

# **ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**

INDICE

I. ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL .....	1
1.1 RIESGO ANTRÓPICO .....	1
1.1.1 Riesgo Antrópico y Fuentes Contaminantes .....	1
1.1.1.1 Áreas de Resguardo Infraestructura .....	1
1.1.1.2 Áreas de Resguardo de Infraestructura Oleoductos, Gasoductos y Poliductos .....	3
1.1.1.3 Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura Sanitaria .....	5
1.1.1.4 Áreas de Resguardo de Equipamientos de Salud – Cementerios.....	6
1.1.1.5 Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura de Transporte .....	6
1.1.1.6 Incendios Forestales .....	8
1.1.2 Síntesis de Riesgo Antrópico .....	12
1.1.3 Problemáticas Ambientales Identificadas en la Comuna .....	14
1.1.3.1 Contexto agrícola .....	14
1.1.3.2 Incendios Forestales .....	14
1.1.3.3 Residuos Sólidos Domiciliarios .....	18
1.1.3.4 Termoeléctricas .....	18
1.1.3.5 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.....	18
1.1.3.6 Zoonosis .....	18
1.1.3.7 Contaminación biológica .....	18
1.1.3.8 Contaminación del río Aconcagua .....	18
1.1.3.9 Contaminación atmosférica.....	18
1.1.3.10 Problemas de conectividad y congestión.....	18
1.1.3.11 Síntesis y oportunidades respecto a los Problemas Ambientales .....	19
1.2 RIESGOS NATURALES.....	19
1.2.1 Remoción en Masa.....	19
1.2.1.1 Planteamiento Metodológico .....	19
1.2.2 Superposición de Variables .....	22
1.2.3 Descripción de Variables .....	23
1.2.3.1 Antecedentes Históricos de Procesos de Remoción en Masa .....	23
1.2.3.2 Geomorfología de la Comuna de Quillota.....	26
1.2.3.3 Topografía (Pendiente y Exposición) .....	28
1.2.3.4 Geología .....	30
1.2.3.5 Precipitaciones .....	31
1.2.3.6 Identificación de Quebradas Torrenciales.....	34
1.2.3.7 Erodabilidad.....	35
1.2.3.8 Cobertura Vegetacional.....	36
1.2.3.9 Uso de Suelo .....	38
1.2.4 Modelo de Áreas de Remoción en Masa .....	39

1.2.5	Definición De Áreas Finales .....	43
1.2.5.1	Método.....	43
1.2.5.2	Resultados.....	44
1.2.6	Informe de Mecánica de Suelos .....	47
1.2.6.1	Reconocimiento Geotécnico .....	47
1.2.6.2	Características del terreno .....	47
1.2.6.3	Perfil Estratigráfico de Diseño .....	48
1.2.6.4	Caracterización Geotécnica Suelo De Cimentación .....	49
1.2.6.5	Propiedades índice suelo en banco (depósito natural de maicillo).....	49
1.2.6.6	Caracterización macizo rocoso y propiedades índice.....	51
1.2.6.7	Capacidad de soporte del suelo de fundación .....	53
1.2.6.8	Análisis de asentamientos.....	55
1.2.6.9	Coeficiente de reacción .....	56
1.2.6.10	Parámetros sísmicos .....	57
1.2.6.11	Erosión de taludes.....	57
1.2.6.12	Estabilidad de taludes .....	58
1.2.6.13	Empujes de tierra .....	59
1.2.6.14	Muros arriostrados .....	60
1.2.6.15	Muros en voladizo .....	61
1.2.6.16	Síntesis Cerro Mayaca .....	64
1.2.7	Riesgos de Inundación .....	66
1.2.7.1	Metodología.....	66
1.2.7.2	Características Generales de los Cauces Naturales de la Comuna de Quillota ....	67
1.2.7.3	Recopilación de Antecedentes.....	68
1.2.7.4	Análisis de Riesgos por Inundaciones a Nivel Comunal.....	73
1.2.7.5	Análisis de Riesgos por Inundaciones a Nivel Local .....	74
1.2.7.6	Obras de Protección Existentes .....	76
1.2.7.7	Evaluación Situación Actual .....	79
1.2.7.8	Conclusiones y Recomendaciones .....	94
1.2.8	Análisis de Interacción de Factores Condicionantes y Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad	96
1.2.8.1	Riesgos naturales para el área comunal.....	96
1.2.8.2	Zonificación de riesgos.....	100
1.2.9	Recomendaciones .....	105
1.2.10	Recomendaciones Constructivas Áreas de Remoción Cerro Mayaca .....	105
1.2.10.1	Recomendaciones para la materialización de fundaciones y elementos estructurales.	105
1.2.10.2	Recomendaciones para el tratamiento de taludes.....	110
1.2.10.3	Manejo de las aguas de escorrentía .....	111

1.2.10.4	Protección de la superficie de un talud .....	111
1.2.11	Anexo de Registro fotográfico .....	112

#### INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estratigrafía de Diseño. ....	48
Tabla 2	Parámetros geomecánicos característicos de diseño. ....	50
Tabla 3	Clasificación y valoración geomecánica macizo rocoso. ....	51
Tabla 4	Tablas que evalúan la resistencia a la compresión y recuperación RQD	
Tabla 5	Tablas que indican el espaciamiento de las discontinuidades y condiciones de las .....	52
Tabla 6	Tablas que indica las condiciones de aguas subterráneas.....	52
Tabla 7	Categorización y atributos geomecánicos de la roca.....	53
Tabla 8	Propiedades geomecánicas macizo rocoso.....	53
Tabla 9	Coefficientes empujes de terreno.....	60
Tabla 10	Factores de seguridad elementos de contención .....	63
Tabla 11	Factores de seguridad elementos de contención. ....	63
Tabla 12	Requisitos de los materiales para rellenos estructurales. ....	108
Tabla 13	Parámetros geomecánicos característicos de rellenos estructurales.....	108
Tabla 14	Dimensiones y espaciamientos de elementos de contención.....	109

#### INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Infraestructura Energética.....	2
Ilustración 2	Subestación eléctrica en límite este de San Pedro .....	3
Ilustración 3	Trazado de Gasoductos y Oleoductos.....	4
Ilustración 4	Trazado cercano a Localidad de San Pedro.....	4
Ilustración 5	Infraestructura Sanitaria, Relleno Sanitario y PTAS.....	5
Ilustración 6	Localización de cementerios.....	6
Ilustración 7	Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura de Transporte.....	7
Ilustración 8	Riesgo de Incendios Forestales.....	8
Ilustración 9	Peligro de Incendios Forestales.....	9
Ilustración 10	Daño potencial de Incendios Forestales.....	10
Ilustración 11	Priorización de áreas de Incendios Forestales.....	10
Ilustración 12	Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial.....	11
Ilustración 13	Síntesis de Riesgos Antrópicos .....	13
Ilustración 14	Masa vegetal comunal.....	15
Ilustración 15	Relación construcciones y masa vegetal.....	16
Ilustración 16	Geomorfología Comuna de Quillota.....	28
Ilustración 17	Grados de Erodabilidad según Pendiente.....	29
Ilustración 18	Grado de Erodabilidad, según Exposición .....	29
Ilustración 19	Agresividad Climática para la Región de Valparaíso.....	34
Ilustración 20	Índice Stream Power Index (SPI) para la comuna de Quillota .....	35
Ilustración 21	Índice Topographic Wetness Index (TWI) para la comuna de Quillota.....	35
Ilustración 22	Tipo de Erodabilidad para la Región de Valparaíso y Comuna de Quillota	36
Ilustración 23	NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para la Comuna de .....	37
Ilustración 24	Intensidad Vegetal para la Comuna de Quillota.....	38
Ilustración 25	Uso de Suelo Comuna de Quillota .....	39
Ilustración 26	Carta de Remoción en Masa, según Metodología propuesta.....	41
Ilustración 27	Modelo de Remoción en masa Cerro Mayaca.....	42
Ilustración 28	Remoción en masa El Boco.....	42

Ilustración 29	Remoción en masa San Pedro .....	43
Ilustración 30	Área de Remoción Final – San Pedro .....	45
Ilustración 31	Área de Remoción Final – El Boco .....	46
Ilustración 32	Localización de Prospecciones .....	47
Ilustración 33	Fundación en horizonte H-02 (SM) .....	54
Ilustración 34	Diagramas de empujes para elementos arriostrados .....	60
Ilustración 35	Diagramas de empujes para elementos no arriostrados .....	61
Ilustración 36	Esquema de dren tras muro de contención, para el caso de usar suelo existente tras elemento de contención .....	62
Ilustración 37	Esquema de la distribución de los rellenos controlados tras muro en .....	
Ilustración 38	Zonas de Riesgo Cerro Mayaca .....	65
Ilustración 39	Cauces Naturales en la Zona de Estudio .....	68
Ilustración 40	Zonificación Susceptibilidad de Inundación y Anegamiento .....	73
Ilustración 41	Zonificación Susceptibilidad de Inundación y Anegamiento .....	74
Ilustración 42	Sectores Afectados Río Aconcagua .....	75
Ilustración 43	Sectores Afectados Estero San Isidro .....	75
Ilustración 44	Sectores Afectados Estero San Pedro .....	76
Ilustración 45	Defensa Tipo Enrocado Río Aconcagua Sector Instalaciones ESVAL .....	77
Ilustración 46	Defensa Tipo Enrocado .....	77
Ilustración 47	Defensa Tipo Enrocado Río Aconcagua .....	77
Ilustración 48	Muro de Gaviones Sector Norte Río Aconcagua .....	78
Ilustración 49	Defensa Muro de Gaviones Sector Norte Río Aconcagua .....	78
Ilustración 50	Perfiles Modificados Modelo Hidráulico HEC-RAS Río Aconcagua .....	79
Ilustración 51	Zona de Riesgo – Sector A .....	82
Ilustración 52	Zona de Riesgo – Sector B .....	83
Ilustración 53	Zona de Riesgo – Sector C .....	83
Ilustración 54	– Quebrada Sector El Boco .....	84
Ilustración 55	Zona de Riesgo – Sector D .....	85
Ilustración 56	Zona de Inundación Año 2003 .....	85
Ilustración 57	Zona de Riesgo – Sector E .....	86
Ilustración 58	Zona de Riesgo – Sector F .....	87
Ilustración 59	Zona de Riesgo – Sector H .....	88
Ilustración 60	Esteros San Pedro en Puente Santa Rosa .....	89
Ilustración 61	Esteros San Pedro – Esquema Sector de Inundación .....	89
Ilustración 62	Zona de Riesgo – Sector G .....	91
Ilustración 63	Esteros San Isidro – Zonas de Expansión Urbana San Pedro .....	91
Ilustración 64	Esteros San Isidro – Zona Termoelectricas .....	92
Ilustración 65	Zonas de Posible Expansión Urbana con Peligro de Inundación .....	93
Ilustración 66	Defensas Fluviales Existentes y Extensiones Propuestas .....	94
Ilustración 67	Defensa Propuesta para Sector El Boco .....	95
Ilustración 68	Zonas de Riesgo – San Pedro .....	96
Ilustración 69	Áreas de riesgos Ciudad de Quillota .....	102
Ilustración 70	Áreas de riesgos Localidad de El Boco .....	103
Ilustración 71	Áreas de riesgos Localidad de San Pedro .....	104
Ilustración 72	Ejemplo Conformación de Talud, mediante pendientes combinadas .....	110
Ilustración 73	Talud de Corte Visible Erosión Hidráulica .....	112
Ilustración 74	Talud de corte erosionado por la acción del agua, se observan sedimentos en pie de talud .....	113
Ilustración 75	Intrusión magmática en formación granítica (observación puntual) .....	113
Ilustración 76	Taludes de corte erosionados por el agua de escorrentía .....	114
Ilustración 77	Vista panorámica cara oriente de Cerro Mayaca, se observa cobertura vegetal en ladera .....	114
Ilustración 78	Talud de corte generado por acción antrópica, patio Capilla .....	115
Ilustración 79	Ejecución calicata C-01 .....	115

Ilustración 80 Reconocimiento de horizontes, calicata C-01.....	116
Ilustración 81 Material excedente y ejecución de calicata C-02.....	116
Ilustración 82 Ejecución calicata C-03.....	117
Ilustración 83 Reconocimiento de horizontes, calicata C-03.....	117
Ilustración 84 Ejecución calicata C-04.....	118
Ilustración 85 Ejecución calicata C-05.....	118
Ilustración 86 Vivienda sometida a constante empuje de terreno. ....	119
Ilustración 87 Erosión hidráulica generada por aguas lluvias. ....	119
Ilustración 88 Muro de contención con evidente deformación horizontal.....	120
Ilustración 89 Terraza expuesta a peligro inminente de derrumbe. ....	120

#### ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Representación gráfica de la envolvente de falla del ensayo de corte directo....	50
Gráfico 2 Variación de esfuerzos en la profundidad analizada. ....	55

## **I. ESTUDIO DE RIESGOS Y PROTECCIÓN AMBIENTAL**

Corresponde al documento técnico cuyo objetivo es definir peligros reales o potenciales para el emplazamiento de asentamientos humanos en un territorio determinado.

### **1.1 RIESGO ANTRÓPICO**

Se transcriben aquellas zonas de restricción por riesgo antrópico, que puedan ser traducidas como áreas de riesgo y zonas no edificables, dentro de las cuales se distinguen, las siguientes categorías:

#### **1.1.1 Riesgo Antrópico y Fuentes Contaminantes**

Se identifican a continuación aquellos espacios del contexto comunal afectos a restricción según se establece en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 2.1.17, respecto a zonas afectadas por intervención humana (riesgo antrópico), para así aplicar fajas o radios de protección.

Las áreas identificadas se vinculan fundamentalmente a la presencia de obras de infraestructura, las cuales presenten algún grado de restricción de uso acordes a su legislación, de este modo a partir de las fuentes bibliográficas consultadas<sup>1</sup> y la información levantada en los recorridos en terreno, se ha reconocido entre otros elementos los trazados de líneas de alta tensión, oleoductos, gasoductos o aquellos sectores de almacenamiento de combustibles. Ítems que son descritos continuación.

##### **1.1.1.1 Áreas de Resguardo Infraestructura**

- Infraestructura Energética

Comprende por una parte al sistema de distribución y generación eléctrica situada en la comuna, incluyendo líneas de transmisión eléctrica de alta tensión, centrales térmicas de producción eléctrica y subestaciones.

##### **- Centrales Termoeléctricas**

En la comuna de Quillota, se localizan las centrales termoeléctricas de Central San Isidro y Nehuenco, ambas de ciclo combinado, destinadas a proveer de electricidad al Sistema Interconectado Central.

Estas centrales, se encuentran localizadas fuera del Límite Urbano de Quillota (véase la Ilustración 1 Infraestructura Energética), contando con las autorizaciones ambientales pertinentes por lo que no se consideran franjas de restricción en el presente instrumento para dicha localización.

##### **- Líneas de Transmisión Eléctrica de Alta Tensión**

Las redes de tendido eléctrico aéreo se sitúan fundamentalmente en el área rural de la comuna, abarcando una extensión total cercana a los 155 kilómetros lineales, de éstos sólo 4.5 Km se encuentran situados al interior del Límite urbano de Quillota, lo que representa menos del 3% del total comunal. Véase la Ilustración Infraestructura Energética.

Según la Ordenanza del Plan Intercomunal de Valparaíso – Satélite Quillota – se establecen restricciones o fajas no edificables bajo el trazado de los tendidos eléctricos de acuerdo con el artículo 56 del D.F.L N°1 de Minería de 1982, los reglamentos referentes a esta materia aprobados por Resoluciones de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, junto a las especificaciones contenidas en sus manuales técnicos y normas legales, sin perjuicio de lo indicado en los Artículos 2.1.17 N°4 y 5.1.9 de la Ordenanza de Urbanismo y Construcciones y la Circular Ord. N°230 de, DDU106/2002 de la División de Desarrollo Urbano.

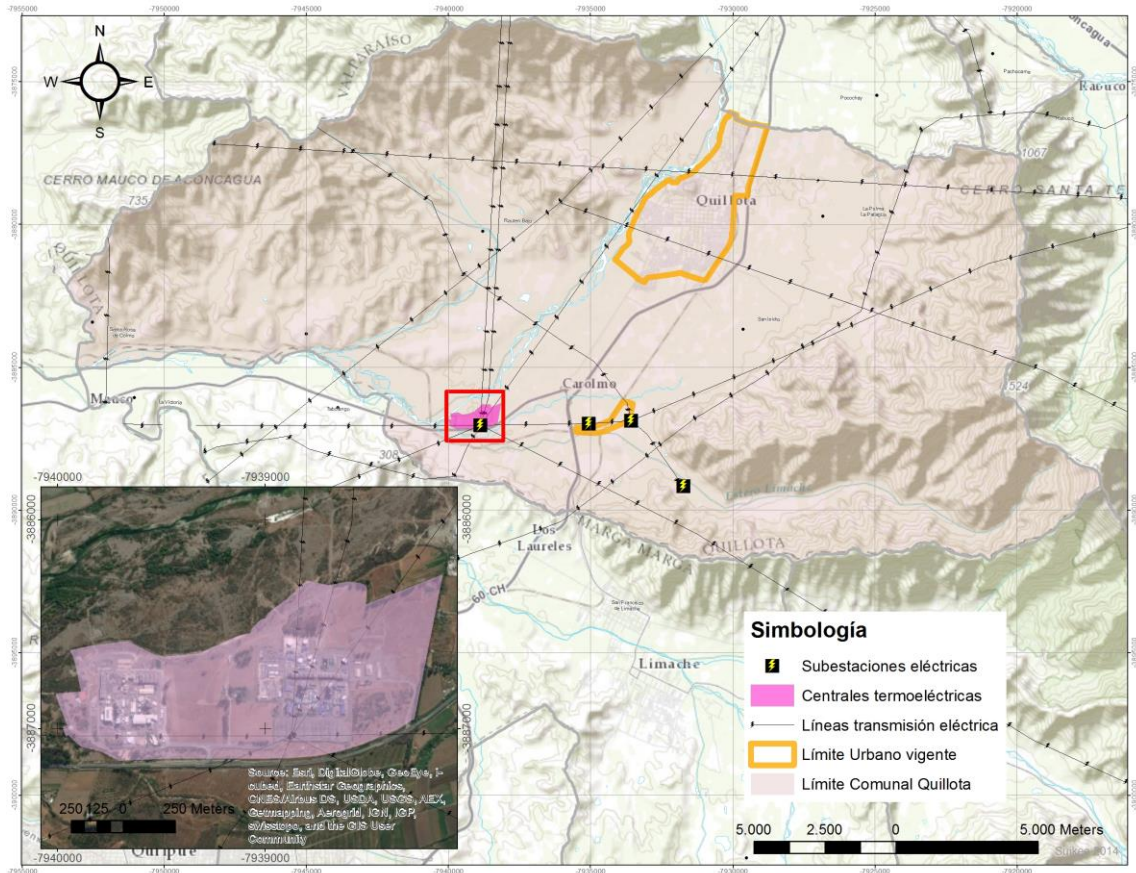
Este tipo de infraestructura determina un área de resguardo o faja de protección que trascienden al terreno donde se emplaza el tendido eléctrico. Según la normativa de la legislación sectorial

---

<sup>1</sup> Estadísticas de Operación Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central CDEC-SIC. 2013.

vigente, bajo las franjas asociadas al tendido eléctrico de alta tensión sólo podrá destinarse como zonas no edificables2.

**Ilustración 1 Infraestructura Energética**



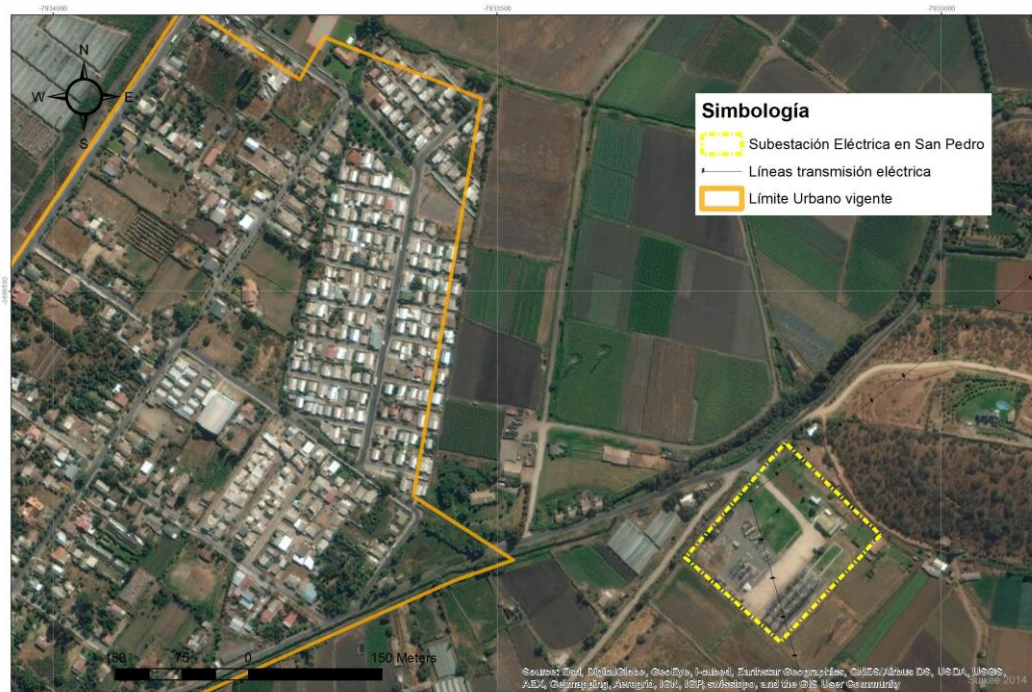
Fuente: Elaboración Propia.

**- Subestación eléctrica**

En el contexto comunal de Quillota se identifican 03 subestaciones eléctricas correspondientes a la SE Colmo, Quillota y la subestación de Chilquinta Energía localizada a unos 200 metros al este del límite urbano vigente de la localidad de San Pedro (véase la siguiente ilustración). Por otra parte, en el área urbana de Quillota no se ha detectado la existencia de subestaciones eléctricas.

2 Según el Artículo 2.1.17. de la OGUC Las "zonas no edificables" corresponderán a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gaseoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente.

**Ilustración 2 Subestación eléctrica en límite este de San Pedro**



Fuente: Elaboración Propia.

**1.1.1.2 Áreas de Resguardo de Infraestructura Oleoductos, Gasoductos y Poliductos**

En los límites urbanos vigentes no se registra la existencia de obras de infraestructura como oleoductos, gasoductos o poliductos, por lo que no se contemplan medidas o fajas al respecto. Sin embargo, en el contexto comunal, se reconoce la presencia de un trazado de un oleoducto (perteneciente al tramo Concón – Lo Venecia de Electrogas S.A), que atraviesa desde el sector El Maqui en Marga Marga, hacia el límite sur-poniente de la comuna, dirigiéndose hacia la Central San Isidro.

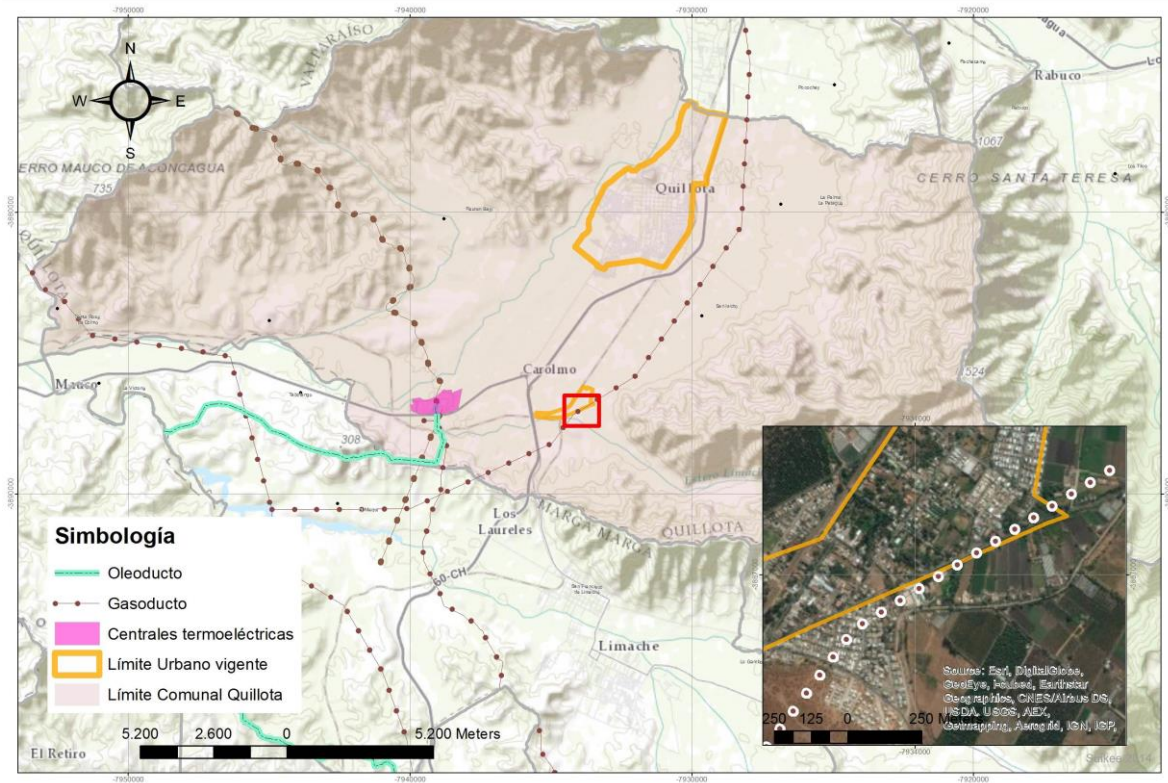
El Reglamento de seguridad para el almacenamiento, refinación, transporte y expendio al público de combustibles líquidos derivados del petróleo, Decreto Supremo N°90 Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción 1996, establece una franja de protección de 6 metros, a cada lado del ducto.

En el caso de los gasoductos se identifican dos trazados que recorren la comuna, correspondientes por una parte al tramo denominado Estación de Recepción Quintero - Plant Gate Quillota, que transporta gas natural y abastece a la Central San Isidro, siendo su operador Electrogas S.A. Por otra parte, se identifica un trazado que se extiende al este de la ruta 60 CH, el cual, en el área de San Pedro, se interna en sectores pertenecientes al Límite Urbano vigente y otras áreas habitadas, tal como se puede apreciar en el recuadro de la siguiente ilustración. Al igual que en el caso de los oleoductos, se establece una franja de protección de 6 metros, desde el ducto.

A la vista de este antecedente, se ha revisado la información disponible en el geoportal de la CNE<sup>3</sup>, respecto a la localización de la faja asociada al gasoducto, en el área poblada de San Pedro, para su expresión en la zonificación final. Al respecto, se ha constatado que el Gasoducto San Bernardo-Quillota (Lateral Colmo), solo tiene continuidad hasta el Gasoducto San Bernardo-Quillota (Ratones-Quillota), no extendiéndose por el área urbana de la localidad de San Pedro.

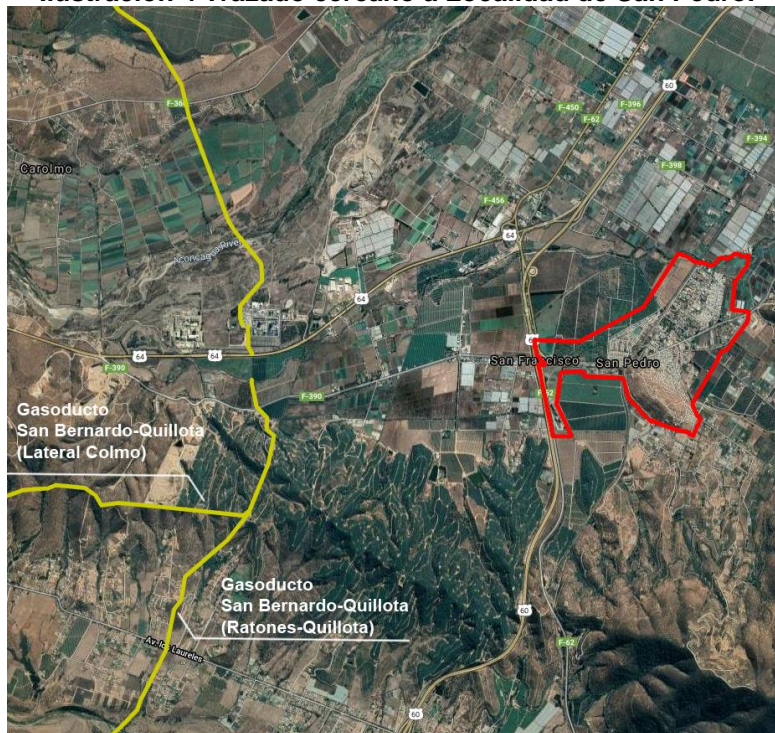
<sup>3</sup> <http://energiamaps.cne.cl/>

### Ilustración 3 Trazado de Gasoductos y Oleoductos



Fuente: Elaboración Propia, a partir de coberturas del PRI Campana.

### Ilustración 4 Trazado cercano a Localidad de San Pedro.



Fuente: Elaboración Propia, a partir de Geoportal CNE.

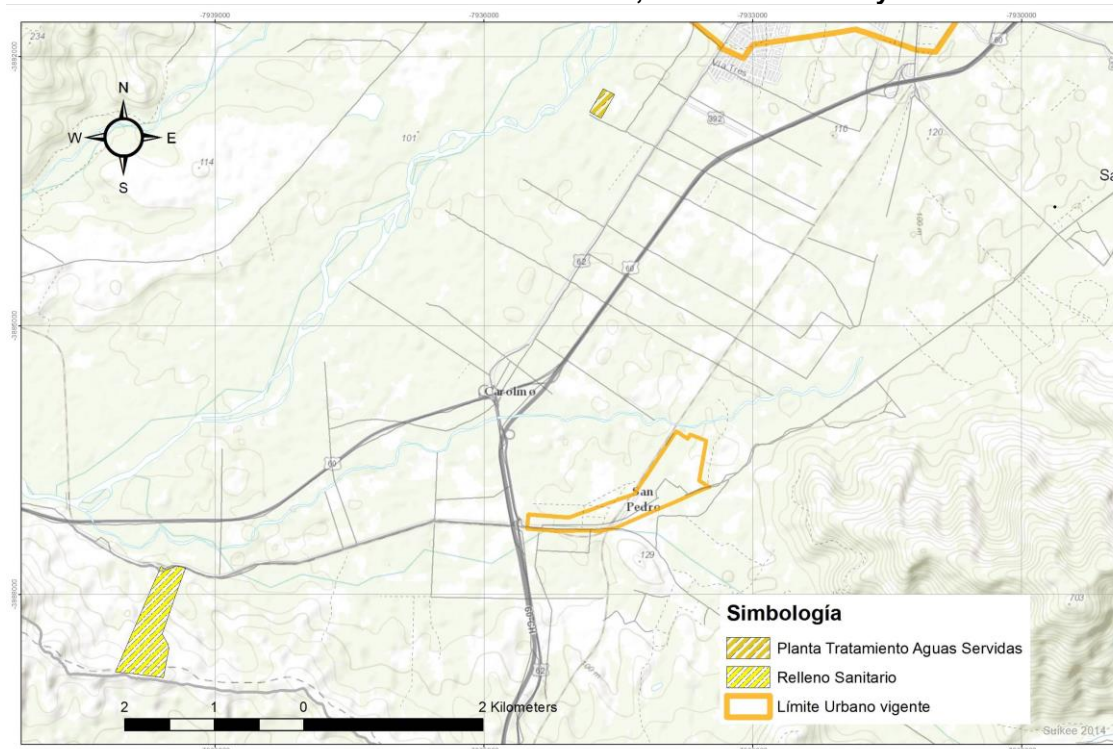
### 1.1.1.3 Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura Sanitaria

- Sistema de Tratamiento de Aguas Servidas

Quillota posee una planta de tratamiento de aguas servidas, localizada a 1,3 Km del vértice suroeste del límite urbano vigente, graficada en la siguiente ilustración, la cual se encuentra en las inmediaciones del conjunto habitacional “Las Araucarias”.

Esta planta pertenece a ESVAL S.A, se denomina “El Molino”. Cuenta con una superficie predial de 2,5 ha. y se encuentra ubicada al poniente del camino troncal Quillota-San Pedro, a unos 500 metros del río Aconcagua. La Planta está diseñada para asistir a las localidades de Quillota, La Cruz, La Calera, Omué, Hijuelas, Nogales y Limache.<sup>4</sup>

**Ilustración 5 Infraestructura Sanitaria, Relleno Sanitario y PTAS.**



Fuente: Elaboración Propia.

#### - Rellenos Sanitarios

Los residuos domiciliarios son recolectados a través del Departamento de Aseo y Ornato municipal, encargado para su destino final al relleno sanitario de Quillota, el cual se encuentra en el área rural de la comuna, cerca de 1 Km al sur de las plantas termoeléctricas. Véase la Ilustración Infraestructura Sanitaria, Relleno Sanitario y PTAS.

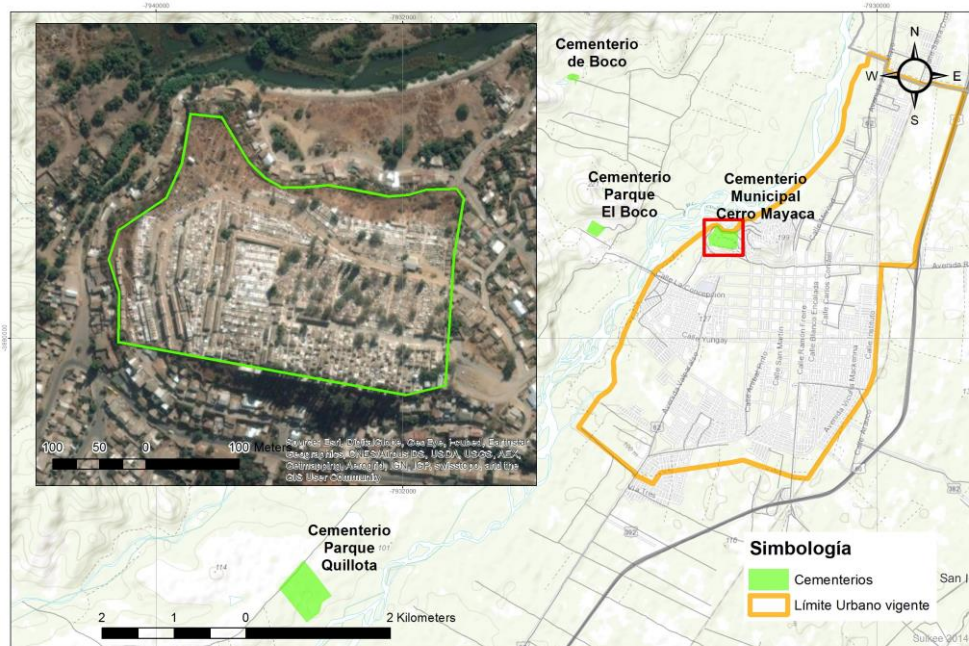
El manejo de este sitio, estaría generando contaminación de pozos con líquidos percolados, según se informa en el PLADECO 2011-2015. Sin embargo, al estar localizado fuera de un Límite Urbano, el presente instrumento no se encuentra facultado para generar fajas restrictivas en su perímetro.

<sup>4</sup> <http://portal.esval.cl/quienes-somos/historia/>

#### 1.1.1.4 Áreas de Resguardo de Equipamientos de Salud – Cementerios

La comuna cuenta con cuatro cementerios: Parque Boco, Parque Quillota, Cementerio de Boco y Cementerio Municipal Cerro Mayaca, este último localizado al interior del Límite Urbano del área urbana de Quillota, rodeado por áreas residenciales. Estos son graficados en la siguiente ilustración.

Ilustración 6 Localización de cementerios



Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al área de resguardo para este tipo de infraestructura se considera una faja de 25 metros no edificable con viviendas<sup>5</sup>, establecida por el Reglamento General de Cementerios, D.S. N° 357 de 1970, del Ministerio de Salud<sup>6</sup>, (D.O. del 18/06/70), y demás normas pertinentes. En este caso el cementerio municipal se encuentra flanqueado por viviendas, por lo que la definición de esta franja debe ser analizada con detención. Véase la Ilustración Localización de Cementerios anterior.

En el reglamento se menciona que el área destinada a sepultura<sup>7</sup> de los cementerios no podrá estar situada a una distancia menor, de treinta metros de la ribera de un río, manantial, acequia, pozo u otra fuente que pueda abastecer de agua para la bebida o el riego. En este caso el límite inferior del cementerio municipal, se encuentra levemente a unos 35 metros del río Aconcagua.

#### 1.1.1.5 Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura de Transporte

- Resguardo de Infraestructura Vial

La infraestructura vial se detallada en la descripción del Medio Construido, del plan dentro de este mismo documento. Asociada a esta se extienden fajas de resguardo que establecen restricción de ocupación de cada lado del eje vial. Los anchos de estas fajas, fluctúan dependiendo de su clasificación y jerarquía y pueden variar de 10 a 50 m. Se exceptúan aquellos casos en que se

5 ARTICULO 18° Ningún cementerio podrá estar ubicado a menos de 25 metros de una morada o vivienda.

6 Última Modificación: DTO-54, SALUD 19.05.2004.

7 El Artículo 20° del reglamento; se entenderá por área de sepultura aquella parte de los terrenos del cementerio específicamente destinados a la sepultura de cadáveres o restos humanos

permiten actividades ligadas al turismo y al transporte para las cuales regirá lo indicado por el Artículo 124 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones.

