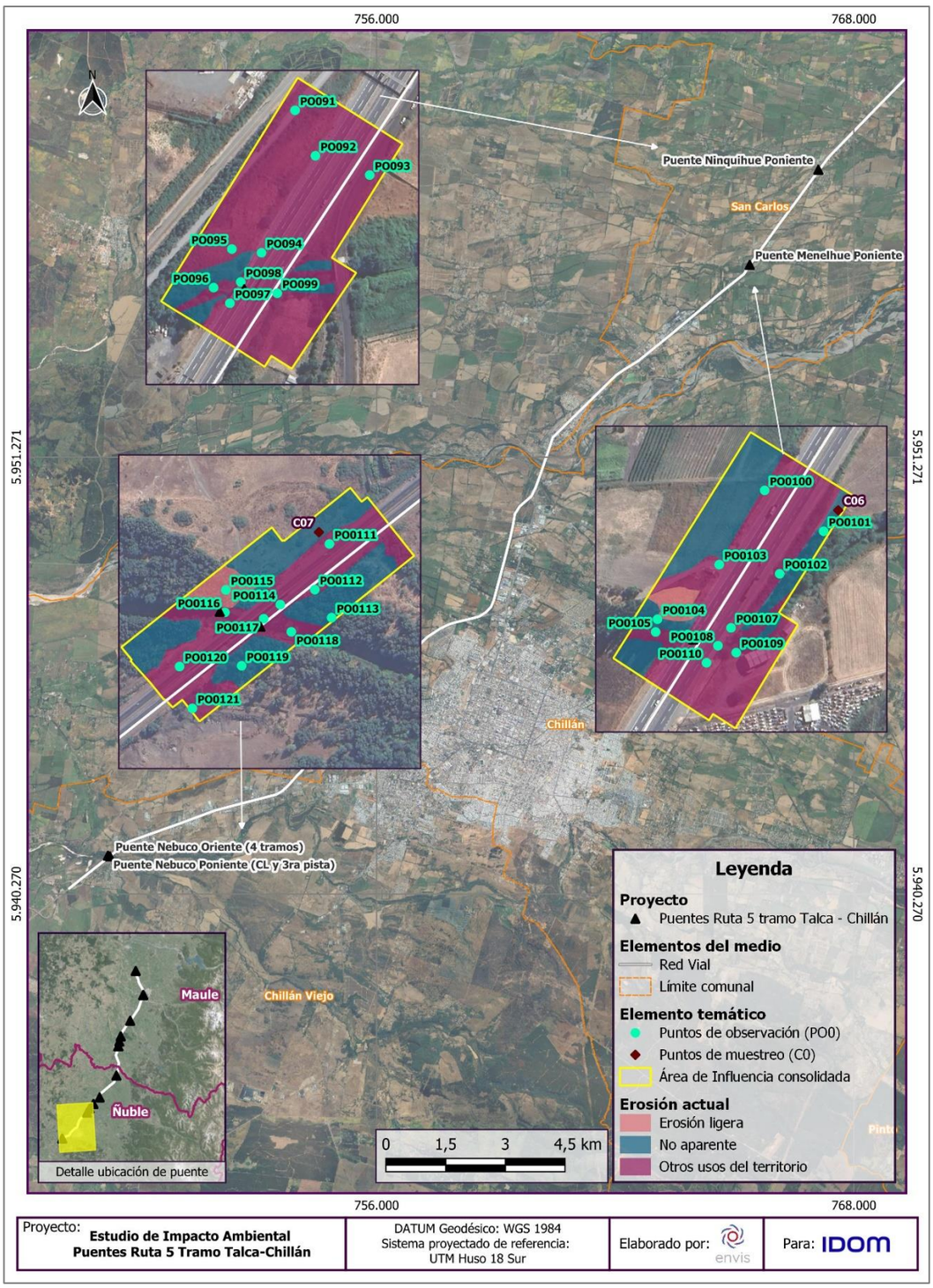
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 119: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 120: Erosión actual identificada para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070-411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.3.5.2 Análisis del Riesgo de la Erosión Actual y Potencial del Suelo

De acuerdo con la información analizada, y debido a que las obras del Proyecto (permanentes y temporales) se ubican en una totalidad en sitios ya intervenidos, unidades de suelos asociadas a zonas urbanas e industriales o a las actuales obras asociadas a los diferentes puentes, es que, en el análisis del riesgo de erosión estos sitios se categorizaron como: “Otros usos del territorio”, es decir, áreas no afectas a la erosión.

Como se ha mencionado, dentro del área de influencia (en los alrededores de las obras del Proyecto) existe suelo que podría recibir los efectos potenciales de riesgo de erosión, debido a que las actividades propias de faena contemplan una fase de construcción de puentes, donde se realizaran actividades de creación de escarpes, movimiento de tierras y sustratos, y excavaciones. Además, algunos puentes serán demolidos y reconstruidos, y otros serán nuevos puentes, y para su desarrollo intervendrá cauces naturales y defensas fluviales, donde se realizarán excavaciones y perforaciones para pilotes, vigas o cepas, junto con rellenos de terraplenes, e instalación de enrocados en los bordes de los cauces de 100-200 metros aproximados a cada lado del puente (aguas arriba y abajo).

Por otro lado, para la ejecución del puente, se requiere que el área de trabajo se encuentre seco, por lo que esteros y ríos serán desviados dentro de la caja de río, hacia un costado en primera medida, para secar el área de inserción de obras, y posterior a la construcción, se vuelve a desviar el cauce hacia el otro costado, con el fin de desarrollar las obras en el sector faltante. En ese sentido, existe un riesgo potencial de erosión del suelo aledaño cuando se desvía el curso de un río o estero para construir puentes u otras estructuras. La erosión es el proceso natural por el cual el suelo y las rocas son desgastados y transportados por la acción del agua, el viento u otros factores ambientales. Cuando se altera el flujo de agua en un río o estero, se pueden desencadenar una serie de problemas que aumentan el riesgo de erosión:

Dentro de los posibles eventos desencadenantes se encuentran:

- Cambios en el patrón de flujo: La desviación del curso de agua puede cambiar la forma en que el agua fluye a través del área, lo que puede llevar a una redistribución de la energía del agua y la sedimentación en nuevas áreas.

- Mayor velocidad del agua: En algunas circunstancias, el desvío del agua puede aumentar la velocidad del flujo de agua, lo que a su vez puede aumentar la erosión en las orillas y en las áreas donde se realiza el desvío.

- Sedimentación y deposición: Cuando el agua es desviada y luego devuelta a su cauce original, puede llevar consigo sedimentos y material arrastrado, que puede depositarse en nuevas áreas y alterar la topografía del suelo circundante.

Pérdida de vegetación protectora: La construcción de puentes y la desviación del agua pueden implicar la eliminación de vegetación natural, como árboles y arbustos, que normalmente ayudan a estabilizar el suelo y prevenir la erosión.

Para mitigar estos riesgos, es importante realizar un plan de manejo adecuado antes y durante la construcción de puentes y desvíos de agua. Esto puede incluir medidas como la instalación de sistemas de control de erosión, la reforestación de áreas afectadas, la estabilización de las orillas del río con materiales adecuados y la supervisión constante de los cambios en el flujo del agua durante y después de la construcción.

Además, es crucial cumplir con las regulaciones ambientales y obtener los permisos necesarios antes de realizar cualquier obra que afecte el flujo de agua en un río o estero, ya que las autoridades competentes pueden requerir estudios de impacto ambiental y medidas de mitigación específicas para proteger el entorno natural.

Según los parámetros utilizados para calcular el riesgo de erosión actual y potencial, en la siguiente tabla se observan las clases encontradas, tanto en la situación sin proyecto (Riesgo de Erosión actual) como en la con proyecto (Riesgo de Erosión Potencial) de acuerdo con las unidades de suelo encontradas.

Tabla 3- 142: Riesgo de erosión actual y potencial en las UHS del AI consolidada del proyecto.

UHS	Clase	Riesgo de erosión actual		Riesgo de erosión potencial	
		Superficie (Ha)	% del AI	Superficie (Ha)	% del AI
UH1	Otros usos del territorio	18,07	53,83	18,07	53,83
UH2	Otros usos del territorio	2,33	6,94	2,33	6,94
UH3	Otros usos del territorio	3,34	9,94	3,34	9,94
UH4	Muy alto	5,45	16,22	5,45	16,22
UH5	Medio	2,49	7,42	0,00	0,00
	Alto	0,77	2,28	1,82	5,41
	Muy alto	1,13	• 3,36	2,57	7,66
Total		**33,58**	**100,00**	**33,58**	**100,00**

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta el riesgo de erosión actual y potencial por puente evaluado.

Tabla 3- 143: Riesgo de Erosión Actual y Riesgo de Erosión Potencial en el área de influencia del Proyecto por cada puente evaluado.

N°	Puente	Riesgo de Erosión Actual	Clase	Superficie [Ha]	% en el AI	Riesgo de Erosión Potencial	Clase	Superficie [Ha]	% en el AI
2	Puente Cunaco Oriente	Medio	2	0,88	2,61	Alto	3	0,88	2,61
		Muy alto	4	0,17	0,51	Muy alto	4	0,17	0,51
		Otros usos del territorio	5	0,95	2,83	Otros usos del territorio	5	0,95	2,83
3	Puente Ancoa N°1 y N°2 Oriente	Muy alto	4	1,80	5,37	Muy alto	4	1,80	5,37
		Otros usos del territorio	5	2,89	8,60	Otros usos del territorio	5	2,89	8,60
4	Puente Longaví Oriente	Otros usos del territorio	5	4,68	13,93	Otros usos del territorio	5	4,68	13,93
5	Puente Copihue Oriente y Poniente	Muy alto	4	1,09	3,24	Muy alto	4	1,09	3,24
		Otros usos del territorio	5	1,12	3,33	Otros usos del territorio	5	1,12	3,33
6	Puente Colliguay Oriente	Muy alto	4	0,78	2,33	Muy alto	4	0,78	2,33
		Otros usos del territorio	5	1,03	3,07	Otros usos del territorio	5	1,03	3,07
7	Puente Parral Oriente y Ramal parral Poniente	Muy alto	4	0,43	1,28	Muy alto	4	0,43	1,28
		Otros usos del territorio	5	3,50	10,43	Otros usos del territorio	5	3,50	10,43
8	Puente Ñiquén Oriente	Alto	3	0,77	2,28	Muy alto	4	0,94	2,81
		Muy alto	4	0,18	0,53	Otros usos del territorio	5	1,01	3,01
		Otros usos del territorio	5	1,01	3,01				
9	Puente Navotavo Oriente	Otros usos del territorio	5	2,01	5,98	Otros usos del territorio	5	2,01	5,98
10	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local	Medio	2	0,51	1,51	Alto	3	0,51	1,51
		Muy alto	4	0,32	0,94	Muy alto	4	0,32	0,94
		Otros usos del territorio	5	1,48	4,40	Otros usos del territorio	5	1,48	4,40
11	Puente Ninquihue Poniente	Muy alto	4	0,16	0,47	Muy alto	4	0,16	0,47
		Otros usos del territorio	5	1,71	5,10	Otros usos del territorio	5	1,71	5,10
12		Medio	2	0,43	1,29	Alto		0,43	1,29
		Muy alto	4	0,23	0,68	Muy alto	4	0,23	0,68

N°	Puente	Riesgo de Erosión Actual	Clase	Superficie [Ha]	% en el AI	Riesgo de Erosión Potencial	Clase	Superficie [Ha]	% en el AI
	Puente Menelhue Poniente	Otros usos del territorio	5	1,28	3,80	Otros usos del territorio	5	1,28	3,80
13	**Puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)**	Medio	2	0,68	2,01	Muy alto	4	2,10	6,25
		Muy alto	4	1,42	4,24	Otros usos del territorio	5	2,09	6,22
		Otros usos del territorio	5	2,09	6,22				
		total		33,58	100,00	total		33,58	100,00

Fuente: ENVIS, 2023.