- Resguardo de Vías Ferroviarias

Para la infraestructura de líneas férreas se establecen fajas de resguardo que corresponden a los terrenos colindantes con la vía férrea, cuyo ancho corresponde a 20 metros a ambos costados<sup>8</sup>, en los cuales no se puede efectuar ningún tipo de construcciones definitivas, salvo las necesarias para la operación y funcionamiento del propio ferrocarril.

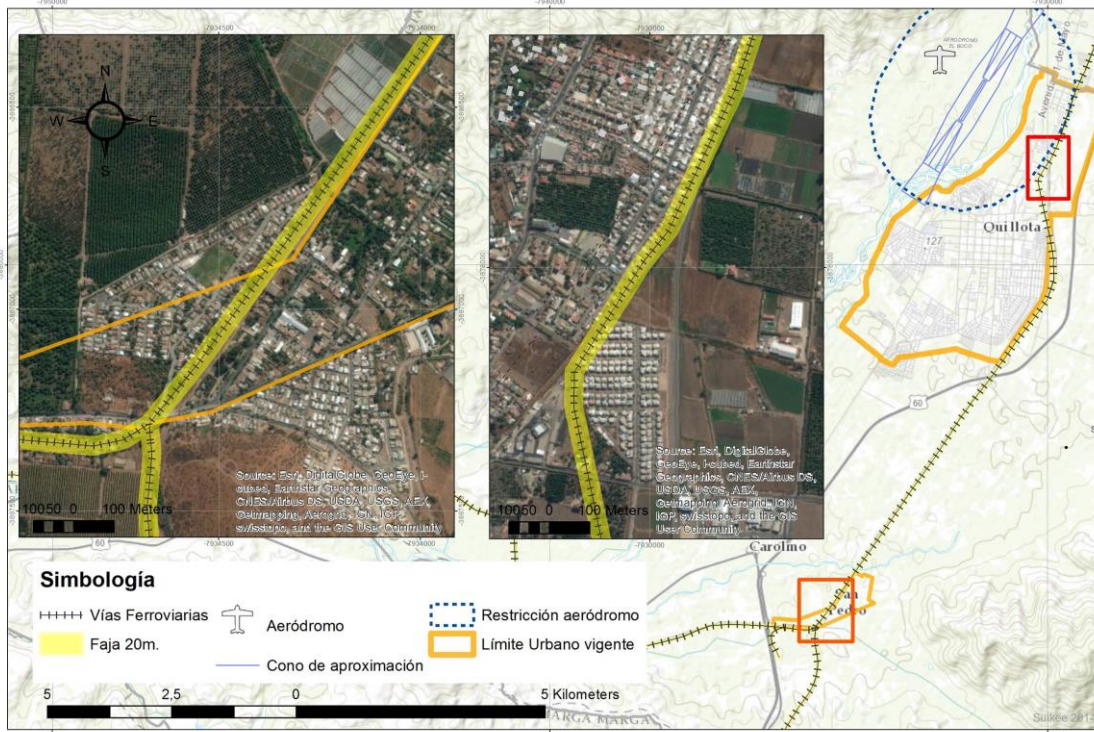
En las áreas urbanas de la comuna, la línea férrea cruza algunos sectores, manteniéndose activa, en otros ha sido desmantelada y ha dado paso al uso urbano de las mismas. La cobertura buffer de 20 metros, respecto al eje de esta trocha (véase la siguiente ilustración), ha de ser utilizado en el proceso de planificación, como una guía local a contrastar con las situaciones de borde con la ciudad, en especial para aquellas vías que eventualmente puedan ser vinculadas al proyecto Merval.

- Aeropuertos y Aeródromos

Según los datos consultados en terreno y la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil), la comuna cuenta con un aeródromo de uso público, diseñado para aeronaves de 1.370 a 5.700 kg.

El entorno de este aeródromo comprende un área denominada “Sub Zona de Restricción de Aeropuertos”, identificada como “Restricción aeródromo” en la imagen anterior, la cual comprende los territorios afectados por la proyección de las superficies limitadoras de obstáculos que determina la Dirección General de Aeronáutica Civil en los terrenos aledaños a aeropuertos o aeródromos (cono de aproximación), según lo previsto en la Ley N° 18.916 del Ministerio de Justicia que aprueba el Código Aeronáutico, la cual ha sido expresada en la ilustración anterior, esta solo llega a afectar una sección del borde noroeste del Límite Urbano de Quillota.

**Ilustración 7 Áreas de Resguardo por Instalaciones de Infraestructura de Transporte**



Fuente: Elaboración Propia.

<sup>8</sup> Conforme al artículo 34 de la Ley General de Ferrocarriles.

### 1.1.1.6 Incendios Forestales

La existencia, en la comuna de Quillota, de una masa de bosque nativo esclerófilo localizado en el área rural, así como en los sectores ribereños del río Aconcagua, conforma una fuente de vegetación combustible capaz de ser consumida por incendios forestales. En especial si se consideran las condiciones climáticas de la comuna, como son la existencia de una prolongada estación seca, altas temperaturas estivales y en algunos casos la interfase entre los centros poblados vialidad y la masa vegetal, lo que favorece la ocurrencia de incendios forestales.

A continuación, se presenta un extracto de los resultados del Documento de Trabajo N° 555, “Determinación de Prioridades de Protección Contra Incendios Forestales en la Región de Valparaíso” Elaborado por CONAF Dirección Región de Valparaíso, Departamento Manejo del Fuego y CIREN, Gerencia de Proyectos, Área Satelital, del año 2010.

Los estudios que reportan incendios en la comuna, refieren a una escala regional de análisis. Sin embargo, es posible identificar resultados para el área comunal de Quillota y su proyección de la situación a futuro, según estudios fundados, realizados por las instituciones especializadas mencionadas anteriormente.

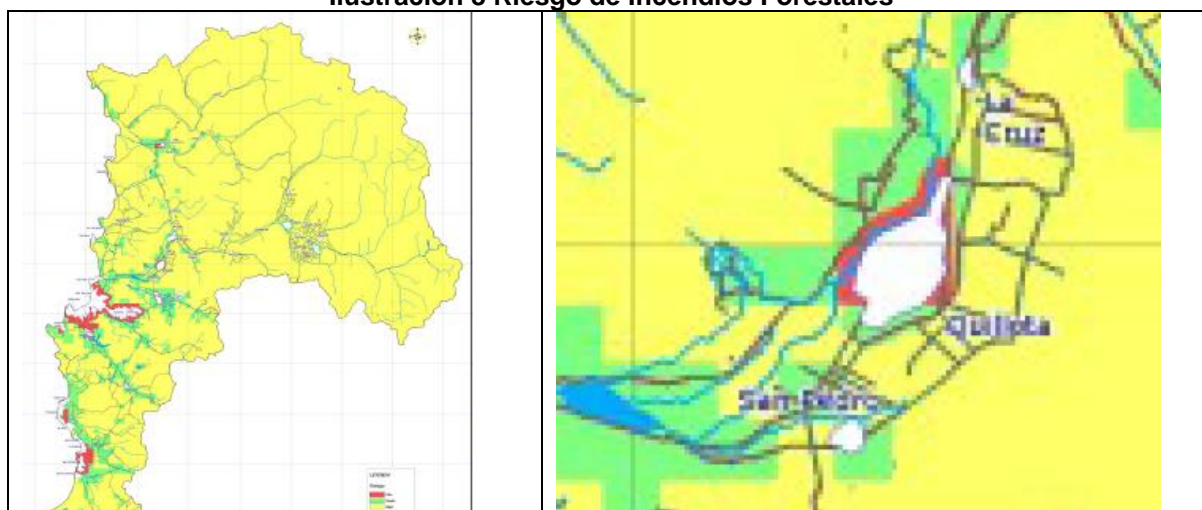
Según las fuentes consultadas, la región presenta altos índices de número de incendios forestales estivales y una gran superficie quemada a consecuencia de estos siniestros. Esto a pesar de no ser una región forestal propiamente tal.

A partir del estudio consultado, se presentan los siguientes resultados (expresados como mapas priorizados) por vertiente de análisis. Se ha utilizado una gráfica donde la coloración roja corresponde a una prioridad Alta, las zonas en verde a una prioridad Media y las definidas en color amarillo corresponden a una prioridad Baja.

- Riesgo de incendio

Se entiende por riesgo de incendio, la probabilidad de ocurrencia de este tipo de siniestros. Este análisis reveló la existencia de sectores críticos de inicio de incendios que se concentran en núcleos delimitados en la zona de interfaz y de transición rural. En este sentido las zonas de riesgo medio están asociadas mayoritariamente a la red vial de carácter principal o troncal y centros urbanos de menor densidad poblacional, donde el riesgo potencial es significativo por el importante número de personas que transitan por este tipo de vías. Véase la siguiente ilustración.

**Ilustración 8 Riesgo de Incendios Forestales**



Fuente: CONAF CIREN 2010 (Op Cit)

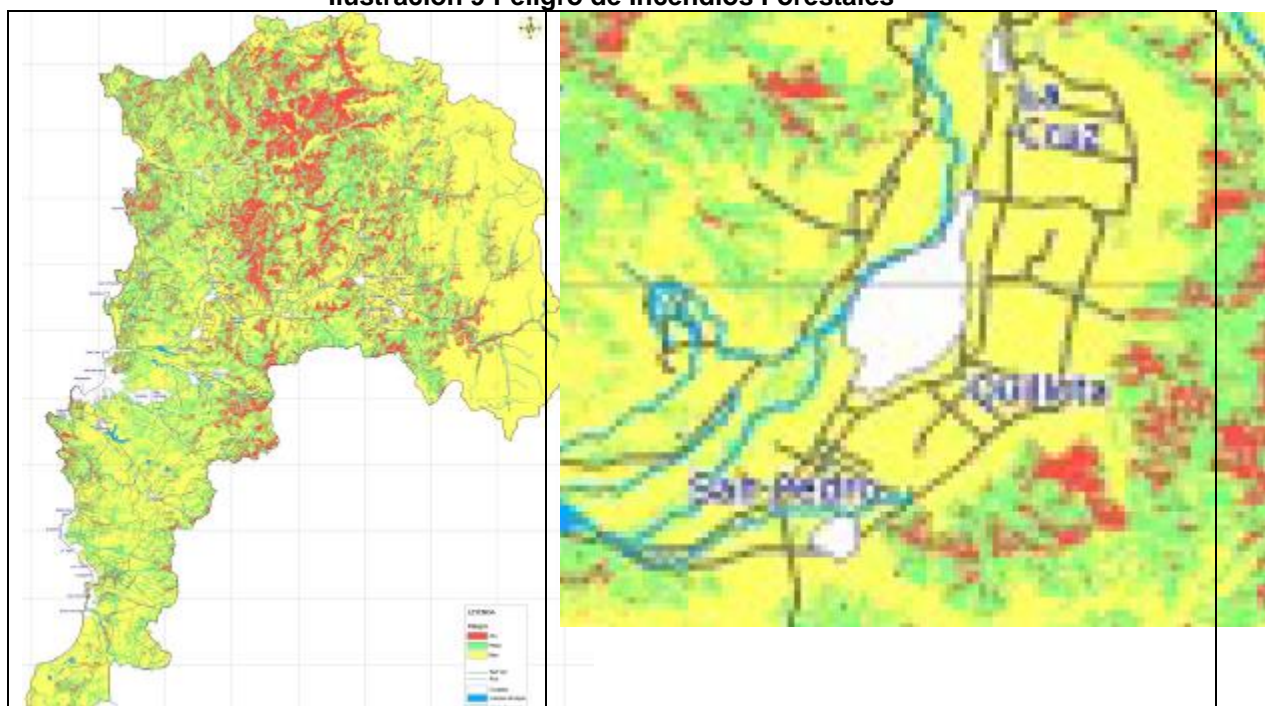
En el caso de la comuna de Quillota, se aprecia la presencia de 2 franjas de prioridad Alta, respecto al riesgo de incendios. Correspondientes a los bordes norte (ruta F-360) y sur (ruta 60), de vialidad perimetral al área urbana de Quillota. Mientras que los sectores de prioridad Media, se asocian a la red de caminos rurales que se insertan hacia El Boco, Rautén Bajo y Manzanar en las inmediaciones de la ciudad de Quillota. Para San Pedro los sectores de montaña, localizados al

sureste de la localidad, han sido definidos también de prioridad Media, respecto al Riesgo de Incendios.

- Peligro de Incendios

Se entiende peligro, como la conflictividad en la propagación de los eventuales incendios. Los resultados del estudio permiten identificar la presencia de sectores críticos de propagación e intensidad del fuego, dispersos fundamentalmente en la zona norte de la región y principalmente asociados a pendientes elevadas y la presencia de quebradas profundas, tal como puede ser apreciado en la ilustración adjunta.

**Ilustración 9 Peligro de Incendios Forestales**



Fuente: CONAF CIREN 2010 (Op Cit).

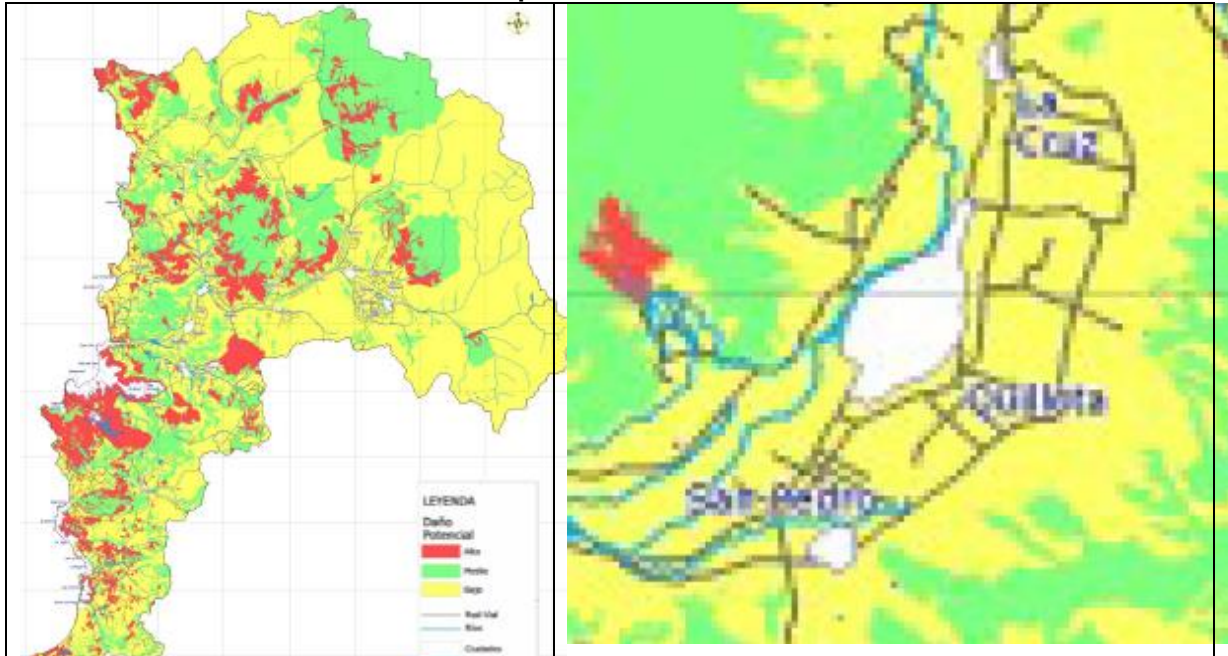
Para el área de estudio el Peligro de Incendios, también refiere a los sectores de mayores pendientes, sin embargo, estos se encuentran alejados de los centros urbanos comunales.

- Daño Potencial de incendios

El Daño Potencial, comprende las pérdidas e impactos que podrían generarse como consecuencias de los incendios. El análisis del daño potencial permitió descubrir la existencia de sectores críticos dispersos por casi toda la región, pero con una prioridad Baja para la comuna de Quillota.

Como se puede apreciar en las ilustraciones adjuntas los sectores más afectados se encuentran fuera de la comuna de Quillota, abarcando el borde costero asociados a zonas de interfaz y de transición rural y en el resto de la región vinculados a sitios de interés para la conservación de la biodiversidad y áreas protegidas por el Estado. En ambos casos, con una elevada susceptibilidad a pérdidas directas e indirectas.

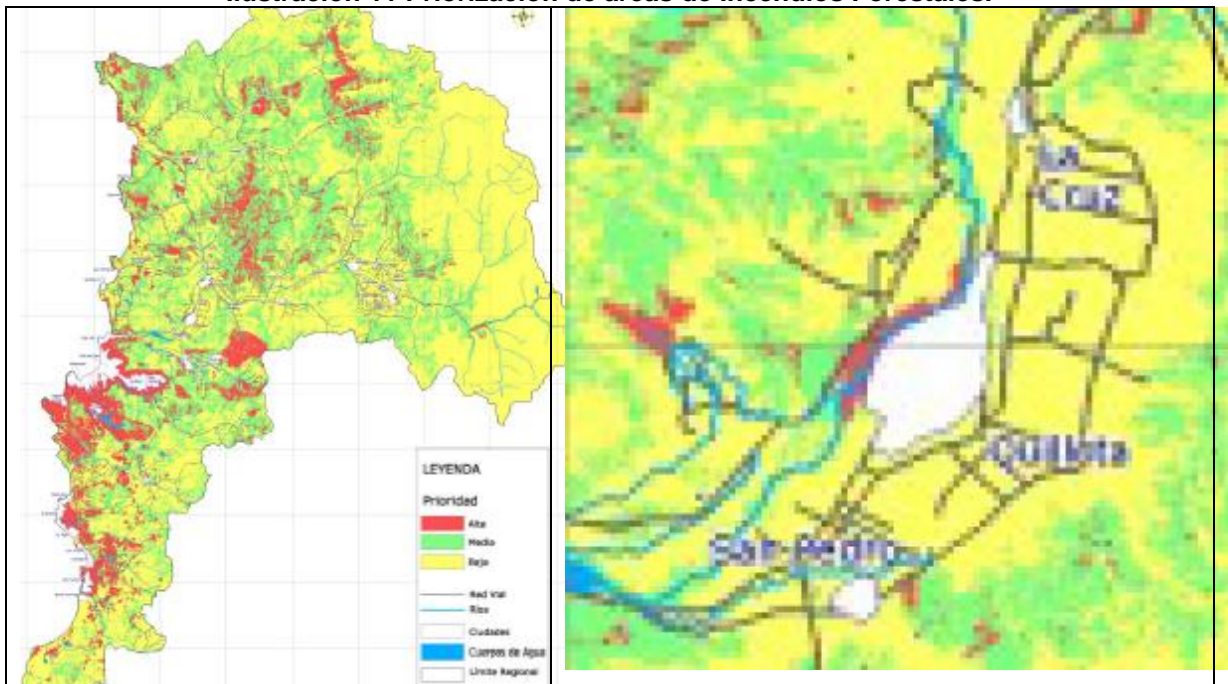
**Ilustración 10 Daño potencial de Incendios Forestales.**



Fuente: CONAF CIREN 2010 (Op Cit).

- Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial
- Finalmente, el análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial, del estudio consultado, permitió determinar prioridades de protección contra incendios forestales, donde las zonas de alta prioridad se ubican preferentemente en el borde costero.

**Ilustración 11 Priorización de áreas de Incendios Forestales.**

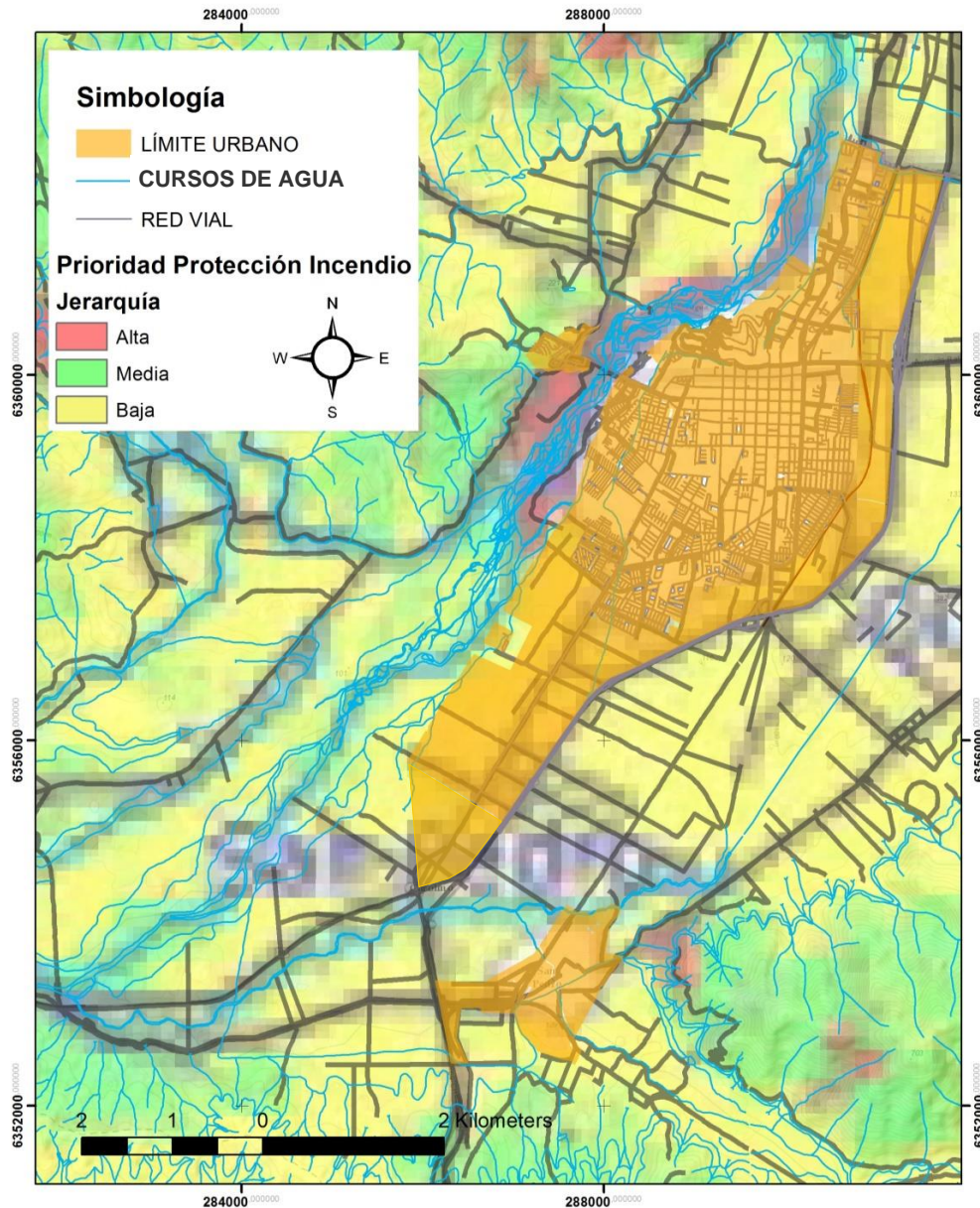


Fuente: CONAF CIREN 2010 (Op Cit).

Las zonas de prioridad media se ubican principalmente desde la mitad de la región hacia el norte, entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de Los Andes, con presencia en las Provincias de Quillota, donde para el área de estudio se establece una franja de prioridad Alta en el borde noroeste del límite urbano de Quillota. (Véase la siguiente ilustración)

En la ilustración expresada a continuación, se ha georreferenciado el resultado del mapa de Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial, respecto a los Límites Urbanos del presente Plan.

**Ilustración 12 Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial.**



Fuente: Elaboración propia en base a CONAF CIREN 2010 (Op Cit).

En San Pedro se observa también un punto de prioridad Alta de Protección Contra Incendios Forestales, asociado a la ruta F-382 en su paso por los sectores de laderas cercanos a la vía. Mientras que el sector cercano a las termoelectricas, se encuentra en una prioridad Baja hacia la Ruta 60, la cual da paso a una prioridad Media hacia las riberas vegetadas del río Aconcagua. El resto de los sectores comunales poseen en términos generales una prioridad Baja, tal como puede ser observado en la ilustración anterior.

- Recomendaciones

Finalmente, las recomendaciones especializadas respecto a este tema, coinciden en que el principal enfoque para la reducción la ocurrencia e impacto de incendios forestales en la interfaz urbano-rural debe comprender medidas preventivas, como la reducción del combustible disponible en una zona de interfaz. Esta práctica, unida al establecimiento de una franja de protección de ancho variable, constituye un manejo apropiado para reducir los riesgos de ocurrencia de incendios. Enfoque basado en los antecedentes de ocurrencia de incendios a nivel mundial, donde se manifiesta que en condiciones ambientales como la presencia de vientos fuertes, alta temperatura y baja humedad relativa, junto a una base de combustible, y fuentes de ignición (especialmente asociadas a la acción humana) este combustible arderá. Por lo tanto, la mejor forma de prevenir grandes incendios es actuar sobre el combustible, principalmente su eliminación y control de su expansión.<sup>9</sup>

### 1.1.2 Síntesis de Riesgo Antrópico

Como se comentó en los puntos anteriores, las áreas afectas por riesgo antrópico, en su gran parte se encuentran enmarcadas en los territorios rurales de la comuna, donde el ámbito del Plan no posee facultades de acción directa.

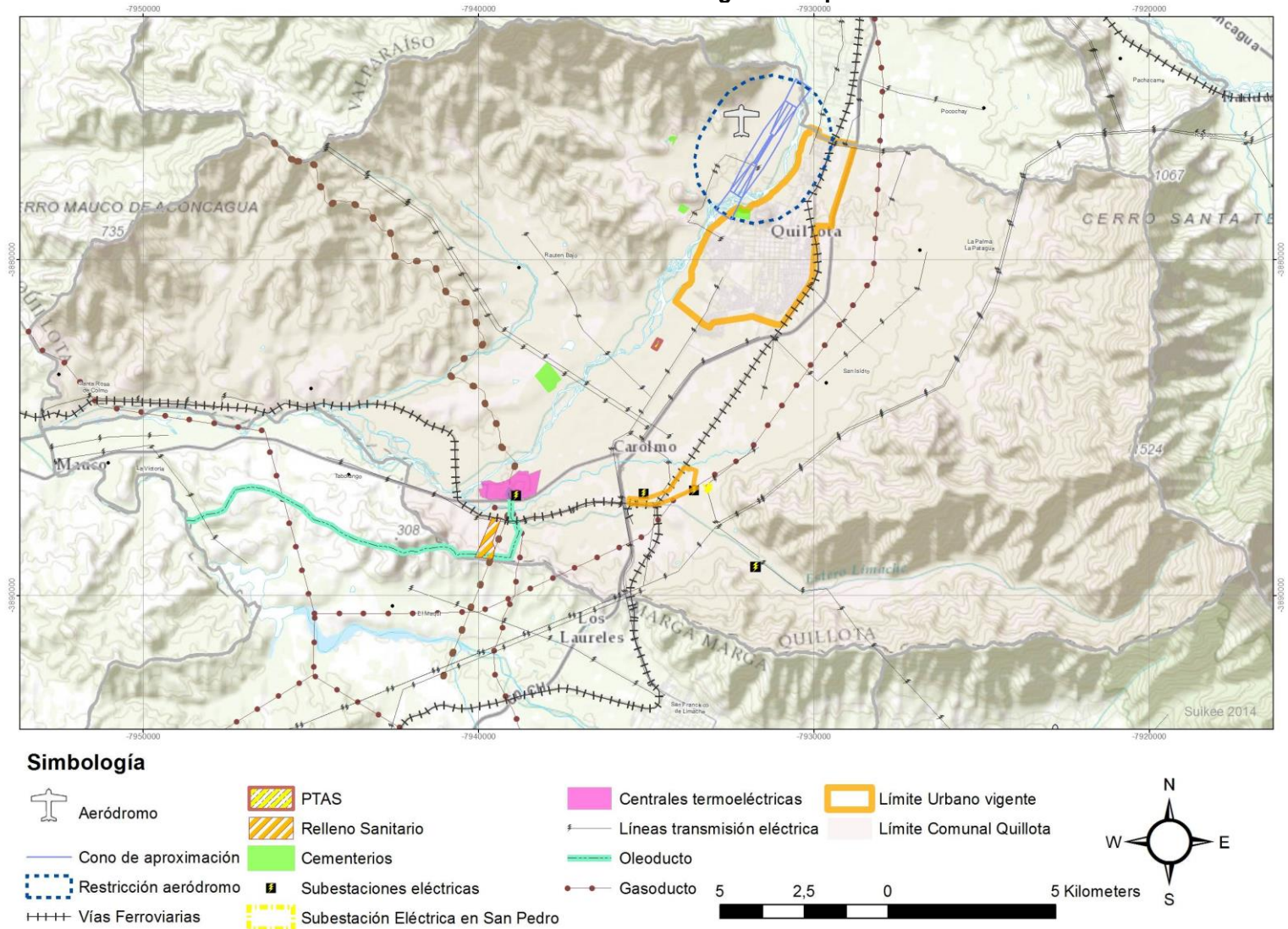
En las áreas urbanas, sin embargo, la presencia de obras de infraestructura, en especial aquellas de orden linear, como gasoductos, tendido eléctrico de alta tensión y el trazado ferroviario, conforman elementos a los cuales se asocian franjas de uso prohibido (Véase la siguiente ilustración).

Sin embargo, se ha de considerar que en muchos de los casos, las condiciones originales de uso han dado paso a la ocupación del tejido urbano sobre las obras de infraestructura que han dejado de prestar los servicios a los que originalmente estaban diseñadas, contexto en el cual se debe realizar un examen de mayor detalle a la hora de zonificar este tipo de espacios y situaciones.

---

<sup>9</sup>Los incendios en zonas de interface urbano forestal. la integración de nuevos elementos en el diseño de la prevención. Scripta Nova Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. XIV, núm. 331 (60), 2010.

Ilustración 13 Síntesis de Riesgos Antrópicos



Fuente: Elaboración Propia

### **1.1.3 Problemáticas Ambientales Identificadas en la Comuna**

Los problemas ambientales de mayor profusión en la comuna se enfocan principalmente al manejo de los recursos territoriales e industriales, en especial aquellos referidos a la degradación de recursos naturales en las inmediaciones urbanas y puntualmente relacionados a fuentes de generación de gases y malos olores. Aspectos que son especificados a continuación y que han sido reconocidos por las autoridades locales.<sup>10</sup>

#### **1.1.3.1 Contexto agrícola**

Una de las principales actividades de la comuna es la agroindustria, la cual conforma la matriz en la que se inserta el tejido urbano de Quillota. Esta actividad productiva emplea dentro de sus procesos la incorporación de pesticidas y otro tipo de agroquímicos, los cuales finalmente alteran la calidad de las aguas de los cursos locales y pueden afectar la salud de las personas que habitan en sectores contiguos a los campos de cultivos afectos a este tipo de prácticas. Por otra parte, las quemadas agrícolas generan concentraciones de humo importante en las épocas en las cuales se realizan, y dada la simultaneidad de su ocurrencia inciden en una disminución de la visibilidad de las rutas cercanas, en el potencial efecto de los gases sobre los sectores habitados cercanos a las quemadas y el riesgo de dispersión de incendios. En este sentido considerando la adyacencia de las áreas urbanizadas con los usos agrícolas, se deberán tomar medidas de precaución ante el uso de plaguicidas u otro tipo de agroquímicos y sus posibles efectos a la población.

En este sentido considerando la adyacencia de las áreas urbanizadas con los usos agrícolas, se propone como medida de precaución ante el uso de plaguicidas u otro tipo de agroquímicos y sus posibles efectos a la población, la generación de franjas de áreas verdes que actúen como una zona "buffer" o de amortiguación.

Con la definición de estas franjas se pretende convertir los bordes de cursos de agua en, especial del río Aconcagua, en ejes estructurantes del sistema de áreas verdes, mediante el acondicionamiento o conservación de la vegetación en las riberas, lo cual permite reducir el riesgo de socavamiento y hacer las riberas, un recurso recreativo aprovechable para la comunidad. En forma complementaria se propone articular los espacios públicos, con una red de vías parque y bordes de cauces forestados, asociados a las zonas de restricción por inundación y senderos asociados a la caja del río Aconcagua y canales. Todas estas áreas son concebidas para facilitar el escurrimiento de los caudales en períodos de crecidas, evitando que su eventual desborde afecte a sectores habitados, y al mismo tiempo prohibiendo el emplazamiento de construcciones en zonas de riesgos.

#### **1.1.3.2 Incendios Forestales**

La existencia, en la comuna de Quillota, de una masa de bosque nativo esclerófilo localizado en las áreas periféricas del límite comunal, así como en los sectores ribereños del río Aconcagua, conforma una fuente combustible capaz de ser consumida por incendios forestales. En especial si se consideran las condiciones climáticas de la comuna, como son la existencia de una prolongada estación seca, altas temperaturas estivales y predominio de vientos en dirección noreste. Particularmente para la interface entre los centros poblados y masa vegetal, lo que favorece la ocurrencia de incendios forestales.

En la siguiente ilustración, se grafica la selección de coberturas del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, Monitoreo de Cambios y Actualizaciones, Período 1997- 2011. CONAF, correspondientes a las formaciones vegetacionales de mayor biomasa (y por lo tanto

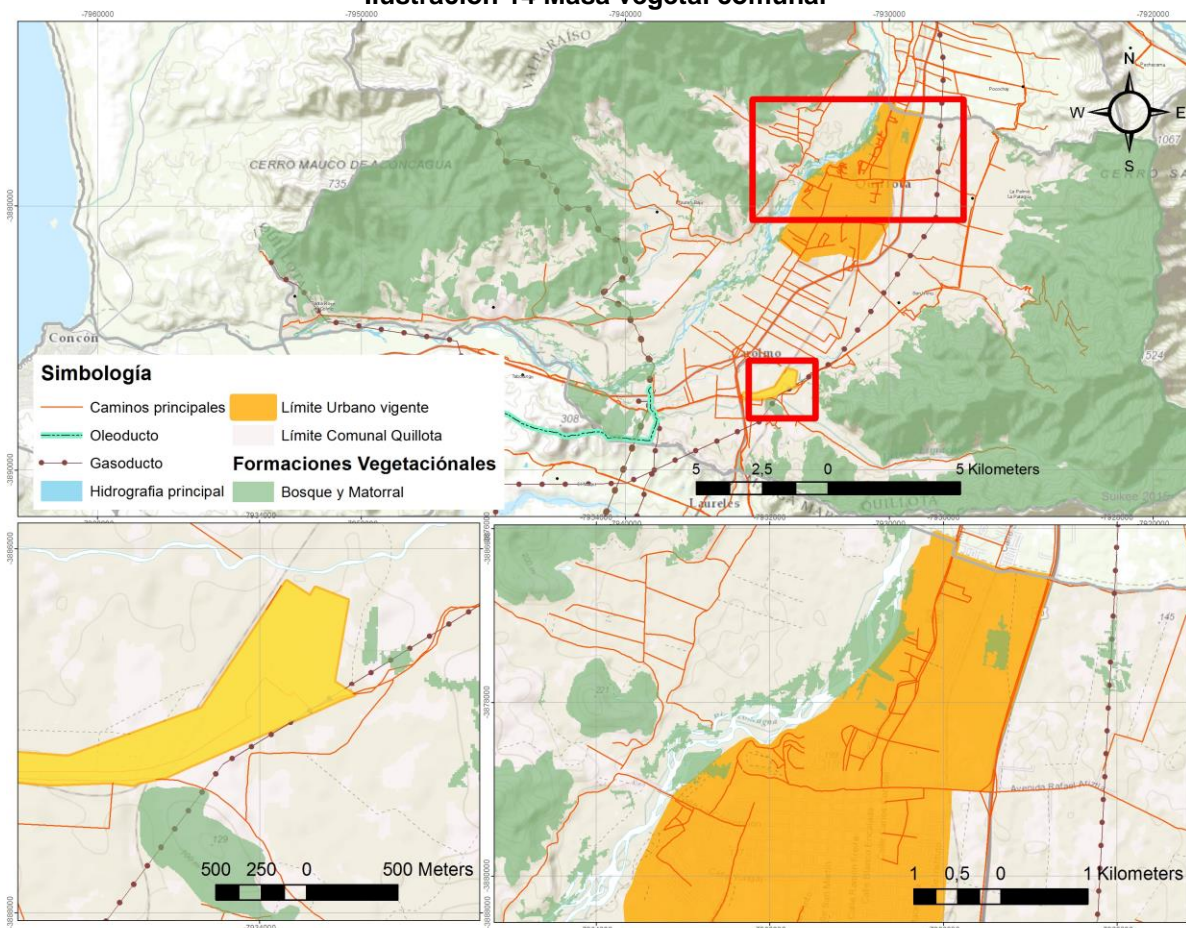
---

<sup>10</sup> Plan de Desarrollo Comunal Quillota 2011 - 2015

combustibles) presentes en la comuna, es decir bosque nativo y matorrales (sin diferenciar los distintos subtipos, para generar una visión homogénea de su distribución).

Se puede apreciar que la masa forestal se localiza en las vertientes montañosas noroeste y sureste de la comuna, con algunos polígonos coincidentes con los Límites Urbanos Vigentes, que han sido graficados en cuadros de aumento, para la ciudad de Quillota y San Pedro. Estos sectores conforman eventuales sitios de mayor potencial de incendios forestales, tan solo considerando la presencia de la masa vegetal y su cercanía a posibles puntos de ignición por influencia antrópica. Véase la siguiente ilustración.

**Ilustración 14 Masa vegetal comunal**



Fuente: Elaboración Propia.

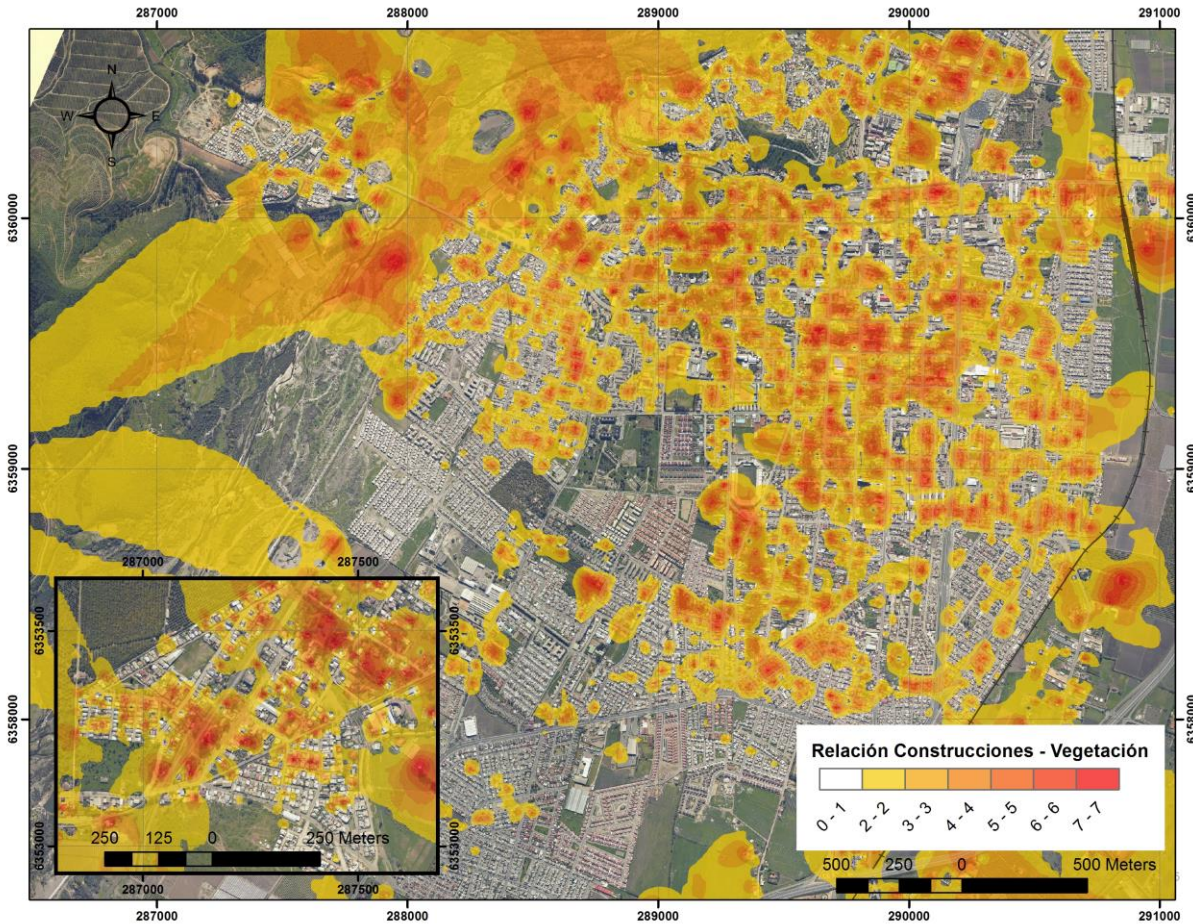
Al respecto, y tal como ha sido señalado en el punto anterior, respecto al contexto agrícola del plan, el material combustible localizado en las cercanías del contexto urbano, aumenta la posibilidad de incendios<sup>11</sup>. En este sentido y sin ánimo de conformar un modelo de dispersión de incendios o un estudio específico de riesgo de incendios forestales (atendiendo a los alcances del Plan), se ha generado una cobertura a partir de la restitución topográfica para el presente estudio, utilizando puntos asociados a las construcciones y polígonos que representan la presencia de vegetación, al interior de la ciudad de Quillota y San Pedro (graficado en el recuadro de la próxima ilustración).

<sup>11</sup> Castillo, M; Garfias, R; Julio, G; Correa, L. Incendios forestales en Chile. Análisis general de riesgos. Capítulo Libro 'Riscos: Naturais, Antrópicos e Mistos'. Faculdade de Letras. Pp.639-650. ISBN 978-989-96810-1-9.;p667-678. Universidade de Coimbra. Portugal. 2013

Se procedió a generar una relación espacial entre las coberturas seleccionadas, de tal forma de atribuir a la base de datos de las construcciones un ranquin según su cercanía a masas vegetales de 1 (mayor riesgo) a 7 (menor riesgo) metros de distancia<sup>12</sup>. Tras lo cual se realizó un geo proceso utilizando una Interpolación de puntos mediante una técnica de distancia inversa ponderada.

El resultado de este ejercicio es presentado en la siguiente ilustración, que facilita observar la relación entre la masa vegetal urbana y circundante (según la restitución) y las edificaciones, como una aproximación espacial de ambos aspectos, respecto a la facilidad de dispersión ante incendios.

**Ilustración 15 Relación construcciones y masa vegetal**



Fuente: Elaboración Propia.

Se aprecia en el caso de la ciudad de Quillota que el damero central posee una relación espacial importante entre las edificaciones cercanas al manto vegetal, situación que se hace más homogénea hacia el curso del río Aconcagua, donde la vegetación ripariana conforma un continuo de material, que a la luz del presente análisis puede ayudar a la dispersión de incendios desde y hacia la ciudad.

<sup>12</sup> Considerando que una calle promedio posee 7 metros de ancho y que puede constituir, referencialmente, una barrera común para el avance del fuego en la ciudad.

En el recuadro, se observa la situación de la localidad de San Pedro, donde la vegetación interna de las manzanas y forestación vial, conforman los focos de mayor atención. Sin embargo, debido a que la base de restitución no incorporó la vegetación de los cerros anexos a la localidad, estos no se vieron reflejados en el resultado, lo que no significa que se deba despreciar la fuente de material combustible vegetal de dicha estructura. Para lo cual se recomienda observar el recuadro izquierdo de la ilustración asociada a la Masa vegetal comunal.

Si bien en el ejercicio que dio origen a la ilustración anterior, no consideró la presencia de áreas de acopio de combustibles, existen indicaciones respecto a zonas donde se emplacen o acopien productos inflamables o susceptibles de generar incendios, de conformidad a las normas legales y reglamentarias de los organismos competentes tales como el DFL N° 323, "Ley de Servicios de Gas"; decreto N° 29, "Reglamento de Seguridad para el almacenamiento, transporte y expendio de Gas Licuado"; decreto N° 90, "Reglamento de Seguridad para el almacenamiento, refinación, transporte y expendio al público, de Combustibles Líquidos derivados del Petróleo".

Por otra parte, se reporta como antecedente para los lineamientos de estructuración urbana, que en términos generales las urbanizaciones dispersas, comprometen servicios e infraestructura asociadas a la vialidad, alcantarillas, y protección contra los incendios más costosas, que en el caso de estructuras urbanas centralizadas<sup>13</sup>

Finalmente, las recomendaciones especializadas respecto a este tema, coinciden en que el principal enfoque para la reducción la ocurrencia e impacto de incendios forestales en la interfaz urbano-rural debe comprender medidas preventivas, como la reducción del combustible disponible en una zona de interfaz. Esta práctica, unida al establecimiento de una franja de protección de ancho variable, constituye un manejo apropiado para reducir los riesgos de ocurrencia de incendios. Enfoque basado en los antecedentes de ocurrencia de incendios a nivel mundial, donde se manifiesta que, en condiciones ambientales como la presencia de vientos fuertes, alta temperatura y baja humedad relativa, junto a una base de combustible, y fuentes de ignición (especialmente asociadas a la acción humana) este combustible arderá. Por lo tanto, la mejor forma de prevenir grandes incendios es actuar sobre el combustible, principalmente su eliminación y control de su expansión.<sup>14</sup>

Si bien, para el caso del riesgo de incendio forestal, no se integra como un área de riesgo propiamente tal, se han realizado las siguientes acciones que se ven reflejadas en la zonificación del Plan:

N°	Sector del Plan	Medida
1	Ciudad de Quillota Borde oriente del río Aconcagua asociado a las cercanías del cauce, donde se identifican matorrales y áreas boscosas. Se identifica con prioridad Alta en el mapa de Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial.	Se integra una franja de Parque que bordea la ribera del río Aconcagua, desde el Límite Urbano norte hasta el Límite Urbano sur.
2	Localidad de El Boco Borde poniente asociado a las cercanías del cauce del río Aconcagua, donde se identifican matorrales y áreas boscosas. Se identifica con prioridad Alta en el mapa de Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial.	Se integra una franja de Parque y áreas verdes que bordean la ribera del río Aconcagua, en el Límite Urbano oriente de la localidad de El Boco afecta a planificación.
3	Localidad de San Pedro Ribera sur del Estero San Isidro, la cual se identifica con prioridad media en el mapa de Análisis combinado del Riesgo, Peligro y Daño Potencial.	Se integra una franja de Parque que bordea la ribera sur del Estero San Isidro, en el Límite Urbano norte de la localidad de San Pedro.

<sup>13</sup> Crecimiento urbano desordenado, causas y consecuencias. CREI, Centre de Recerca en Economía Internacional, 2008.

<sup>14</sup> Los incendios en zonas de interface urbano forestal. la integración de nuevos elementos en el diseño de la prevención. Scripta Nova Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. XIV, núm. 331 (60), 2010

#### **1.1.3.3 Residuos Sólidos Domiciliarios**

Aunque la comuna cuenta con un relleno sanitario, es habitual encontrar focos insalubres. Un fenómeno frecuente, en especial hacia los bordes del río Aconcagua, son los micro basurales, los cuales se presentan especialmente en los alrededores del Puente Boco, extendiéndose por cerca de 3 km aguas arriba y abajo por la vertiente sur del mismo río. La misma coincide con el borde de la ciudad donde abundan residuos domiciliarios y escombros de construcción.

#### **1.1.3.4 Termoeléctricas**

Las centrales presentes en la comuna, que otrora generaban energía eléctrica a través de gas natural, fueron convertidas a Petróleo Diesel. Por lo que los parámetros en las emisiones atmosféricas aumentaron considerablemente respecto a la situación original. Sin embargo, los resultados derivados de las estaciones de monitoreo continuo de gases presentes en la comuna han permitido corroborar que las emisiones cumplen con la normativa vigente en Chile. Salvo en unas ocasiones en las cuales sobrepasaron los rangos permitidos, debido a una falta de mantenimiento de los equipos utilizados y las condiciones de ventilación del valle. Este problema, sin embargo, no puede ser abarcado por el presente Plan, ya que excede su ámbito de acción estrictamente urbano.

#### **1.1.3.5 Planta de Tratamiento de Aguas Servidas**

La empresa sanitaria, en el sector de El Molino, se ha reconocido como una fuente de olores molestos para la comunidad, lo que ha valido la generación de reclamos formales ante la empresa comprometida. En términos del presente Plan, puede ser considerado un antecedente a la hora de prever el crecimiento urbano hacia dicho sector, evitando altas densidades poblacionales en sus alrededores urbanos.

#### **1.1.3.6 Zoonosis**

Si bien se reconocen problemas de zoonosis, referidos a la transmisión de enfermedades utilizando vectores de los animales, este tipo de problemas no son abordables por el Plan.

#### **1.1.3.7 Contaminación biológica**

Existen antecedentes que refieren a la presencia de termitas, las que afectan los inmuebles de la región. Aspecto de difícil control que amerita un examen respecto a las herramientas que eventualmente pueden apoyar el evitar la contaminación de las viviendas.

#### **1.1.3.8 Contaminación del río Aconcagua**

La presencia de gran cantidad de contaminantes en el Río de Aconcagua, hacen que sea considerado uno de los cursos más contaminados de Chile, por la concentración de pesticidas, coliformes fecales o residuos industriales líquidos, basura y chatarra entre otros residuos.

#### **1.1.3.9 Contaminación atmosférica**

Se ha registrado un aumento de la contaminación en la zona urbana de Quillota, en las estaciones de monitoreo de aire habilitadas en esta comuna, especialmente de material particulado (PM10). Fenómeno que se registra con mayor frecuencia en la temporada invernal y que estaría asociado al uso de calefacción a leña (dendroenergía), situación que se ha incrementado debido al menor costo que tiene este sistema frente a la energía eléctrica y otros combustibles.

#### **1.1.3.10 Problemas de conectividad y congestión**

Las carreteras presentes en la comuna llegan a conformar barreras que segmentan la conectividad urbana. Por otra parte, se han detectado problemas de circulación vehicular deficiente en el casco urbano, produciéndose frecuentes atochamientos o dificultades de circulación vehicular.

### **1.1.3.11 Síntesis y oportunidades respecto a los Problemas Ambientales**

En términos generales los problemas ambientales detectados sobrepasan los alcances del Plan, y se enfocan primordialmente al manejo de los recursos y hábitos de la comunidad.

Como elementos posibles de aplicar por el Plan, destaca la generación de áreas verdes, la reserva de fajas para la limpieza de canales y río Aconcagua, que paralelamente permita integrar este recurso a la ciudad.

También el planteamiento de vialidad complementaria a la existente, puede facilitar la disminución de atascamientos vehiculares, especialmente en el casco urbano.

## **1.2 RIESGOS NATURALES**

A continuación, se presentan los riesgos naturales identificados en la comuna, referidos a los procesos de remoción en masa e inundación.

### **1.2.1 Remoción en Masa**

Los resultados de este acápite reflejan la identificación y zonificación de las áreas urbanas y comunales susceptibles a ser afectadas por procesos remocivos, o propensos a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas, como lo indica el apartado 2 del artículo 2.1.17 de la OGUC correspondiente a amenazas por remociones en masa (caída de bloques, flujos de barro y deslizamientos). Para estos efectos se incluirá en el informe la línea de base geológica y geomorfológica, base primordial para la identificación de procesos de esta índole.

El objetivo de la línea de base y análisis de riesgos de remoción, es realizar una caracterización a detalle de las áreas propias de la comuna y zona urbana propuesta, indicando los posibles procesos causantes de riesgos a los que puedan ser afectos. Para lo anterior se presentan los siguientes objetivos.

- Establecer las distintas formas y unidades geomorfológicas que acaecen en las diferentes partes estructurantes del proyecto.
- Distinguir las formas dinámicas actuales y los procesos geomorfológicos que pudiesen afectar a las obras antes mencionadas, según los agentes externos modeladores de los relieves presentes en el área.
- Identificar áreas de vulnerabilidad derivada de procesos geomorfológicos morfodinámicos.
- Representar cartográficamente las distintas unidades y formas reconocidas, estableciendo una zonificación según su expresión espacial.

#### **1.2.1.1 Planteamiento Metodológico**

Hauser (2000) señala que diferencia de otro tipo de riesgos naturales, las remociones en masa, para su reconocimiento, requieren del manejo de distintos ambientes, entre los que cuenta al geográfico, climático, geomorfológico, geológico y tectónico, así también, Märker et al., (2001) señala que para describir procesos erosivos, remocivos y sus dinámicas al nivel de cuenca, se debe caracterizar un conjunto de parámetros que determinen las propiedades fisiográficas de esta, como así también, la actividad humana presente en ella.

Es así como para el caso de este análisis, se determinaron como parámetros de análisis a las siguientes variables: Cobertura vegetal, Precipitación, Topografía (exposición y pendiente), Geología, Erodabilidad y Uso del Suelo. Estos factores y su manejo para este trabajo son descritos a continuación:

- Cobertura Vegetal

Este índice se define a partir de distintos porcentajes de cobertura vegetal, obtenidos mediante la reclasificación del índice NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada). Para este caso, considera la categorización realizada por VAN ZUIDAM (1985) en MÄRKER et al. (2001), basada en la profundidad y distancia de los canales y cárcavas, entregando distintas clases y tipos de erosión y procesos remocivos.

Para su aplicación se ocuparon las bandas espectrales 02 y 03 de la imagen satelital ASTER, con una resolución de 15 X 15 metros de noviembre del año 2010.

**Cuadro 1. Clasificación de los Tipos e Intensidades Erosivas con Respecto a la Cobertura Vegetal (modificado según VAN ZUIDAM (1985)).**

Clase	Erosión	Tipo de erosión	Cobertura vegetal (%)	Áreas degradadas (%)
1	Ninguna	Canales- Intercanales, Erosión Ligera	>90	<10
2	Ligera	Canales- Intercanales, Cárcavas poco profundas	>75	<25
3	Ligera - Moderada	Canales; Cárcavas medias profundas	>75	<25
4	Moderada	Canales; cárcavas medias profundas	51-75	25-49
5	Severa	Canales; cárcavas medias profundas y Profundas; Deslizamientos de Tierra	26-50	50-74

Fuente: MÄRKER, MORETTI & RODOLFI (2001).

- Precipitaciones

Los antecedentes correspondientes a precipitaciones, se completaron por medio de la revisión y recopilación bibliográfica de la información pluviométrica disponible de las estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA), para sus Estaciones Quillota y Lo Rojas, ubicadas en la Comuna de Quillota, más la utilización del Índice Modificado de Fournier, realizado por CIREN (2010), el cual no sólo considera el mes con mayores precipitaciones, como lo hace el Índice de Fournier, sino que toma en cuenta el monto de las precipitaciones en los meses restantes.

- Geomorfología-Topografía (Pendiente y Exposición)

En lo relacionado al elemento Geomorfológico, se realizó la identificación y descripción de morfologías correspondiente a la comuna de Quillota; en cuanto a Topografía (pendiente y exposición), se utilizó como herramienta el Modelo Digital de Elevación (Digital Elevation Model, DEM).

Para el caso específico de la clasificación de Pendientes, se manejaron las categorías propuestas por ARAYA VERGARA & BÖRGEL (1972), en donde los autores incluyen a los rangos definidos, distintos umbrales geomorfológicos.

El factor Exposición utilizó la clasificación propuesta por FERNÁNDEZ (2006), la cual se adapta, tomando en cuenta la caracterización geomorfológica y la influencia que alcanzan las precipitaciones y la luz solar en la degradación activa de la superficie, dependiendo de las condiciones de desarrollo biológico del área de estudio.

**Cuadro 2. Rangos de pendiente según umbral geomorfológico**

<i>Grados de Pendiente</i>	<i>Tipo de Pendientes</i>	<i>Umbral Geomorfológico</i>	<i>Grado de Erodabilidad</i>
0° - 2°	Horizontal	Erosión nula o leve	Bajo
2,1° - 5°	Suave	Erosión débil, difusa (shett wash), inicio de regueros y solifluxión fría.	Bajo
5,1° - 10°	Moderada	Erosión moderada a fuerte, inicio de erosión lineal (rill wash).	Medio
10,1° - 20°	Fuerte	Erosión intensa, cárcavas insipientes.	Alto
20,1° - 30°	Moderadamente Escarpada	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa, reptación.	Alto
30,1° - 45°	Muy Escarpada	Coluviamiento, solifluxión intensa.	Muy Alto
> 45°	Acantilada	Desprendimientos, derrumbes, corredores de derrubios.	Muy Alto

Fuente: ARAYA – VERGARA & BORGEL (1972) modificado por FERNÁNDEZ (2006).

**Cuadro 3. Rangos de Exposición y Niveles de Erodabilidad**

<i>Exposición</i>	<i>Grado de Erodabilidad</i>
Sur	Bajo
Este	
Sureste	
Noreste	Medio
Suroeste	
Cenital (Plano)	
Norte	Alto
Oeste	
Noroeste	

Fuente: FERNÁNDEZ (2006).

- Geología

Esta variable se desarrolló en función a la Carta Geológica Hojas Quillota-Portillo de Rivano et al., (1993). Los materiales se clasificaron según los rangos de erodabilidad de KUHNI y PFIFFNER (2001) en FERNÁNDEZ (2006), la cual entrega cuatro rangos basados en las características del material, existiendo bajo esto, un diferenciado grado de erodabilidad.

**Cuadro 4. Rangos erodabilidad según tipo de rocas**

<i>Tipo de Roca</i>	<i>Grado de Erodabilidad</i>
Sedimentos Clásticos	Alto
Carbonatos Mesozoicos	Medio
Metamórficas	Bajo
Granitoides	Muy Bajo

Fuente: KUHNI & PFIFFNER (2001) en FERNÁNDEZ (2006)

- Erodabilidad

La Erodabilidad del suelo esta define la resistencia de los materiales del suelo a los procesos de desprendimiento y transporte. Esta varía en función de las características de textura de suelo, la estabilidad de los agregados, la capacidad de infiltración y los contenidos minerales y orgánicos.

Para este caso, se ha utilizado la Información de la Erodabilidad del suelo de CIREN (2010), la cual entrega 5 tipos de clasificación: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta.

- Uso de Suelo

Según Cerdá (2004), el Hombre es un agente que altera el medio natural, acelerando con ello los procesos y aumentando las tasas de erosión. Sin embargo, el hombre también influye al ser capaz de desarrollar técnicas (medidas estructurales) que permiten reducir los problemas remocivos. Es así como se desarrolló un acercamiento al uso de suelo de la comuna, dando especial énfasis a los cultivos desarrollados en laderas, dado que este tipo de uso puede traspasar de un determinado umbral, asociándosele eventos que pueden evolucionar hasta llegar a ser catastróficos, obteniéndose, por lo tanto, importantes deslizamientos por la sobreutilización de áreas con ciertas características.

- Potenciales Quebradas Torrenciales

Así también, con la intención de evaluar factores que den paso a la presencia de quebradas torrenciales, y su vinculación con procesos remocivos, se consideraron los análisis de terreno realizados por el GIS SAGA. Para esta modelación, el programa permite definir características del escurrimiento, considerando distintos cálculos: La pendiente, se obtiene por medio del algoritmo de Zevenberg & Thorne (1987), mientras que, para la dirección y la acumulación del flujo, aplica un algoritmo de flujo múltiple (Tarboton, 1997). La combinación de índices permitió describir características complejas de escorrentía, utilizándose como indicadores relativos de amenaza natural. Los índices conseguidos para la comuna de Quillota, son los siguientes:

**Índice de Energía del Flujo.** *Stream Power Index (SPI)*. El cual resulta del producto del área de la cuenca y la gradiente. Las cuencas corresponden a un *proxi* del volumen de agua, mientras que las laderas (gradiente), entregan la velocidad de la escorrentía. Es así como el SPI resulta un índice de energía disponible para la erosión y el transporte de sedimentos acumulados en flujos turbulentos.

**Índice de Humedad Topográfica.** *Topographic Wetness Index (TWI)*. Para este caso, el índice permitió señalar áreas con humedad y zonas de saturación potencial y escorrentía. Este índice es resultante del logaritmo natural del radio de la cuenca y la pendiente, expresando el potencial de escurrimiento superficial debido a la saturación.

### 1.2.2 Superposición de Variables

Para la obtención de las zonas de remoción en masa, las variables físico naturales determinadas para su definición, deben ser superpuestas. Este paso se realizó mediante el GIS ArcGis 10, permitiendo que puedan identificarse los distintos niveles de susceptibilidad en el área de estudio.

El análisis se basa en la valoración, a partir de preferencias, importancia o probabilidad de cada una de las variables en análisis, las cuales son comparadas en pares. Luego de realizadas la totalidad de las comparaciones se obtendrá un resultado final consensuado, el cual será especializado mediante la utilización del programa GIS.

Para este caso, la valoración se definió a partir de criterios profesionales, junto a la respectiva revisión bibliográfica, basada, fundamentalmente, en la metodología propuesta por Lara (2010) y Ferrando *et al.* (2013).

**Cuadro 5. Ponderación (%) de Factores detonantes para procesos de Remoción en Masa**

<i>Variable</i>	<i>Factor</i>	<i>%</i>
GEOMORFOLOGÍA- TOPOGRAFÍA	Pendientes de Laderas	35
	Exposición de Laderas	
GEOLOGÍA-CLIMA	Características Geológicas	30
	Precipitaciones, Condiciones de Humedad y Saturación	
VEGETACION	Cobertura Vegetal	10
ANTRÓPICO (Uso de suelo)	Desestabilización Artificial de Laderas	10
ANTECEDENTES (Registros de eventos históricos)	Deslizamientos declarados en Laderas	15

Fuente: Modificado a partir de Lara (2007).

### 1.2.3 Descripción de Variables

A continuación, se describen las diferentes variables consideradas para la identificación de los procesos de remoción en masa.

#### 1.2.3.1 Antecedentes Históricos de Procesos de Remoción en Masa

A la fecha, Quillota ha experimentado una serie de eventos naturales propicios para la producción de procesos de remoción en masa en sus diferentes clasificaciones: desprendimientos o caídas, deslizamientos, flujos, toppling o volcamientos, y extensiones laterales (Lara & Sepúlveda, 2008).

A continuación, se realiza un inventario de carácter bibliográfico y periodístico que eventos de carácter sismológico y de precipitaciones, que han tenido repercusión física en el territorio.

**Cuadro 6 Inventario de eventos de naturaleza sísmica y de precipitaciones.**

FECHA	SISMO	PP	REMOCIÓN IDENTIFICADA	FUENTE
16-08-1906	8.3	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
29-08-1930	Semi-terremoto (*)	-	Potencial.	Urrutía de Hazbun & Lanza 1993
17-10-1930	Semi-terremoto (*)	-	Potencial.	Urrutía de Hazbun & Lanza 1993
18-03-1931	7.1	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
13-09-1945	7.1	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
28-03-1965	7.1	-	<b>Desprendimientos.</b> Cuatro excursionistas del club de la Montaña de Valparaíso fallecieron aplastados por la caída de varios rodados, gatillados por el terremoto del 28 de marzo de 1965, mientras escalaban una ladera del cerro La Campana en Quillota	Boroscheck & Astroza 1993 PRI La Campana 2014
08-07-1971	7.5	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
16-10-1981	7.2	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
03-03-1985	7.8	-	Potencial.	Boroscheck & Astroza 1993
12-06-2012 13-06-2012	-	70 mm	<b>Deslizamientos. Derrumbes. Flujos de agua.</b> Cerro Mayaca, sector Aconcagua norte, evacuación de familias.	Registro periodístico autores.
Mayo de 2013	-	70 mm	Se registran <b>anegamientos</b> en diversos sectores de Quillota.	Diario el Observador de Quillota ( <a href="http://www.diarioelobservador.cl/2573-entregan_balance_por_temporal_de_lluvias_que_afecta_a_la_regi_n_de_valpara_so">http://www.diarioelobservador.cl/2573-entregan_balance_por_temporal_de_lluvias_que_afecta_a_la_regi_n_de_valpara_so</a> )
11-06-2014	-	50m m	<b>Deslizamientos.</b> El encargado de emergencias agregó que se produjo un deslizamiento de tierra en una ladera del cerro Mayaca, lo que provocó algunas dificultades en la población Aconcagua Norte, pero hasta donde también acudió una cuadrilla de emergencia para evitar un mayor desmoronamiento sobre las casas.	Diario el Observador de Quillota ( <a href="http://www.diarioelobservador.cl/4128-un_centenar_de_viviendas_anegadas_y_suspensi_n_de_clases_es_el_resultado_de_intensas_lluvias_en_quillota">http://www.diarioelobservador.cl/4128-un_centenar_de_viviendas_anegadas_y_suspensi_n_de_clases_es_el_resultado_de_intensas_lluvias_en_quillota</a> )
23-08-2014	6.4	-	Potencial.	-

(\*) No registra magnitud numérica, solo características. Fuente: Elaboración propia.

Entre los últimos eventos climatológicos identificados, que se divisan como los principales agentes precursores de proceso remocivos, se encuentran las últimas lluvias mayores a 50mm, que principalmente han afectado al cerro Mayaca, en el centro de Quillota, para los años 2012, 2013 y 2014. Sobre el acontecido el año 2012 en el cerro Mayaca, las autoridades de Gobernación provincial, ONEMI regional y la Oficina de Protección Civil y Emergencias de la Municipalidad de Quillota, han indicado lo siguiente.

*“...existen varias casas que están con el riesgo de caerse por la ladera del cerro y otras que están en la parte baja que pueden ser afectadas... expertos del SERNAGEOMIN... vinieron a analizar el sector, no solamente el lugar afectado, sino que toda la orilla del cerro, y ese es el informe lapidario. Da el número de casa, domicilios exactos de las casas que deben ser inmediatamente desocupadas de pobladores porque corren peligro inminente que se les caiga la mitad del cerro sobre sus casas...son alrededor de veinte casas que están en la misma situación, así que el panorama es complejo”... (Diario online [www.soyquillota.cl](http://www.soyquillota.cl) 22.06.2012)*

**Fotografía 1 Evento pluviométrico 2012. Diario electrónico Soy Quillota.**



Fuente: [www.soyquillota.cl](http://www.soyquillota.cl) (2012)

Para el mismo evento, SERNAGEOMIN elaboró un informe de inspección de terreno, con el fin de evidenciar los efectos de deslizamientos y caídas de roca en el sector norte del Cerro Mayaca. De este informe se extrae lo siguiente.

*“El terreno inspeccionado corresponde, a las calles Peumo y Aconcagua Norte, principalmente...Las laderas del cerro Mayaca, han sido ampliamente intervenidas debido al poblamiento del mismo, con cortes en las laderas para caminos que, inicialmente, conducían hacia el cementerio; posteriormente, han sido reintervenidas para conformar calles y pasajes.*

*Se observan **pérdidas progresivas de material de las laderas**, lo que se evidencia por la exposición de las raíces de los árboles, y la inclinación de sus troncos.*

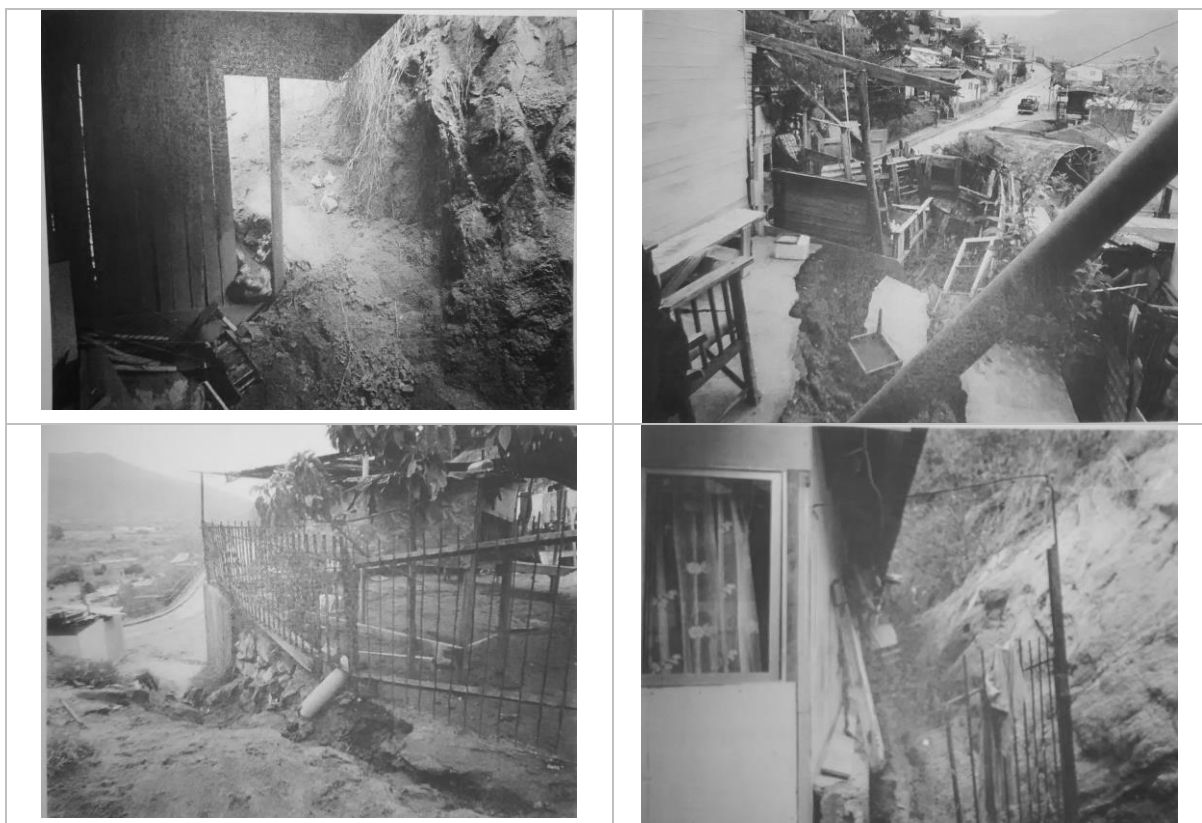
*Los mismos pobladores, a objeto de ganar terreno para sus viviendas, han efectuado cortes casi verticales en las laderas, de manera de ampliarse hacia el cerro, así como rellenos en quebradas,*

para fundación de viviendas o patios. Con ello, año tras año se genera **mayor inestabilidad en las laderas**, lo que ha obligado al abandono de aquellas viviendas que, debido a deslizamientos, han quedado sin bases de sustentación...” (SERNAGEOMIN, 2012).

En este mismo informe se recomienda el desalojo y desplazamiento de viviendas en el sector, por potencial peligro de deslizamientos y caídas de roca. Además, se indica que es inminente indicar prohibición de emplazamiento de población en el sector.

**Fotografía 2 Eventos pluviométrico 2012. Informe Sernageomin.**





Fuente: SERNAGEOMIN, 2012.

### **1.2.3.2 Geomorfología de la Comuna de Quillota**

A continuación, se describen las características geomorfológicas de la cuenca del río Aconcagua y de la comuna de Quillota.

- Características Geomorfológicas de la Cuenca del Río Aconcagua

Caviedes (1972), señala la existencia de tres dominios geomorfológicos, dentro de la cuenca del río Aconcagua. Da cuenta de:

Un valle superior, asociado a la alta cordillera andina, influida fuertemente por agentes glaciales o glacio-fluviales;

El valle medio, que se extiende a través de las cuencas intermontanas de la Cordillera de la Costa y cuyas formas dependen de acumulaciones fluviales y coluviales.

Un valle inferior, correspondiente a un paisaje estrechamente vinculado a los fenómenos y procesos costeros, ocurridos desde fines del Terciario y a lo largo del Cuaternario.

Las propiedades de la cuenca del río Aconcagua, responden a procesos propios del modelado, es así como los tres dominios morfológicos mencionados, pueden ser considerados como independientes, pero, que, sin embargo, demuestra signos de integración, solo en las zonas de transición entre una y otra.

Las diferencias entre las distintas formas de la cuenca, están directamente relacionadas a los tipos de drenaje, condiciones climáticas y procesos de acumulación-erosión, la cual cambia a partir de su característica altitudinal y también a partir de dimensiones temporales. De esta forma, el Cuaternario, el Aconcagua se ha visto influenciado por varios procesos climáticos que lo hicieron oscilar por períodos fríos y húmedos (glaciaciones en la alta cordillera y pluviales en el resto del

valle), hasta períodos tibios y áridos, tanto en montaña como en sectores costeros. Los episodios asociados aluviones y depositación, dan cuenta de las condiciones morfoclimáticas desarrolladas en el Cuaternario, dando paso a lo que actualmente se configura en el paisaje del valle.

La clasificación de Caviedes (1972), ubica a la comuna de Quillota en el tramo correspondiente al Aconcagua Medio. Este sector, en el Cuaternario, y a partir de los episodios morfoclimáticos, presentó variados y consecutivos procesos de sedimentación aluvial, aluvionamientos, generación de conos de deyección y variadas formas depositacionales. Esto asociado a distintos tipos de climas por los cuales se vio influido, pasando por períodos más frescos y húmedos, en épocas templadas y con predominio semiárido.

- **Geomorfología de la comuna de Quillota**

Las Geoformas de la comuna de Quillota, se definieron a partir de la determinación de unidades, asociadas a procesos evolutivos. Es así como se pudo definir elementos generales que predominan en el ambiente morfológico del área, los cuales se explican a continuación:

- **Sistemas de Vertientes**

Corresponden a las laderas de los cordones correspondientes a la Cordillera de la Costa, que circunscriben los sectores de fondo de valle (que presenta aspectos de depresión), en donde se ubica la ciudad de Quillota. Estos sistemas fueron definidos a partir de las propiedades litológicas. Es así como se define el predominio de un Sistema de vertiente en roca sedimentaria-volcánica, que pueden hallarse en ambas laderas de la comuna.

Los sistemas de vertientes proporcionan el material, a través de la erosión, transporte posterior, y deposición de estos sedimentos heterogéneos, a sectores con menor nivel de pendiente. Las laderas presentan características diferenciadas en ambos sistemas (este y oeste). La vertiente oeste, muestra altitudes superiores a los 1500 m.s.n.m.; Para el sector este, la altitud supera, escasamente, los 700 m.s.n.m. Estas últimas, si bien presentan pendientes abruptas en sectores de la divisoria, se manifiestan con mayor claridad en el sector este, existiendo predominio de pendientes superiores a los 20°.