En la siguiente tabla se presenta un resumen con los riesgos de erosión actual y potencial observados en el área de influencia del Proyecto, la superficie en hectáreas (Ha) y su representatividad en porcentaje (%).

Tabla 3- 144: Resumen del Riesgo de Erosión Actual y Potencial en el área de influencia del Proyecto

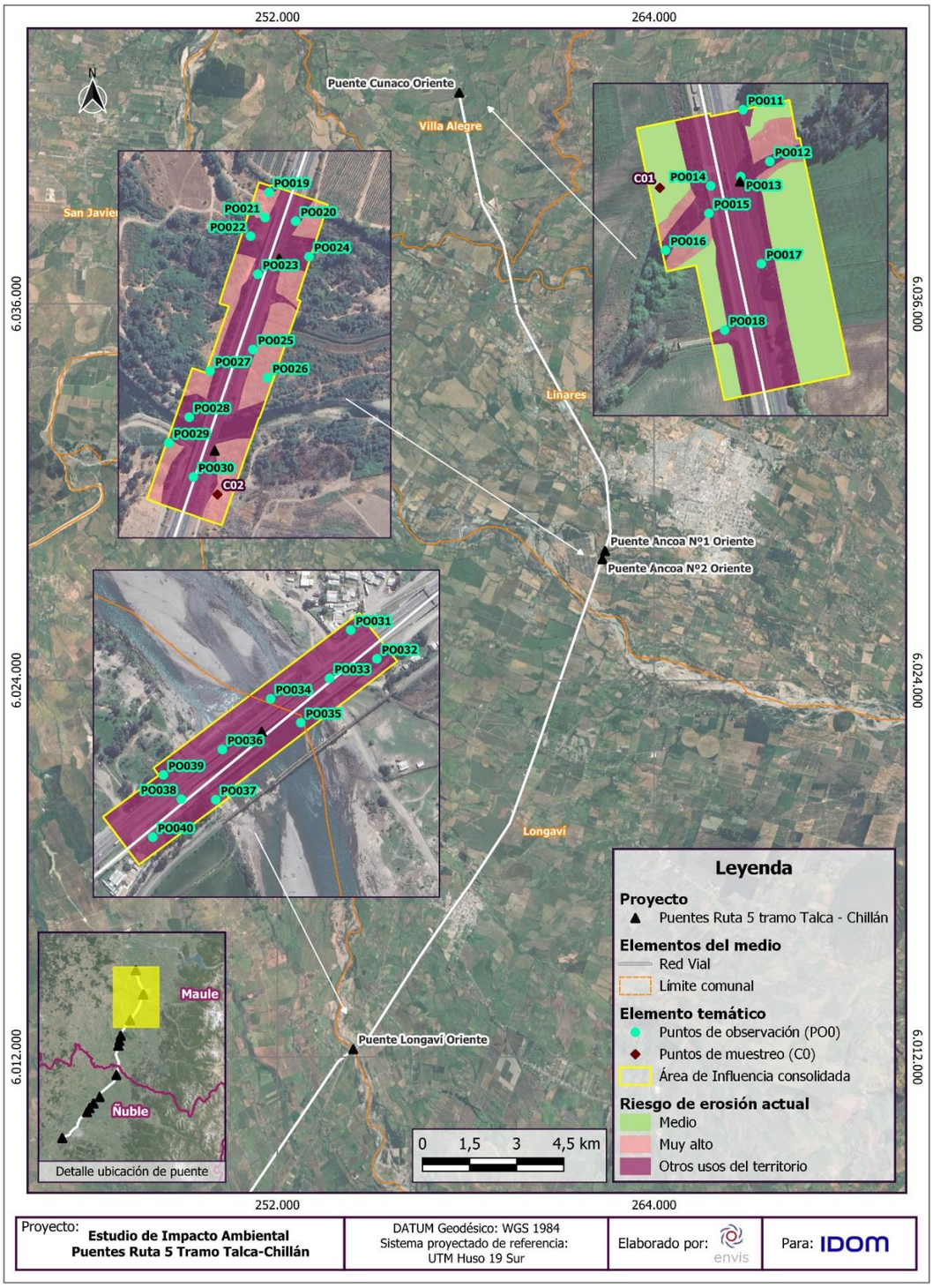
Riesgo	Clase	Riesgo actual [Ha]	Representación en el AI [%]	Riesgo potencial [Ha]	Representación en el AI [%]
Riesgo Medio	2	0,77	2,28	0,00	0,00
Riesgo Alto	3	2,49	7,42	1,82	5,41
Riesgo Muy alto	4	6,57	19,58	8,02	23,88
Otros usos del territorio	5	23,74	70,72	23,74	70,72
TOTAL		**33,58**	**100,0**	**33,58**	**100**

Fuente: ENVIS, 2023.

A partir de la tabla anterior, se observa que una superficie de 23,74 Ha equivalente al 70,72% del AI consolidada de suelo, corresponde a sitios altamente intervenidos donde no aplica la evaluación de riesgo de erosión, estás superficies fueron clasificadas como clase 5, es decir, como otros usos del territorio. Por otro lado, se observa que el riesgo de erosión actual Medio (2,49 Ha), con la implementación de las obras del Proyecto aumentaría de alto y muy alto en el riesgo de erosión potencial, mientras que el riesgo de erosión actual Alto, con la implementación del Proyecto aumentaría en 1,05 Ha en riesgo potencial, y finalmente el riesgo de erosión actual Muy Alto aumentaría en 1,44 Ha en riesgo potencial.

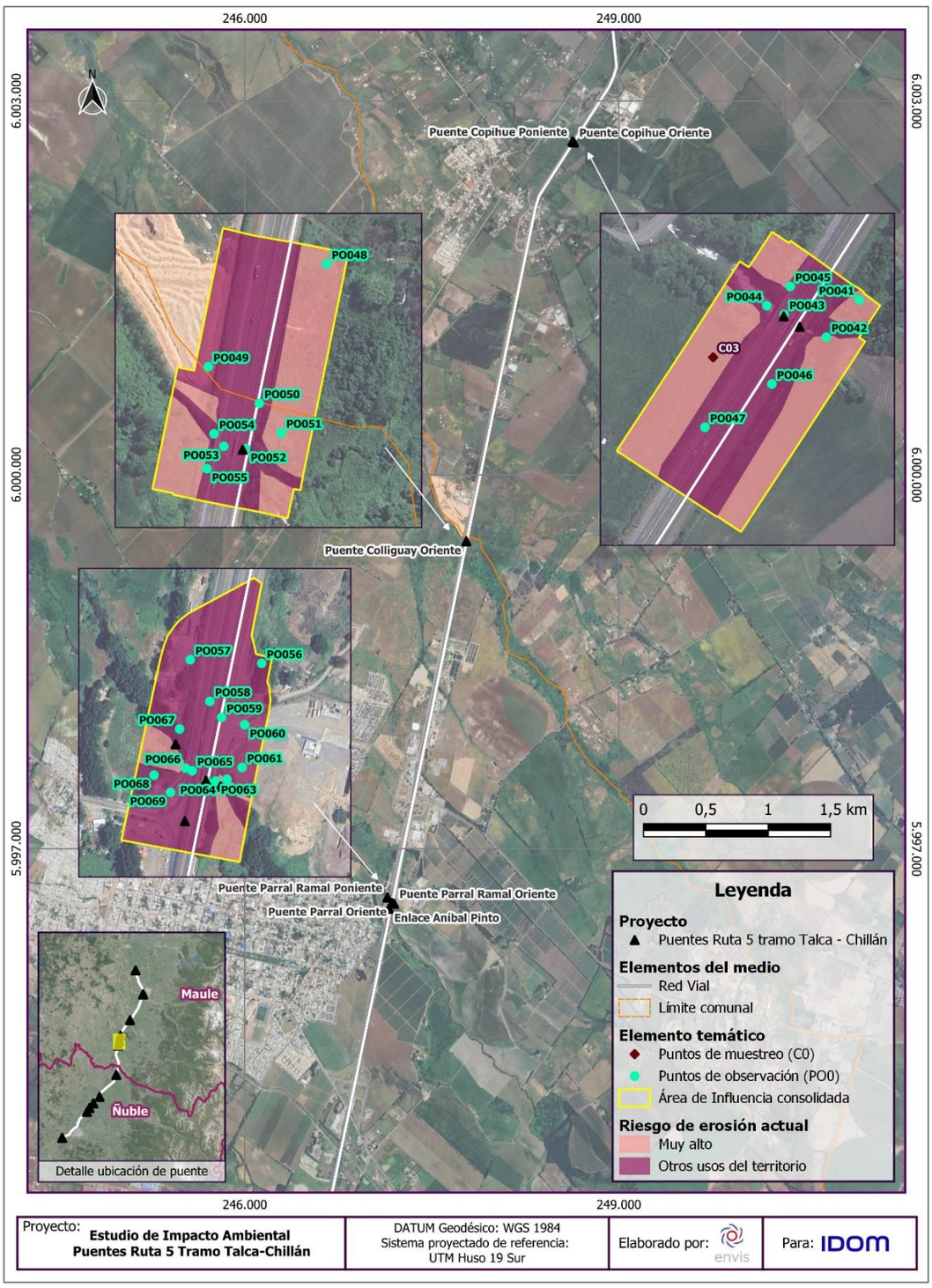
En las siguientes figuras se observa el riesgo de erosión actual y potencial dentro del área de influencia de suelo, separada por tramo a lo largo del Proyecto.