- **Formas Deposicionales**

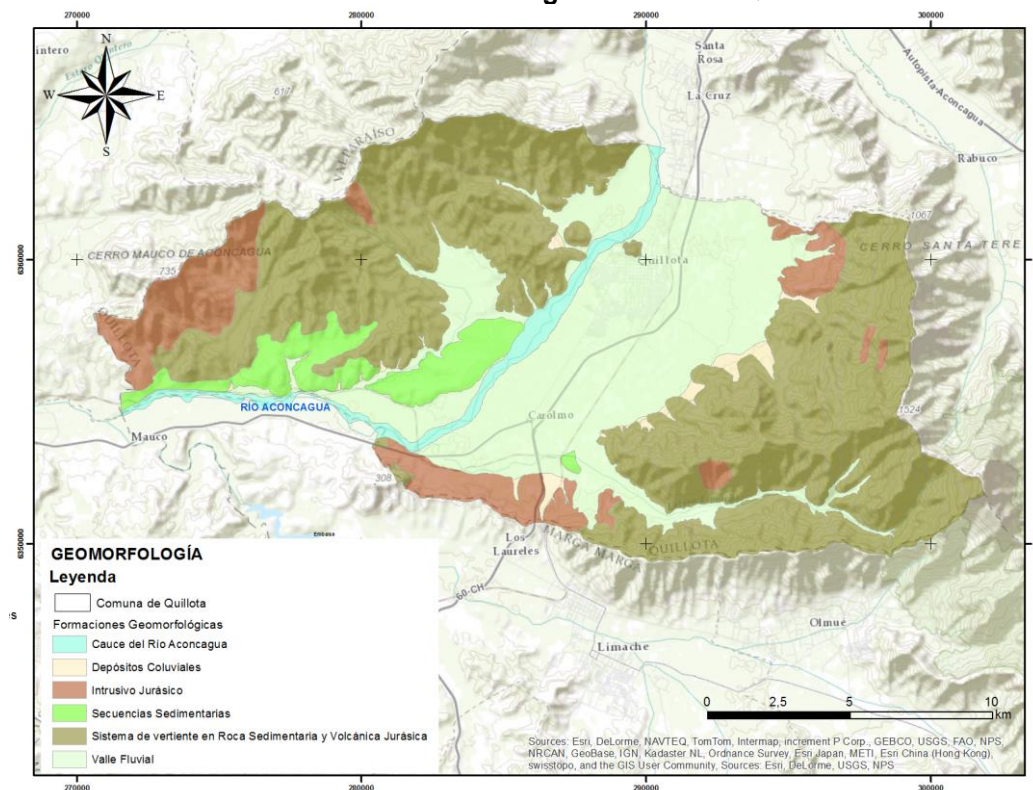
Se asocia a la acumulación de material arrastrado por aguas no encauzadas, heterométrico, caracterizado por una forma de abanico abombado (convexo en el sentido transversal), y que se localiza a la salida de las quebradas. Estas depositaciones se manifiestan en forma de conos aluviales, mostrando distintas dimensiones, los cuales se desarrollan en las faldas de la cara este y oeste de los sistemas de vertientes, ya mencionados. Según Caviedes (1972), están constituidos por arenas gruesas, arcillas consistentes, escasos guijarros y material anguloso, presentando pendientes que varían entre los 5° y 10° en la zona de la cabecera y 1° y 2°, en la base. La forma de estos materiales coluviales, da cuenta del lavado intenso de las pendientes (sistemas de vertientes) y procesos más violentos. Señala, además, que los materiales finos y la escasez de los detritos de mayor tamaño, posibilita la utilización de los suelos de estos sectores. Es así como Actualmente, presentan uso de carácter de agrícola, desarrollando cultivos en pendiente.

- **Valle Fluvial y Cauce del río Aconcagua**

En este sector se evidencia un amplio valle, en el cual el cauce se encuentra confinado por las secuencias sedimentarias del valle principalmente, y por los sistemas de vertientes en la ribera norte, desde Quillota hasta La Cruz. El fondo de valle es amplio, presentando forma de media luna, alcanzando un ancho cercano a los 7 kms, y un largo de 20.

Los sectores de valle fluvial son utilizados para diversos tipos de cultivos y plantación de árboles frutales. El cauce tiene un ancho medio de 350 m, en el sector de Quillota. Las riberas presentan bajas alturas (entre 2 y 3 m), evidenciando abundante vegetación. El cauce presenta una baja sinuosidad, con evidencias de bancos medios, con escasa cubierta vegetal, mostrando un escurrimiento trenzado. El lecho muestra una forma irregular, con evidencia de arenas y gravilla, verificándose, además, la presencia de bolones.

**Ilustración 16. Geomorfología Comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

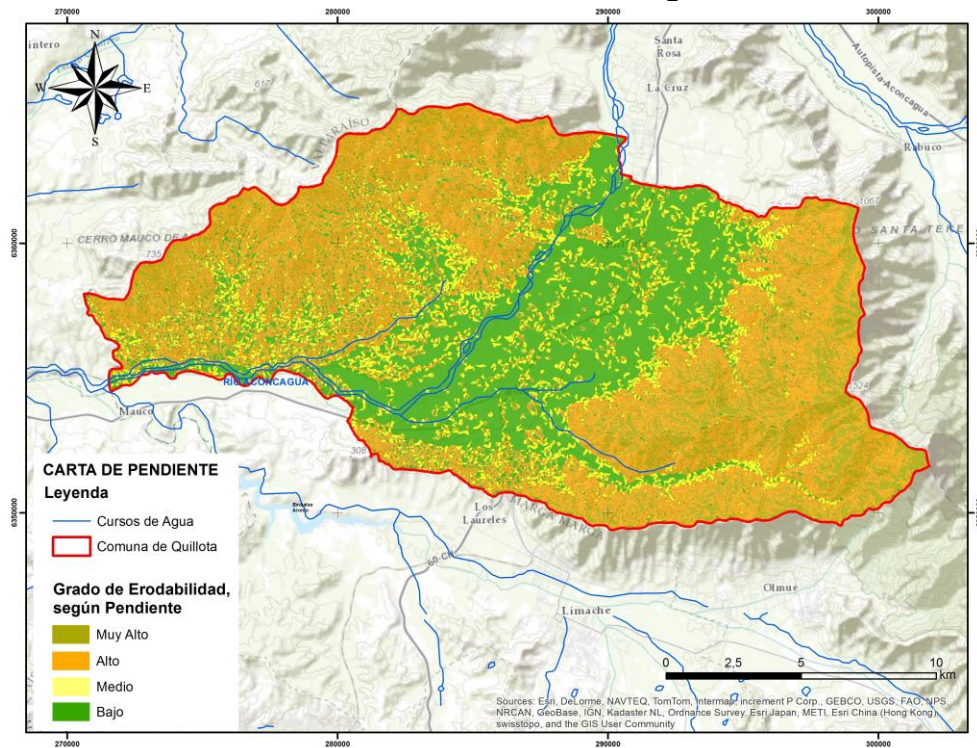
### 1.2.3.3 Topografía (Pendiente y Exposición)

En lo que respecta a la pendiente, según la clasificación de ARAYA – VERGARA & BORGEL (1972) y la modificación en base a la inclusión del grado de erodabilidad realizada por FERNÁNDEZ (2006), se puede conseguir una definición de la dinámica existente según la diferenciación de pendientes, entregando el correspondiente potencial erosivo para cada área.

El encajonamiento que presenta el valle en estudio, hace suponer la presencia de pendientes pronunciadas. Es así como se evidencia un grado de erodabilidad Alto, asociándose erosión intensa y movimientos en masa, (entre los 10,1° y 30°) en un 43,8% de la superficie total, siendo esta clasificación la que predomina en los sistemas de vertientes del área. Con un grado de erodabilidad Muy alto se presenta un 12,2% de la superficie total, evidenciándose pendientes con presencia de acantilados sobre todo en sectores de la divisoria del área en análisis. Entre los 0° y los 5°, lo que se asocia a un nivel de erosión nula a leve o débil, con un grado de erodabilidad Bajo, alcanza 33,33% del total del área. Este último sector está estrechamente ligado a los sectores del fondo de valle. Así también, los sectores con un grado de erodabilidad Media, alcanza un 10,67% de la superficie comunal, pudiendo hallarse, preferencialmente, en sectores de formas depositacionales.

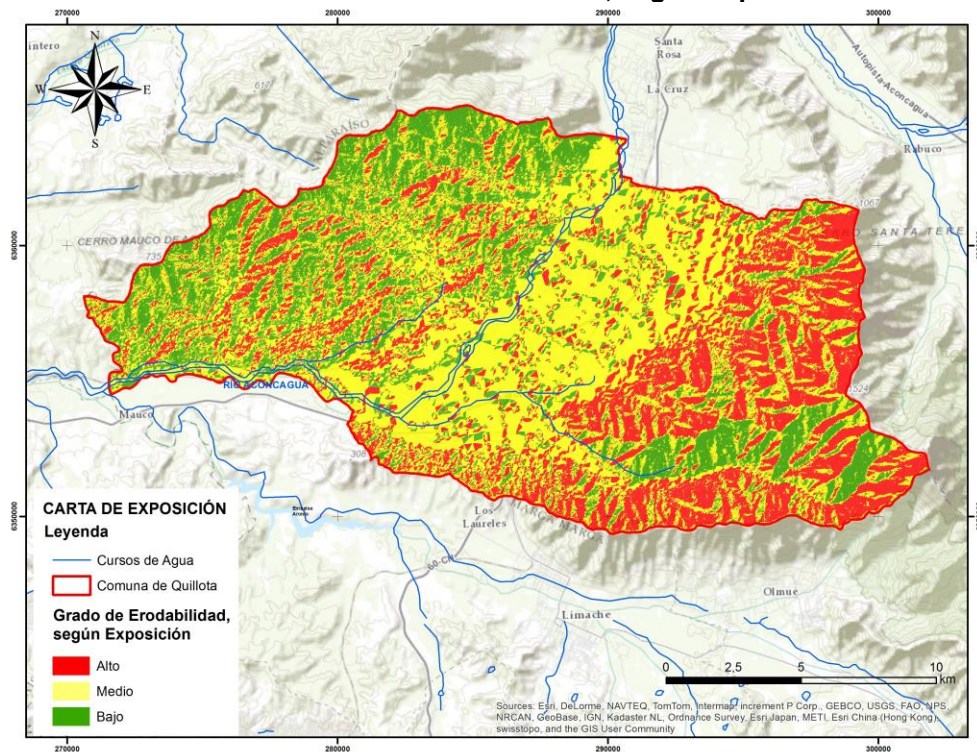
En cuanto a Exposición, las asociadas a un grado de erodabilidad Media, suma el 58,03% del total del área en análisis, correspondiente, fundamentalmente, a los sectores de fondo de valle. No obstante, un porcentaje no menor de la subcuenca está propenso a ser afectado por los efectos de las precipitaciones y la luz solar, es así como los sectores con un grado de erodabilidad Alta suma 28,10% del área comunal. El tipo de exposición vinculado a un grado de erodabilidad Bajo, alcanza un 13,87%.

Ilustración 17. Grados de Erodabilidad según Pendiente



Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 18. Grado de Erodabilidad, según Exposición



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.3.4 Geología

La caracterización geológica de la comuna de Quillota, se realizó a partir del trabajo de Rivano et al., (1993). Regionalmente, se reconocen tres dominios estructurales: el dominio costero, conformado por el basamento paleozoico y unidades estratificadas jurásicas, correspondiendo a las planicies y Cordillera de la Costa. Se hallan, también, depósitos relacionados a los grandes ríos (Aconcagua, por ejemplo), con una cubierta cuaternaria correspondiente a depósitos de playas, fluviales y de remoción en masa, reconociéndose, niveles de terrazas a lo largo de estos valles (Formación Confluencia); el dominio central está formado por la cobertura mesozoica, principalmente cretácica, y que pertenece a la media montaña; por su parte el dominio cordillerano, está conformado por unidades mesocenoicas, desde el Jurásico Superior hasta el Mioceno.

- Formaciones y Unidades Geológicas

Las unidades y formaciones geológicas identificadas en la Carta Geológica Hojas Quillota-Portillo de Rivano et al., (1993), dentro de los límites comunales, son los siguientes:

**Cuadro 7. Grados de Erodabilidad y Unidades de Rocas para la Comuna de Quillota**

TIPOS DE UNIDADES	SUPERUNIDAD	UNIDADES Y FORMACIONES	DESCRIPCIONES
Unidades de Rocas Intrusivas (Grado de Erodabilidad: <b>Muy Bajo</b> )	Superunidad Mincha	Unidad Cavilolén (Jurásico)	Corresponde a las más extensas unidades jurásicas, aflorando grandes plutones batolíticos y cuerpos menores asociados. Se asocian a materiales como graniodoritas, tonalitas y monzogranitos de biotita, hornblenda y en menor proporción clinopiroxenos.
		Unidad Tranquila (Jurásico).	Los materiales de asocian a leucotonalitas amarillentas a rosáceas intruidos por numerosos cuerpos pequeños de composición diorítica y de colores grises a negros. Se evidencian, en menor medida, filones sinplutónicos disruptados.
	Superunidad Illapel	Unidad La Campana (Cretácico).	Presenta un cuerpo de gabro y dioritas subordinadas de colores gris oscuro a negro, de grano medio a grueso. Muestra una textura hipidimorfa granular ofítica a subofítica.
		Unidad Chalinga (Cretácico).	Se evidencian desde dioritas a sienogranitos. Mayormente, facies graniodoríticas a tonalíticas y en menor cuantía, facies de monzonitas y monzodioritas cuacíferas.
Unidades de Rocas Estratificadas (Grado de Erodabilidad: <b>Medio</b> )		Formación Ajial (Jurásico Inferior-Medio).	Corresponde a una secuencia de lavas "queratofíricas" con intercalaciones de tobas, brechas y rocas sedimentarias lenticulares, se suman las brechas y tobas con intercalaciones de areniscas.
		Formación Cerro Calera (Jurásico Medio).	Se conforma de una secuencia de sedimentitas marinas y areniscas, areniscas tobáceas y tufitas de colores gris amarillento con intercalaciones de calizas y calcarenitas.
		Formación Horqueta (Jurásico Medio-Superior).	Presenta una alternancia de lavas andesítico basálticas y niveles de brechas volcánicas, de color violáceo a rojizo típico y tobas riódacíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias detríticas, correspondientes a areniscas y areniscas conglomerádicas y conglomerados rojos. Las lavas presentan color pardo oscuro a pardo rojizo.
		Formación Lo Prado (Cretácico Inferior - Neocomiano).	Presenta, principalmente, rocas sedimentarias, fétidas fosilíferas intercaladas con niveles macizos de calcarenitas grises, existiendo, además, niveles de brechas y/o conglomerados.

TIPOS DE UNIDADES	SUPERUNIDAD	UNIDADES Y FORMACIONES	DESCRIPCIONES
Depósitos No Consolidados (Grado de Erodabilidad: <b>Alto</b> )		Formación Confluencia (Mioceno-Plioceno).	Corresponde a una secuencia de gravas y ripios con intercalaciones de arenas poco consolidadas que se distribuyen en terrazas altas que muestran una distribución superficial concordante con el sistema hidrográfico. Pueden hallarse conglomerados, areniscas, brechas y limolitas.
		Sedimentos Aluviales y Coluviales (Pleistoceno - Holoceno).	Se asocian a los cursos de agua actuales y tiene su expresión más importante en la cuenca del Aconcagua. Se pueden evidenciar acumulaciones de gravas y ripios, regular y mal estratificados, y por arenas y limos, bien estratificados. Estos últimos pueden asociarse a sedimentos efímeros, correspondientes a depósitos de valle y algunos conos de deyección, los que modifican su estructura, a partir del nivel de precipitaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.3.5 Precipitaciones

Las precipitaciones son reconocidas como el agente externo que con mayor importancia induce a los procesos erosivos y remocivos (MORGAN, 1997), evidenciándose, en forma clara, según HAUSER (2000), la innegable relación existente entre el clima y los procesos geodinámicos superficiales.

El poder erosivo de las precipitaciones, según CREMASCHI & RODOLFI (1991), se ve asociada a los montos que la lluvia alcanza, influyendo directamente la duración, intensidad y frecuencia del evento pluviométrico. Estas lluvias pueden generar erosión en base a la *salpicadura*, la cual, según MORGAN (1997), es el principal detonante de la degradación del suelo. La escorrentía superficial, que se relaciona directamente con las precipitaciones, transporta, según FOURNIER (1975), los materiales disgregados, formándose la escorrentía desde el momento en que el suelo deja de infiltrar las lluvias que caen sobre él, siendo, de esta manera, importante las características del suelo (en aspectos como textura). La importancia de este factor con respecto a la erosión, radica en que los detritos son “cincelados” con la ayuda del mismo material que el agua transporta. Importante es también la erosión que la escorrentía genera en las riberas de los ríos (MORGAN, 1997).

GARCÍA RUIZ (1990) indica que la precipitación se hace fundamental en relación a la dinámica hidrológica de las cuencas, ya que estas responden diferenciadamente cuando se trata de una lluvia intensa de corta duración o cuando se produce una lluvia moderada de larga duración, existiendo, también, distintos efectos en función del tamaño de la cuenca.

En función de lo anterior, el mismo autor prosigue al mencionar que los procesos erosivos y remocivos de consideración que pueden afectar a los sistemas de vertientes están relacionados directamente con precipitaciones de gran intensidad. Estos al aportar una gran energía cinética, provocan una importante escorrentía que erosiona la superficie gracias a la velocidad que el flujo alcanza. Las precipitaciones de intensidad moderada mantenidas durante muchas horas no suelen producir erosión significativa en las formas de vertientes, aunque pueden evidenciarse cárcavas en algunos casos.

En la comuna de Quillota se presentan registros para un período de 38 años, los datos consideran la estación Quillota y Lo Rojas, en las cuales se han registrado precipitaciones por sobre los 100 mm, las cuales pueden ser consideradas lluvias torrenciales.

Los años con registros de precipitaciones máximas en 24 hrs por sobre los 100 mm (o cercanas a ellas), nivel pluviométrico definido como torrencial, corresponden a los años 1981, 1984, 1987, 1997, 2000, 2001, 2002 y 2008.

**Cuadro 8. Precipitaciones Máximas en 24 Hrs (Período 1975-2013) Estación Quillota y Lo Rojas**

QUILLOTA			LO ROJAS		
AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)	AÑO	FECHA	MAXIMA EN 24 HS. PRECIPITACION (mm)
1975	-	-	1975	03/07	49,50
1976	-	-	1976	02/11	49,50
1977	01/11	0,00	1977	22/07	74,50
1978	13/07	51,50	1978	19/07	92,00
1979	-	-	1979	26/07	65,80
1980	17/07	66,50	1980	18/07	83,00
1981	11/05	98,00	1981	11/05	121,70
1982	12/08	62,50	1982	12/08	96,00
1983	20/06	39,30	1983	20/06	70,00
1984	03/07	82,00	1984	04/07	122,50
1985	03/07	32,50	1985	28/07	45,00
1986	13/06	54,50	1986	27/05	68,70
1987	14/07	78,50	1987	11/08	143,50
1988	28/07	29,50	1988	13/08	46,00
1989	25/07	40,50	1989	25/07	55,00
1990	16/07	33,50	1990	16/07	34,00
1991	18/06	61,50	1991	18/06	91,00
1992	24/06	78,50	1992	24/06	87,00
1993	29/08	45,00	1993	29/08	33,50
1994	22/05	54,00	1994	22/05	68,00
1995	13/08	44,00	1995	13/08	48,50
1996	06/07	32,50	1996	06/07	49,00
1997	16/08	74,00	1997	29/05	78,50
1998	05/06	11,50	1998	05/06	17,50
1999	12/09	30,00	1999	28/06	51,00
2000	13/06	59,00	2000	12/06	101,50
2001	29/07	86,00	2001	29/07	111,50
2002	03/06	109,50	2002	03/06	165,00
2003	20/05	50,00	2003	20/05	67,30
2004	02/08	50,00	2004	02/08	62,00
2005	27/06	43,50	2005	27/06	43,00
2006	25/07	66,00	2006	25/07	75,50
2007	13/06	32,50	2007	13/06	40,00
2008	20/05	71,00	2008	20/05	100,00
2009	19/06	50,00	2009	19/06	68,00
2010	14/05	28,00	2010	17/06	41,00
2011	18/06	31,50	2011	18/06	51,00
2012	26/05	62,00	2012	26/05	78,00
2013	27/05	32,50	2013	27/06	47,00

Fuente: DGA (2014)

En relación al tamaño de la cuenca, cuando esta es pequeña se hace relevante la intensidad de las precipitaciones, por el contrario, mientras más grande, importante es la duración y la cantidad precipitada. Esto porque, tal como indica GARCÍA RUIZ (1990), en cuencas que presentan algunos centenares de km<sup>2</sup> de tamaño, las precipitaciones de gran intensidad, que aportan energía cinética e importante escorrentía, generan efectos que se representan en una gran cantidad de aluviones provenientes de los cursos de agua de menor orden, existiendo también, socavación de vertientes en unos casos o el bloqueo del cauce principal, conllevando con esto a la inundación de las terrazas bajas. Las cuencas de mayor tamaño, por precipitaciones sostenidas durante mucho tiempo, presentan una gran cantidad de aluviones, siendo estos materiales abandonados al disminuir el caudal, lo que provoca la socavación de las vertientes en unos casos.

En zonas semiáridas la precipitación puede ser estacional o estar distribuida a lo largo del año. Sin embargo, dependiendo del área específica y de su magnitud, podría ser que en algunos meses del año no exista precipitación (SALAS, 1996). Bajo este patrón la importancia de las precipitaciones,

sobre todo en ambientes como estos, donde el agua es un recurso escaso, radica en que determina el desarrollo de numerosas actividades humanas, al igual que alienta a la activación de procesos en el sistema natural (GONZÁLEZ HIDALGO *et al.*, 2005).

El carácter fluctuante y variable del clima del semiárido permite que puedan alternarse períodos lluviosos y secos, observándose, bajo esto, diferentes escenarios en relación a la dinámica de los procesos de remoción (HAUSER, 2000). Las condiciones del ambiente semiárido pueden variar sustancialmente ante las variaciones que se relacionan a un evento como el fenómeno El Niño, en base a las altas precipitaciones que se le asocian. (SALAS, 1996).

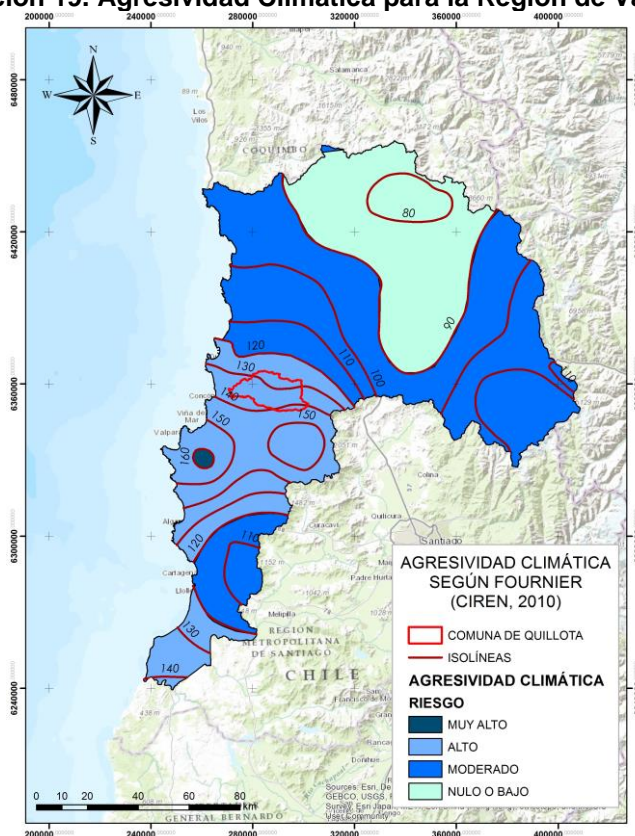
El Niño, Oscilación del Sur (ENOS), corresponde a un evento climático natural que se desarrolla en el océano Pacífico ecuatorial central, el cual se manifiesta, principalmente, por un aumento de la temperatura superficial del mar y una disminución de los vientos alisios en el lado este del océano Pacífico (ORTLIEB, 1995).

Según ONEMI (2004), la circulación atmosférica en Chile, la cual determina las características climáticas del país, se define por dos factores: el anticiclón subtropical de Pacífico suroriental y el cinturón de bajas presiones subpolares. El primero corresponde a un área de altas presiones semipermanentes, la cual afecta la zona norte y central del país, presentando fluctuaciones norte-sur. El segundo factor es el cinturón de bajas presiones que originan el desarrollo de sistemas frontales que circulan entre La Serena y Concepción. En presencia de un evento El Niño, el anticiclón subtropical del pacífico se debilita en el sector oriental (frente a Chile) disminuyendo sus efectos en la zona central y norte del país, facilitando el desplazamiento de los sistemas frontales que provienen de la región oeste del Pacífico. Esta condición atmosférica, permite la entrada de bandas nubosas frontales las cuales generan altas precipitaciones.

Estas condiciones anómalas provocan junto a estas precipitaciones, cambios notables en el clima, tanto en los países del Pacífico sudoriental, entre los que se cuenta Chile, como en otras partes del mundo. El ciclo ENOS se desarrolla en forma aperiódica apareciendo a intervalos irregulares que oscilan aproximadamente entre los 3 y 7 años (ONEMI, 1997). En el semiárido chileno la existencia de episodios lluviosos coincide con estos años Niño, ocurriendo solo algunos eventos pluviométricos de altos montos en años clasificados como normales, estando estas precipitaciones relacionadas con el fenómeno “El Niño” del año inmediatamente anterior o posterior (ORTLIEB, 1995).

Para reconocer los niveles de agresividad pluvial, se ha utilizado el Índice de Fournier Modificado, IFM, presentado por CIREN (2010), el cual, independientemente de las propiedades intrínsecas del suelo y vegetación, indica que a mayor intensidad de lluvia, mayores son las tasas de pérdida de suelos.

**Ilustración 19. Agresividad Climática para la Región de Valparaíso**



Fuente: CIREN (2010).

De esta forma, puede evidenciarse en las isótopos de agresividad, el aumento de este de Norte a Sur, es así como la comuna de Quillota se ubica dentro del área asociada a una agresividad climática Alta, ubicándose entre los valores 130 y 150 de erosividad pluvial.

### 1.2.3.6 Identificación de Quebradas Torrenciales

Para la identificación de Quebradas torrenciales, se trabajó, complementariamente, realizándose un análisis morfométrico aplicando la metodología de MÄRKER *et al.*, (2001, 2008, 2010), y VOGEL & MÄRKER (2010), sobre la base del análisis de un GDEM ASTER, corregido hidrológicamente según el algoritmo de PLANCHÓN & DARBOUX (2001). El DEM resultante se utilizó para un análisis del terreno a través del SIG SAGA.

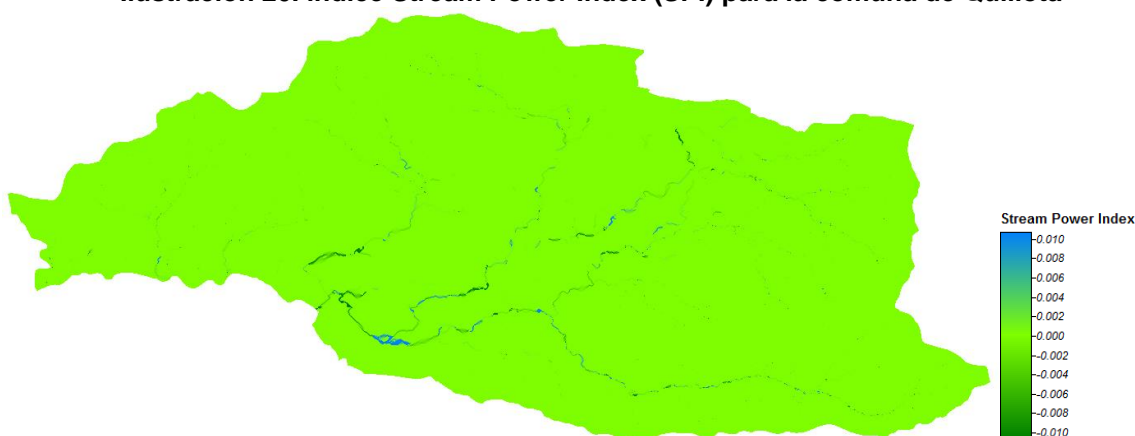
La evaluación de los procesos asociados a erosión hídrica, se elaboró en base a la generación de 2 índices topográficos. Para los fines de la modelización, el sustrato geológico, fue considerado como homogéneo, derivándose, en consecuencia de la topografía.

Los índices corresponden al *Stream Power Index (SPI)*, la cual se obtuvo como producto de la zona de captación específica y la gradiente. Este permite describir los efectos de los procesos de erosión fluvial lineal, tales como cárcavas, *talwegs* y erosión lateral de lechos. Se suma el índice *Topographic Wetness Index (TWI)*, el cual se calculó como el logaritmo de la proporción específica entre el área de captación y la gradiente. Este generó información sobre la acumulación de agua y la saturación del suelo y el sustrato, siendo en consecuencia un importante indicador de los procesos de escorrentía superficial e inundaciones (SOTO *et al.*, 2010).

De esta forma, los resultados son los siguientes:

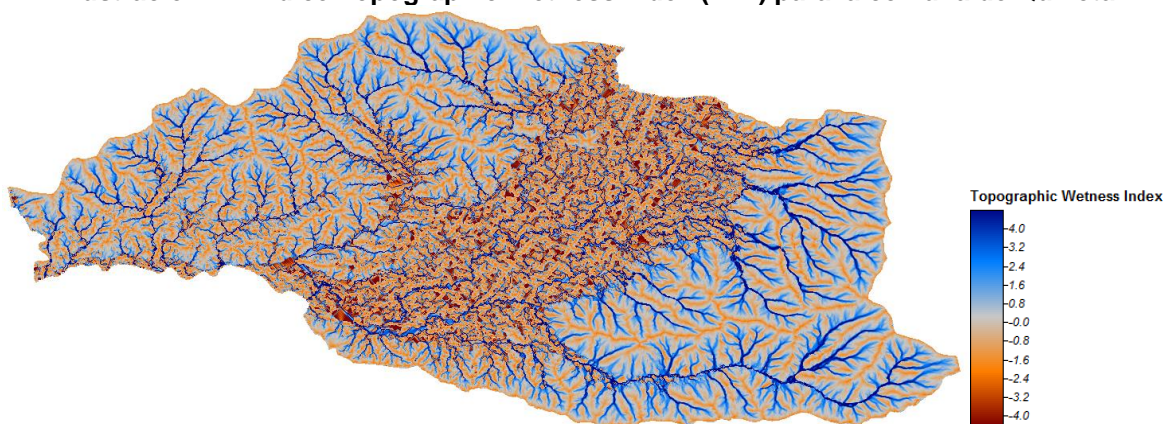
Para el índice *Stream Power Index* (SPI), los valores positivos dan cuenta de sectores con evidencia de mayores niveles de erosión fluvial lineal. Es así como se denota los talwegs y demás cursos de agua, constituyen vías de difusión morfodinámicamente relevantes, sobretodo porque presentan condiciones de incisión. A nivel comunal, se puede evidenciar la amenaza por asociada a quebrada torrenciales se presenta en los esteros Rautén, San Isidro y, en menor medida, en la Quebrada del Ají. El índice *Topographic Wetness Index* (TWI), arroja como resultado la definición de los talwegs y cursos de agua dentro de la comuna, a causa de los niveles de concentración humedad asociados a estos ejes hídricos. En los sistemas de vertientes (laderas), estos cursos alcanzan mayor relevancia dada los niveles de alta pendiente a la que se vinculan. Es así como los resultados obtenidos son coherentes con los modelos individuales ya descritos, pero destaca su correlación con las condiciones de geología y geomorfología levantada para el área de estudio. Otro aspecto relevante de validación está asociado a los procesos dinámicos actuales, tales como erosión, evidencias de flujos de detritos, talwegs torrenciales, con materiales en cursos, que pueden ser activados frente a eventos pluviométricos torrenciales (El Niño), dado que en períodos normales el caudal de estos talwegs es irrelevante.

**Ilustración 20. Índice Stream Power Index (SPI) para la comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 21. Índice Topographic Wetness Index (TWI) para la comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.3.7 Erodabilidad

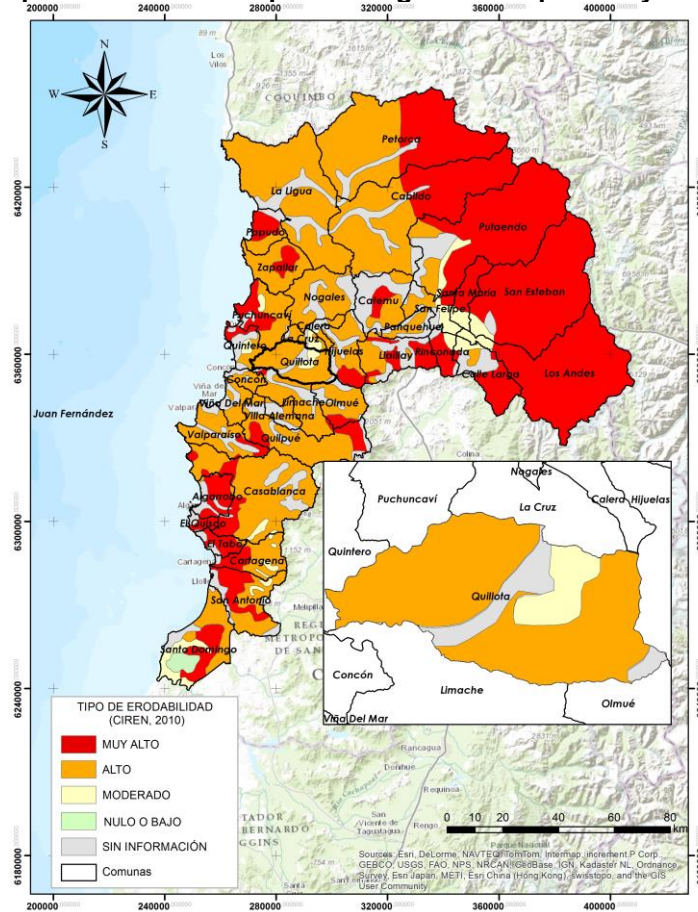
Estos procesos entregan como resultado una geodinámica, que conlleva un escenario erosivo asociado a las distintas características morfológicas de cada sector, dando cuenta, de igual manera, de distintos niveles de susceptibilidad erosiva correlacionados con determinados patrones físicos y dinámicos. En este sentido se ratifica lo variable de los procesos erosivos, los cuales

durante largos períodos no se activan, mientras que en otros casos, ante intensas lluvias, se manifiestan violentamente.

Es así como para el caso de la comuna de Quillota, sector que se encuentra circunscrito por sectores de laderas, asociadas a pendientes inclinadas, presenta un claro predominio de sectores con Alto nivel de erodabilidad (78,4% de la superficie total), las cuales se evidencian en los sistemas de vertientes norte y sur de la comuna, como en las formas depositacionales. Así también, en sectores de fondo de valle, con menor pendiente, se alcanza un 10.67% de superficie con grados de erodabilidad Moderado.

Este escenario, se pone en relieve la alteración de las características, condiciones y equilibrios dinámicos del sistema físico comunal, presentándose altas niveles de susceptibilidad de erosión de los suelos del sector.

**Ilustración 22. Tipo de Erodabilidad para la Región de Valparaíso y Comuna de Quillota**

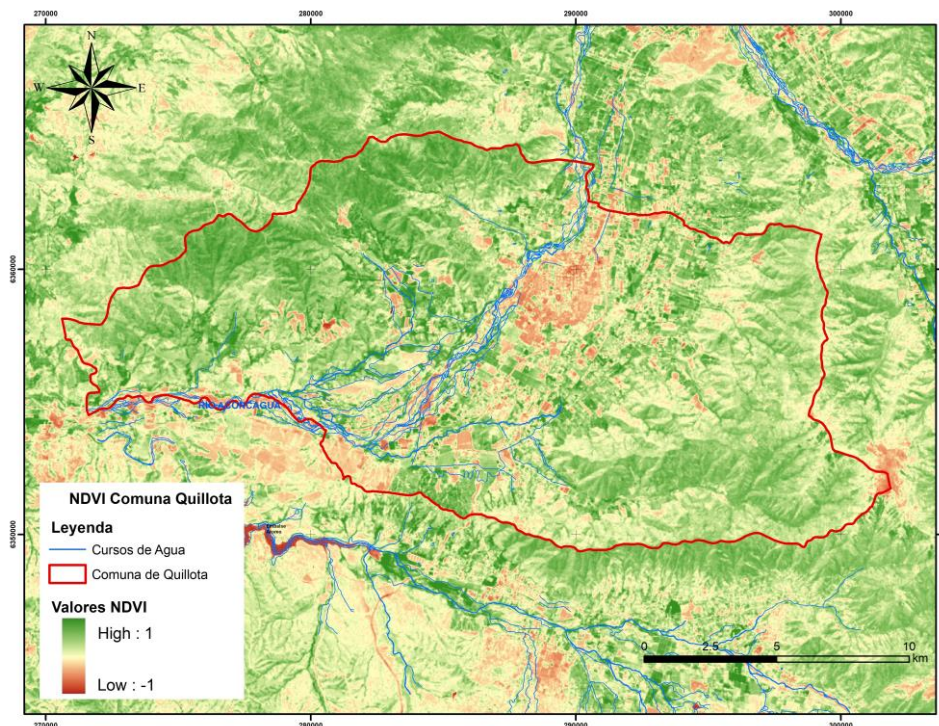


Fuente: CIREN (2010).

### 1.2.3.8 Cobertura Vegetacional

Para la definición de las diferentes coberturas vegetales existentes se utilizó el índice NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), el cual entregó valores que fluctúan entre los 1 y -1, siendo los valores negativos los que representan una baja intensidad vegetal, y los valores con tendencia positiva los que corresponden a una intensidad vegetal mayor. La comuna de Quillota presenta una clara predominancia de arbustos y matorrales, encontrándose altas intensidades en sectores correspondientes a cultivos.

**Ilustración 23. NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) para la Comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

La reclasificación de los valores NDVI, está basada en los rangos de cobertura vegetal propuestos por MÁRKER et al., (2001), los cuales permitieron definir áreas con iguales características de intensidad vegetal.

**Cuadro 9. Rangos de Cobertura Vegetal para la Comuna de Quillota**

Clase	Densidad Vegetal	Intensidad Vegetal	Valores NDVI Reclasificados
1	>10%	Extremadamente Baja	Entre -1 y -0,7
2	10% – 25%	Baja	Entre -0,7 a -0,3
3	26% – 50%	Moderadamente Baja	Entre -0,3 y 0
4	51% – 75%	Moderadamente Alta	Entre 0 y 0,3
5	76% – 90%	Alta	Entre 0,3 y 0,7
6	> 90%	Extremadamente Alta	Entre 0,7 y 1

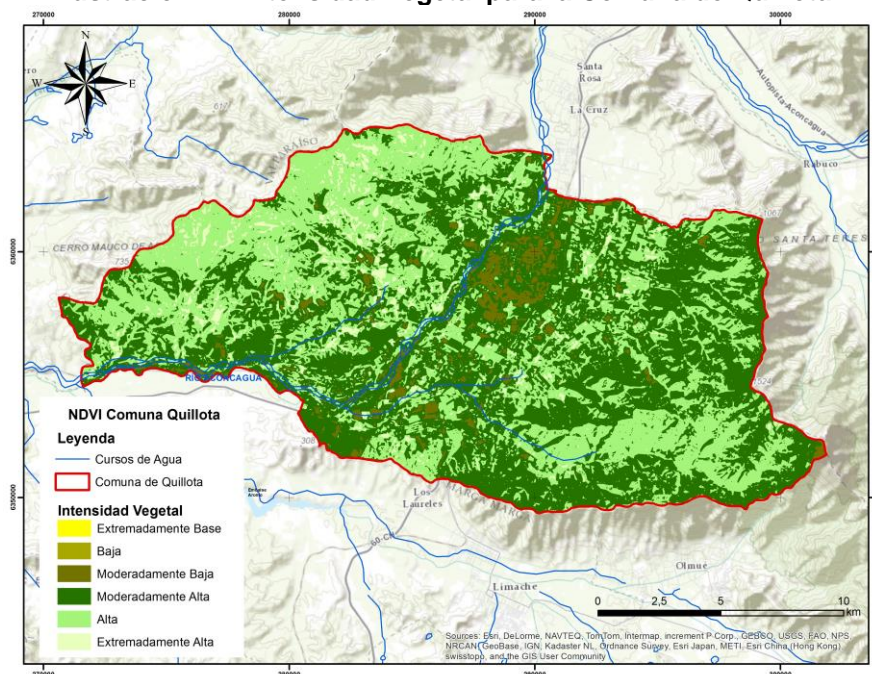
Fuente: Elaboración Propia a partir de MÁRKER et al. (2001).

Las características vegetacionales comunales, asociadas al predominio de arbustos y matorrales y áreas de cultivo, como ya se mencionó, permiten que las mayores superficies correspondan a las clases con Intensidades vegetales Moderadamente Alta y Alta (con 51,4% y 41,2%, respectivamente). Los sectores con una Intensidad vegetal Extremadamente Alta, alcanza un 3,66% de la superficie total de la comuna. Por su parte, las clasificaciones Moderadamente Baja, Baja y Extremadamente Baja, suman un 3,74% de la comuna, hallándose preferentemente, en los sectores urbanos de Quillota.

Si bien existe un evidente predominio de las clases asociadas a Intensidades Vegetales de alta densidad, las cuales se vinculan a tipos de erosión débil, su ubicación en sectores de sistemas de

vertientes y formas deposicionales, muchos de ellos cubiertos de cultivos asociados a paltos, dan cuenta de posibilidades de alta dinámica, a partir de sus características de pendiente y exposición.

**Ilustración 24. Intensidad Vegetal para la Comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.3.9 Uso de Suelo

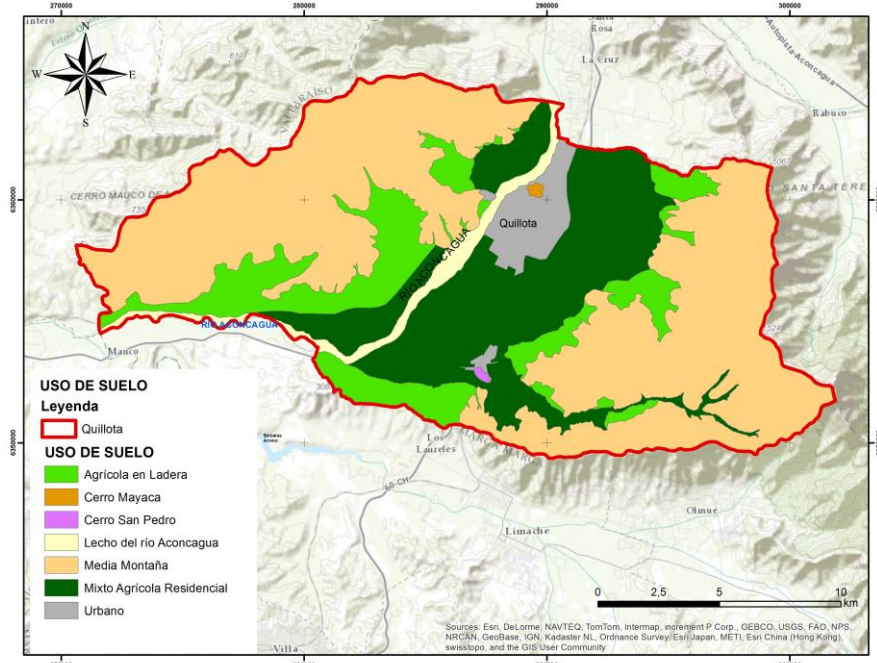
El área de estudio presenta un alto predominio del uso agrícola, dando cuenta del proceso de reconversión agrícola productiva que ha experimentado la zona norte y centro del país. Un aspecto distintivo de estos paisajes se relaciona a las plantaciones de frutales en laderas de cerros y zonas asociadas a formas depositacionales; las intervenciones en estos sectores, muchas veces sobrepasando los umbrales morfodinámicos aconsejables para el uso productivo, pudiendo generar mayores niveles de susceptibilidad remosiva y erosiva para estas áreas.

Se definieron 7 tipos de usos: Urbano (3,69% de la superficie comunal), Mixto Agrícola residencial (23,27%), los Cerros Mayaca y San Pedro (0,17%), Lecho del río Aconcagua (3,07%), Media montaña (54,67%) y Agrícola en Ladera (15,13%).

Uno de los usos más relevantes en cuanto a los procesos morfodinámicos es el asociado a Usos Agrícolas en Ladera. ALIAGA Y CASTRO (2013) dan cuenta que las superficies reconvertidas al uso agrícola se asocian a los sistemas de vertientes y conos aluviales, obteniéndose erodabilidad baja cuando poseen características de mayor densidad vegetal, menor pendiente y exposición sur; para el caso de los sectores con mayor erodabilidad presentaron densidades vegetales menores, pendientes pronunciadas y exposiciones norte.

En las superficies de menor y mayor erodabilidad se encuentran usos agrícolas que se manejan a partir de camellones a favor de la pendiente, terrazas en curvas de nivel y laderas con vegetación nativa, siendo estos camellones los que se asocian a mayor susceptibilidad erosiva.

**Ilustración 25. Uso de Suelo Comuna de Quillota**



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.4 Modelo de Áreas de Remoción en Masa

La jerarquización de las variables físico naturales utilizadas en este trabajo, permitió, en función de esta estructura, determinar los diferentes grados de susceptibilidad erosiva.

**Cuadro 10. Superficie (Km<sup>2</sup>) y Porcentaje de Tipos de Remoción en masa para la comuna de Quillota**

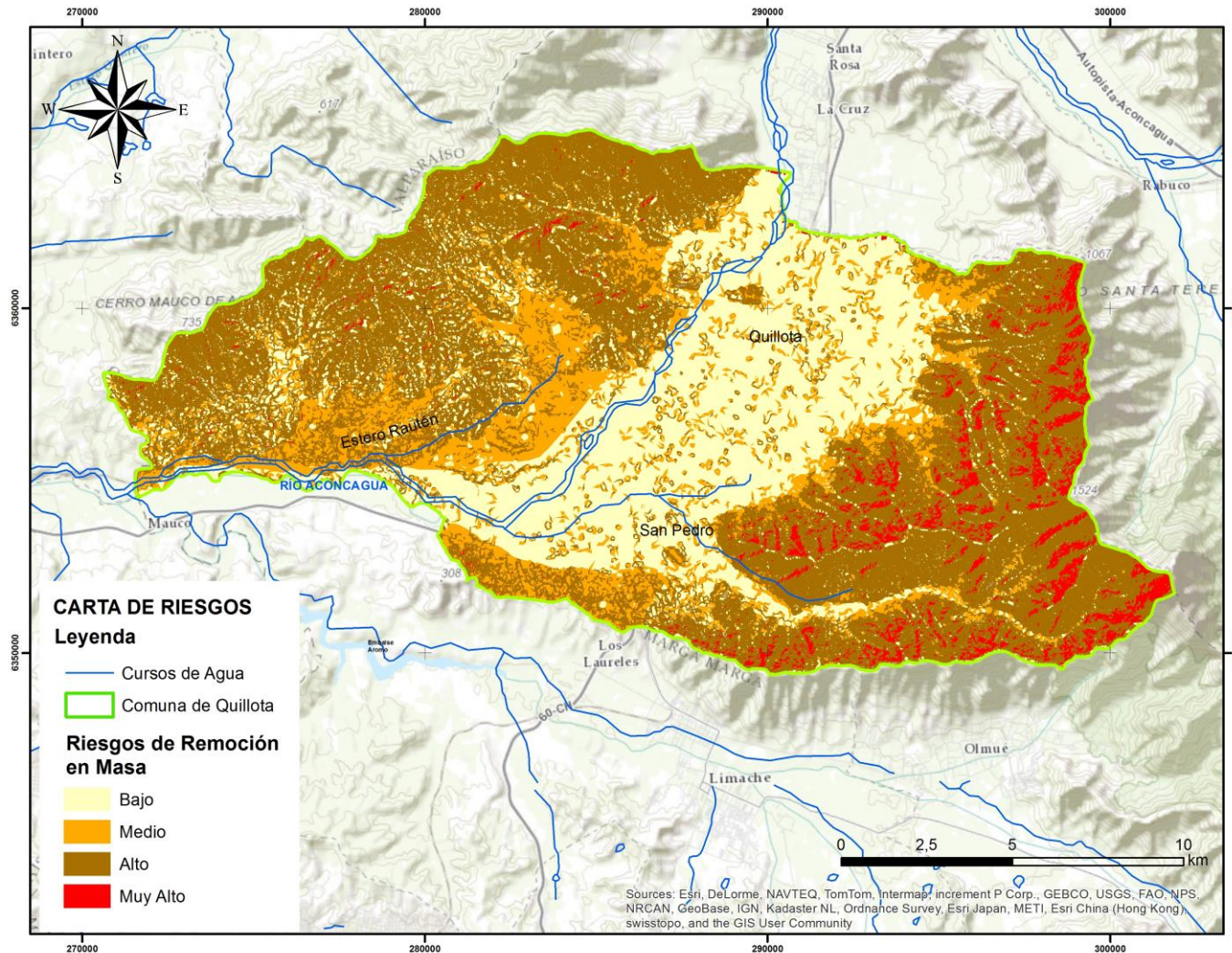
TIPOS DE REMOCIÓN EN MASA	CONDICIONES BASE PARA LA TIPOLOGÍA DE REMOCIÓN			HÁS Y PORCENTAJE DE SUPERFICIE	
	Geomorfología	Pendiente			
Muy Alta		Exposición	Norte, oeste y noroeste	1469,92 (4,87%)	
	Geología (tipo de roca)		Sedimentos clásticos		
	Cobertura vegetal ( % de densidad e intensidad vegetal)		>90% de densidad e intensidad extremadamente alta		
	Erodabilidad (CIREN)		Muy Alta		
	Uso de suelo (según unidades de paisaje)		Cerro Morrillo San Pedro, Cerro Mayaca y Agrícola en ladera.		
	Quebradas torrenciales	Stream Power Index (SPI)	Valores Positivos		0,61 - 1
		Topographic Wetness Index (TWI)	Valores Positivos superior a 4		
		Registros de eventos históricos	Presencia de antecedentes de procesos remocivos documentados.		
Alta	Geomorfología	Pendiente	10,1° a 30°	15383,06 (50,85%)	
		Exposición	Norte, oeste y noroeste		
	Geología (tipo de roca)		Sedimentos clásticos		
	Cobertura vegetal ( % de densidad e intensidad vegetal)		76% a 90% de densidad e intensidad alta		
	Erodabilidad (CIREN)		Alta		
	Uso de suelo (según unidades de paisaje)		Media montaña.		
	Quebradas torrenciales	Stream Power Index (SPI)	Valores Positivos		0,31 – 0,6
		Topographic Wetness Index (TWI)	Valores Positivos		3 - 4

Actualización Plan Regulador Comunal de Quillota

TIPOS DE REMOCIÓN EN MASA	CONDICIONES BASE PARA LA TIPOLOGÍA DE REMOCIÓN			HÁS Y PORCENTAJE DE SUPERFICIE
	Registros de eventos históricos		Presencia de antecedentes de procesos remocivos documentados.	
Media	Geomorfología	Pendiente	5,1° a 10°	4884,92 (16,15%)
		Exposición	Noreste, suroeste y Cenital (plano)	
	Geología (tipo de roca)		Carbonatos Mesozoicos	
	Cobertura vegetacional (% de densidad e intensidad vegetal)		26% al 75% de densidad e intensidad moderadamente baja y moderadamente alta.	
	Erodabilidad (CIREN)		Media	
	Uso de suelo (según unidades de paisaje)		Lecho del río Aconcagua, Mixto residencial, industrial y agrícola.	
	Quebradas torrenciales	Stream Power Index (SPI)	Valores Positivos 0 – 0,3	
		Topographic Wetness Index (TWI)	Valores Positivos 0 - 3	
	Registros de eventos históricos		Presencia de antecedentes de procesos remocivos documentados.	
Baja	Geomorfología	Pendiente	0° a 5°	8508,65 (28,13%)
		Exposición	Sur, este y sureste	
	Geología (tipo de roca)		Metamórficas y granitoides.	
	Cobertura vegetacional (% de densidad e intensidad vegetal)		>10% a 25% de densidad e intensidad baja y extremadamente baja.	
	Erodabilidad (CIREN)		Baja y muy baja	
	Uso de suelo (según unidades de paisaje)		Urbano.	
	Quebradas torrenciales	Stream Power Index (SPI)	Valores negativos	
		Topographic Wetness Index (TWI)	Valores negativos	
	Registros de eventos históricos		Ausencia de antecedentes de procesos remocivos documentados.	

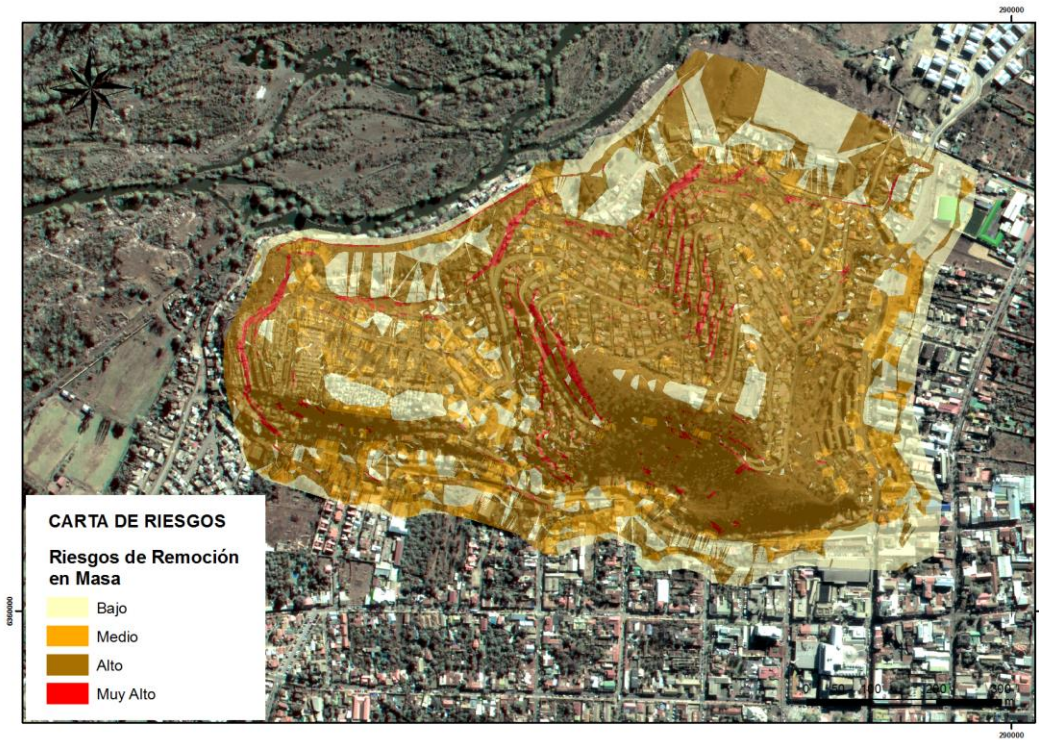
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 26. Carta de Remoción en Masa, según Metodología propuesta



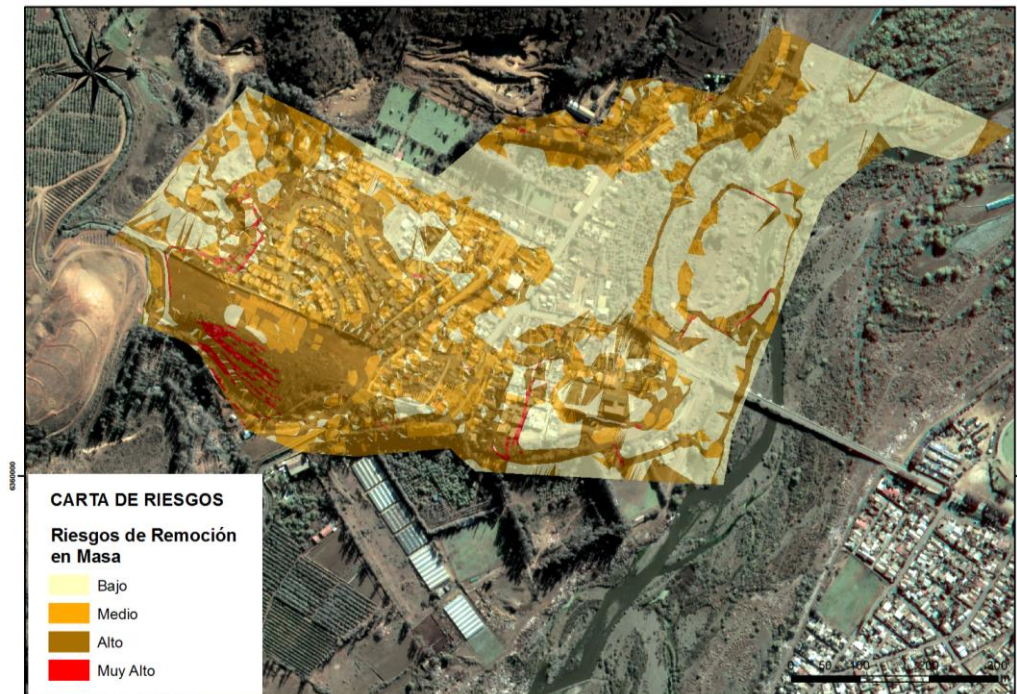
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 27 Modelo de Remoción en masa Cerro Mayaca.



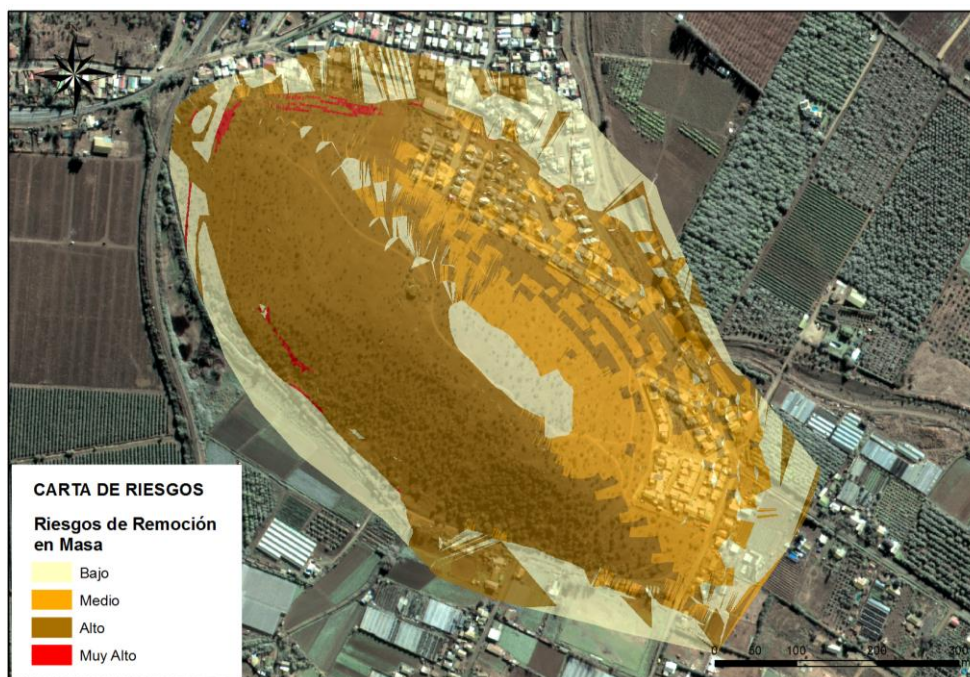
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28 Remoción en masa El Boco.



Fuente; Elaboración propia.

**Ilustración 29 Remoción en masa San Pedro**



Fuente: Elaboración propia

## 1.2.5 Definición De Áreas Finales

### 1.2.5.1 Método

Con el fin de facilitar las labores de planificación, se homogenizan las áreas de riesgo, a partir de criterios profesionales, entrevistas y evidencias en terreno, dando énfasis a los sectores que en efecto se han visto influenciados por procesos de remoción masa.

El proceso se realizó a partir del principio vecino más cercano. Es decir, el valor del área general se homogeneizó sobre la base de las propiedades predominantes para el sector específico. Esta es una técnica comúnmente utilizada y que permite generar áreas con características propias, diferenciando áreas a partir de las propiedades evidenciadas en el cerro, en cada área, igualando la característica predominante. Se hace énfasis en un escenario “escenario optimista”, no considerando las áreas más críticas circundantes.

De este modo, una porción del territorio puede caracterizarse por la superposición de un conjunto de superficies que se consideran como más significativas.

Este concepto implica la definición de una vecindad de los distintos elementos geográficos. Se tiene que los valores de una variable registrados en aquellos elementos vecinos ejercen una influencia sobre los valores de dicha variable. El *método de vecino más cercano* permite solventar algunos de los problemas asociados al análisis de cuadrantes. Para ello, se basa en las distancias de cada punto a su vecino más cercano. Comparando estas distancias con el valor que cabe esperar en una distribución aleatoria, puede deducirse el tipo de estructura en la distribución observada.

Aunque trabajamos con datos puntuales, este concepto de vecindad puede asociarse a otro tipo de entidades, como por ejemplo las de área. Así, puede considerarse que dos polígonos son vecinos si comparten al menos un lado común o, más restrictivamente, si comparten una longitud de sus perímetros mayor que un determinado umbral.

La herramienta del vecino cercano, mide la distancia entre cada centroide de entidad y la ubicación del centroide de su vecino más cercano. Esto permite calcular el promedio de todas las distancias de vecinos. Si la distancia promedio es menor que el promedio de una distribución hipotética

aleatoria, se considera que la distribución de las entidades que se analiza es agrupada. Si la distancia promedio es mayor que la distribución hipotética aleatoria, se considera que las entidades están dispersas. La relación de vecino más cercano promedio se calcula como la distancia promedio observada dividida por la distancia promedio esperada (con la distancia promedio esperada basada en una distribución hipotética aleatoria con el mismo número de entidades que cubren la misma área total).

#### **1.2.5.2 Resultados**

De la reclasificación explicada previamente, se desprende que en superficie prevalecen los tipos remocivos asociados a una alta susceptibilidad. Según estos datos un 55,72% de la superficie total del área de estudio se encuentra proclive a sufrir procesos erosivos de importancia al ocasionarse un evento precipitacional. Esta situación puede explicarse en función de la influencia del factor precipitación y de la morfología existente en el área de estudio, representada, fuertemente, por una pronunciada pendiente.

El área influenciada por un riesgo de remoción Muy Alto se encuentra adscrito, a los sistemas de vertientes en roca sedimentaria y volcánica Jurásica, estando asociados a tipos de rocas intrusivas y secuencias sedimentarias, mostrando, también, como uno de los factores de importancia, pendientes que se relacionan a deslizamiento y desprendimiento de material, con cárcavas poco profundas.

En cuanto al tipo Medio de Remoción en Masa, se encuentran los conos aluviales asociados al fondo de valle, ubicados en ambas laderas de la superficie comunal, y que en base a su condición de formas depositacionales, sumado al cierto nivel de sus pendientes, son áreas muy susceptibles de sufrir por los procesos de carácter remocivo. Este sector, por sus condiciones de pendiente, puede ser entendido como un área de expansión agrícola.

El sector de Baja susceptibilidad remociva, corresponde a los sectores de fondo de valle, presentado condiciones de pendiente suave a moderada, existiendo depósitos no consolidados.

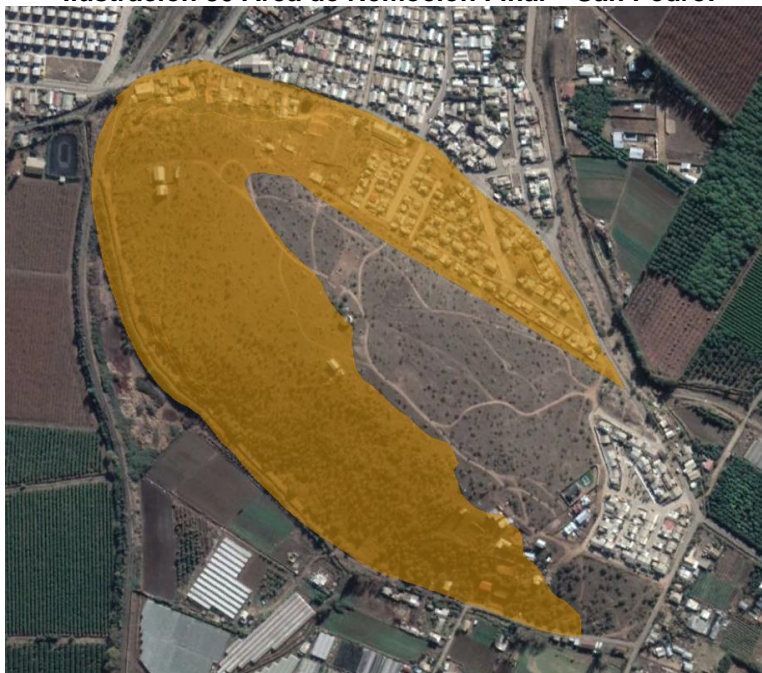
Entre los sectores relevantes de la comuna se cuentan sectores altamente urbanizados como El Cerrillo en la localidad de San Pedro, El Boco, y el Cerro Mayaca. A partir de esto, se hace una descripción de cada uno de ellos.

- **San Pedro.**

La localidad de San Pedro, presenta un cerro de 130 m.s.n.m. aprox, que evidencia en sus sectores basales, en la cara norte y este, viviendas asociadas a una incipiente urbanización.

La topografía del área, da cuenta de áreas con pendientes que fluctúan, mayoritariamente, entre 20 y 30°. El predominio de materiales sedimentarios, da cuenta de sectores que se asocian a una alta susceptibilidad asociada a procesos remocivos, pudiendo incluso, afectar a los sectores de viviendas, ya mencionados. Finalmente, el área queda integrada por las zonas de Alta y Muy Alta susceptibilidad, la cual se indica en la siguiente imagen.

**Ilustración 30 Área de Remoción Final – San Pedro.**



Fuente: Elaboración Propia.

- El Boco.

Este sector, al este del río Aconcagua, presenta sectores con pendiente superiores a 30°, el cual, al igual que el Mayaca, muestra un alto nivel de ocupación residencial. Es así como a partir de sus características topográficas, se asocia a niveles de susceptibilidad de remoción en masa, Alto, sobre todo en la cara norte de estas elevaciones. De igual forma, en su cara suroeste, con predominio de vegetación en estado natural, asociado a árboles y matorrales, existen áreas con niveles de remoción en masa con Muy alta susceptibilidad remociva.

En sectores altos del sector, se evidencia una muralla que funciona como contención para los efectos de movimiento de material desde áreas aportantes ubicadas en sectores de altas pendientes, arriba del sector con uso residencial. Esta medida puede permitir que el área mencionada se ubique bajo la categoría Media en cuanto a riesgo por remoción en masa.

No obstante, esta intervención se ubica solo hasta la calle. Situación que no permite quitar la denominación de Alta susceptibilidad a procesos remocivos, a una superficie mayor del área revisada.

En cuanto al área de pendiente vecina a la multicancha, que fue intervenida buscando su estabilización por medio de obras que apuntan a vegetar el sitio, quedará con nivel de riesgo medio. Esto a partir de que la intervención permitirá disminuir fuertemente las posibilidades de remoción, siendo una obra aconsejable para situaciones similares dentro de la comuna.

Es de relevancia mencionar, que aun cuando un sector se vea protegido en caso de remoción, la masa que se transporta buscará vías de evacuación, que para el caso se identifican en las zonas anexas a la obra de mitigación. Al no contar con obras continuas y planificadas, el riesgo se traslada, pero no desaparece. El polígono resultante queda indicado en la siguiente imagen.

**Ilustración 31 Área de Remoción Final – El Boco.**



Fuente: Elaboración Propia.

- Cerro Mayaca.

Es un área altamente urbanizada que presenta predominio de pendientes entre 20 y 30°, existiendo sectores que incluso llegan a superar los 45°, en su cima. Sin embargo, presenta sectores más planos, en donde se encuentra, por ejemplo, el cementerio municipal.

El cerro, al estar altamente poblado, presenta áreas que evidencian modificaciones de laderas, siendo altamente vulnerable a verse afecto por procesos remocivos. Este escenario se manifiesta con mayor claridad, frente a lluvias torrenciales. Es así como en la cara norte del cerro, se activan quebradas que remueven los materiales en curso, dando paso a flujos de distintas magnitudes, que afectan las construcciones del sector.

Así también, los sectores basales de este cerro, sobre todo en el área correspondiente a Subida Barón, se evidencian edificios (correspondiente a Viviendas Sociales) que se ven afectados por el lavado de los materiales en sectores de laderas, que terminan depositándose en estas construcciones.

Estos ejemplos, dan cuenta del dinamismo que evidencia esta unidad dentro de la ciudad de Quillota, convirtiéndose, sobre todo a partir de su uso intensivo, en un área altamente susceptible a remociones en masa.

Dado que Cerro Mayaca es el más urbanizado de los tres cerros analizados, se ha solicitado al equipo técnico una revisión de los planteamientos metodológicos utilizados, además del replanteamiento de los pesos utilizados en la evaluación multicriterio realizada para obtener el modelo de remoción en masa para el área de Cerro Mayaca. Además de lo anterior, se solicita la revisión de calicatas realizados por parte de proyectos de pavimentación participativa, todo lo anterior con la finalidad de identificar las zonas que pueden quedar bajo la denominación de Media susceptibilidad.

En consideración de la solicitud de replanteamiento de las ponderaciones del análisis multicriterio, el equipo técnico ha concluido no modificarlas, dado que se sustentan en esfuerzos técnicos y teóricos probados y comprobados por autores y especialistas, en diferentes escenarios a nivel regional y país. En cambio, se ha optado por ubicar los resultados del modelo desde la media en positivo, teniendo así un escenario optimista del mismo.

Dando respuesta a la solicitud de revisar las calicatas realizados por parte de proyectos de pavimentación participativa, estas fueron solicitadas a SERVIU y revisadas por un equipo de

Ingenieros geotécnicos<sup>15</sup>, los cuales, dado la poca profundidad de éstas, recomendaron la realización de nuevas calicatas. El resultado del análisis se expone a continuación.

## 1.2.6 Informe de Mecánica de Suelos

### 1.2.6.1 Reconocimiento Geotécnico

Con el objetivo de evaluar las condiciones y comportamiento del suelo de fundación en estudio, se han realizado prospecciones en base a calicatas. El número de éstas y su profundidad, debe ser realizadas en base a lo recomendado por la norma nacional NCh 1508 Of. 2014. Dicho lo anterior, y en consideración de la escasa posibilidad de ejecución de calicatas debido al porcentaje de constructibilidad existente en el cerro, es que se ha limitado el número de prospecciones en función de los espacios disponibles para los distintos sectores de interés. Es importante señalar que, de acuerdo al tipo de prospecciones realizadas, la evaluación tiene carácter de tipo geotécnico.

En los suelos observados durante la campaña de terreno destacan los suelos residuales de origen granítico, es decir, propio de la meteorización de la roca mencionada, lo que implica la generación de arenas limosas preferentemente, denominadas con la sigla SM.

### 1.2.6.2 Características del terreno

Las prospecciones realizadas en la campaña de terreno han comprendido 05 calicatas, las cuales han sido distribuidas de acuerdo a los espacios disponibles para prospeccionar, en conjunto al criterio del profesional a cargo de la campaña de investigación en terreno, sumado a las particularidades visualizadas durante la visita, lo que comprende el estado de algunas estructuras existentes, como también el estado del suelo.

En el área objeto de estudio, se observan construcciones en su mayoría de uso habitacional. Los edificios mencionados, en general, están conformados por elementos de hormigón, albañilería, hormigón armado (en menor cantidad) y material ligero.

El posicionamiento de las prospecciones realizadas, se indica en siguiente imagen.

**Ilustración 32 Localización de Prospecciones.**



Fuente: Elaboración propia.

<sup>15</sup> Cgeval Ltda. - Ingeniería en Geotecnia.


Por otra parte, se detalla la ejecución de pruebas de laboratorio destinadas a caracterizar los horizontes observados durante la campaña de terreno, a modo de conocer el posible comportamiento del suelo de cimentación y, de esta forma, determinar sus propiedades índice.

DETALLE CALICATAS REALIZADAS EN CAMPAÑA DE TERRENO			
Calicata	Ubicación	Coordenadas	Ensayos
N°1	30 (m) de calle Bellavista, y a 40 (m) Jardín Infantil.	32°52'25,70"S 71°15'01,00"O	Clasificación USCS, (0,40-1,40 [m]).
N°2	10 (m) de borde calle Zorobabel Rodríguez, y próximo a quebrada natural, por calle El Progreso.	32°52'25,70"S 71°15'00,30"O	Clasificación USCS y Corte directo, (0,30-1,70 [m]). Peso unitario (0,80-1,00[m]).
N°3	08 (m) de borde calle Porvenir (en talud cara este), y a 40 (m) de calle oriente.	32°52'29,30"S 71°14'52,20"O	Clasificación USCS, (0,20-2,00 [m]). Peso unitario, (1,00-1,20 [m]).
N°4	120 (m) subiendo por camino La Virgen, y a 4 (m) del borde de camino, en talud orientado al oeste.	32°52'26,70"S 71°15'07,60"O	Clasificación USCS, (0,90-1,60 [m]).
N°5	85 (m) de calle 18 de septiembre, por calle Manuel Bulnes.	32°52'31,97"S 71°15'10,32"O	Clasificación USCS, (1,30-1,60 [m]).

### 1.2.6.3 Perfil Estratigráfico de Diseño

Por medio de la estratigrafía de terreno realizada sobre las prospecciones, más los resultados de los análisis de laboratorio, se modela el suelo en estudio por medio de perfil estratigráfico de diseño.

**Tabla 1 Estratigrafía de Diseño.**

Horizonte	Profundidad (Metros)	Símbolo Gráfico	Clasificación U.S.C.S.	Descripción
H - 01	0,00 - 0,30			Horizonte H - 01: El primer estrato denominado relleno no controlado de origen local, está compuesto por suelo de origen coluvial, conocido también como derrame de cerro. Dicho estrato, tiene presencia de materia orgánica y/o basura, ya que corresponde a aquellas remociones de suelo superficial, donde destaca la acción del hombre.
H - 02	0,30 - 2,00		SM	Horizonte H - 02: El segundo estrato, se observa entre los ±0,30 (m) hasta 2,00 (m). Corresponde a un material grueso, su distribución granulométrica es del orden de 90% de arena y 10 % de finos. La coloración en estado natural es parda, con escasa materia orgánica representada raicillas, en zona superficial del estrato, plasticidad baja a nula de la fracción fina. El contenido de humedad denota un estado húmedo, con compacidad media en estructura homogénea. El origen del suelo presente en el horizonte se establece como residual. Clasificación en sistema USCS, SM, arena limosa.

Es importante destacar que, a las profundidades analizadas y la época en que se realizaron las prospecciones, no se detectó nivel freático. No obstante, se desconoce la variación temporal de los niveles de napa para otras épocas del año.

Además, se describen situaciones de interés según lo observado en terreno.