Figura 3- 121: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

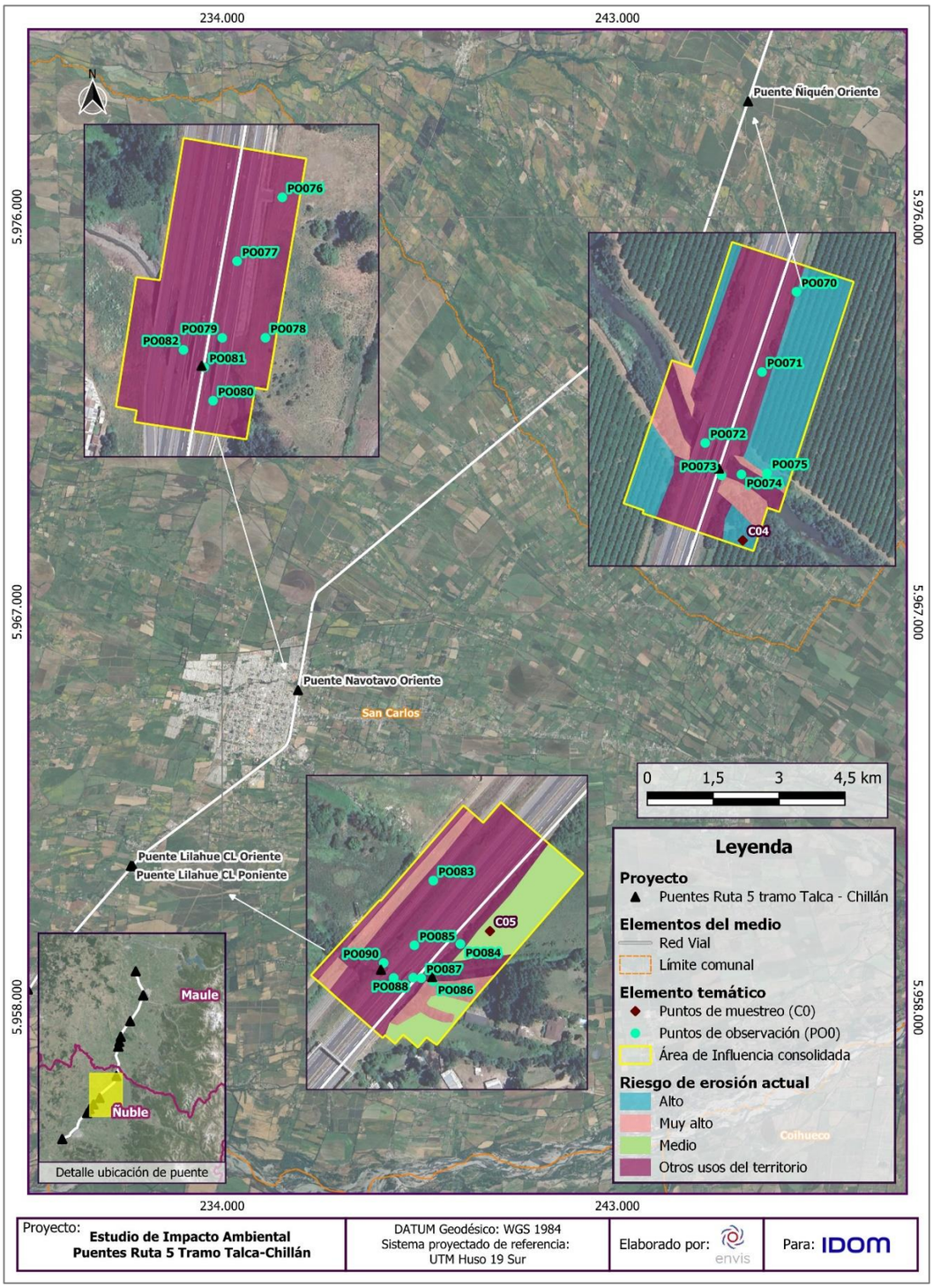
Figura 3- 122: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

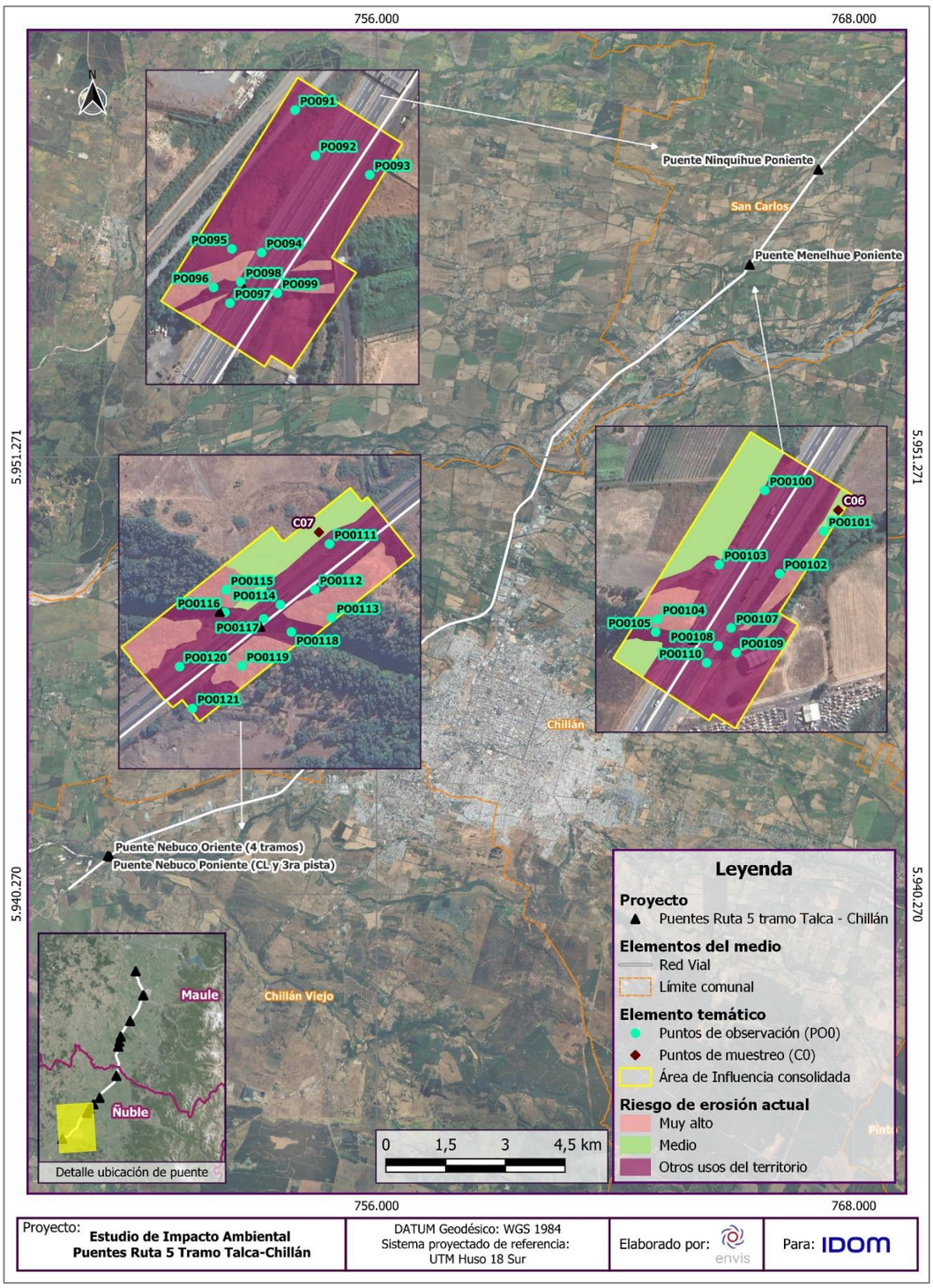
.

Figura 3- 123: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



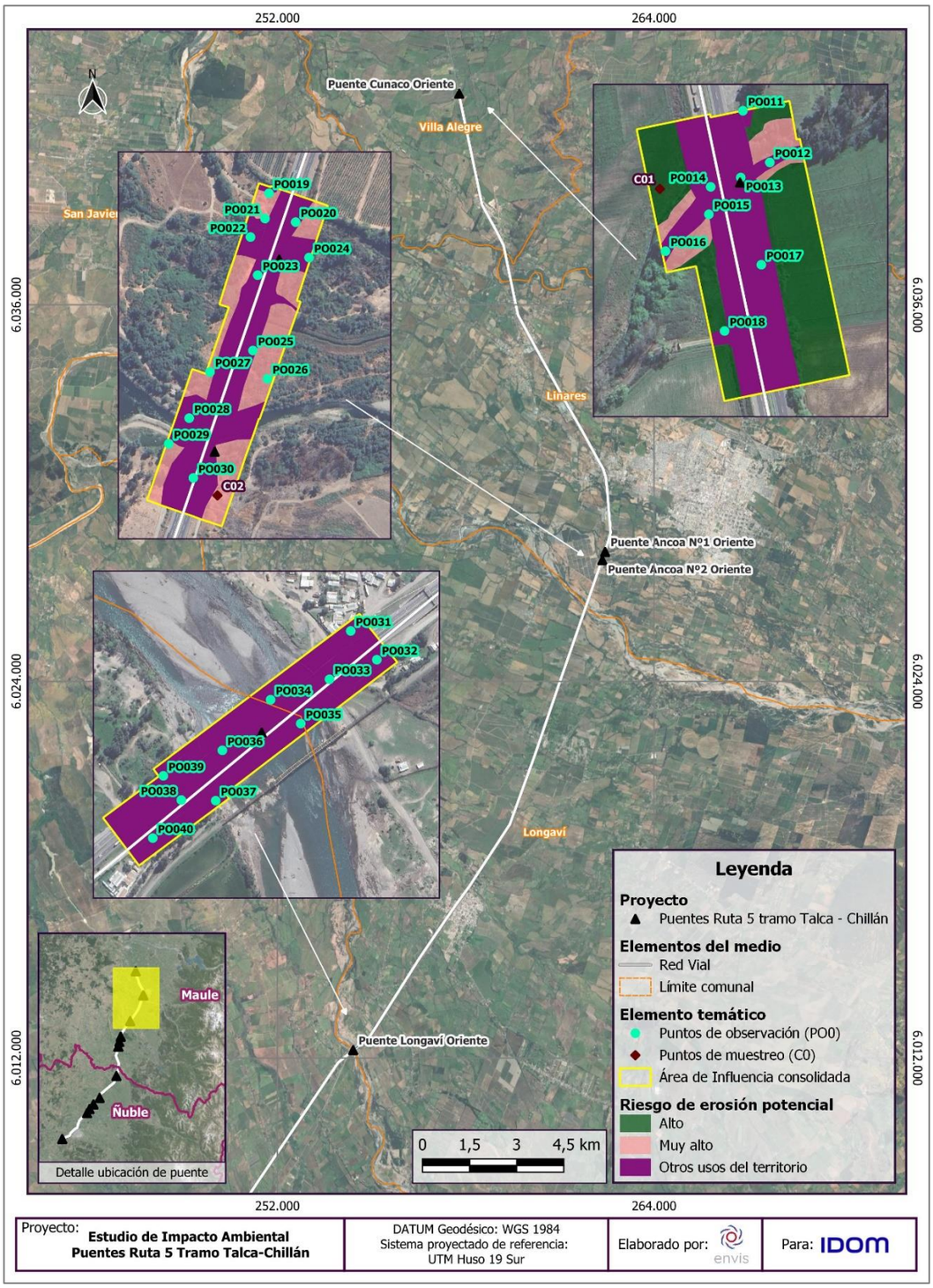
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 124: Riesgo de Erosión Actual para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070-411.303 dm).