- En la mayoría de las calicatas realizadas, a excepción de la C-03, se pudo observar un suelo residual compuesto por roca meteorizada (granito en descomposición). Dicho suelo, al ser alterada su estructura, genera arena limo arcillosa o en su defecto arena en cualesquiera de los rangos habitualmente estudiados, es decir, arenas pobremente y bien graduadas, arenas limosas y arcillosas. Sin embargo, se puede observar un incremento de la compacidad (densidad) del suelo a medida se profundiza, tomando como promedio o referencia 2,00(m) de profundidad. Lo mencionado anteriormente, implica que se denotó una mejora considerable del suelo a mayores profundidades, lo que se condice con la teoría, debido a la menor exposición del suelo a los agentes físico-químico. Es importante señalar que, sólo en la prospección ejecutada en la cara oriente del cerro fue posible excavar la profundidad total, es decir, 2,50(m), debido a la presencia de suelo fino en el sector, no obstante, se puede señalar que se debe sólo a una particularidad del cerro en dicho punto.
- La cara orientada al Este, toma la forma de moderadamente escarpada, escarpada, y en sectores acantilado. Dicho lo anterior, se considera el desarrollo de la calicata C-03 en dicho sector, donde se visualizó un estrato compuesto de suelo fino en toda la profundidad de prospección, siendo CL (arcilla de baja plasticidad-compresibilidad) el suelo predominante.
- Se observan zonas con taludes bastante verticales, en comparación a sectores de ladera de pendiente suave. La observación comentada se debe a la acción antrópica, destacando excavaciones a modo de generar terrazas para ganar terreno al cerro, como también se observan plataformas de relleno con los mismos finos descritos. Las acciones mencionadas probablemente carecen de control alguno, o de algún respaldo técnico, siendo de esta manera sectores de atención ante la ocurrencia de un evento de riesgo, tal como la caída de planchones de suelo o derrames superficiales producto de la erosión. Los sectores de interés se pueden observar en las fotografías disponibles al final del presente informe.

#### **1.2.6.4 Caracterización Geotécnica Suelo De Cimentación**

Se indican las formulaciones en lo que respecta a las capacidades de carga admisibles del suelo de fundación, en conjunto con las deformaciones asociadas, los módulos de reacción de éstos y los parámetros asociados a la clasificación sísmica del suelo de fundación.

Es importante señalar que, los parámetros indicados obedecen a una condición estable del suelo de sustento, es decir, exento de cualquier anomalía del suelo de fundación o superficies del terreno aledañas a las estructuras objeto de análisis. Las anomalías presuntas del suelo se pueden manifestar en situaciones como; taludes con pendientes próximas a la verticalidad o mayores a 60°, sectores con planos de falla o discontinuidades evidentes, muros de contención existentes y desprovistos de los criterios técnicos para dicho tipo de obras, aguas sin control de escurrimiento, y anomalías similares de tipo antrópico.

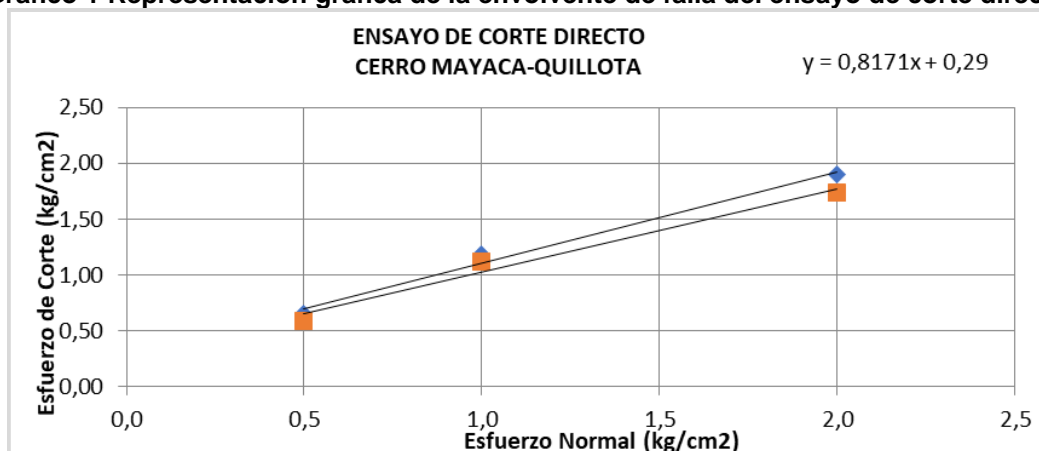
*Nota: A modo de dar a conocer datos asociados a una estimación ilustrativa del suelo, para efectos geotécnicos, se consideran parámetros tipo en función de las estructuras y geometría de fundaciones observadas en área objeto de estudio.*

#### **1.2.6.5 Propiedades índice suelo en banco (depósito natural de maicillo)**

Los valores de diseño se han obtenido por medio de parámetros característicos acorde a los suelos observados en el sector, los cuales se presentan de forma resumida en la Tabla "Parámetros geomecánicos característicos de diseño". Se indica la ejecución de ensayos

especiales referidos a los niveles de resistencia al corte del suelo en estudio en función del ensayo de corte directo.

**Gráfico 1 Representación gráfica de la envolvente de falla del ensayo de corte directo.**



En el gráfico precedente, se muestra la envolvente de falla a partir de la relación existente entre los esfuerzos de resistencia al corte y los esfuerzos normales. Según el comportamiento del suelo en lo que a cargas y deformaciones se refiere, se asume una envolvente generada a partir de los esfuerzos máximos del suelo, indicando además un comportamiento similar para esfuerzos residuales.

El ángulo de fricción interna del suelo se ha determinado en función de los esfuerzos máximos, en lugar de los residuales. No obstante, se han verificado ambos escenarios a la hora de determinar este parámetro, presentando un comportamiento similar. Además, el suelo en asunto presenta cohesión, lo que genera aporte en la resistencia mecánica del mismo.

Dicho lo anterior, se puede dirimir que el suelo en estudio posee características competentes como material de fundación, a pesar de su condición de arena limosa (SM), dada la particularidad de tratarse de un suelo que aporta resistencia desde el punto de vista del ángulo de fricción interna, como también cohesión del material de fundación.

**Tabla 2 Parámetros geomecánicos característicos de diseño.**

Horizonte	H-02
Ángulo de Fricción Interna; $\Phi_p$ (°)	39,0
Cohesión; c (kg/cm <sup>2</sup> )	0,30
Peso Unitario Suelo Fundación; $\gamma_{t2}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,85
Peso Unitario Suelo Sobrecarga; $\gamma_{t1}$ (kgf/dm <sup>3</sup> )	1,85
Módulo de Deformación; $E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	300
Coefficiente Poisson; $\mu_s$	0,30
Relación de vacíos	0,45

Se ha considerado el horizonte H-02 (arena limosa o maicillo), como suelo de fundación, donde el mismo se presenta con leves variaciones en su distribución granulométrica de acuerdo a los distintos sectores analizados.

Es importante señalar que, para efectos del estudio en asunto, se hace una parametrización geomecánica considerando 02 métodos, donde el primero indicado en la siguiente tabla, está en función de los resultados de laboratorio realizados a una muestra de suelo representativa. Por otra parte, se dan a conocer los parámetros del “Manto de roca meteorizada”, a fin evaluar diversos aspectos del suelo donde destaca la estabilidad de los taludes de corte, sean estos naturales o propios de la acción antrópica.

Dicho lo anterior, se debe tener en cuenta que los suelos hallados en el área de análisis corresponden a suelos residuales, es decir, formaciones que en su estructura primitiva eran conformadas por roca sana o “granitos”, y por procesos de cambios físico-mecánicos han sufrido variación en su estructura superficial, dando origen a suelo compuesto principalmente por arenas limosas, conocidas con el nombre local de Maicillo. De acuerdo con lo observado durante las excavaciones realizadas, se puede estimar un mayor grado de meteorización hasta los 2,0(m) a modo general, donde el fácil alterar la estructura de la hasta entonces roca meteorizada, mediante equipos de excavación mecánicos y manuales.

### 1.2.6.6 Caracterización macizo rocoso y propiedades índice

Los valores de diseño para efectos de excavaciones, taludes de corte y rellenos, se han obtenido por medio de la clasificación geomecánica del macizo rocoso a través de la metodología de Beniaowski (1989). El resultado de lo anterior se expresa a través del RMR de Beniaowski, el cual corresponde a la valoración del macizo con respecto a los parámetros antes mencionados. La clasificación geomecánica presentada a continuación, tiene directa relación con el sector asociado a la totalidad de las prospecciones realizadas. De esta manera, los valores de diseño se consideran como se indica:

**Tabla 3 Clasificación y valoración geomecánica macizo rocoso.**

CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA MACIZO ROCOSO		
PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN	VALORACIÓN
Índice ensayo de compresión; (MPa)	<1	00
Rock Quality Designation, RQD (%)	<25	03
Espaciamento de Discontinuidades; (mm)	60 a 200	08
Condición de Discontinuidades	Superficies suaves ó relleno de falla de 1 a 5 (mm) de espesor o apertura de 1 a 5 (mm), las discontinuidades se extienden por varios metros.	10
Condición General de Aguas Subterráneas	Apenas Húmedo	12
<b>Rock Mass Rating(RMR)</b>		<b>33</b>

Los resultados o estimaciones mostrados en la tabla precedente obedecen ensayos de laboratorio (como es el caso de la compresión en roca), como también a criterios tabulados a partir de la observación visual. A continuación, se dan a conocer imágenes con las tablas asociadas a los conceptos involucrados en la valoración de la calidad de roca en estudio.

**Tabla 4 Tablas que evalúan la resistencia a la compresión y recuperación RQD respectivamente.**

Determinación del RMR (Bieniawski 1989)		
Índice del ensayo de carga puntual (MPa)	Resistencia a Compresión Simple RCS (MPa)	Puntaje
>10	> 250	15
4-10 Mpa	100 - 250	12
2 - 4 Mpa	50 - 100	7
1 - 2 Mpa	25 - 50	4
-	5 - 25	2
-	1 - 5	1
-	<1	0

**Tabla 1: Resistencia comp. simple R. intacta**

R.Q.D. %	Puntaje
90 - 100	20
75 - 90	17
50 -75	13
25 - 50	8
< 25	3

**Tabla 2: RQD**

**Tabla 5 Tablas que indican el espaciamiento de las discontinuidades y condiciones de las mismas.**

RMR (Bieniawski 1989)		Espaciamiento [m]	Puntaje
		>2	20
		0,6 – 2,0	15
		0,2 – 0,6	10
		0,06 – 0,2	8
		< 0,06	5

Descripción	Puntaje
Superficies muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	30
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca resistente	25
Idem anterior, pero con paredes de roca blanda..	20
Superficies suaves ó relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor ó apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	10
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor ó apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	0

Long. discontinuidad (persistencia)	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
	6	4	2	1	0

Abertura [mm]	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
	6	5	4	1	0

Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Levemente rug.	lisa	"pulida"
	6	5	3	1	0

Tipo de relleno	Nada	Resistente >5mm	Resistente <5mm	Blando >5mm	Blando <5mm
	6	4	2	2	0

Intemperización (alteración)	Inalterada	Levemente alt.	Moderada alt.	Muy alterada	descompuesta
	6	5	3	1	0

**Tabla 4 bis: (Para considerar en la Tabla 4)**

**Tabla 6 Tablas que indica las condiciones de aguas subterráneas.**

RMR (Bieniawski 1989)				
<b>Tabla 5: Agua subterránea</b>	Filtración por cada 10 m de longitud del túnel (L/min)	Presión del agua en la discontinuidad dividido la tensión Principal Mayor	Descripción de las condiciones generales	Puntaje
	Nada	0	Completamente seco	15
	< 10	0,0 – 0,1	Apenas húmedo	12
	10 - 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
	25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
	> 125	> 0,5	Flujo continuo	0

De acuerdo con los criterios presentados, se realizan las puntuaciones pertinentes, asociando dicha valoración a una descripción del macizo rocoso, y en consecuencia a una valoración denominada clase.

Dicho lo anterior, se deriva lo evaluado a una última clasificación, donde se designan las propiedades geomecánicas de la roca en asunto. Dicha tabla, se presenta en la siguiente imagen.

**Tabla 7 Categorización y atributos geomecánicos de la roca.**

RMR (Bieniawski 1989)					
Categorías de la clasificación	R.M.R.	Descripción del macizo rocoso	Clase		
	Suma de los puntajes obtenidos de las tablas anteriores				
	81 - 100			Muy bueno	I
	61 - 80			Bueno	II
	41 - 60			Medio	III
	21 - 40			Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V			

Características resistentes del macizo rocoso			
Clase ( R.M.R.)	c [ Kpa]	$\phi$ °	t sin soporte
I ( 81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5 m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50 m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m

A continuación, se presentan los parámetros del macizo rocoso, en función de los indicadores comentados, en conjunto a lo observado en las prospecciones realizadas.

**Tabla 8 Propiedades geomecánicas macizo rocoso.**

**PARÁMETROS DE DISEÑO MACIZO ROCOSO**

Clasificación de macizo rocoso, <i>RMR</i>	33
Clase	IV
Calidad	Roca mala
Cohesión; c (kgf/cm <sup>2</sup> )	1,0 – 2,0
Ángulo de Fricción; $\phi$ (°)	15 - 25

Dadas a conocer las 02 variables en lo que a caracterización del suelo o roca meteorizada se refiere, es importante destacar que para efectos de análisis del suelo de fundación para estructuras (viviendas), se hace el desarrollo de cálculos en función de los resultados de laboratorio, dichos análisis se dan a conocer en los puntos siguientes.

**1.2.6.7 Capacidad de soporte del suelo de fundación**

Considerando el tipo de estructuras desarrolladas en torno al cerro en estudio, se considera la utilización de sistemas de fundaciones superficiales mediante zapatas aisladas y/o corridas. Para la evaluación de la capacidad de carga última del suelo de fundación, se utiliza la teoría de Meyerhof para incluir el aporte en términos de resistencia al corte de la superficie de falla del suelo sobre el sello de fundación. La expresión propuesta por dicho autor es:

$$q_u = c \cdot N_c \cdot F_{cs} \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + q \cdot N_q \cdot F_{qs} \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot F_{\gamma s} \cdot F_{\gamma d} \cdot F_{\gamma i}$$

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F.S.}$$

Ecuación N° 1: Capacidad de soporte última y admisible

Donde:

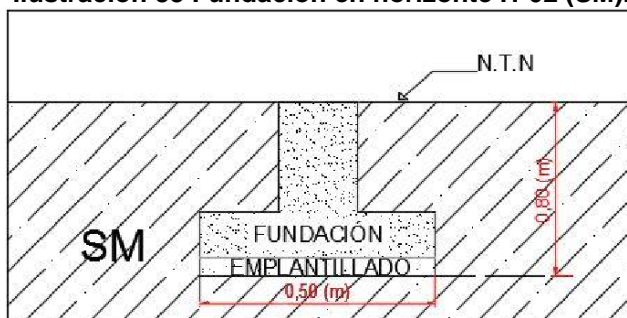
$q_{adm}$ :	Tensión admisible del suelo; [kgf/cm <sup>2</sup> ]
$F.S.$ :	Factor de seguridad. Se considera con un valor igual a 3,0 para el caso estático, más un 30% para el caso sísmico.
$c$ :	Cohesión del suelo; [kgf/m <sup>2</sup> ]
$\gamma$ :	Peso unitario del suelo [kgf/m <sup>3</sup> ]
$q = \gamma \cdot D_f$ :	Esfuerzo vertical geoestático; [kgf/m <sup>2</sup> ]
$D_f$ :	Profundidad de apoyo cimentación; [m]
$B$ :	Ancho de fundación; [m]
$N_c, N_\gamma, N_q$ :	Factores de capacidad de carga
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$ :	Factores de forma
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$ :	Factores de profundidad
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$ :	Factores de inclinación

De acuerdo a las consideraciones adoptadas y en función de los parámetros indicados en la Tabla N° 03, se indica la capacidad de carga admisible para una profundidad de sello de fundación, **Df, igual a 0,80 (m) y un ancho de fundación de 0,50(m)**. De esta forma, y bajo las recomendaciones señaladas, se obtienen las siguientes capacidades de carga admisibles:

$$q_{adm-estático} = 2,00 \cdot \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$q_{adm-dinámico} = 2,60 \cdot \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

**Ilustración 33 Fundación en horizonte H-02 (SM).**



**1.2.6.8 Análisis de asentamientos**

En función de las características y propiedades de los suelos del lugar, se estima la existencia de asentamientos en sus fases primarias. Lo anterior indica que se tiene una deformación inmediata asociada a los tiempos de construcción.

- Asentamientos instantáneos cimentaciones superficiales

Las solicitaciones que la estructura transmita al suelo de fundación serán disminuidas en función de la profundidad a través de la teoría de Boussinesq.

$$\Delta p = q_0 \cdot I$$

Ecuación N°2: Variación de esfuerzos

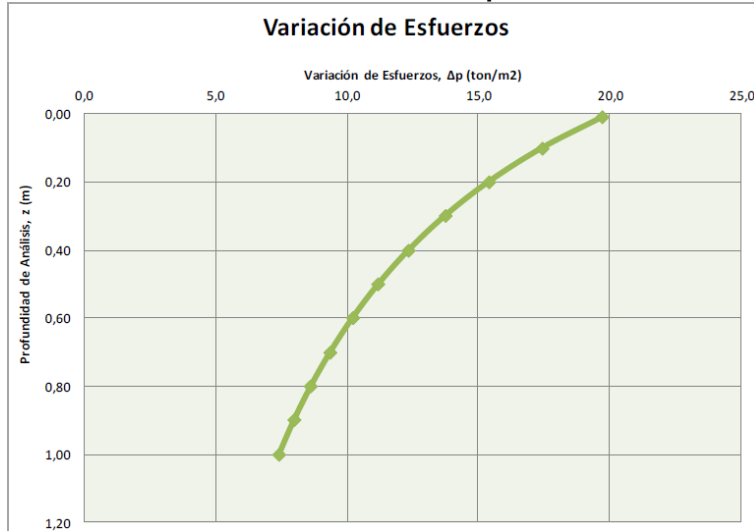
Donde:

$q_0$  : Carga por unidad de área

$I$  : Factor de influencia

El siguiente gráfico muestra la variación de esfuerzos para el sistema de fundación, en base a zapata corrida y/o aislada, considerando un bulbo de influencia de las cimentaciones.

**Gráfico 2 Variación de esfuerzos en la profundidad analizada.**



Para el análisis se ha considerado las tensiones de trabajo para un ancho de 0,50 metros, además de la disipación mínima del 90% de los esfuerzos.

Luego de obtenida la variación de esfuerzos a la profundidad analizada, se estima el asentamiento instantáneo de la forma.

$$S_e = \frac{q_{adm} \cdot B}{E_s} \cdot (1 - \nu^2) \cdot \alpha$$

Ecuación N°3: Expresión para asentamientos instantáneos.

Donde:

$q_{adm}$	:	Capacidad de carga admisible; [kg/cm <sup>2</sup> ]
$B$	:	Ancho de cimentación; [cm]
$E_s$	:	Módulo de deformación; [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\alpha$	:	Factor de influencia.

El asentamiento elástico estimado correspondiente a las cimentaciones superficiales se muestra a continuación:

$$S_e < 0,5[cm]$$

Valores que se consideran tolerables de acuerdo a los tipos de obras existentes.

#### 1.2.6.9 Coeficiente de reacción

En relación a las características del suelo de fundación, se evalúa la deformación por medio del coeficiente de balasto,  $k$ , según la relación del módulo de reacción vertical, basado en la teoría de elasticidad y los valores de tensiones admisibles y asentamientos elásticos.

Por tanto, para los suelos presentes, se tiene el siguiente valor asociado a la consideración de una fundación rígida y las tensiones reales sobre el suelo de fundación.

Ecuación Coeficiente de balasto vertical

$$k_e = \frac{q_{adm}}{S_e} = 5,00 \cdot \left[ \frac{kg}{cm^3} \right]$$

Para el caso de la condición sísmica, la constante de balasto se puede estimar como:

Ecuación Constante de balasto para condiciones sísmicas.

$$k_c = \left\{ \frac{1}{m_c \cdot C_A \cdot C_{eq}} \right\} \cdot k_e \cdot I_\rho$$

Considerando cargas cíclicas asimétricas y un sismo promedio de 30 ciclos, se obtiene.

$$k_c = 3,0 \cdot k_e$$

Ecuación Coeficiente de balasto para cargas cíclicas.

Por su parte, el balasto al giro se puede considerar como 2,50 veces el balasto vertical, ke.

#### **1.2.6.10 Parámetros sísmicos**

De acuerdo a las dimensiones de la obra proyectada, el decreto supremo DS 61 menciona que el informe de mecánica de suelos se debe realizar de acuerdo a la NCh 1508 Of. 2008, tomando en consideración que terreno no presente características de suelos especiales. En virtud de que el sector en estudio no posee propiedades del tipo de suelo antes citado, se entregan los parámetros sísmicos asociados a la condición más desfavorable indicada por el DS 61, suelo tipo E<sup>16</sup>. Todo lo anterior, en consideración a las dimensiones del proyecto en estudio.

De acuerdo a lo indicado con anterioridad, se clasifica el suelo de cimentación como:

- Zona Sísmica Proyección de Estructuras

⇒ Corresponde a Zona 3: Comuna de Quillota, Región de Valparaíso.

- Tipo de Suelo de Fundación

⇒ Suelo Tipo E: De acuerdo a recomendación de DS 61 en función de las dimensiones de la estructura proyectada.

$T_0$  [s] : 1,20

$T'$  [s] : 1,35

n : 1,80

- Aceleración Efectiva Máxima del Suelo

⇒ Corresponde a 0,40 g.

#### **1.2.6.11 Erosión de taludes**

En relación al presente estudio, el tema de erosión en taludes es una realidad en desarrollo, a la que se debe poner especial énfasis a la hora de mitigar los problemas que ya se puede visualizar, como también los probables a desarrollar, si no se toman los resguardos necesarios.

Por lo anterior, y a modo de dar a conocer los aspectos mínimos a la hora de definir un proyecto de edificación próximo a laderas y/o a taludes a desarrollar, se puede mencionar lo siguiente:

Para el diseño de las obras de control de la erosión en un talud debe realizarse un análisis de las condiciones geológicas, geotécnicas, hidrológicas y ambientales que permitan tener un conocimiento completo del comportamiento del talud después de construido. En el caso de requerirse la estabilización por problemas de deslizamientos o erosión activos se debe analizar los mecanismos de falla y cuantificar el desequilibrio. El análisis debe incluir los conocimientos de mecánica de suelos, geología, hidrología, etc., y la experiencia del manejo de otros taludes en condiciones similares.

La principal causa de los problemas en los taludes es la presencia del agua de la lluvia, la escorrentía y el agua subterránea, por lo tanto, el manejo de las aguas es muy importante desde el

---

<sup>16</sup> Suelo de compacidad, o consistencia mediana.

inicio de la construcción. La protección de la superficie del terreno generalmente se obtiene utilizando la vegetación como obra principal de estabilización y se debe tener especial cuidado en la selección del sistema de establecimiento de la cobertura vegetal y de las especies vegetales a establecer; sin embargo, en ocasiones se requieren obras con materiales no orgánicos para complementar la protección con vegetación. El planteamiento, diseño e implementación de las obras de control de erosión, requiere de un trabajo conjunto donde deben intervenir geólogos y ambientalistas, forestales y expertos en vegetación nativa y los ingenieros civiles, hidrólogos, hidráulicos, y geotécnicos.

Las obras de ingeniería involucran la intervención de laderas y taludes, los cuales requieren de un programa de control de erosión durante la construcción, y de medidas definitivas de control a mediano y largo plazo. La producción de sedimentos, ocasionada por la erosión requiere de obras de control de sedimentos. La erosión es una de las principales fuentes de contaminación del agua, y la construcción de obras de ingeniería es una de las principales fuentes de erosión.

La erosión en los taludes provoca problemas de tipo superficial en un principio, no obstante, la prolongación de dicho estado, el que depende del tiempo de exposición, escorrentía y tipo de suelo, puede provocar daños de mayor magnitud en un talud, afectando su estabilidad, lo que implica riesgo de fallas en los mismos. Sin embargo, al tomar los resguardos necesarios en lo que a problemas de erosión se refiere, mediante medidas de mitigación y constante monitoreo de las obras a fin, se pueden evitar los sucesos comentados. Respecto de lo anterior se citan los puntos: "Manejo de las aguas de escorrentía" y "Protección de la superficie de un talud".

#### **1.2.6.12 Estabilidad de taludes**

De acuerdo a los taludes de corte observados en el área de estudio, se puede determinar de manera preliminar que dichos taludes se encuentran en una condición estable límite, considerando una altura actual de los cortes en el orden de los 5,0 (m) de altura. Dicha estabilidad, se ha verificado asumiendo una cohesión aparente del suelo, y una inclinación actual del talud de corte del orden de 80°.

La verificación realizada, otorga un factor de seguridad de 1,10, determinando así la estabilidad límite de dichos taludes, teniendo en cuenta que dicho factor se ve disminuido ante eventos sísmicos.

La condición de estabilidad en los taludes generados está dada por la fricción de los materiales que componen los suelos del lugar, en conjunto con la cohesión que posee la fracción fina, lo que otorga estabilidad en cortes aproximados a los 60°, lo que implica disminuir la pendiente de los taludes existentes al valor indicado, y de esta manera obtener un factor de seguridad del orden de 1,40. Sin embargo, existen sectores de prolongación de taludes cercanos a vías de tránsito en la corona del talud, lo que hace inviable la reducción de la pendiente, ya que la proyección de la misma se intersecaría con la carpeta de rodado, por lo cual es recomendable generar muros de contención en aquellos sectores.

Por otra parte, es importante señalar que toda condición de estabilidad actual está dada por condiciones estáticas de los elementos evaluados, sin embargo, ante eventos dinámicos se ve disminuida dicha estabilidad, producto del factor de reducción en condiciones sísmicas, generando así un factor de seguridad sísmico de 0,8 lo que podría generar una inminente pérdida de estabilidad. Dicho esto, se refuerza la idea de bajar la pendiente de los taludes al menos a 60°, o realizar banquetas a modo de quitar carga en los mismos.

En conjunto con lo anterior, y si bien es cierto se puede denotar estabilidad (límite) en los taludes de acuerdo a lo observado, de igual manera existen sectores donde se pueden ver grietas superficiales de tamaños importantes, lo que implica posible caída de planchones de roca meteorizada, por lo cual, es importante considerar hacer un saneo de dichos sectores a modo de evitar la ocurrencia de eventos desafortunados.

Además, se desconoce la evolución que puedan tener los taludes observados respecto a su estabilidad, ya que la misma se ve demasiado influenciada por efectos erosivos producto de las aguas de escorrentía, propio de los meses de invierno.

Dicho lo anterior, y con el objeto de hacer las mejoras pertinentes, se mencionan los siguientes puntos de interés en lo que a diseño de taludes se refiere.

El diseño de un talud debe incluir como mínimo los siguientes elementos:

- • Diseño de la forma del talud, pendientes, bermas, etc.
- • Diseño de las obras de manejo de aguas de escorrentía
- Diseño de las obras de protección de la superficie del terreno. (Bioingeniería o recubrimientos)
- Diseño de las obras de control geotécnico (Subdrenajes, muros y otros sistemas de estabilización que se requieran).

### 1.2.6.13 Empujes de tierra

De acuerdo con las estructuras consideradas en el área de estudio, que comprenden muros de contención, se indican los valores de los coeficientes de empujes para las distintas condiciones posibles, tanto de los materiales a emplear como rellenos tras los muros (rellenos controlados y suelos de origen local).

La incorporación de los rellenos controlados tras los muros implica una disminución en las dimensiones de las estructuras de contención, teniendo en cuenta que otros sistemas de sostenimiento, como estabilización del suelo, anclajes, pueden ser aún más costosos y complejos para el proyecto.

De esta manera, el fundamento teórico señalado a continuación es válido para suelos de reemplazo. La expresión general de las presiones de terreno corresponde a:

$$P = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \gamma \cdot H^2$$

Ecuación presiones de tierra.

Donde:

$\gamma$  : Densidad del suelo. Considerar un valor de 2,10 [kgf/dm<sup>3</sup>].

$H$  : Altura del elemento [m]

De igual manera, se indica la densidad de terreno de las arenas limosas, suelo correspondiente al horizonte H-02. En el caso de descartar la utilización de rellenos controlados tras los muros, se indican de igual manera los parámetros correspondientes a los empujes para el suelo natural.

$\gamma$  : Densidad del suelo natural. Considerar un valor de 1,85 [kgf/dm<sup>3</sup>].

Por su parte, el valor de “K” toma distintos valores en relación a la presión de tierra actuante.

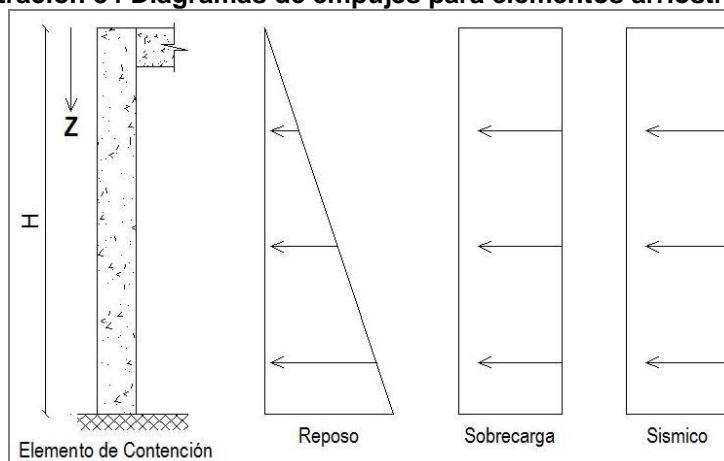
**Tabla 9 Coeficientes empujes de terreno.**

Coeficientes de empujes	Relleno estructural	Horizonte H-02
Reposo, $K_0$	0,35	0,65
Activo, $K_A$	0,24	0,50
Pasivo, $K_P$	4,20	2,04
Sísmico, $\Delta K_{se}$	0,10	0,15

#### 1.2.6.14 Muros arriostrados

Para el caso de los elementos de contención arriostrados, por ejemplo, losas de algún elemento enterrado o piscina, considerar el siguiente diagrama de empujes:

**Ilustración 34 Diagramas de empujes para elementos arriostrados.**



De esta forma, las fuerzas en condición estática sobre los elementos de contención se indican mediante las siguientes formulaciones.

Ecuación empujes en condición de reposo

$$P_R = \frac{1}{2} \cdot K_0 \cdot \gamma \cdot H^2$$

Ecuación empujes sobrecarga

$$P_{S-R} = K_0 \cdot q \cdot H$$

Para la condición sísmica, considerar:

Ecuación componente sísmica de empuje de tierra

$$\sigma_s = 0,3 \cdot C_R \cdot \gamma \cdot h_m \cdot \frac{A_0}{g}$$

$$P_s = \sigma_s \cdot H$$

Donde:

$K_0$  Coeficiente de empuje en reposo.

$\gamma$  Peso unitario suelo de cimentación

$q$  Sobrecarga del terreno

$C_R$  Coeficiente de acuerdo al tipo de suelo. Considerar un valor de 0,45 para los rellenos controlados, compactados de acuerdo a lo señalado en 5.3, o 0,58 para el caso de utilizar la arena existente.

$A_0$  Aceleración efectiva máxima del suelo. Ver punto 4,5 del presente informe.

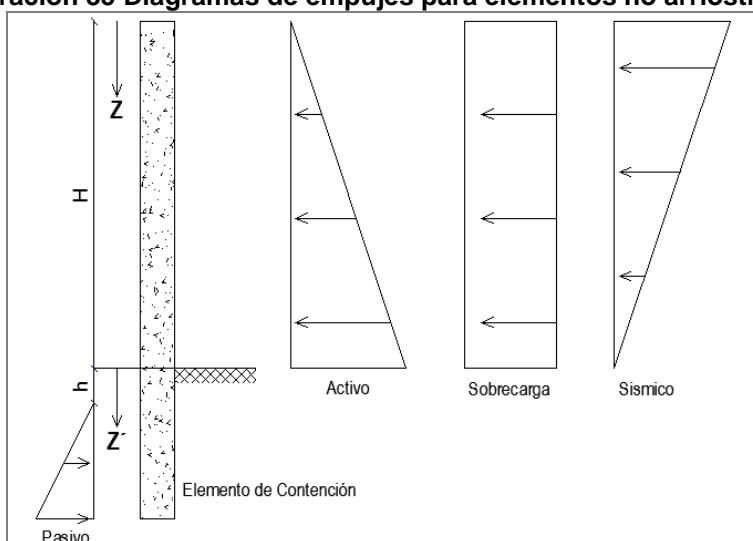
$h_m$  Altura del muro en contacto con el suelo. Si el muro se proyecta con su altura total sometida a empujes de terreno, considerar  $h_m = H$ .

Además, el empuje sísmico se debe considerar como uniformemente distribuida en toda la altura del muro en contacto con el terreno.

#### 1.2.6.15 Muros en voladizo

Por su parte, y en el caso de proyectar elementos de sostenimiento de tierras en voladizo, la distribución de empujes se debe considerar como sigue:

**Ilustración 35 Diagramas de empujes para elementos no arriostrados.**



Para la condición estática, considerar:

Ecuación empujes en condición activa

$$P_A = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2$$

Ecuación Empujes de sobrecarga

$$P_{S-A} = K_A \cdot q \cdot H$$

Mientras que para solicitaciones sísmicas

Ecuación empujes en condición sísmica

$$P_{AE} = 0,45 \cdot \Delta K_{AE} \cdot \gamma \cdot H^2$$

Por último, el empuje pasivo se puede considerar como

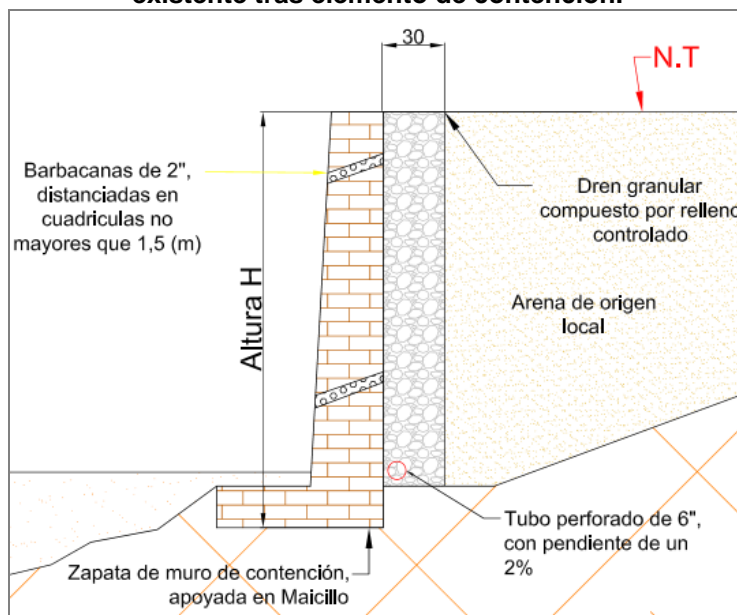
Ecuación de empujes en condición pasiva

$$P_P = \frac{1}{2} \cdot K_P \cdot \gamma \cdot (Z' - h)^2$$

En donde la altura h se puede considerar igual a 0,50 [m], por cuanto, el empuje bajo esta condición debe ser considerado a partir de dicha profundidad.

A continuación, se presenta esquema ilustrativo de la ejecución de muros de contención sin generar relleno controlado tras el mismo.

**Ilustración 36** Esquema de dren tras muro de contención, para el caso de usar suelo existente tras elemento de contención.



Ante la eventualidad de proyectar los muros lo más próximo a los deslindes, se deben seguir las siguientes recomendaciones.

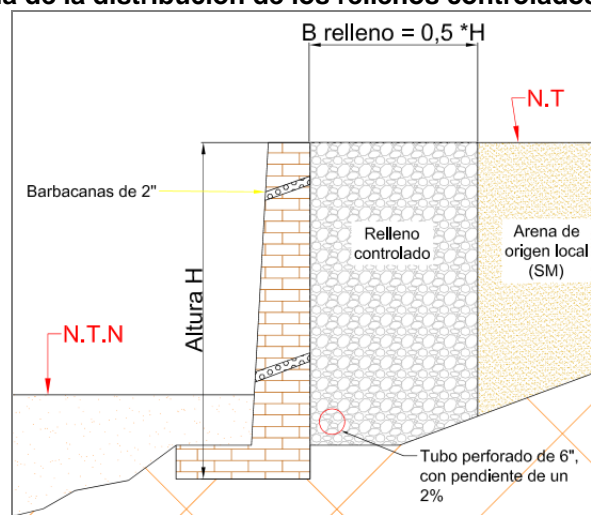
En la solución planteada, se incorpora un dren de gravas de 0,30 [m] de espesor en toda la longitud del muro, el cual tiene por fin disminuir las presiones hidrostáticas que se pueden generar por acumulación de aguas en las arenas limosas del lugar (Maicillos), lo que se asocia a baja permeabilidad de las mismas.

En la imagen N°12, se ilustra la conformación del relleno controlado tras el muro de contención, el cual depende del ancho mínimo para que la superficie de falla se desarrolle en el relleno controlado. Dicho lo anterior, la relación del ancho mínimo para el relleno tras el muro queda dado por la expresión  $0,5 H$ .

Donde:

$H$  : Altura del elemento [m]

**Ilustración 37 Esquema de la distribución de los rellenos controlados tras muro en voladizo.**



Por otro lado, se recomiendan los siguientes factores de seguridad para los elementos de contención bajo las consideraciones de utilizar rellenos controlados tras los muros.