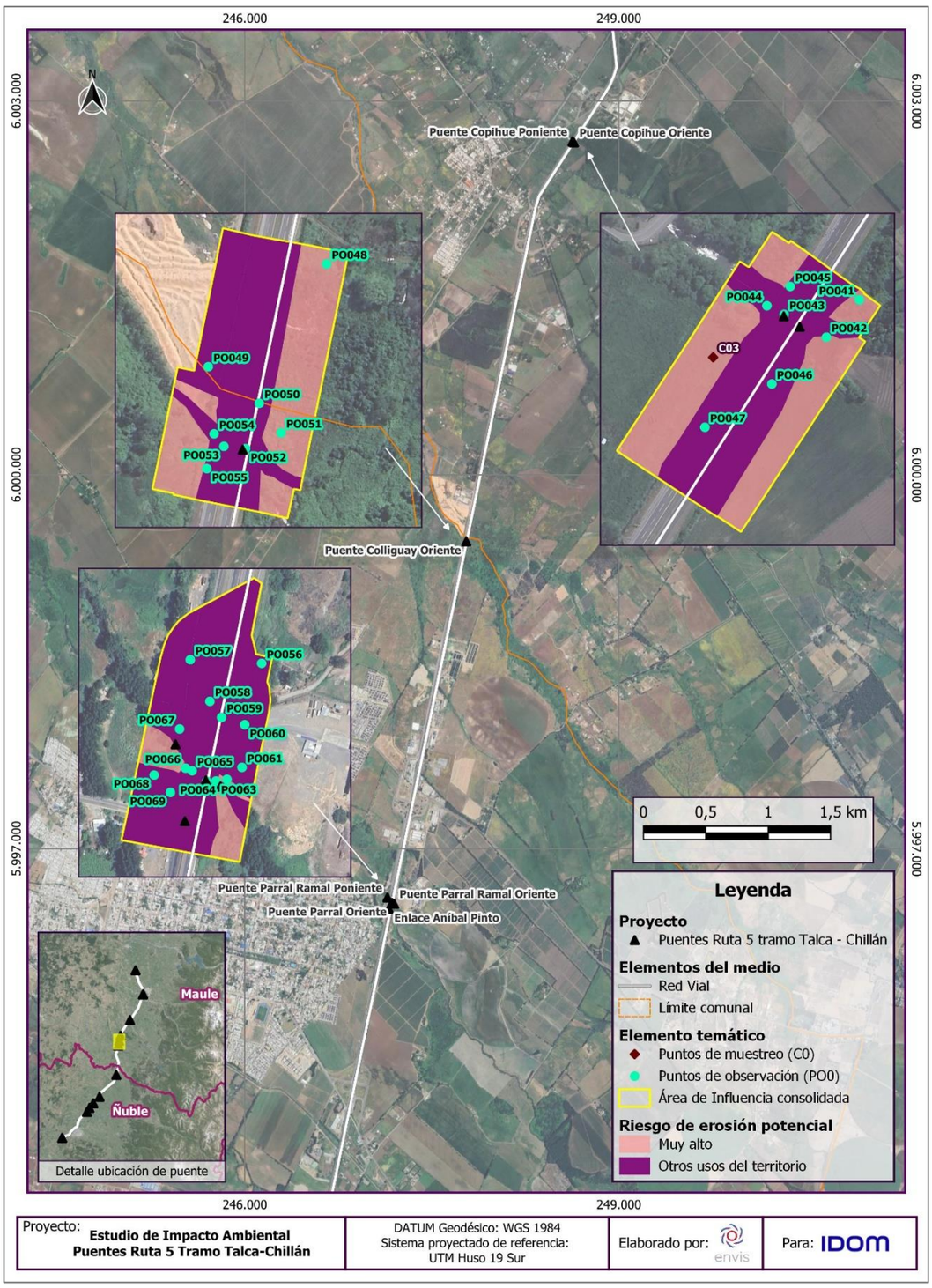
Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 125: Riesgo de Erosión Potencial para el área de influencia entre el Puente Cunaco Oriente (287.906 dm) al Puente Longaví Oriente (8 tramos) (321.357 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

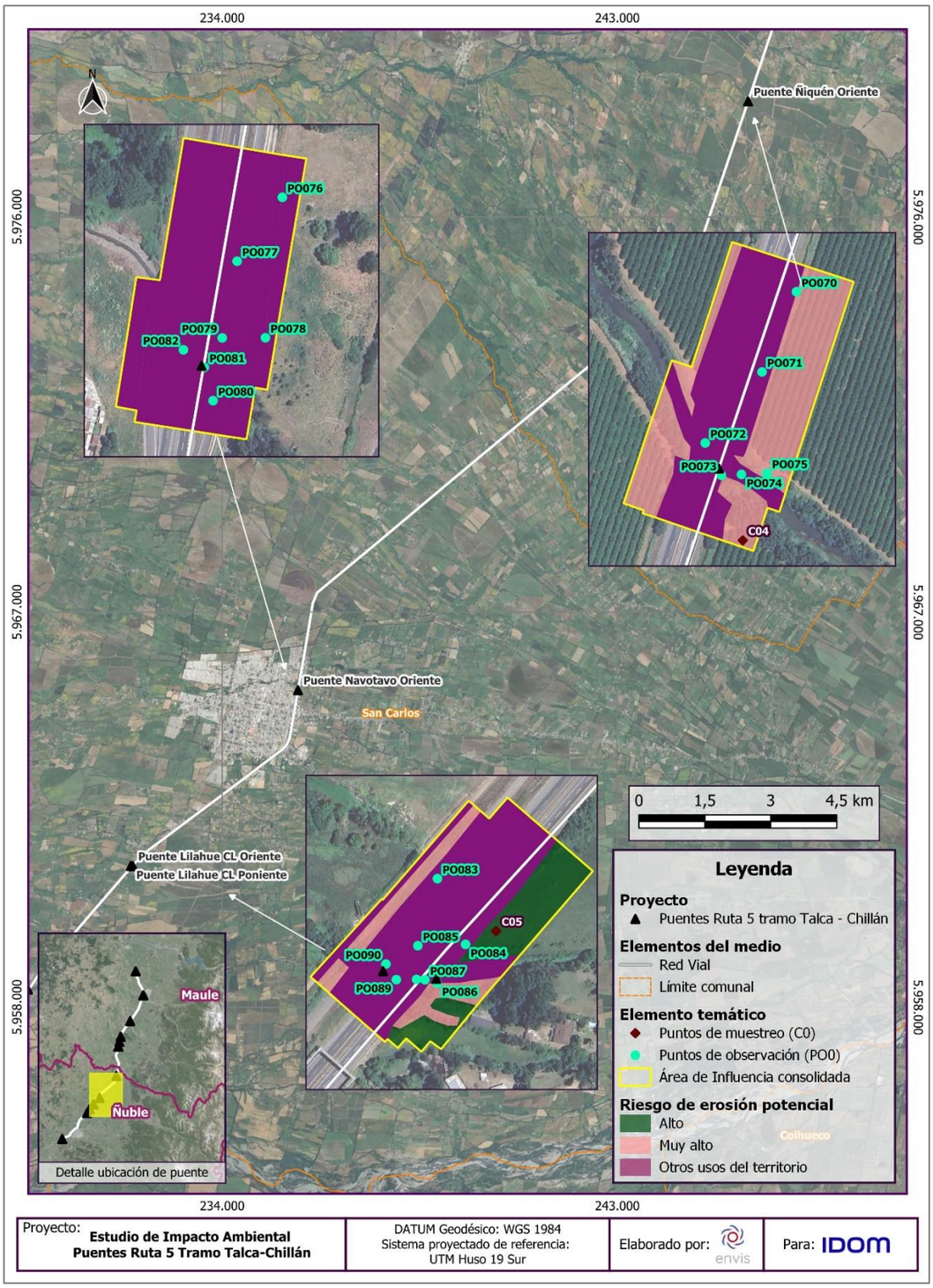
Figura 3- 126: Riesgo de Potencial para el área de influencia entre el Puente Copihue Oriente y Poniente (332.968- 332.965 dm) al Puente Parral Oriente, Ramal Oriente y Ramal Poniente (339.274- 339.300 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

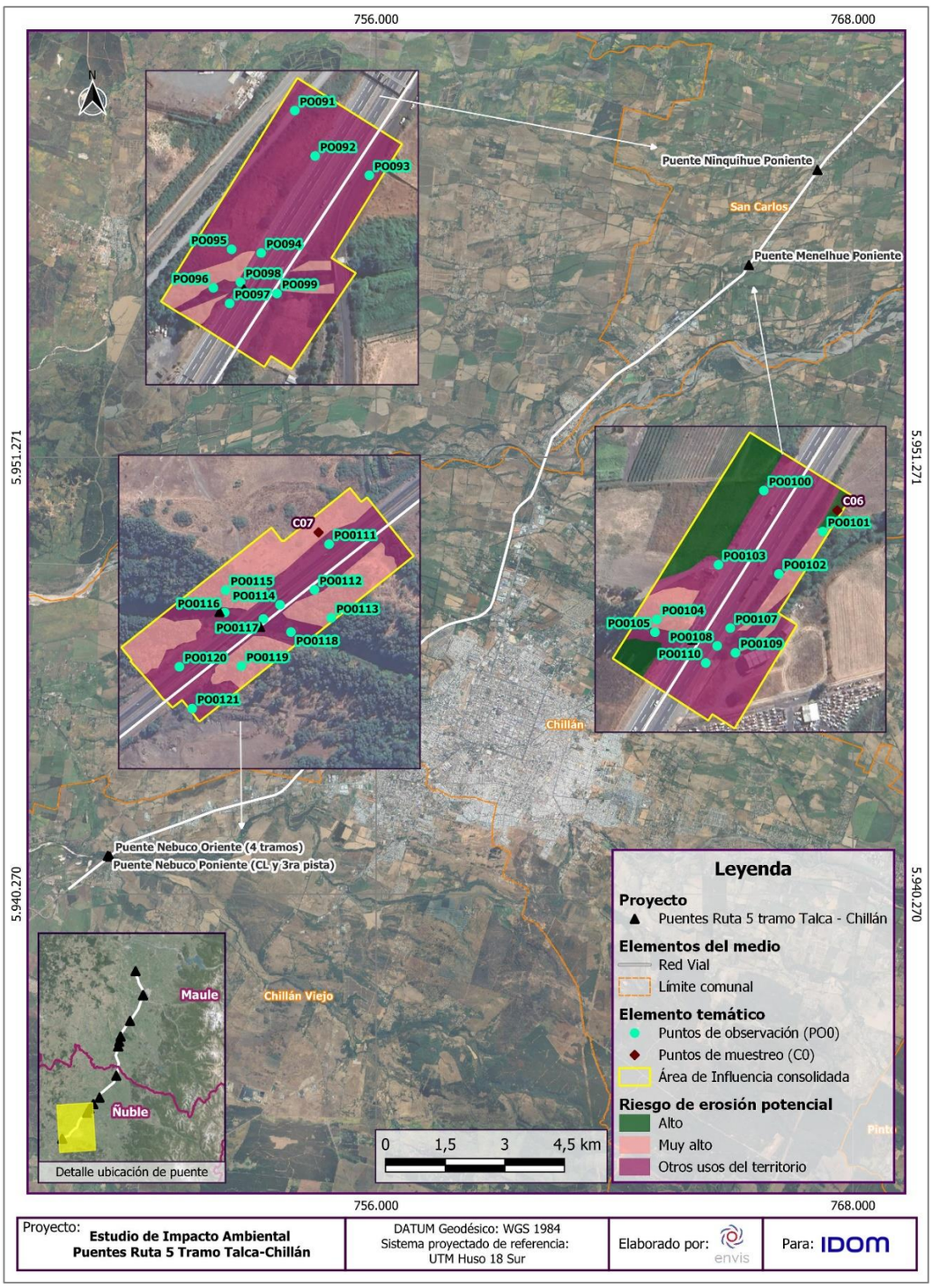
.

Figura 3- 127: Riesgo de Potencial para el área de influencia entre el Puente Ñiquén Oriente (357.965 dm) al Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local (381.320- 381.370 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

Figura 3- 128: Riesgo de Erosión Potencial para el área de influencia entre el Puente Ninquihue Poniente (385.021 dm) al Puente Nebuco Oriente y Poniente tercera pista y calle local (411.070-411.303 dm).



Fuente: ENVIS, 2024.

3.8.3.6 Identificación de Susceptibilidad al Cambio Climático

De acuerdo al análisis de susceptibilidad al Cambio Climático para el componente suelo, se presentan diferentes matrices de riesgos (en tablas siguientes) asociadas a cuatro cadenas de impactos: Incendios de Bosques Nativos y Plantaciones Forestales, Verdor en Bosques Nativos y Plantaciones Forestales, Desbordes de Río y Sequías Hidrológicas, las cuales presentan directa relación con las preguntas conductoras sobre posibles riesgos en la activación de fenómenos erosivos y que se relacionan indirectamente al suelo. Las matrices de riesgos de las cadenas de impactos se describen en términos generales para las comunas de Villa Alegre, San Carlos y Chillán Viejo, debido a que la plataforma Arclim no cuenta con todas las comunas donde se ubican los puentes proyectados, sin embargo, suponen condiciones predictivas similares.

Villa Alegre

- Bosque Nativo:

Tabla 3- 145: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Bosque Nativos	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.4612	0.8088
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0091	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	0.94	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	0.0294	0.0516

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 146: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Bosques Nativos	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.6097	3,0325
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0091	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.4926	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0135	0.067

Fuente: ENVIS, 2023.

- Plantaciones forestales

Tabla 3- 147: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.4612	0.8088
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones	0.0295	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	0.94	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	0.0701	0.1229

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 148: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.6097	30.325
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones forestales	0.0091	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.4926	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0135	0.067

Fuente: ENVIS, 2023.

San Carlos

- Bosque Nativo:

Tabla 3- 149: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Bosque Nativos	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.5119	0.8314
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0214	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	0.84	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	0.0683	0.1109

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 150: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Bosques Nativos	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.5799	2,7998
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0214	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.4836	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0294	0.1419

Fuente: ENVIS, 2023.

- Plantaciones forestales

Tabla 3- 151: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.5799	2.7998
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones	0.0214	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	0.4836	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	0.0294	0.1419

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 152: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.5799	2,7998
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones forestales	0.0214	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.4836	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0294	0.1419

Fuente: ENVIS, 2023.

Chillán

- Bosque Nativo:

Tabla 3- 153: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Bosque Nativos	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.5885	2,7747
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0379	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	0.3422	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	0.0374	0.1763

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 154: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Bosques Nativos

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Bosques Nativos	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.5766	31.836
	Exposición	Índice de proporción de bosque nativo	0.0375	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.5235	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0555	0.3062

Fuente: ENVIS, 2023.

- Plantaciones forestales

Tabla 3- 155: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Incendios de Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Incendios de Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de frecuencia de olas de calor	0.5424	0.8587
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones	0.4353	
	Sensibilidad	Índice de probabilidad de ocurrencia	1	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de incendios	1	2.0507

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 156: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Verdor en Plantaciones forestales

Matriz de riesgos			Clima Actual	Clima Futuro
Verdor en Plantaciones forestales	Amenaza	Índice de aumento de olas de calor y sequías	0.5885	2.7747
	Exposición	Índice de proporción de plantaciones forestales	0.0379	
	Sensibilidad	Índice de sensibilidad compuesta	0.3422	
	Riesgo	Índice de aumento de riesgo de pérdida de verdor	0.0374	0.1763

Fuente: ENVIS, 2023.

Adicionalmente, se presentan las cadenas de impactos asociadas a los recursos hídricos, Inundación por Desbordes de Río y Sequías Hidrológicas.

- Recursos hídricos

Tabla 3- 157: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Inundación por Desbordes de Río en las comunas de Villa alegre, San Carlos y Chillán.

	Comunas	Amenaza	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa	Riesgo
Inundación por desbordes de río	Villa Alegre	0.2	0.2232	0.4179	0	0.1504
	San Carlos	-0.2	0.5456	0.8111	0	-0.7137
	Chillán	-0.4	0.326	0.5615	0	-0.7137

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 158: Matriz de riesgos para la cadena de impacto Sequías hidrológicas en las comunas de Villa alegre, San Carlos y Chillán.

	Comunas	Matriz de riesgo	Clima presente	Clima futuro	Cambio
Sequías hidrológicas	Villa Alegre	Sequias Severas	0.386	0.5161	0.3339
		Sequias Muy Severas	0.3869	0.5707	0.4752
		Combinado	0.3869	0.6311	0.6311
	San Carlos	Sequias Severas	0.25	0.25	0
		Sequias Muy Severas	0.25	0.75	1
		Combinado	0.25	0.5	1
	Chillán viejo	Sequias Severas	0.125	0.75	1
		Sequias Muy Severas	0.125	0.75	1
		Combinado	0.063	1	1

Fuente: ENVIS, 2023.

3.8.3.6.1 Análisis de cadena de impactos

De acuerdo con la información sobre la matriz de riesgos, se destaca que:

- Incendios en Bosques Nativos y Plantaciones Forestales

Las condiciones climáticas y meteorológicas tienen un impacto indirecto en los bosques nativos y las plantaciones forestales, lo que aumenta la probabilidad y la propagación de incendios forestales. Cuando las temperaturas superan los 30°C durante al menos tres días consecutivos, se les denomina "olas de calor", y estas pueden influir en la propagación de los incendios y, por lo tanto, en la extensión de tierras afectadas, especialmente cuando otras condiciones meteorológicas coinciden En ese sentido, se observa que el Riesgo de Incendios de Bosques Nativos para todas las comunas analizadas es muy bajo en un escenario futuro. En cambio, los Incendios en Plantaciones Forestales, en la comuna de Chillán Viejo es muy alto, no así en Villa Alegre y San Carlos, donde el riesgo es muy bajo en un escenario futuro.

En cuanto a la afectación del suelo, en Chillán es donde se perciben mayores riesgos por efecto del cambio climático asociado a la cadena de riesgo de incendios de Plantaciones Forestales. Respecto de las implicancias al suelo uno de los efectos más inmediatos de un incendio forestal es la eliminación de la cubierta vegetal que protege el suelo de la erosión causada por la lluvia y el viento. Sin esta protección, el suelo es vulnerable a la erosión, lo que puede llevar a la pérdida de capas superficiales de suelo fértil. Además, se pueden observar cambios en la estructura del suelo: Las altas temperaturas generadas por un incendio pueden alterar la estructura física del suelo, volviéndolo más compacto y endurecido. Esto puede dificultar la infiltración del agua y la capacidad del suelo para retener la humedad.

A su vez, puede existir pérdida de materia orgánica por la disminución de bacterias y microorganismos beneficiosos del suelo, lo que puede afectar negativamente la salud y la calidad del suelo. Con ello se altera la composición química, al liberar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo de la vegetación quemada. Estos nutrientes pueden lavarse con la lluvia y contaminar ríos y arroyos, lo que puede tener efectos negativos en los ecosistemas acuáticos.

Finalmente, puede provocar un aumento del riesgo de deslizamientos de suelo, dada la perdida de vegetación y especialmente durante fuertes lluvias posteriores al incendio.

- Verdor en Bosques Nativos y Plantaciones Forestales

Uno de los efectos más evidentes de la sequía en los bosques nativos es la pérdida de vigor y el verdor en los bosques mediterráneos de la zona central, como reportado por Garreaud et al. (2017).

De acuerdo con lo informado por Arclim (2023), existen resultados preliminares sobre un declive generalizado en el verdor de los bosques durante el verano de 2020. Estos cambios observados tienen el potencial de alterar la composición de las especies dominantes, su distribución, dinámica, estructura y la composición del sotobosque, lo que podría generar un efecto cascada indirecto en las comunidades asociadas y en la biodiversidad que dependen de estos bosques, debido a modificaciones en la estructura y calidad del hábitat (Miranda et al., 2020).

Al respecto, se determinó que, en todas las comunas analizadas, el riesgo por pérdida de verdor en Bosques Nativos es muy bajo para un escenario futuro. En Plantaciones Forestales, el riesgo es muy bajo en la comuna de Villa Alegre y San Carlos, siendo en Chillán Viejo un riesgo de pérdida de verdor de Plantaciones Forestales muy alto.

En relación con la posible afectación al suelo, considerando que en la comuna de Chillán Viejo el riesgo de pérdida de verdor es muy alto, se puede asociar la baja en verdor a la pérdida de cobertura vegetal, ya sea en bosques nativos o plantaciones forestales, este hecho deja el suelo expuesto a la erosión causada por la lluvia y el viento. Esto puede llevar a la pérdida de capas superficiales de suelo, que a menudo son las más ricas en nutrientes y materia orgánica.

A su vez, puede existir pérdida de materia orgánica, por la diminución del aporte de materia orgánica al suelo a través de la caída de hojas, ramas y otros residuos orgánicos. Cuando los árboles y la vegetación se ven afectados por el estrés hídrico o el aumento de las temperaturas debido al cambio climático, la cantidad de materia orgánica que llega al suelo puede disminuir, lo que afecta negativamente la fertilidad y la estructura del suelo. Así también pueden ocurrir cambios en la microbiología del suelo, ya que los bosques y las plantaciones forestales albergan una diversidad de microorganismos beneficiosos para el suelo, que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y al ciclo de nutrientes. La pérdida de verdor y la disminución de la actividad de las plantas pueden afectar la población y la actividad de estos microorganismos, lo que a su vez puede impactar negativamente la salud del suelo.

La vegetación en los bosques y plantaciones forestales juega un papel importante en la retención y la regulación del agua en el suelo. Cuando se pierde verdor, el suelo puede volverse menos capaz de retener el agua, lo que puede aumentar el riesgo de sequías y la escasez de agua en las áreas circundantes. Y finalmente, pueden ocurrir cambios en la estructura del suelo, ya que la vegetación contribuye a mantener la estructura física del suelo. Cuando los árboles se ven afectados por el estrés climático, las raíces pueden debilitarse o morir, lo que puede resultar en la compactación del suelo y la reducción de su capacidad de infiltración de agua.

- Inundación por Desbordes de Río

La ocurrencia de fenómenos de precipitación extrema está directamente relacionada con la intensidad de una tormenta, es decir, con la forma en que el agua se distribuye en un período determinado. Pudiéndose generar dos condiciones, que la lluvia sea intensa, es decir, una considerable cantidad de lluvia que cae en un corto lapso, o que sea baja, es decir, cuando la cantidad de agua caída es modesta y se distribuye de manera uniforme a lo largo de un periodo de tiempo prolongado.

Cuando los caudales aumentan, también se incrementan los niveles de flujo en los ríos, lo que resulta en una expansión de las áreas que quedan inundadas por el río. Estos patrones de inundación pueden variar significativamente según la topografía, la infraestructura de defensa fluvial, el ancho del río, la pendiente, las características del lecho, la descripción de las riberas de inundación y diversos parámetros hidráulicos y geomorfológicos.

Y a su vez, puede afectar los suelos aledaños ya que podría ocurrir erosión de suelo por desprendimiento, sedimentación, contaminación, compactación y/o salinidad.

Al respecto, de los resultados de riesgo por inundación por desbordes de ríos en las comunas analizadas, se observó que en para todas las comunas, el riesgo es muy bajo. Con ello se sostiene que los fenómenos de erosión del suelo no se verían afectados por esta cadena de impactos.

- Sequía Hidrológicas

Hace alusión a la reducción de las cantidades de agua almacenada y los movimientos de agua en la cuenca hidrográfica, donde diversos factores como el uso y la naturaleza del suelo, así como otras condiciones meteorológicas (tales como temperatura, vientos y humedad relativa), desempeñan un papel influyente.

Al respecto de los resultados sobre la cadena de impacto asociada a la sequía hidrológicas, en las comunas analizadas se observó que San Carlos tiene un leve aumento en sequias severas a muy severas en un escenario futuro, en cambio, Villa Alegre y Chillán Viejo presentaron fuertes aumentos de sequias severas y muy severas.