**Tabla 10 Factores de seguridad elementos de contención**

Concepto	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico
Deslizamiento	1,40	1,20
Volcamiento	1,50	1,20

Además, se recomiendan los siguientes factores de seguridad para los elementos de contención bajo la consideración de recibir empujes de tierras provocados por las arenas.

**Tabla 11 Factores de seguridad elementos de contención.**

Concepto	Factor de seguridad estático	Factor de seguridad dinámico
Deslizamiento	1,80	1,40
Volcamiento	2,0	1,50

Además de las consideraciones comentadas para efectos de mejoramientos estructurales del suelo, como son las obras de contención desarrolladas por muros de contención, se deben adoptar soluciones asociadas a la evacuación de aguas superficiales provenientes de escorrentías (aguas lluvias), ya que dicha situación genera el lavado de finos y posterior pérdida de cohesión aparente. Por lo anterior, se sugiere contemplar obras de conducción como fosos y contrafosos, siendo los fosos canaletas de conducción, que tienen por objeto la conducción de las aguas provenientes de las zonas altas o ladera arriba, mientras los contrafosos son elementos de similar función, pero desarrolladas en los sectores bajos o pie de taludes.

#### **1.2.6.16 Síntesis Cerro Mayaca**

Como se pudo ver en las visitas realizadas al Cerro Mayaca, éste presenta una variedad de anomalías asociadas a riesgos presuntos, donde existen sectores de real cuidado ante la ocurrencia de fenómenos que aceleren fallas en el terreno. Dichos factores de riesgo, se ven acrecentados de sobre manera por efectos hidráulicos, de manera particular las aguas de escorrentía, tanto en superficie de taludes de corte totalmente expuestos a erosión, como también a canalizaciones con precaria mantención, lo que implica la desviación de canales.

De acuerdo con lo observado durante las prospecciones realizadas, en conjunto con los ensayos de laboratorio y descripciones in situ, se puede destacar la presencia de un suelo de origen residual en gran parte del Cerro Mayaca, destacando la roca granítica meteorizada denominada de manera local como maicillo. No obstante, se observa como excepción el sector correspondiente a la cara oriente de dicha formación, donde se observan arcillas de alta plasticidad, las que obedecen a un grado mayor de meteorización del suelo residual, lo que también se pudo ver intensificado producto de la vegetación existente en dicha cara del Cerro.

Los sectores evaluados, obedecen a depósitos de suelo natural, en este caso del tipo residual, lo que implica una modificación en su estructura producto de la transformación o meteorización de la roca. No obstante, y como la gran mayoría de las formaciones conocidas como Batolito costero presentan condiciones de estabilidad en su estructura, aun así, se pueden presentar fenómenos de remoción o erosión, producto de factores diversos. En este caso particular, es evidente la influencia de la erosión hidráulica en las superficies del terreno, tanto en laderas naturales como en taludes de corte generados por la acción del hombre, siendo el primer caso de menos impacto, ya que la vegetación natural hace las veces de protección.

Citando lo último mencionado en el párrafo anterior, es importante señalar que, la acción antrópica es la que ha generado los mayores impactos desde el punto de vista de la estabilidad de taludes, siendo éstos generados con escaso criterio técnico, ya que la comunidad ha desarrollado los mismos a través del paso de los años, de manera descontrolada con el fin de generar plataformas para poder edificar, dejando como resultado taludes cercanos a la verticalidad, y desprovistos de protección alguna. Además, es recurrente ver edificaciones y calles próximas a los coronamientos de taludes, generando una sobrecarga en los mismos, ya que están en el área de influencia del desarrollo de tensiones de la transmisión de cargas estructura a suelo. Lo descrito anteriormente, obedece en gran parte a aquellos sectores identificados como zona susceptible a riesgo.

Según las verificaciones realizadas para efectos de parámetros de fundación de estructuras, se ha desarrollado en el cuerpo del presente documento, un análisis tipo del diseño de cimentaciones, siendo bastante favorables los valores de la capacidad portante del suelo de fundación, y casi despreciable las deformaciones del suelo, debido a los bajos niveles de carga que transmiten los edificios existentes. Dicho análisis no se puede tomar como analogía para la cara oriente del Cerro Mayaca, ya que los suelos observados ahí, difieren notablemente con el suelo tipo de la formación.

Por otra parte, se han estimado los parámetros de la roca meteorizada de los sectores de laderas naturales y taludes de corte, en función de la clasificación geomecánica de Bieniawski, la que toma diversas variables del manto observado. Dicho esto, se ha estimado el factor de seguridad de los taludes de corte existentes, donde se puede considerar zona de estabilidad crítica la cara poniente del Cerro, ya que los cortes o excavaciones existentes, están en el orden de los 80° lo que implica un factor de seguridad del orden de 1,10 en condiciones estáticas y 0,8 en condición dinámica (sismo). Cabe destacar que se considera F.S 1,0 como límite.

Lo descrito anteriormente, da lugar a tomar las medidas necesarias de resguardo, donde se sugiere bajar las pendientes de aquellos taludes más escarpados, al menos a 60° respecto a la horizontal, o generar banquetas a modo de quitar carga en la coronación. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que, si no se hacen las mejoras asociadas a evitar la erosión hidráulica, cualquier esfuerzo por evitar desprendimientos o eventuales fallas de taludes, serían infructuosas.

Finalmente, las áreas de riego para el Cerro Mayaca quedan asociadas a las zonas de Alta y Muy Alta susceptibilidad que se sintetizan en la siguiente imagen.

**Ilustración 38 Zonas de Riesgo Cerro Mayaca.**



Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, el concepto de riesgo de remoción en masa para los territorios normados por el presente Plan (Cerrillo San Pedro, El Boco y Mayaca), quedan asociados a aquellas zonas que presentan Muy Alta y Alta Susceptibilidad.

**Cuadro 11. Susceptibilidad al riesgo por Remoción en masa.**

SECTOR	SUSCEPTIBILIDAD AL RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA		
	MUY ALTA	ALTA	MEDIA
MAYACA	<p>Para el área, corresponden a las tipologías de remoción resultantes del modelo presentado en el punto 1.2.4, y sus condiciones de base, señaladas en el cuadro 10, siendo homogeneizadas mediante procesamiento de coberturas espaciales y consideraciones técnicas. Entre ellas, se indica lo siguiente.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La existencia de dos quebradas activas, clasificadas como de muy alta y alta susceptibilidad en el sector central del Cerro.</li> <li>▪ Funcionamiento de las quebradas como sistemas naturales abiertos, interconectados entre sí. Reflejando la correlación directa entre los procesos propios de sistemas hídricos y morfológicos, que poseen condiciones climáticas similares, cercanos o continuos entre sí, como es el caso.</li> <li>▪ Antecedentes de eventos remocivos, documentados por SERNAGEOMIN y la Oficina de protección Civil Comunal.</li> <li>▪ Existencia de un alto nivel de urbanización en los sectores antes mencionados.</li> </ul> <p>Finalmente, se considera que ambos sistemas (quebradas centrales), sean catalogados bajo de la denominación de zona de SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA DE REMOCIÓN EN MASA.</p>	<p>Se consideran aquellas superficies no adscritas a las características indicadas en la clasificación MUY ALTA, y que en el modelo del punto 1.2.4 son consideradas como ALTAS, se mantienen como tales. Se denominan como zonas de SUSCEPTIBILIDAD ALTA DE REMOCIÓN EN MASA.</p>	<p>Los sectores clasificados con una SUSCEPTIBILIDAD MEDIA DE REMOCIÓN EN MASA, consideran los resultados del modelo (punto 1.2.4), áreas clasificadas como medias y bajas. Esto se asocia al funcionamiento del sistema en su conjunto, el cual podría evidenciar efectos vinculados a la interrelación entre la zona de contacto de sectores de mayor pendiente y aquellos planos, ubicados en las faldas del cerro.</p>

EL BOCO y SAN PEDRO	La homogeneización realizada en los sectores de El Boco y San Pedro no presenta cambios sustanciales en relación a lo presentado por el modelo resultante, evidenciándose niveles de SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA, ALTA Y MEDIA DE REMOCIÓN EN MASA, asociadas fundamentalmente a las características morfodinámicas vinculadas a las condiciones de base, presentadas.
------------------------------	---

Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.7 Riesgos de Inundación

El riesgo de inundación fue analizado a partir de la identificación de los sectores que históricamente han presentado inundaciones, debido tanto a desbordes de los cauces por efectos naturales como a modificaciones de los cauces debido a distintas obras que modifican su morfología natural.

Precisar las áreas con riesgo de inundación con el objetivo de identificar las zonas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

Para lo anterior, se realiza un diagnóstico de toda la información de inundaciones existente en la zona de estudio, tanto estudios de ingeniería como información histórica recabada en la prensa, instituciones gubernamentales, organizaciones municipales, etc., junto a visitas a terreno de especialistas hidráulicos con el fin de comprender de manera más cercana, la problemática y las soluciones implementadas para los problemas de inundación en la ciudad de Quillota.

#### 1.2.7.1 Metodología

La metodología a desarrollar para la determinación de las “Zonas en Riesgo de Inundación” considera las siguientes etapas:

- a) Descripción de la red hídrica de la comuna de Quillota, en donde se identificarán y describirán de los cauces superficiales más importantes de la comuna de Quillota, tomando mayor relevancia aquellos que intervengan zonas urbanas.
- b) Recopilación de Antecedentes, el cual desarrollará una revisión y diagnóstico de toda la información relevante para lograr el objetivo del estudio, como la revisión de antecedentes hidrológicos disponibles en la zona, antecedentes periodísticos a nivel local y estudios relacionados con los cauces en cuestión, como el “Plan Maestro de Aguas Lluvias de Quillota”, realizado por AC Ingenieros el año 2003, el “Plan Regulador Intercomunal La Campana”, realizado por HABITERRA S.A. el año 2013 y el “Proyecto de Diseño de Defensas Fluviales en el Río Aconcagua, Sector Quillota”, realizado el año 1995 por DHV Consultants en asociación con BF Ingenieros.  
A su vez, se tomará contacto con la Oficina de Protección Civil y Emergencia de Comuna de Quillota, la cual proporcionará información basada en su experiencia, entregando su visión de lo que ha acontecido en situación de crecida en los últimos años y definiendo sectores, que según su experiencia, podrían sufrir inundaciones ante desbordes los cauces naturales, denominándolos “Zona de Inundación Oficina de Emergencia”.
- c) Análisis de Riesgos por Inundación a Nivel Comunal, de donde se determinarán los sectores a enfocar el análisis local de riesgos de inundación. Para lo anterior, se desarrolla a partir del “Plan Regulador Intercomunal La Campana”, el cual entrega un análisis en aquella escala.
- d) Análisis de Riesgos por Inundación a Nivel Local, el cual abordará un análisis más detallado de la situación de desbordes de cauces naturales en la comuna. A partir del “Plan Maestro de Aguas Lluvias de Quillota”, se identificarán y analizarán los sectores potencialmente afectados por inundaciones, actualizando la información recopilada a la situación actual de la comuna.
- e) Del estudio anterior, se enfocará el análisis en los modelos HEC-RAS desarrollado, del cual determina las zonas de inundación afectadas por el río Aconcagua y los esteros San Isidro y San Pedro.

HEC-RAS es un programa computacional que se encarga de resolver la hidráulica de un río o canal. Aplicando la solución de la ecuación de energía, y a partir de una serie de parámetros, obtiene la altura de agua, velocidad y energía del río para las secciones de interés. Este modelo fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de EEUU, y es ampliamente utilizado en la actualidad para Ingeniería Hidráulica.

Además, como se mencionó anteriormente, se tomará contacto con la Oficina de Protección Civil y Emergencia de Comuna de Quillota, para definir según su experiencia, las zonas que pueden poseer algún peligro de inundación.

- f) Evaluación de una situación futura, en donde se considerará la proyección del cambio de uso de suelo de agrícola a urbano, pueda influir en los caudales generados en los cauces naturales, considerando la menor infiltración en la cuenca.
- g) Conclusiones, en donde se identifican las zonas de riesgo, y recomendaciones de obras que puedan proteger zonas ya urbanizadas que puedan estar bajo cierto nivel de riesgo.

### **1.2.7.2 Características Generales de los Cauces Naturales de la Comuna de Quillota**

La comuna de Quillota se ubica en la parte baja de la cuenca del río Aconcagua, el río más importante de la Región de Valparaíso. Este cauce, el cual comprende una cuenca hasta su desembocadura de 7.150 km<sup>2</sup>, posee un régimen mixto, ya que presenta crecidas importantes debidas a las lluvias de invierno y al derretimiento de las nieves en primavera y principios de verano. Los tributarios de alta cordillera obedecen a un régimen nival, en cambio, los de la cuenca baja son típicamente pluviales. Así se explica que las mayores crecidas de la cuenca alta y media sean de tipo nival en verano y que en el curso inferior, de La Calera al mar, las mayores crecidas provienen de las lluvias de invierno.

La comuna de Quillota forma parte del sistema hidrológico de la cuenca del río Aconcagua en su sección media-inferior, con una superficie de drenaje de aproximadamente 6.500 km<sup>2</sup>. El río atraviesa la comuna por el sector norte, tomando dirección SW a W, circunscribiendo por el poniente al sector urbano de Quillota. En este tramo, el Aconcagua recibe como tributarios los esteros El Grillo y Rautén por el poniente, y el estero San Isidro junto con el estero San Pedro por el oriente.

El estero El Grillo, o también conocida como la Quebrada del Ají, con una longitud aproximada de 6,4 km, drena la zona norponiente de la comuna, con una superficie aproximada de 12 km<sup>2</sup>, descargando en el río Aconcagua a unos 800 m aguas arriba del puente Boco, frente al cerro Mayaca. El estero Rautén drena un área rural del sector poniente de la comuna de Quillota, denominado El Espino-Rautén Bajo. Posee una longitud de 10 km aproximadamente manteniendo en un comienzo una dirección sur-oriente para luego tomar dirección sur-poniente hasta descargar en el río Aconcagua a 2,6 km aguas abajo del puente de FFCC.

Por otra parte, el estero San Isidro, permite evacuar las aguas provenientes del suroriente de la comuna, desarrollándose en el límite de las localidades de Quillota y San Pedro. Posee una longitud de 16 km, descargando en la ribera izquierda del río Aconcagua y drenando una superficie de aproximadamente 100 km<sup>2</sup>. Su principal aportante es el estero San Pedro, el cual se origina de la confluencia de varias quebradas, desarrollando una longitud de 14 km y drenando una superficie de 43 km<sup>2</sup>, antes de desembocar al estero San Isidro.

A continuación, en la siguiente ilustración, se presentan los cauces recientemente descritos.

**Ilustración 39 Cauces Naturales en la Zona de Estudio.**



Fuente: Elaboración Propia.

### 1.2.7.3 Recopilación de Antecedentes

Se ha realizado un diagnóstico de la información de inundaciones existente, basado principalmente en el “Plan Maestro de Aguas Lluvias de Quillota”, realizado por AC Ingenieros el año 2003, en el cual se determinaron las alturas de agua para los cauces naturales para diferentes períodos de retorno, identificando las zonas en que se producen problemas de inundación.

Por otra parte, también se revisaron otros antecedentes que se pudieron recopilar, de los cuales los más importantes son, el “Plan Regulador Intercomunal La Campana” y el “Proyecto de Diseño de Defensas Fluviales en el Río Aconcagua, Sector Quillota”. El primero, realizado por HABITERRA S.A. el año 2013, realizó un Estudio de Riesgos, el cual, mediante una recopilación de información de estudios anteriores y antecedentes históricos de inundaciones registrados en la prensa, entregó como resultado una zonificación de áreas susceptibles a inundación. El “Proyecto de Diseño de Defensas Fluviales en el Río Aconcagua, Sector Quillota”, realizado el año 1995 por DHV Consultants en asociación con BF Ingenieros, define los diseños de las defensas fluviales que actualmente se emplazan en la ribera oriente del río Aconcagua.

- Información Hidrológica

Para el análisis de precipitaciones en el área de estudio, se seleccionaron las estadísticas de diversas estaciones pluviométricas en la Provincia de Quillota, operadas por la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). En los siguientes cuadros se presentan las estaciones seleccionadas, además de las precipitaciones máximas anuales en 24 hrs.

**Cuadro 12 Estaciones Pluviométricas en el Área de Estudio**

Estación	Organismo	Lat. S	Long. O	Elevación (m.s.n.m.)	Periodos de Registro (años) desde-hasta (*)
El Cobre	DGA	32°29'	71°09'	425	1988-2013
Lo Rojas	DGA	32°47'	71°17'	175	1961-2013
Estero Rabuco	DGA	32°51'	71°07'	300	1961-2013
Quillota	DGA	32°54'	71°13'	130	1970-2013
Limache	DMC	33°01'	71°18'	120	1961-2000
Caleu	DGA	33°00'	71°00'	1.120	1961-2000
Embalse LliuLliu	DGA	33°06'	71°13'	300	1967-2013
Los Aromos	DGA	32°57'	71°22'	100	1962-2013

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias Quillota (series actualizadas hasta el 2013)

**Cuadro 13 Precipitaciones Máximas Anuales en 24 Horas**

Año	Estación							
	El Cobre	Lo Rojas	Est. Rabuco	Quillota	Limache	Caleu	E. Lliu Lliu	Los Aromos
1961		40	38		45	80		
1962		63	60		71	27		71
1963		66	63		75	152		75
1964		59	52		89	63		89
1965		101	80		108	150		108
1966		69	70		55	145		55
1967		48	35		65	50	56	65
1968		17	20		21	39	20	21
1969		43	39		42	72	50	42
1970		66	85	57	41	72	77	41
1971		70	109	60	79		82	69
1972		78	52	67	86	66	92	86
1973		69	54	60	48	110	81	48
1974		81	60	69	60		94	60
1975		50	58	43	62	41	58	50
1976		50	39	43	75		58	46
1977		75	64	64	64	85	87	50
1978		82	73	52	65	141	75	68
1979		66	58	57	58	105	77	90
1980		83	73	67	82	82	102	95
1981		122	106	98	109	122	139	136
1982		96	99	63	77	138	152	68
1983		70	54	60	66	94	79	55
1984		123	102	82	98	184	167	77
1985		45	39	33	51	46	47	45
1986		69	91	55	54	120	70	74
1987		144	90	79	116	188	162	126
1988	55	46	38	30	42	59	60	40
1989	65	55	50	41	42	115	53	50
1990	23	34	28	34	43	47	42	41
1991	46	91	74	62	79	131	86	80
1992	103	87	81	79	82	102	73	101
1993	51	34	48	45	44	86	71	54
1994	84	68	48	54	74	86	61	71
1995	60	49	43	44	61	58	64	50
1996	32	49	43	42	54	52	40	57
1997	95	90	80	74	93	128	155	96
1998	14	18	28	12	18	53	24	13
1999	60	51	59	30	47	50	59	39
2000	114	102	89	59	115	115	163	101
2001		112	80	86			96	122
2002	90	165	150	110			132	121
2003	51	67	46	50			59	73
2004	53	62	57	50			67	58
2005	47	43	52	44			55	42
2006	53	76	71	66			99	84
2007	27	40	43	33			39	22
2008	58	100	78	71			139	95
2009	54	68	70	50			87	62
2010	53	41	48	28			58	39
2011	42	51	39	32			42	29
2012	54	78	97	62			113	68
2013	47	47	47	33			57	50

Respecto al análisis de caudales, se recopiló la información fluviométrica disponible del río Aconcagua, estaciones que son operadas por la DGA. En el siguiente cuadro se presentan las estaciones de interés junto a sus principales características.

**Cuadro 14 Estaciones Fluviométricas en el Área de Estudio**

Estación	Lat. S	Long. O	Elevación (m.s.n.m.)	Periodos de Registro (años) desde-hasta (*)
Río Aconcagua en Chacabuquito	32° 50'	70°34'	1.030	1962-2013
Río Aconcagua en San Felipe	32°46'	70°45'	650	1962-2000
Río Aconcagua en Romeral	32°50'	71°04'	310	1960-1980 1999-2013
Río Aconcagua Puente Boco	32°52'	71°15'	120	1962-1966
Río Aconcagua en Puente Colmo	32°55'	71°25'	20	1986

**Fuente:** Plan Maestro de Aguas Lluvias Quillota (series actualizadas hasta el 2013)

Considerando las anteriores estaciones para determinar los caudales del río Aconcagua en Quillota, se verificó en la estación río Aconcagua en San Felipe una situación anómala, observándose caudales de crecida en el período de deshielo sistemáticamente menores con respecto a la estación río Aconcagua en Chacabuquito, ubicada esta última, aguas arriba de la anterior.

Al respecto cabe señalar que, de acuerdo a las conclusiones del estudio “Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional” (DGA, 1984), se recomienda eliminar la estación río Aconcagua en San Felipe, ya que especialmente ésta se encontraría mal ubicada. Además, presentaría problemas en la cuantificación de los caudales superficiales pasantes, ya que en la zona entre dicha estación y la confluencia con el río Putaendo, se verifican importantes afloramientos y recuperaciones, que podrían ser producto de infiltraciones del tramo superior. Por esta razón, en el presente estudio no se utilizó la estación Río Aconcagua en San Felipe, además de las estaciones Río Aconcagua Puente Boco y Río Aconcagua en Puente Colmo, debido a su menor longitud de registro.

A continuación, se presentan los registros de caudales máximos instantáneos de las estaciones Río Aconcagua en Chacabuquito y Río Aconcagua en Romeral.

**Cuadro 15 Caudal Máximo Instantáneo.**

Año	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)		Año	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)	
	Río Aconcagua en Chacabuq.	Río Aconcagua en Romeral		Río Aconcagua en Chacabuq.	Río Aconcagua en Romeral
1949	67		1981	53	
1950	86		1982	306	
1951	96		1983	205	
1952	123		1984	200	
1953	247		1985	122	
1954	94		1986	256	
1955	95		1987	371	
1956	78		1988	71	
1957	88		1989	143	
1958	91		1990	64	
1959	89		1991	140	
1960	154	289	1992	154	
1961	212	228	1993	677	
1962	121	163	1994	89	
1963	278	395	1995	67	
1964	53	42	1996	26	
1965	183	523	1997	211	
1966	114	143	1998	40	
1967	52	36	1999	90	74
1968	69	17	2000	204	277
1969	99	277	2001	193	449
1970	79	190	2002	198	829
1971	99	76	2003	198	126
1972	296	203	2004	77	56
1973	96	278	2005	232	300
1974	100	295	2006	247	376
1975	106	201	2007	153	103
1976	72	116	2008	236	593

Año	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)		Año	Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)	
	Río Aconcagua en Chacabun	Río Aconcagua en Romeral		Río Aconcagua en Chacabun	Río Aconcagua en Romeral
1977	199	648	2009	107	94
1978	266	556	2010	76	53
1979	142	288	2011	57	41
1980	201	642	2012	125	137
			2013	92	56

- Antecedentes Periodísticos

A continuación, se presentan los antecedentes de inundaciones registrados en la prensa local más importantes. Se destaca que entre los años

Cabe destacar que, desde el año 2002 a la fecha ha predominado un ciclo de años secos, debido al fenómeno meteorológico comúnmente denominado como "La Niña", correspondiente a la fase fría del ciclo El Niño - Oscilación del Sur (ENOS). Por esta razón, no se han registrado grandes precipitaciones y caudales en la zona de estudio, y por lo tanto, este período carece de antecedentes de inundación relevantes.

- **24 de Julio de 1977 (El Mercurio de Valparaíso)**

En la comuna de Quillota en el sector denominado Los Parrones, se desbordó el río Aconcagua generando problemas menores en las captaciones de agua potable que abastecen a la ciudad de Quillota. Además, se produjeron cuantiosos daños a las plantaciones frutícolas y de flores.

- **28 y 29 de junio de 1982 (El Mercurio de Valparaíso)**

En la comuna de Quillota el río Aconcagua se desbordó a la altura del Paradero 8 del camino Troncal, inundando vastas zonas del lugar hasta cubrir las inmediaciones del camino Internacional a la altura del Puente Lo Venecia. Se evacuaron a los pobladores que quedaron aislados, debido a la inundación de viviendas.

- **16 y 17 de Julio de 1987 (Diario La Epoca)**

En Quillota se informó de un centenar de familias de las comunas de Bagío, Lo Garzo, Aconcagua Norte y Sur, San Pedro y La Palma debiendo ser evacuadas a albergues.

- **16 de Julio de 1987 (Diario El Mercurio de Valparaíso)**

En Quillota el número de viviendas dañadas fue de 560.

- **22 y 25 de junio de 1997 (El Mercurio de Valparaíso)**

En la comuna de Quillota hubo una persona desaparecida, 400 damnificados y más de 100 viviendas anegadas. Se produjeron cortes en los caminos que conducen a los sectores rurales de San Pedro, Manzanar, La Palma y Rutén. El río Aconcagua inundó las poblaciones El Peumo, Rosales-Kennedy, Aconcagua Sur y José Miguel Carrera.

- **16 de junio de 2000 (El Observador)**

Quillota: 350 damnificados, 46 albergados, 10 casas destruidas, 100 dañadas, deslizamiento de terrenos, sectores aislados y desbordes de canales fue el saldo del temporal. Los sectores del paradero 11 y 12 de San Pedro, Rautén Bajo, Santa Oliva, Manuela Figueroa y La Portada presentaron anegamientos. La escuela El Manzano vio socavado el terreno colindante y parte de sus bases por el canal del sector.

- **8 de junio de 2002 (El Mercurio de Valparaíso)**

Al menos cuatro días permanecerá suspendido el tránsito en la Ruta 62, sector de San Pedro, luego que se detectara el hundimiento de la losa del puente que une las comunas de Limache y Quillota y que constituye una de las principales vías de comunicación hacia el interior de la región. El desplazamiento del pavimento al menos en 30 centímetros, aparentemente como consecuencia de la fuerza de las aguas del estero San Pedro, que rompieron los estribos que sostiene uno de los extremos del paso superior, ubicado a metros de la rotonda que da acceso al Camino Internacional.

En el lugar se aprecia que gran parte del mismo lecho permanece prácticamente colapsado por árboles y arbustos que durante muchos años, especialmente en épocas lluviosas, han sido arrastrados por el agua, embancándose en el mismo sitio. Los denunciantes sostienen que ha sido este enorme "taco" el que provocó que las aguas escurrieran sólo por un costado del puente,

produciendo el socavamiento de las bases que sostienen el extremo sur de la estructura hoy hundida. "La solución no es otra que retirar la basura del estero".

- **12 de junio de 2002 (El Mercurio de Valparaíso)**

Lentamente y con sus propios medios económicos, parceleros del sector San Isidro y La Palma en Quillota, una de las localidades más afectadas por el temporal de la semana pasada, llevan a cabo las labores de limpieza y canalización de aguas. Retroexcavadoras cumplían diversas labores de limpieza, fundamentalmente canalizando las quebradas que arrastraron agua como resultado del anegamiento de los canales Waddington y Ovalle.

- **24 de julio de 2002 (El Mercurio de Valparaíso)**

En Limache y Olmué, los alcaldes Germán Irrázabal y Tomás Aranda, respectivamente, aseguraron que no hubo situaciones de emergencia, igual que en la provincia de Quillota. Las precipitaciones causaron anegamientos en las principales arterias de las comunas de la provincia.

- **12 de abril de 2012 (www.soychile.cl)**

Riesgo de inundación en al menos tres zonas de Quillota por la falta de mantención y limpieza de esteros, detectó personal de la reciente creada Oficina de Protección Civil y Emergencia de esta comuna. Dicho organismo realizó un estudio del estado en que se encuentran los principales esteros que cruzan la comuna de Quillota, detectándose problemas en tres de ellos. Estos corresponden al estero que existe en el sector rural de Santa Olivia, en cajón de San Pedro y en la Quebrada del Ají en sector de Boco.

Claudio Figueroa, encargado de la Oficina, explicó que el informe estudio consistió en conocer el estado actual de los esteros La Palma, San Pedro y Boco, además de determinar su extensión y tramos comprendidos. Se determinó que el estero La Palma alcanza los once kilómetros.

"Son esteros inundables y que están con problemas, especialmente de vegetación, falta de limpieza y mantención, lo que reviste un grave peligro de inundaciones en caso de que este año se registren fuertes precipitaciones", explicó Figueroa. En las orillas de los esteros hay gran cantidad de arbustos, lo que podría significar, que en caso de que aumenten los caudales producto de lluvias podrían producirse desbordes y afectar a sectores poblados ubicados en las inmediaciones.

- **28 de mayo de 2013 (El Observador)**

Una reunión de evaluación acerca de la situación que enfrenta la región con las malas condiciones climáticas, se llevó a cabo en el edificio de la Intendencia Regional. En el llamado Comité de Operaciones de Emergencias, que encabezó el Intendente de Valparaíso, Raúl Celis, participaron Onemi, Armada, Carabineros, PDI, Bomberos, Educación, Transporte, Salud, Desarrollo Social y Gobierno, quienes entregaron un balance desde sus respectivas instituciones y servicios de lo ocurrido durante las últimas 24 horas tras el temporal que afectó a toda la región. En Quillota han caído 35,7 mm en las últimas 24 horas, acumulado en el año 70,2 mm. Se ha detectado un anegamiento de los paso-niveles en Quillota.

- **29 de mayo de 2013 (El Observador)**

Agricultores comienzan a sonreír tras lluvias en la Provincia de Quillota después de los últimos cinco años que la zona central de nuestro país se encuentra sumida en una profunda sequía.

- **12 de junio de 2014 (El Observador)**

Un centenar de viviendas anegadas y suspensión de clases es el resultado de intensas lluvias en Quillota. Cerca de 120 viviendas anegadas derivó en la suspensión de clases en todos los colegios y jardines infantiles de la ciudad. El encargado de emergencias agregó que se produjo un deslizamiento de tierra en una ladera del cerro Mayaca, lo que provocó algunas dificultades en la población Aconcagua Norte, pero hasta donde también acudió una cuadrilla de emergencia para evitar un mayor desmoronamiento sobre las casas.

- **Caudales de Crecida**

Para las cuencas consideradas en el presente estudio, el Plan Maestro de Aguas Lluvias, en su Anexo de "Cálculo de Escorrentía", determinó los caudales de crecida asociados a distintos períodos de retorno, utilizando para el río Aconcagua, la cual cuenta con control fluviométrico, las estaciones citadas anteriormente, mientras que para las cuencas sin control, se utilizaron métodos

de cálculo de escorrentía a partir de la precipitación máxima en la cuenca y específicamente adoptando los obtenidos a través de la Fórmula Racional.

A continuación, en el siguiente cuadro, se presentan los caudales adoptados para cada uno de los cauces naturales, junto con algunas de las características más importantes de sus cuencas.

**Cuadro 16 Caudales Adoptados en Cauces del Área de Estudio.**

Cauce	Area Aportante (km <sup>2</sup> )	Coef. Escor.	P <sub>24</sub> <sup>T=10</sup> (mm)	Período de Retorno (años)					
				2	5	10	25	50	100
Río Aconcagua en Puente Boco	6.485	-	-	225	454	618	842	1.017	1.140
Estero El Grillo	11,8	0,32	101,0	8,1	11,3	13,7	16,2	17,9	20,2
Estero San Isidro	100,4	0,37	93,0	56,9	80,7	94,7	113,9	128,2	140,0
Estero San Pedro	42,6	0,30	100,0	25,8	36,3	43,1	51,6	57,7	63,8
Estero Rautén	5,0	0,30	101,0	4,0	5,7	6,9	8,0	9,0	10,2

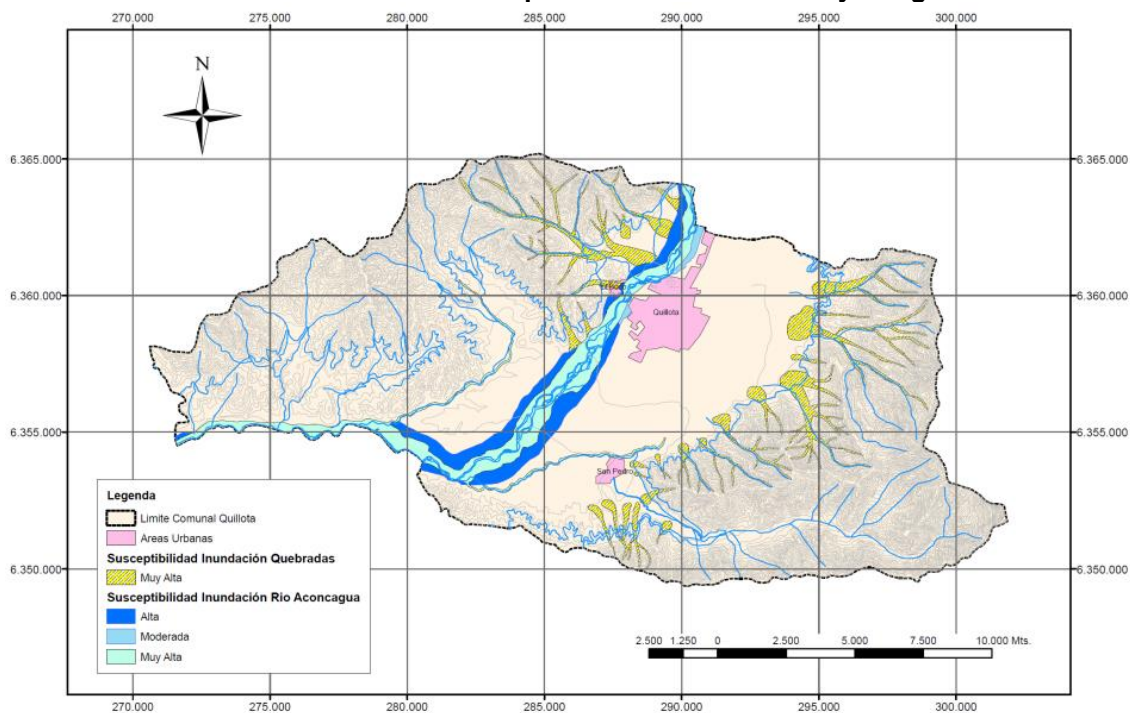
Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias Quillota

#### 1.2.7.4 Análisis de Riesgos por Inundaciones a Nivel Comunal

Para realizar un reporte de riesgos de inundación a nivel comunal, se utilizó como antecedente principal el estudio “Plan Regulador Intercomunal La Campana” elaborado por HABITERRA S.A. el año 2013, el cual realizó un Estudio de Riesgos, tomando en cuenta antecedentes históricos e información bibliográfica, análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales, rasgos geológicos y geomorfológicos reconocidos en el área de estudio y datos proporcionados por la Dirección General de Aguas (DGA), determinó la zonificación de susceptibilidad para inundaciones por desborde de cauces y flujos de barro.

Los resultados del estudio anteriormente citado, se presentan en la siguiente ilustración, en la cual, para la comuna de Quillota, se identifica la susceptibilidad de inundación del río Aconcagua, junto con las quebradas aledañas al sector poniente de la comuna.

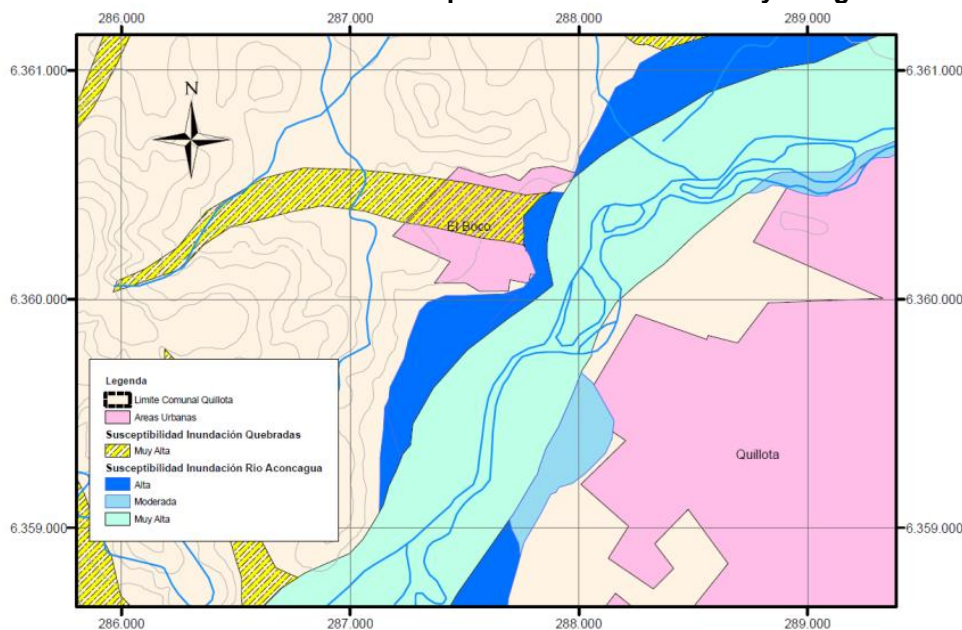
**Ilustración 40 Zonificación Susceptibilidad de Inundación y Anegamiento.**



Fuente: PRI La Campana, 2013.

De la ilustración anterior, además de las zonas de riesgo de inundación debidas a crecidas del río Aconcagua, se pueden identificar sectores de riesgo debido a quebradas ubicadas en zonas de posible expansión urbana, las cuales las identifican geológicamente como depósitos fluvio-aluviales activos de quebradas cuya área drenada es mayor a 2 km<sup>2</sup>, tal como puede observarse en la siguiente ilustración.