Las implicancias en los suelos de los aumentos de sequias hidrológicas, tienen implicancias respecto de la activación de fenómenos erosivos, ya que una sequía muy severa reduciría la cobertura vegetal, por muerte o debilitamiento de la vegetación. La vegetación desempeña un papel fundamental en la protección de los suelos contra la erosión, ya que sus raíces ayudan a estabilizar el suelo y sus hojas interceptan la lluvia, reduciendo el impacto de las gotas en la superficie del suelo. Con menos vegetación, el suelo queda más expuesto a la erosión.

Además, el suelo mientras más seco, se vuelve vulnerable y menos cohesionado. Esto puede generar susceptibilidad a la erosión, ya que es menos capaz de resistir la acción de la escorrentía superficial y las lluvias intensas. A su vez, cuando finalmente ocurren lluvias después de un período de sequía, el suelo seco puede volverse especialmente vulnerable a la erosión hídrica. El agua de lluvia puede arrastrar el suelo superficial y los sedimentos, causando erosión y sedimentación en ríos y cuerpos de agua cercanos.

Y finalmente, se asocia a otras cadenas de impactos, como son un mayor riesgo de incendios forestales o reducción de la vegetación ripariana que desempeña un papel importante en la protección de las riberas de los ríos contra la erosión. Durante una sequía, esta vegetación puede verse afectada, lo que disminuye su capacidad para estabilizar las orillas de los ríos y prevenir la erosión de las riberas.

3.8.3.7 Identificación de suelo hídrico y presencia de humedales urbanos

A partir de la metodología propuesta, y siguiendo las directrices de la Guía de Campo para la Delimitación y Caracterización de los Humedales Urbanos en Chile (2022), se obtuvieron los siguientes rasgos que se aprecian en la tabla a continuación, los que permitieron definir las características de un suelo hídrico en el AI consolidada de suelo.

Tabla 3- 159: Rasgos de suelos hídricos identificados en el AI consolidada de suelo.

N°	Características de suelos hídricos
Rasgo 2	El sustrato es predominantemente suelo hídrico (con mal drenaje o sin drenaje).
Rasgo 3	El sustrato está saturado con agua o cubierto con aguas superficiales en algún momento durante la temporada de crecimiento vegetacional anual.
Rasgo 4	El suelo está dentro del área definida por el Inventario Nacional de Humedales.
Rasgo 6	Si hay rasgos redoximórficos o moteados presentes (generalmente anaranjado, amarillento o pardo rojizo), colores dominantes en la matriz de suelo mineral de croma de 2 o menos (ver Anexo 2 Tabla de matrices típicas de suelos hídricos).
Rasgo 7	Si no hay moteados presentes, colores dominantes en la matriz de suelo mineral de croma 1 o menos.

Fuente: ENVIS, 2023.

3.8.3.7.1 Inventario Nacional de Humedades

De acuerdo con el inventario Nacional de Humedades, se observó que en el AI de suelo confluye en los siguientes humedales, los cuales se aprecian en la tabla siguiente. Estos sitios y su ecosistema representan susceptibilidad a impactos ambientales por parte del Proyecto, ya que alberga vida que se sostiene producto del ecosistema, por lo que corresponderían a objetos de conservación.

Tabla 3- 160: Humedales que pertenecen al Inventario Nacional de Humedales.

Nombre de humedad	Código inventario	Puente
Río Ancoa	HPU-07-16	Puentes Ancoa n°1 Oriente y n°2 Oriente
Río Longaví,	HUR-07-03	Puente Longaví Oriente
Estero Parral,	HUR-07-12	Puentes Parral Oriente, Parral ramal Poniente y Parral ramal oriente
Estero Navotavo	HUR-16-16	Puente Navotavo Oriente
Río Chillán	HUR-16-33, HUR-16-30	Puentes Nebuco Oriente y Nebuco Poniente

Fuente: ENVIS, 2023.

Respecto de la caracterización de suelos en los puentes donde confluyó el catastro del Inventario Nacional de Humedales, se observó que tanto en el Puente Parral Oriente como en Puente Nebuco Oriente y Nebuco Poniente, se encontró suelo hídrico.

3.8.3.7.2 Caracterización físico-morfológica de Suelos Hídricos

De acuerdo con la Guía área de influencia de Humedales en el SEIA (SEA 2023), la Guía de Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile (MMA, 2022) y La Guía de Campo Delimitación y Caracterización de Humedales Urbanos de Chile (MMA, 2022). A continuación, en la siguiente tabla se listan los puentes que presentaron definición de suelo hídrico.

Tabla 3- 161: Puentes con presencia de Suelos Hídricos.

Puente	Puntos de muestreo (C0) o Puntos de observación (PO)
Puentes Ancoa n°2 Oriente	PO29
Puentes Parral Oriente	PO62
Puente Lilahue Oriente, Puente Lilahue Poniente	C05
Puentes Nebuco Oriente y Nebuco Poniente	PO115

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, en las siguientes tablas se describe cada uno de los puntos de muestreo (calicatas) y Puntos de observación, cuyas características físico-morfológicas dan cuenta de un suelo hídrico.

Tabla 3- 162: Descripción física y morfológica del perfil de suelo C05

Calicata C05	Coordenadas: Datum WGS 84 HUSO 19S 232.014E/ 5.961.256S, 150 msnm.
Características Generales	El suelo ocupa una posición de terraza aluvial, con pendiente simple, plano (<1%). El uso actual es agropecuario para talaje animal, con presencia de rumiantes (vacas y terneros) comunes; con vegetación silvestre abundante, conformada por diversas especies que componen la pradera anual forrajera (poaceas en su mayoría). Se observan superficialmente abundantes agujeros rodeados por un montículo de suelo arcilloso, construidos posiblemente por crustáceos de río. Erosión no aparente; sin pedregosidad superficial de gravas (0 a <10%) y piedras (0 a <5%); y sin pedregosidad subsuperficial (<5%). La Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS) corresponde a IVw-4.
Profundidad (cm)	Características del perfil
0 – 25 Ap	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco limoso; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; friable en húmedo; bloques subangulares gruesos, moderados; raíces muy finas y finas abundantes, medias comunes; poros muy finos, finos y medios abundantes; moteados medios, abundantes y distintos (Pardo 7.5YR 4/4), desde los 3 cm de profundidad; 1% de grava gruesa; sin reacción al ácido clorhídrico. Límite lineal, difuso.
25 – 49 B1	Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franca; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; friable en húmedo; bloques subangulares medios, moderados; raíces finas y medias escasas; poros muy finos y finos, abundantes, medios escasos; moteados medios, abundantes y prominentes (Pardo rojizo 5YR 4/4); 1% de grava gruesa; sin reacción al ácido clorhídrico. Límite lineal, difuso.
49 – 100 B2	Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; franco limoso; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; friable en húmedo; bloques subangulares de finos a medios, débiles; raíces finas comunes, medias escasas; poros muy finos y finos, abundantes, medios comunes; moteados comunes, gruesos, prominentes (Rojo amarillento 5YR 4/6); sin reacción al ácido clorhídrico.

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, se observa un set fotográfico del perfil de suelo y otra del entorno para el punto de muestreo calicata C05.

Fotografía 13: Fotografía general del perfil de suelo y del entorno-paisaje, calicata C05.



Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 163: Punto de observación PO29.

PO29	Características Generales
El sitio corresponde a una terraza aluvial (UH5), de pendiente simple, ligeramente inclinado (2%). Presenta vegetación de especies ribereñas y alóctonas asilvestradas. Suelo delgado, de textura superficial franco arcillo arenosa, sin erosión aparente. La Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS) corresponde a Vw-14, por presentar rasgos redoximórficos en superficie, corresponder a un suelo muy pobremente drenado y presentar inundación muy frecuente.	

Fuente: ENVIS, 2023.

En la siguiente foto, se observa el perfil de suelo del punto de observación 29.

Fotografía 14: Fotografía general del entorno-paisaje, del punto de observación PO29.



Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 164: Punto de observación PO62.

PO62	Características Generales
El sitio corresponde a una zona de borde de cauce (UH4), con vegetación de Bosque con especies de alóctonas asilvestradas. La pendiente es moderadamente inclinada de 10%, delgado (20 a 40 cm), textura superficial franco arcillosa, sin erosión aparente. Se observan agujeros superficiales comunes, rodeado de un montículo de suelo, aparentemente construido por camarones de río. Clase de Uso de Suelo (CUS) corresponde a VIIw-13.	

Fuente: ENVIS, 2023.

En las fotografías a continuación, se observa el entorno para el punto de observación PO62.

Fotografía 15: Fotografía general del entorno-paisaje, del punto de observación PO62.



Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 165: Punto de observación PO115.

PO115	Características Generales
El sitio corresponde a un borde de cauce (UH4) con presencia de Bosque de especies alóctonas asilvestradas. La pendiente es simple, fuertemente inclinado de 11%; ligeramente profundo (40 a 70 cm), de clase textural superficial areno francosa; con ligera erosión por la intervención de la cobertura vegetal (<25%). La Clase de Capacidad de Uso de Suelo (CCUS) corresponde a VIIs-4.	

Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, se muestran fotografías del perfil de suelo y del entorno para el punto de observación PO115.

Fotografía 16: Fotografía general del perfil de suelo y del entorno-paisaje, del punto de observación PO115.



Fuente: ENVIS, 2023.

A continuación, en la tabla a continuación se presentan los atributos característicos que permitieron identificar la presencia de suelo hídrico. Además, la superficie identificada corresponde a 1,34 Ha a lo largo de los puentes proyectados, lo que representa el 3,98% de la superficie del AI consolidada de suelo.

Tabla 3- 166: Atributos identificados de Suelos Hídricos.

Puntos	CUS	Atributos (rasgos) delimitadores de suelos hídricos
C05	Suelo correspondiente a la UHS-5: Terraza Aluvial /Terraza Agrícola, con CCUS IVw-4, presenta drenaje imperfecto por la presencia de napa fluctuante, con poros finos abundantes y raíces finas comunes en profundidad. Se observan rasgos redoximórficos finos, comunes y prominentes, cuya matriz presenta un color Munsell de valor de 3 y croma de 2. Los colores se tomaron en húmedo. Superficialmente se observaron agujeros comunes, rodeados por un montículo de suelo, construidos por crustáceos de río.	Color de suelo estrata Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) Presencia de moteados desde los 3 cm de profundidad, de color Pardo rojizo (5YR 4/4)
PO29	Suelo correspondiente a la UHS-5: Terraza Aluvial /Terraza Agrícola, con CCUS Vw-14, muy pobremente drenado, superficialmente se observa agua apozada.	El sustrato es predominantemente suelo hídrico (con mal drenaje o sin drenaje).
PO62	Suelo correspondiente a la UHS-4: Misceláneo /Bosque-Matorral, con CCUS VIIw-14, muy pobremente drenado, superficialmente se observa agua apozada; con presencia agujeros comunes, rodeados por un montículo de suelo, construidos por crustáceos de río.	El sustrato está saturado con agua o cubierto con aguas superficiales en algún momento durante la temporada de crecimiento vegetacional anual.
PO115	Suelo correspondiente a la UHS-4: Misceláneo /Bosque-Matorral, con CCUS VIIw-14, drenaje imperfecto, por napa fluctuante a los 60 cm.	El sustrato está saturado con agua o cubierto con aguas superficiales en algún momento durante la temporada de crecimiento vegetacional anual.

Fuente: ENVIS, 2023.

3.8.3.8 Caracterización de la capacidad del suelo para sustentar biodiversidad

3.8.3.8.1 Parámetros Abióticos y Bióticos del Suelo

En la siguiente tabla, se observa la CSB en el AI del Proyecto de acuerdo con la UHS observada.

Tabla 3- 167: Capacidad de Sustentar Biodiversidad (CSB) en el AI de suelo.

CSB	Superficie (Ha)	Representación en el AI de suelo (%)	UHS	Superficie (Ha)	Representación en el AI de suelo (%)
CSB Alto	7,59	22,60	UHS 4	4,77	14,20
			UHS 5	2,82	8,40
CSB Medio	1,35	4,02	UHS 4	0,56	1,66
			UHS 5	0,79	2,34
CSB Bajo	0,90	2,68	UHS 4	0,12	0,36
			UHS 5	0,78	2,32
n.a.	23,74	70,70	UHS 1	18,07	53,83
			UHS 2	2,33	6,94
			UHS 3	3,34	9,94
Total	33,85	100,0		33,58	100,0

No aplica: n.a.

Fuente: ENVIS, 2023.7

De acuerdo con la tabla presentada, se sostiene que la CSB Alta corresponde al 22,60% (7,59 Ha) de la superficie de la AI consolidada de suelo, la CSB Media comprende una superficie de 1,35 Ha equivalentes al 4,02% y la CSB Baja al 0,90% correspondiente a 2,68 Ha.

En la siguiente tabla, se observa la CSB en el AI del Proyecto observada en cada puente proyectado.

Tabla 3- 168: Capacidad de Sustentar Biodiversidad por Puente Proyectado

N°	Puente	CSB				
		CSB Bajo	**CSB Medio**	**CSB Alto**	**n.a.**	**Total**
1	Puente Cunaco Oriente			1,05	0,95	2,00
2	Puente Ancoa N°1 y N°2 Oriente	0,20	0,02	1,58	2,89	4,69
3	Puente Longaví Oriente				4,68	4,68
4	Puente Copihue Oriente y Poniente			1,09	1,12	2,21
5	Puente Colliguay Oriente		0,13	0,65	1,03	1,81
6	Puente Parral Oriente y Ramal parral Poniente		0,43		3,50	3,93
7	Puente Ñiquén Oriente		0,77	0,18	1,01	1,96
8	Puente Navotavo Oriente				2,01	2,01
9	Puente Lilahue Oriente y Poniente Calle Local			0,82	1,48	2,30
10	Puente Ninquihue Poniente			0,16	1,71	1,87
11	Puente Menelhue Poniente	0,12		0,54	1,28	1,94
12	Puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local)	0,58		1,52	2,09	4,19
	Total	**0,90**	**1,34**	**7,59**	**23,74**	**33,58**
	Representación en el AI (%)	**2,68**	**4,00**	**22,60**	**70,71**	**100,00**

Fuente: ENVIS, 2023.

Por su parte, de la tabla precedente, se observa que, de los puentes proyectados, el Puente Longaví Oriente y Navotavo Oriente fueron los únicos puentes que no aplicó la estimación de la CSB, debido a las alteraciones del medio, cuya superficie correspondió a 6,69 Ha. El resto de los puentes presentaron al menos una categoría de CSB. El único puente que presentó los tres niveles de CSB fue puente Ancoa N°1 y N°2 Oriente. Los que presentaron al menos dos niveles de CSB fueron Puente Colliguay Oriente, Puente Ñiquén Oriente, Puente Menelhue Poniente y Puente Nebuco Oriente y Poniente (tercera pista y calle local). Finalmente, todos los puentes salvo, Puente Longaví Oriente y Puente Parral Oriente, Ramal parral Poniente y Puente Navotavo Oriente, presentaron niveles altos de CSB.

A continuación, se presenta los criterios utilizados para establecer los niveles de CSB en las unidades UHS 4: Misceláneo/ Bosque -Matorral y UHS 5: Terraza Aluvial /Terraza Agrícola. Tal como fue explicado en la metodología, el nivel Alto implica que presenta las mejores condiciones para el establecimiento de diversidad asociada a flora y fauna, y Media una condición regular para el establecimiento, y finalmente la CSB Pobre una condición desfavorable.

Tabla 3- 169: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de la unidad de suelo UHS-5.

Parámetros abióticos y bióticos	Puntos de muestreo (C0)								
	C01	C02	C03	C04	C05	C06	C07	PO29	PO119
Estructura de suelo	Medio	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio
Agua aprovechable	Alto	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo
Pedregosidad	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
CE	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
pH	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Abundancia y profundidad de raíces	Alto	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio	Bajo	Alto	Alto
Materia Orgánica	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto
Animales y salud edáfica	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Medio	Alto
Uso de suelo	Agrícola	Silvestre	Silvestre	Agrícola	Agrícola	Agrícola	Silvestre	Silvestre	Silvestre
CSB	CBS Alto	CBS Bajo	CBS Alto	CBS Medio	CBS Alto	CBS Alto	CBS Bajo	CBS Alto	CBS Alto

Bajo: condición desfavorable, Medio: condición regular, Alto: condición muy adecuada.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 170: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de suelo (PO0) de la unidad de suelo UHS-4.

Parámetros abióticos y bióticos	Puntos de observación de suelo (PO0)				
	PO26	PO27	PO41	PO42	PO48
Estructura de suelo	Alto	Alto	Alto	Bajo	Medio
Agua aprovechable	Medio	Medio	Medio	Bajo	Medio
Pedregosidad	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio
CE	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
pH	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Abundancia y profundidad de raíces	Alto	Alto	Alto	Bajo	Bajo
Materia Orgánica	Alto	Alto	Alto	Bajo	Alto
Animales y salud edáfica	Medio	Medio	Alto	Alto	Alto
Uso de suelo	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre
CSB	CSB Alto	CSB Alto	CSB Alto	CSB Bajo	CSB Alto

Bajo: condición desfavorable, Medio: condición regular, Alto: condición muy adecuada.

Fuente: ENVIS, 2023.

Tabla 3- 171: Capacidad del suelo para Sustentar Biodiversidad, en puntos de observación de suelo (PO0) de la unidad de suelo UHS-4.

Parámetros abióticos y bióticos	Puntos de observación de suelo (PO0)							
	PO51	PO62	PO75	PO101	PO104	PO109	PO113	PO115
Estructura de suelo	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
Agua aprovechable	Medio	Medio	Alto	Alto	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
Pedregosidad	Medio	Medio	Alto	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto
CE	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
pH	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Abundancia y profundidad de raíces	Medio	Bajo	Alto	Alto	Medio	Medio	Bajo	Bajo
Materia Orgánica	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto
Animales y salud edáfica	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto
Uso de suelo	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre	Silvestre
CSB	CSB Medio	CSB Medio	CSB Alto	CSB Alto	CSB Bajo	CSB Medio	CSB Alto	CSB Alto

Bajo: condición desfavorable, Medio: condición regular, Alto: condición muy adecuada.

Fuente: ENVIS, 2023.

3.8.3.9 Identificación de los Atributos Sensibles, Singularidades del Suelo u Objetos de Protección

A partir de la información recopilada, se concluye que el área de influencia del proyecto presenta una alta sensibilidad en términos del componente suelo. Esta sensibilidad se manifiesta en dos unidades homogéneas de suelo (UHS): UH4 - Misceláneo/Bosque-Matorral y UH5 - Terraza Aluvial/Terraza Agrícola. La UH4 representa el 16,22% del área de influencia consolidada del suelo del proyecto, mientras que la UH5 representa el 13,07%.

La UH4 está compuesta por ecosistemas altamente susceptibles a la erosión del suelo, con un riesgo de erosión muy alto en un área de 5,45 hectáreas, que representa el 16,22% del área de influencia. Dentro de esta unidad, el 14,2% presenta una Alta Capacidad de Sustentar Biodiversidad (CSB) y el 1,66% una CSB Media. Esta unidad se caracteriza por una constante renovación de la materia orgánica, gracias a la vegetación permanente, y se clasifica principalmente como clase de Capacidad de Uso del Suelo (CUS) VI y VII, siendo la clase VII la más representativa.

La UH5 está formada por suelos agrícolas con clases de CUS que varían entre II y IV, utilizados principalmente para la agricultura y la ganadería, y tienen un alto valor ambiental productivo. Esta unidad incluye una superficie del 6,18% de suelos de clases II y III, prioritarios en las zonas, cubriendo un área de 2,08 hectáreas; y un 7,87% de la superficie del AI consolidada de suelo, presenta una Alta CSB.

Por otra parte, en la UH5, el riesgo de erosión actual es alto en un 2,28% y muy alto en un 3,36%. Con la implementación del proyecto, la sensibilidad al riesgo de erosión potencial aumenta a 5,51% y 7,66%, respectivamente.

Además, en la UH5 se identificaron suelos de protección especial, correspondientes a suelos hídricos de clases IV, V y VII, que representan el 3,98% de la superficie del área de influencia consolidada del proyecto, cubriendo un área de 1,34 hectáreas. Estos suelos tienen un alto potencial ecosistémico.

3.8.4 CONCLUSIONES

Considerando los antecedentes recopilados en la revisión bibliográfica, la visita a terreno y los criterios utilizados según la “Pauta para el estudio de suelo” (SAG, 2011 rectificada 2016), dentro del área de influencia (AI) de 33,58 Ha, se definieron cinco unidades homogéneas de suelo (UHS), en base a características de propias del suelo, geoforma, uso actual y cobertura vegetacional del sitio de estudio. Estas fueron denominadas como: UHS 1 – Zona Intervenida, UHS 2 – Zona Urbana/Industrial, UHS 3 – Caja de Río / Curso de agua, UHS 4 – Misceláneo/ Bosque-Matorral y UHS 5 – Terraza Aluvial/Terraza Agrícola.

A partir de las condiciones de suelo, la unidad UHS 1 – Zona Intervenida se asoció a las siguientes cartas agrológicas de CIREN: Caja de rio (CDR), Urbano (UR), Relave y Misceláneo Estero (ME). La Unidad UHS 2 – Zona Urbana/Industrial a la carta agrológica Urbano (UR); la Unidad UHS 3 – Caja de Río/Curso de agua se asoció a la carta agrológica Caja de Río (CDR), la Unidad UHS 4 – Quebrada y/o Bosque a la carta agrológica Misceláneo Estero (ME) y finalmente, la Unidad UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola, asociada a las series de suelo LOB, LNS, TQL, QLA y MCP.

Con respecto a la clasificación de la capacidad de uso de suelo (CUS):

- La UHS 1 – Zona Intervenida cuya superficie es de 18,07 Ha representa un 53,83% del área de influencia del suelo, no aplica la evaluación de la clasificación CUS, por tratarse de una zona fuertemente intervenida.

- La UHS 2 – Zona Urbana/Industrial, corresponde a una zona fuertemente intervenida por lo que no aplica la evaluación de la clasificación CUS. La unidad con 2,33 Ha representa un 6,94% de la superficie del área de influencia del suelo.

- En la Unidad UHS 3 – Caja de Río y Curso de agua no aplica la evaluación de clasificación CUS, debido a que no corresponde a unidad de suelo; correspondiendo a 3,34 Ha, representando 9,94% de la superficie del área de influencia de Suelo.

- La UHS 4 – Quebrada y/o Bosque, con una superficie total de 5,45 Ha, representa el 16,22% de la superficie del área de influencia de suelo, presenta 0,53% (0,18 Ha del AI de suelo) con suelos de clase CUS VII, sub-clase e, principalmente asociado a la pendiente, correspondiendo a ecosistemas de conservación, y un 14,79% (4,97 Ha del AI de suelo) VII sub-clase s, debido a diferentes limitantes entre las que destacan pedregosidad superficial y subsuperficial, profundidad y bajo almacenamiento de agua.

Además, un 0,9% (0,69 Ha) con una clase CUS VI sub-clase s, debido a la pedregosidad subsuperficial.

- La UHS 5 – Terraza Aluvial/ Terraza Agrícola, con una superficie total de 4,39 Ha, representando un 13,07% de la superficie del área de influencia de suelo, presentó las siguientes clases de capacidad de uso: 1) CUS II, sub-clase s, debido a condiciones del suelo siendo la limitantes más significativa el contenido de agua aprovechable (H2), corresponde a una superficie de 0,88 Ha (2,61% de la superficie del AI de suelo), siendo representado por calicata C01; 2) CUS III, sub-clase w, representando por C04 y C06, debido a una condición de drenaje imperfecto, dada la evidencia de rasgos redoximórficos entre los 20 a 60 cm de profundidad, correspondiendo a 1,2 Ha y equivalente al 3,57% del AI del suelo; 3) un CUS IV, sub-clase s, tanto en C02 y C03, debido a que en el primer caso el suelo es excesivamente drenado y presenta baja retención de humedad (0,34 Ha representa el 1,01% del AI de suelo), y en el segundo caso, debido a la abundante pedregosidad superficial y nivel freático alto (0,47 Ha siendo el 1,39% del AI de suelo). Además, 4) un CUS IV sub-clase w, en calicata C05, debido al drenaje pobre, dada la presencia de rasgos redoximórficos (moteados) desde los 3 cm de profundidad, correspondiendo al 0,51 Ha equivalente al 1,51% del AI), una clases CUS VI sub-clase s, debido a la pedregosidad subsuperficial muy abundante 0,98 Ha representado 2,91%) y finalmente 6), CUS V subclase w, debido a niveles freáticos alto e inundaciones, con 0,02 Ha siendo el 0,05% del AI de suelo.

En relación con la erosión actual, se obtuvo que mayoritariamente no existe evidencia de erosión, siendo representada como no aparente, salvo en el Puente Ancoa N°1 y N°2 Oriente, Puente Menelhue Poniente y Puente Nebuco Oriente - Poniente (tercera pista y calle local) que se observó erosión ligera, en 1,2%, 0,21% y 0,79% del AI, respectivamente, y en Puente Ñiquén Oriente una categoría moderada de erosión actual con 2,28% del AI. Además, el 70,72% del AI de suelo, correspondió a otros usos del territorio, y no aplica estimación de erosión actual.

De acuerdo con el modelo el riesgo de erosión actual se presentaron tres categorías: riesgo medio, alto y muy alto con 2,49 Ha, 0,77 Ha y 6,52 Ha respectivamente. De la superficie con riesgo actual medio (condición modelada sin proyecto) pasa a un nivel de riesgo de alto y muy alto en una condición con proyecto, donde el riesgo de erosión actual alto se incrementa en 1,05 Ha y el riesgo de erosión potencial muy alto aumenta en 1,44 en una situación con Proyecto.

Respecto del análisis de sensibilidad al cambio climático, de las cadenas de valor analizadas, se observó la Región de Ñuble, presentan un mayor riesgo por incendios forestales y perdidas de verdor que la Región de Maule y las sequias hidrológicas presentan leve aumento riesgo de

severo a muy severo en la Región del Maule y fuerte aumento del riesgo de severo a muy severo en la Región de Ñuble. Estas condiciones pueden gatillar activación de fenómenos erosivos, dado que la perdida de cobertura vegetal, por incendios forestales, perdida de verdor y sequias hidrológicas.

En base a los hallazgos, el Proyecto presenta un factor de sensibilidad en términos del componente Suelo, en dos unidades homogéneas de suelo denominadas: UHS 4 – Quebrada y o Bosque y UHS 5 – Terraza Aluvial/Terraza Agrícola, el primero corresponde a ecosistemas altamente susceptibles a la activación de procesos erosivos del suelo, principalmente por la pendiente del sitio y las clases texturales, y por presentar una alta capacidad de sustentar biodiversidad; y el segundo, comprende suelos agrícolas con clases de Capacidad de Uso de Suelo (CUS) que van entre II a IV, siendo 2,08 Ha de la superficie a suelos agrícolas con alto valor ambiental productivo (clase II y III).

Además, se identificaron objetos de protección asociados a suelos hídricos de los Puentes Ancoa n°2 Oriente, Puentes Parral Oriente, Puente Copihue Oriente - Poniente, Puente Lilahue Oriente – Poniente Calle Local y Puentes Nebuco Oriente -Poniente (tercera pista y calle local), representando 1,34 Ha de superficie, equivalente al 3,98% del AI consolidada de suelo.

Como aspecto final, en la tabla que se muestra a continuación, se describen las susceptibilidades de suelo respecto de cada obra/puente según lo descrito en la presente línea de base.

Tabla 3- 172: Conclusiones por Puente proyectado de acuerdo con el AI consolidada de suelo

N°	Puente	Superficie [Ha]	% en el AI	Suelos
1	Cunaco Oriente	2,00	5,94	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial alto y muy alto, siendo su riesgo de erosión actual de medio y muy alto. Además, identifica una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se observa suelos CCUS IIs8 con alto potencial agrícola.
2	Ancoa N°1 y N°2 Oriente	4,69	13,96	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual muy alto. Además, se observa una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se identificaron suelos hídricos con CCUS Vw13.
3	Longaví Oriente	4,68	13,93	Toda la superficie del AI de suelo del puente se encuentra intervenida.
4	Copihue Oriente y Poniente	2,21	6,57	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual muy alto. Además, se observó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII y presencia de suelos hídricos.

N°	Puente	Superficie [Ha]	% en el AI	Suelos
5	Colliguay Oriente	1,81	5,40	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual muy alto. Además, se identificó una alta CSB debido a la presencia de suelos con CCUS VII.
6	Parral Oriente, Parral Ramal Oriente y Ramal parral Poniente	3,93	11,71	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual muy alto. A su vez, se identificaron suelos hídricos con CCUS Vw13.
7	Ñiquén Oriente	1,96	5,83	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual de alto y muy alto. Además, se observó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se identificaron suelos con alto potencial agrícola con CCUS IIIw4.
8	Navotavo Oriente	2,01	5,98	Toda la superficie del AI de suelo del puente se encuentra intervenida.
9	Lilahue Oriente y Poniente	2,30	6,85	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial alto y muy alto, siendo su riesgo de erosión actual medio y muy alto. Además, una identificó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se observaron suelos con alto potencial agrícola con CCUS IIIw4 y suelos hídricos IVw4.
10	Ninquihue	1,87	5,58	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial muy alto, siendo su riesgo de erosión actual muy alto. Además, se observó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII.
11	Menelhue	1,94	5,77	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial alto y muy alto, siendo su riesgo de erosión actual medio y muy alto. Además, identificó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se observó suelos con alto potencial agrícola con CCUS IIIw4.
12	Nebuco Oriente y Nebuco Poniente	4,19	12,47	Presenta un riesgo de activación de erosión potencial a muy alto, siendo su riesgo de erosión actual medio y muy alto. Además, identificó una alta CSB por la presencia de suelos con CCUS VII. A su vez, se observó presencia de suelos hídricos.
Total		**33,85**	**100**	

Fuente: ENVIS, 2023.

3.8.5 BIBLIOGRAFÍA

Börgel, R. 1983. Geografía de Chile, geomorfología Tomo III. Instituto Geográfico Militar. Santiago. Chile. 186p.

Brady, N. and Weil, R. 2008. The nature and properties of soil, 14 ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Castro, R. 2016. Evaluación de Impactos de Riesgos de Activación de Procesos Erosivos. Informe Final Asesoría. Modificado por el SAG (Licitación 612-23-116). Septiembre 2016. Servicio Agrícola y Ganadero. División de Protección de los Recursos Naturales Renovables. Agrosig Ltda. Consultora Ambiental.

Centro AGRIMED. 2017. Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo III Regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule. 212p.

Centro AGRIMED. 2017. Atlas agroclimático de Chile. Estado actual y tendencias del clima. Tomo IV Regiones de Biobío y de la Araucanía. 140p.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 1997. Estudio Agrológico de la Región VII. Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Chile. Publicación CIREN N°117. 661p.

Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). 2014. Estudio Agrológico de la Región VIII. Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos. Centro de Información de Recursos Naturales. Chile. Publicación CIREN N°121. 555p.

Favis Mortlock, D. 2007. Climate Change and Soil Erosion. Imperial College Pr; 1st ed.

Havlin, J., Tisdale S., Nelson W., and J. Beaton. 2017. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management and nutrient management. Eighth Edition. Pearson India Education Services Pvt. Ltd. CRC Press. 529 p.

Iroumé, A., Palacios, H., Bathurst, J. 2017. La vegetación ripariana como filtro de la escorrentía y erosión superficiales luego de la cosecha forestal. Capítulo II en Balocchi, F., Chreties, C. (Eds) Procesos de erosión sedimentación en cauces y cuencas, Volumen 3. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France and UNESCO Regional Office for Sciences for Latin America and the Caribbean –UNESCO Montevideo, Uruguay. 23-41p.

Luzio W., M. Casanova, C. Leiva, O. Salazar y O. Seguel. 2006. Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile. 394 p.

Luzio, W. 2010. Suelos de Chile. Departamento de Ingeniería y Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Walter Luzio (Editor). 364p.

Ministerio de Medio Ambiente (SEA). 2022. Guía para la determinación y caracterización de Humedales urbanos de Chile. Chile. 199p.

Ministerio de Medio Ambiente (SEA). 2022. Guía de campo para la determinación y caracterización de Humedales urbanos de Chile. Chile. 32p.

Sandoval, M., Dörner, F., Seguel, O., Cuevas, J. y D. Rivera. 2012. Método de análisis físico de suelo. Chillán, Chile: Publicaciones - Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.14001/59208

Schlatter J., R., Grez and V. Gerding. 2003. Manual para el reconocimiento de suelos. Valdivia, Chile. 3ª ed. Universidad Austral de Chile. 114 p.

Schoeneberger, P.J., D.A. Wysocki, E.C. Benham, and Soil Survey Staff. 2012. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 300 p.

Servicio Agrícola Ganadero (SAG). 2019. Guía de evaluación ambiental: recurso natural suelo. D-RNN-EIA-PR-005. Chile. 14p.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). 2011 rectificada 2016. Departamento Protección Recursos Naturales Renovables. Pauta para Estudio de Suelos.

Servicio de Evaluación ambiental (SEA). 2017. Guía para la descripción del área de influencia, Descripción de los componentes suelo, flora y fauna de ecosistemas terrestres en el SEIA. Chile. 98p.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2017. Guía para la determinación del área de influencia en el SEIA. Chile. 50p.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2023. Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA. Chile. 85p.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2023. Guía para la determinación del área de influencia en Humedales en el SEIA. Chile. 147p.

UNESCO, 2017. Procesos de Erosión sedimentación en cauces y cuencas. Volumen 3. UNESCO, 2017.

United States Department of Agriculture (USDA). 2017. Soil Survey Manual, Handbook N°18. Soil Science Division Staff. 437 pp.