**Ilustración 41 Zonificación Susceptibilidad de Inundación y Anegamiento**



Fuente: PRI La Campana, 2013

Dentro del área de estudio, se identifican riesgos de inundación en distintas zonas rurales de la comuna, sin embargo, llama profundamente la atención lo que presenta el PRI en el sector de El Boco, donde en la zona urbana se identifican áreas potencialmente inundables por quebradas. Lo anterior se analizará más detenidamente en los riesgos de escala local.

### 1.2.7.5 Análisis de Riesgos por Inundaciones a Nivel Local

El presente acápite identifica los sectores urbanos de la comuna que han sido afectados por inundaciones producidas a consecuencia de crecidas de cauces naturales, los cuales son el río Aconcagua y los esteros San Pedro y San Isidro. Los esteros El Grillo y Rautén no se han considerado en el presente capítulo debido a que se encuentran fuera de los Límites Urbanos definidos por el presente estudio.

La identificación de los sectores se ha realizado a partir de toda la información recopilada y los estudios anteriores realizados, principalmente del Plan Maestro de Aguas Lluvias de Quillota.

- Sectores Afectados por el Río Aconcagua

Contrastando las zonas de inundación correspondientes al río Aconcagua con las fotografías aéreas de la comuna de Quillota, además de la información recopilada y citada anteriormente, se identificaron los siguientes sectores como los más probables de ser afectados por desbordes del río Aconcagua, los cuales se enumeran a continuación:

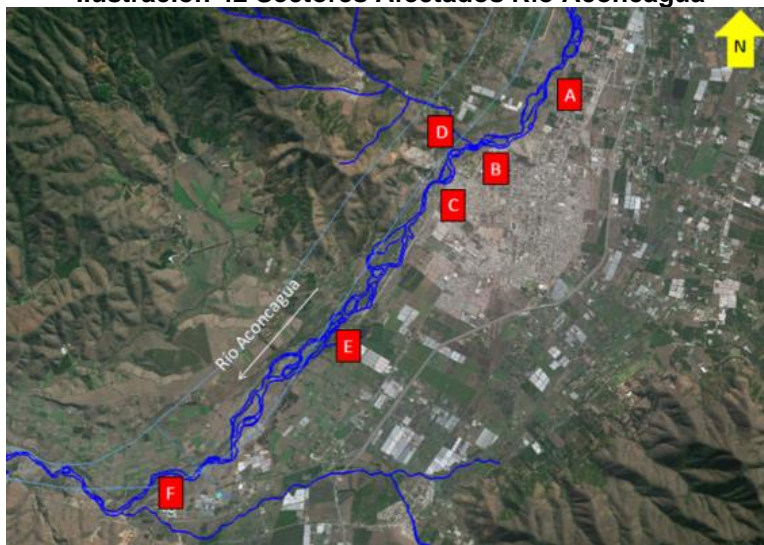
- A. Sector norte, entre la ribera izquierda del río Aconcagua y la calle 21 de Mayo.
- B. Sector El Peumo, específicamente en los pies del cerro Mayaca, en la ribera izquierda del río Aconcagua.
- C. Sector Puente El Boco, específicamente en la zona aledaña al Puente Boco, en la ribera izquierda del río Aconcagua.
- D. Sector El Boco, específicamente las viviendas ubicadas entre el río y la calle Balmaceda, en el sector norte de la extensión urbana de El Boco.

E. Sector aledaño a la Planta de Tratamiento de Aguas de Quillota.

F. Sector industrial, lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica Nehuenco y San Isidro, zona de confluencia con el estero San Isidro.

El detalle de cada una de las zonas se puede apreciar en el anexo de planos.

**Ilustración 42 Sectores Afectados Río Aconcagua**



Fuente: Elaboración propia.

- Sectores Afectados por el Estero San Isidro

En el estero San Isidro se han identificado dos sectores que podrían ser afectados por inundaciones, los cuales son:

G. El límite norte de la zona urbana de San Pedro, el cual se encuentra en la ribera izquierda del estero.

F. Sector industrial (ya identificado para el río Aconcagua), lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica Nehuenco y San Isidro, zona de confluencia con el río Aconcagua.

El detalle de cada una de las zonas se puede apreciar en el anexo de planos.

**Ilustración 43 Sectores Afectados Estero San Isidro.**



Fuente: Elaboración propia.

- Sectores Afectados por el Estero San Pedro

El estero San Pedro, el cual cruza la localidad homónima, se identificó un sector que, según los antecedentes que se manejan, se produce un desborde del estero.

H.El cruce del estero con la calle Santa Rosa.

Sin embargo, se recomienda analizar todo el estero en el tramo que cruza la zona urbana. El detalle de cada una de las zonas se puede apreciar en el anexo de planos.

**Ilustración 44 Sectores Afectados Estero San Pedro**



Fuente: Elaboración propia.

#### **1.2.7.6 Obras de Protección Existentes**

La ciudad de Quillota, la cual en el pasado ha sufrido de inundaciones importantes generadas por diversos eventos de crecida, principalmente por el río Aconcagua, ha dispuesto defensas fluviales a lo largo del cauce en su ribera oriente, principalmente para la protección de los asentamientos humanos, como también de las obras que se encuentran en sus riberas, como son el puente Boco y las instalaciones de captación de agua potable de ESVAL. Es así que, a través de un proyecto de defensas fluviales realizado en 1995, encargado por el Ministerio de Obras Públicas, se desarrolló la ingeniería para la primera etapa de las actuales defensas fluviales en el río Aconcagua de manera de proteger el área urbana de Quillota.

La defensa fluvial existente presenta, por la ribera izquierda, aguas arriba del puente Boco, un enrocado de longitud de 2,46 km, protegido con una serie de espigones de roca. Por otra parte, aguas abajo del puente Boco, se desarrolla un pretil de las mismas características, completando una longitud de 3,33 km. A continuación, se presentan algunas imágenes de las obras descritas anteriormente.

**Ilustración 45 Defensa Tipo Enrocado Río Aconcagua Sector Instalaciones ESVAL**



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 46 Defensa Tipo Enrocado**



Fuente: Elaboración propia.

Además, entre otras obras de protección fluvial en la zona, se encuentra el enrocado que conforma la plataforma en la cual se encuentra situado, la central termoeléctrica Nehuenco, como se puede observar en la siguiente ilustración.

**Ilustración 47 Defensa Tipo Enrocado Río Aconcagua**



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se puede encontrar en la ribera oriente del río Aconcagua, específicamente en el sector norte de la comuna, una defensa conformada por un muro de gaviones, la cual tiene como

función proteger un conjunto habitacional construido recientemente, tal como se observa en la siguiente ilustración.

**Ilustración 48 Muro de Gaviones Sector Norte Río Aconcagua.**



Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, existe una serie de defensas fluviales en el río Aconcagua en su ribera oriente, la cual en la actualidad, posee aproximadamente una longitud de 5,8 km. Como se puede observar en la siguiente imagen, en el año 2003 las defensas fluviales existentes en la actualidad todavía no estaban completamente constituidas, desarrollándose en solo 2,4 km a lo largo del río Aconcagua.

**Ilustración 49 Defensa Muro de Gaviones Sector Norte Río Aconcagua.**



Fuente: Elaboración propia.

**1.2.7.7 Evaluación Situación Actual**

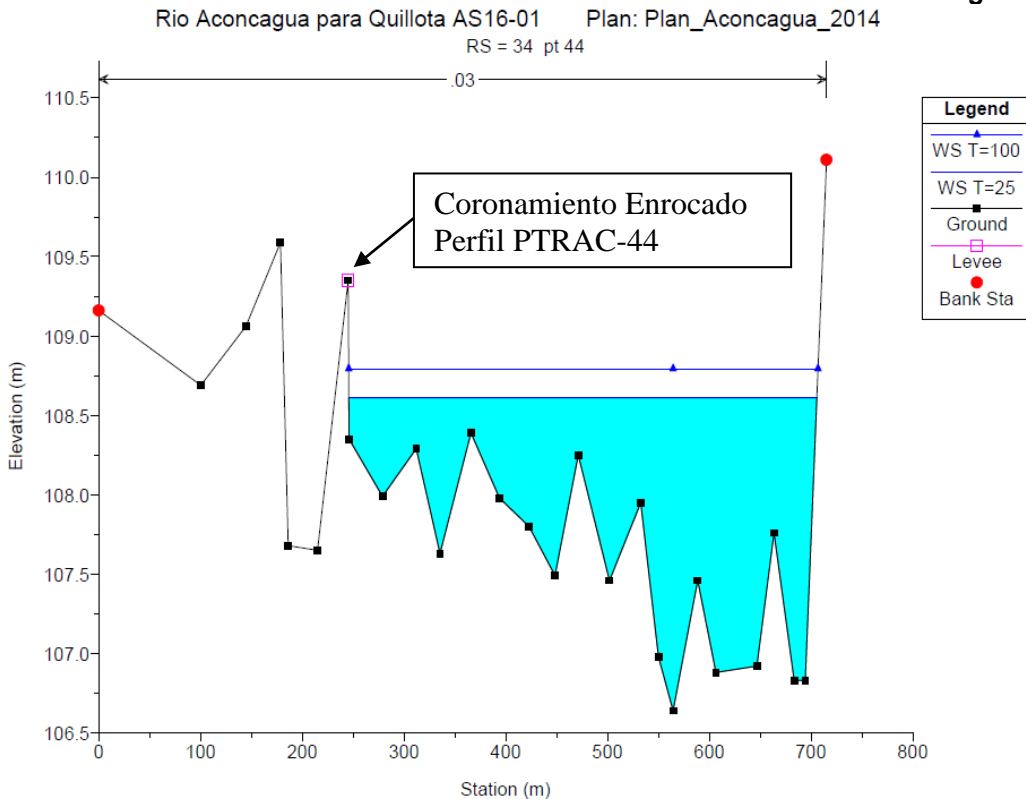
A continuación, se evalúa la situación actual de los tres cauces naturales identificados como son: El Río Aconcagua, El Estero San Isidro y el Estero San Pedro.

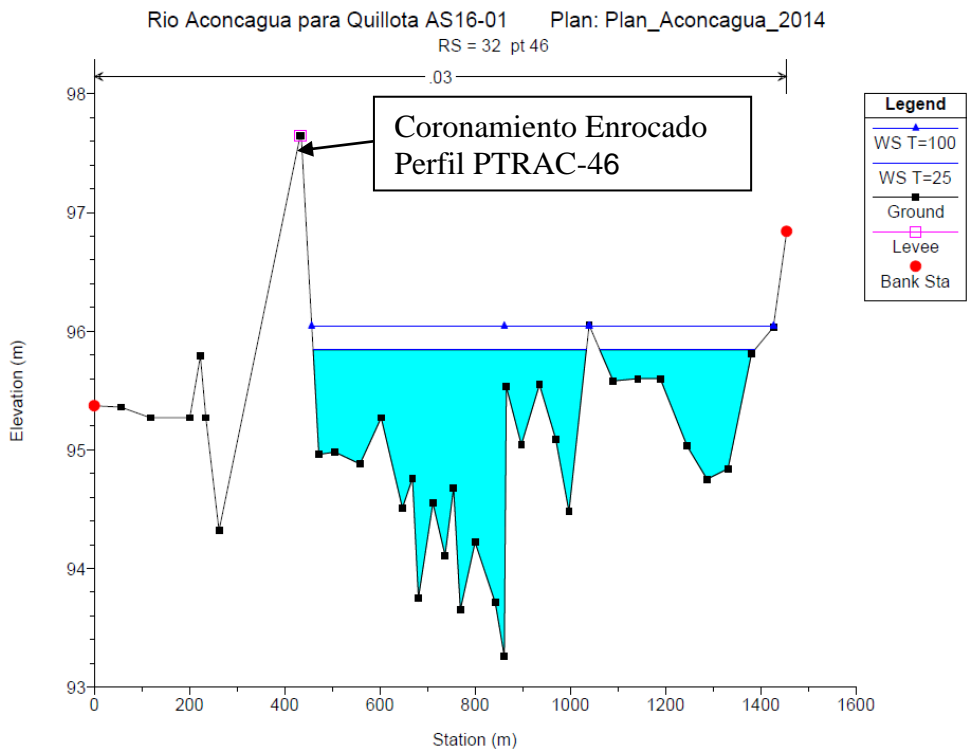
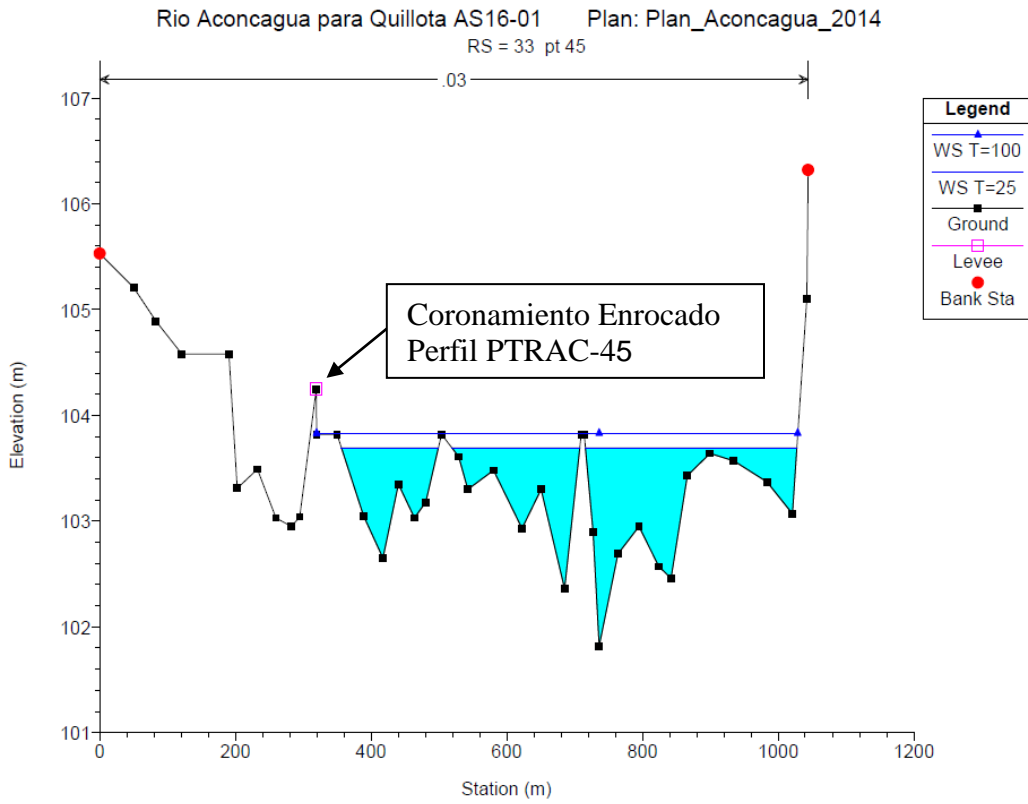
- Evaluación Situación Actual Río Aconcagua

Dentro de los cauces naturales analizados en el presente estudio, el río Aconcagua es el único que posee un modelo hidráulico con perfiles transversales que fueron levantados por informe “Estudio Integral y Digitalización del Río Aconcagua” desarrollado por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. el año 2000 para la Dirección de Vialidad del MOP, V Región., estudio que fue usado como referencia por el Plan Maestro de Aguas Lluvias.

Con tal información, con la finalidad de actualizarla, se modificaron algunos perfiles en el modelo hidráulico construido en el software HEC-RAS, tal como se puede observar en la siguiente ilustración, de manera de incluir la actual defensa del tipo enrocado que se extiende aproximadamente 3,3 km aguas abajo del puente Boco hasta la Planta de Tratamiento de Aguas de ESVAL. Cabe destacar que solo se modificaron estos perfiles, dado que están ubicados en la zona en que el año 2003 no existía un enrocado de protección. Por otra parte, a pesar de que existe un nuevo enrocado al pie del cerro Mayaca, no se modificó ningún perfil del modelo dado que, en este tramo, no hay ningún perfil transversal en este tramo.

**Ilustración 50 Perfiles Modificados Modelo Hidráulico HEC-RAS Río Aconcagua.**





Fuente: Plan Maestro Aguas Lluvias - Perfiles actualizados por el consultor.

De esta manera, se obtuvieron los niveles de agua para las crecidas de 25 y 100 años, las cuales se presentan en el siguiente cuadro, mientras que la zona de inundación se presenta en el anexo de planos.

**Cuadro 17 Eje Hidráulico en Área de Estudio – Río Aconcagua.**

Perfil (*)	Distancia Acum. (m)	Cota de Fondo (m)	Nivel de Agua (m)		Ancho Superficial (m)	
			T=25	T=100	T=25	T=100
PTRAC-35	30.312	136,75	138,82	138,98	597	665
PTRAC-36	31.002	134,28	136,42	136,59	713	766
PTRAC-37	31.411	129,61	131,57	131,74	501	550
PTRAC-38	32.484	125,85	127,74	127,89	555	566
PTRAC-39	33.275	122,16	123,73	123,93	343	361
PTRAC-40	33.840	119,46	122,20	122,46	538	551
PTRAC-41	34.488	119,46	121,20	121,37	457	482
PTRAC-42	34.875	114,68	115,47	115,91	486	515
PTRAC-43	35.567	110,54	112,27	112,38	775	786
PTRAC-44 (**)	36.152	106,64	108,61	108,79	460	461
PTRAC-45 (**)	36.744	101,82	103,69	103,83	643	710
PTRAC-46 (**)	37.338	93,26	95,84	96,04	900	969
PTRAC-47	37.899	92,35	94,06	94,20	673	768
PTRAC-48	38.511	86,88	88,76	88,92	564	633
PTRAC-49	39.102	80,27	81,64	81,80	695	777
PTRAC-50	39.502	73,59	74,68	74,81	631	675
PTRAC-51	39.947	64,96	67,72	67,92	615	646
PTRAC-52	40.361	62,68	65,65	65,82	770	808
PTRAC-53	40.888	61,41	62,67	62,80	741	750
PTRAC-54	41.451	58,76	59,97	60,14	592	594
PTRAC-55	42.061	53,92	55,48	55,62	517	527

**Nota (\*):** El nombre y distancia de cada perfil se ha mantenido respecto a lo presentado en el Plan Maestro de Aguas Lluvias

**Nota (\*\*):** Perfiles Actualizados por el Presente Estudio

Observando la actual zona de inundación generada por el río Aconcagua, se analiza cada uno de los sectores en riesgo de inundación identificados en el capítulo anterior.

**A. Sector norte, entre la ribera izquierda del río Aconcagua y la calle 21 de Mayo.**

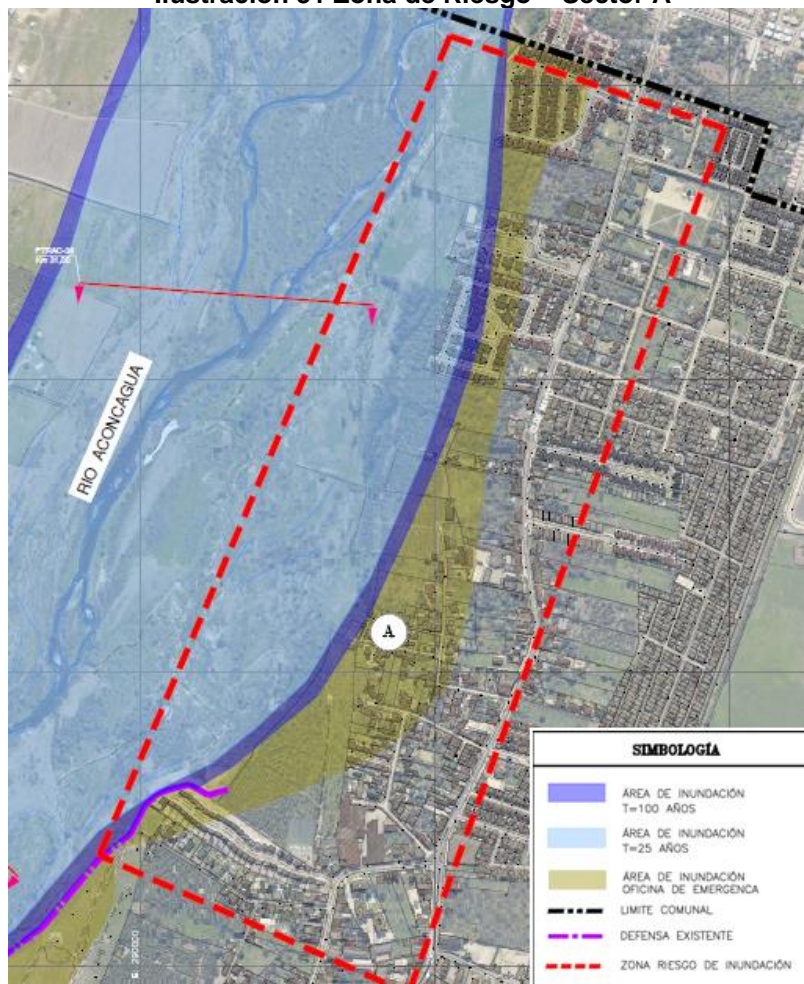
En este sector, se observa un peligro de inundación, tanto zona de áreas verdes proyectada, como también la zona urbana ubicada inmediatamente al oriente del río Aconcagua.

En la actualidad existen varios conjuntos habitacionales entre la calle 21 de Mayo y el río Aconcagua, que no poseen una protección adecuada frente a crecidas de éste último, constituyendo un grave peligro para los habitantes del sector.

Tal como se observa en la siguiente imagen, la zona de inundación alcanza al sector habitacional emplazado en la rivera oriente, específicamente al condominio Rivera del Inca y las zonas aledañas, superando el umbral de la defensa de gaviones que limita con el río Aconcagua.

Además, según la Oficina de Emergencia de Quillota, el sector de inundación podría alcanzar un área más amplia hasta la zona demarcada en la siguiente figura, tal como lo informó en la reunión sostenida el 17 de febrero del 2015, lo que si bien es un antecedente, no se refleja en el resultado del modelo hidráulico.

**Ilustración 51 Zona de Riesgo – Sector A**



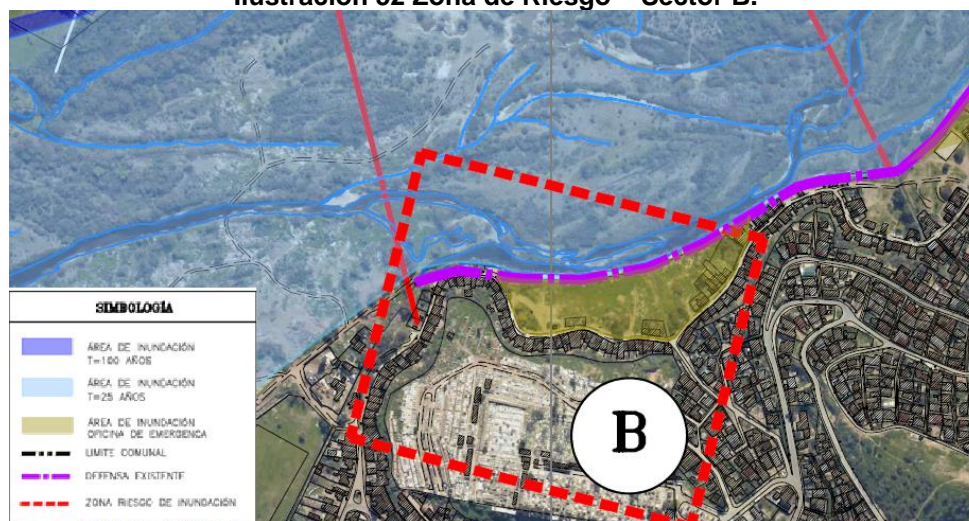
Fuente:Elaboración propia.

**B.Sector El Peumo, específicamente en los pies del cerro Mayaca, en la ribera izquierda del río Aconcagua.**

En este sector, a los pies del cerro Mayaca, se puede observar que un grupo de viviendas podrían verse anegadas ante un posible desborde del río Aconcagua, considerando principalmente que aquí se encuentra en la parte exterior de la curva del río Aconcagua antes de dirigirse al puente Boco, liberando la mayor cantidad de energía sobre este punto.

Sin embargo, en el sector, el cual puede visualizarse en la siguiente ilustración, se construyó una defensa fluvial del tipo enrocado la cual protege la zona ante posibles inundaciones (ver Ilustración “Defensa Tipo Enrocado Río Aconcagua Sector El Peumo”). Sin embargo, dado que no se pudo contar con el estudio hidráulico que definió las características de esta defensa, y dado que el Plan Maestro de Aguas Lluvias definió el sector como zona de inundación antes de la construcción de la defensa, se considerará que el flujo para una crecida de 100 años no sobrepasa el umbral de la defensa. Sin embargo, se indica esta zona como área de protección con el fin de tomar precauciones referidas a los usos futuros de esta área, reconociendo también que la Oficina de Emergencia de la comuna identificó esta zona como peligrosa.

**Ilustración 52 Zona de Riesgo – Sector B.**



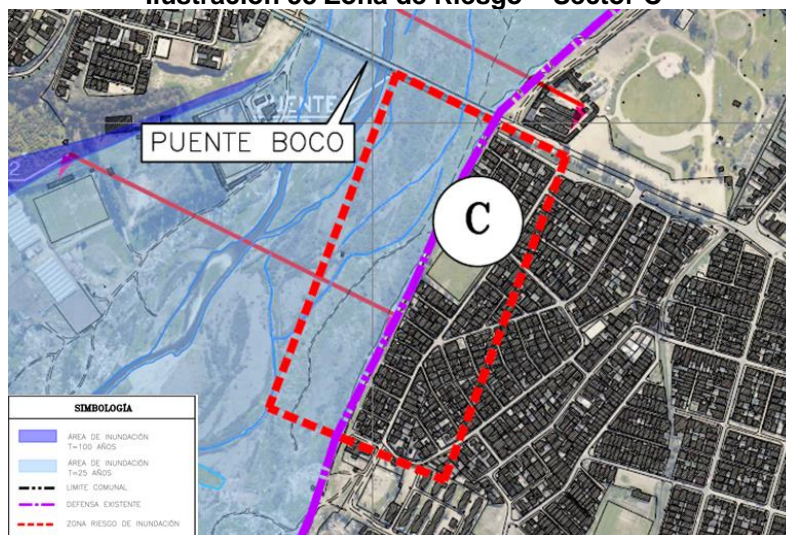
Fuente:Elaboración propia.

**C.Sector Puente El Boco, específicamente en la zona aledaña al Puente Boco, en la ribera izquierda del río Aconcagua.**

Este sector, el cual quedó presentado en la siguiente ilustración, posee una defensa del tipo enrocado que protege el conjunto habitacional que se emplaza al costado del río.

Según la modelación actualizada del río Aconcagua, esta defensa tendría la suficiente altura para proteger las viviendas frente a crecidas del río.

**Ilustración 53 Zona de Riesgo – Sector C**



Fuente:Elaboración propia.

**D.Sector El Boco, específicamente las viviendas ubicadas entre el río y la calle Balmaceda, en el sector norte de la extensión urbana de El Boco.**

Para este sector, se observa que las viviendas ubicadas entre el río y la calle Balmaceda, en el sector urbano de El Boco, se encuentran emplazadas a una cota superior que la alcanzada por el río Aconcagua, y por lo tanto, no se verían afectadas por inundaciones, a excepción de un pequeño grupo ubicado en el límite norte del sector.

Otro aspecto a comentar es la posible socavación y remoción que podría producir el río Aconcagua sobre su ribera derecha, lo cual podría afectar a las viviendas más próximas al cauce, dado principalmente a que el modelo hidráulico arroja velocidades de 2,85 m/s en el sector. Para prevenir lo anterior, se recomienda la construcción de defensas que protejan el cerro ante la erosión.

Respecto a la zona susceptible a inundación identificada en el análisis comunal presentado anteriormente, específicamente a la del sector del Boco, considerando un análisis a escala local, se concluye que este no reviste mayores problemas dado que:

- La quebrada aportante a la zona no posee una superficie de drenaje importante, de aproximadamente 2 km<sup>2</sup>, por lo cual no podría generar grandes caudales. Además, tal como se puede ver en la siguiente ilustración, la zona drenaría hacia el norte, al estero El Grillo, a través de una quebrada y no hacia el sector de El Boco.

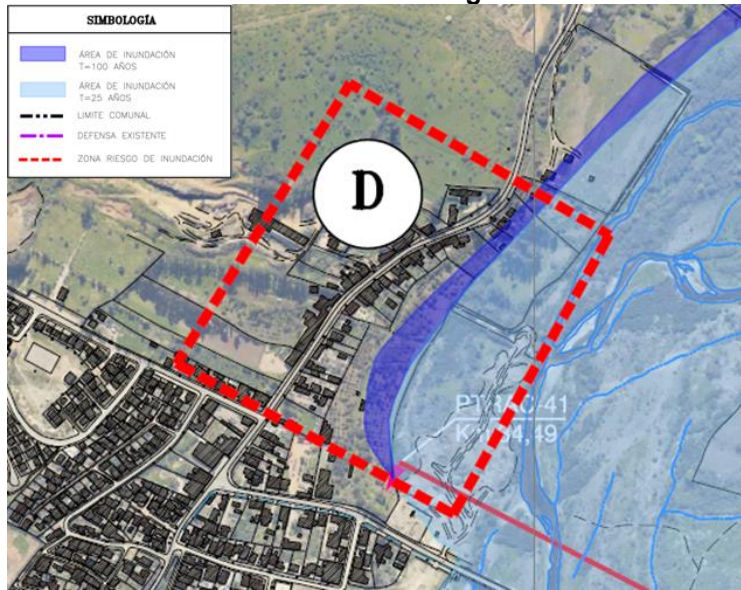
**Ilustración 54 – Quebrada Sector El Boco**



Fuente:Elaboración propia.

- El canal Mauco atraviesa la zona identificada por el PRI La Campana de norte a sur, el cual tendría derechos entre permanentes y eventuales por sobre los 6 m<sup>3</sup>/s, capacidad que podría interceptar el caudal generado en la zona.
- En la entrevista sostenida con los encargados de la Oficina de Emergencia de la comuna, no se identificaron problemas históricos en la zona de El Boco por inundaciones de quebradas aledañas.

**Ilustración 55 Zona de Riesgo – Sector D**



Fuente:Elaboración propia.

**E. Sector aledaño a la Planta de Tratamiento de Aguas de Quillota.**

Este sector, el cual según el modelo hidráulico construido por el Plan Maestro de Aguas Lluvias se producían severos desbordes, tal como se observa en la siguiente ilustración, dado principalmente que para el año 2003, no se encontraba construida la defensa fluvial en su extensión actual.

**Ilustración 56 Zona de Inundación Año 2003**

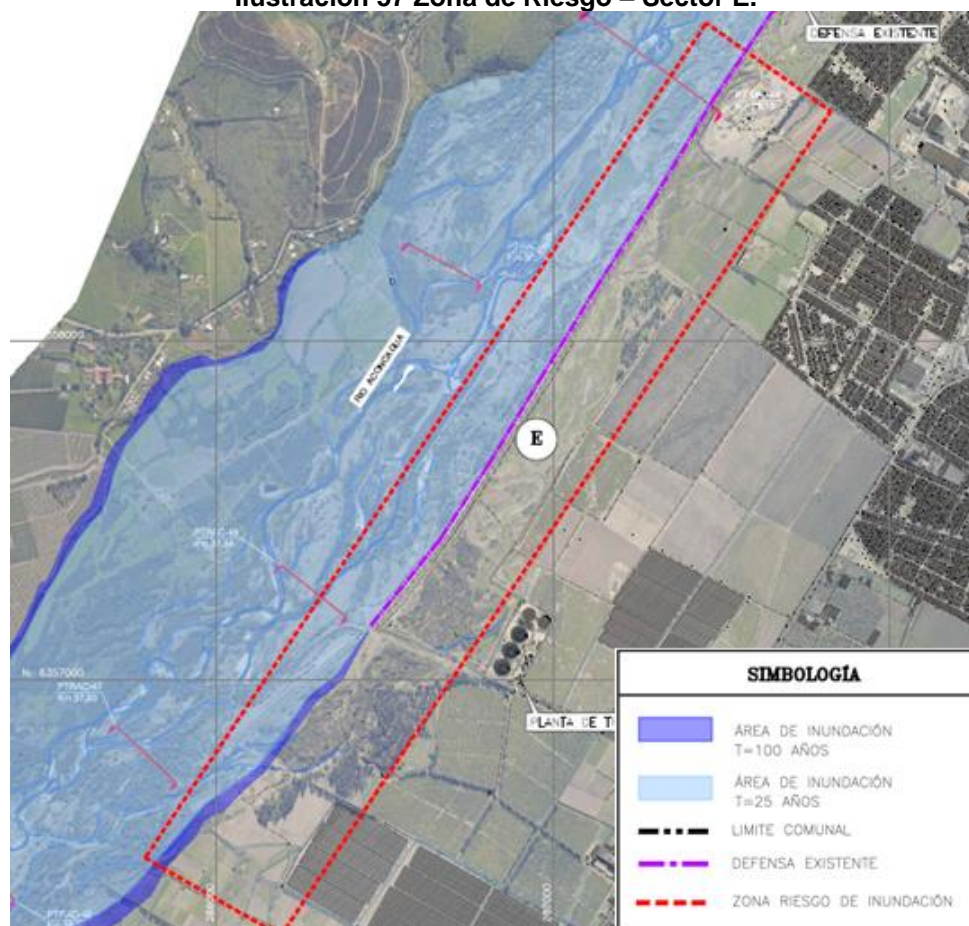


Fuente:Elaboración propia (Información del Plan Maestro de Aguas Lluvias).

En la actualidad se encuentra protegido por la defensa del tipo enrocado, la cual se extiende a lo largo de la ribera izquierda hasta la Planta de Tratamiento de Aguas.

Aguas abajo de este punto, comienzan a producirse desbordes sobre los sectores rurales adyacentes al río Aconcagua por su ribera izquierda, afectando solo terrenos agrícolas.

**Ilustración 57 Zona de Riesgo – Sector E.**



Fuente:Elaboración propia.

**F. Sector industrial, lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica San Isidro y Nehuenco, zona de confluencia con el estero San Isidro.**

Este sector posee gran complejidad, dado que corresponde al punto de confluencia del estero San Isidro con el río Aconcagua. Según la información recabada, en este sector se producen importantes inundaciones, las cuales pueden desencadenar en un anegamiento de la ruta que CH-60 y las zonas adyacentes, como ocurrió en la crecida de 1982.

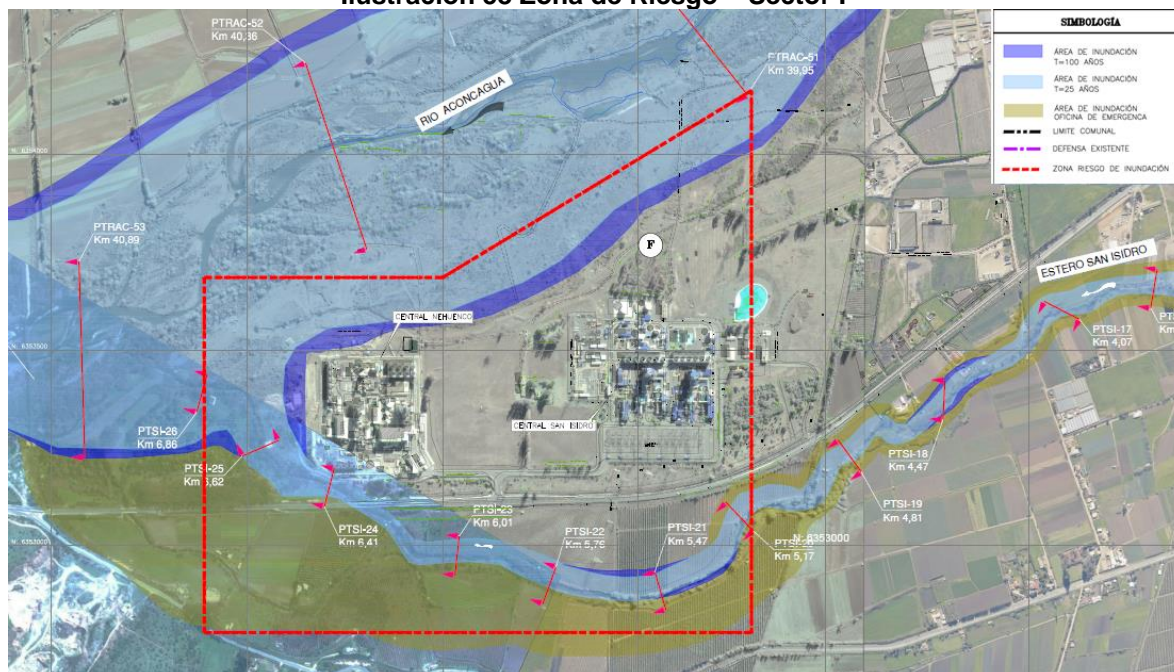
Según la información expuesta por la Oficina de Protección Civil y Emergencia de la comuna de Quillota, en una entrevista sostenida el día 31 de julio de 2014, comunicaron que al momento de construir la termoeléctrica Nehuenco (año 1999), su plataforma la levantaron de manera de que estuviese emplazada por sobre las cotas de inundación históricas. Cabe destacar que del año 2003, año de elaboración del Plan Maestro, a la fecha, no se han construido obras que puedan modificar el modelo construido. Lo anterior se puede observar claramente en la siguiente ilustración, la cual muestra la plataforma en donde está ubicada la termoeléctrica de modo de no verse afectada por las crecidas del río Aconcagua.

Dada la complejidad de la zona y los antecedentes que se manejan, que el lugar se inunda esporádicamente generando problemas de conectividad y a los pobladores, se generó una nueva reunión con la Oficina de Protección Civil y Emergencia, con el fin de obtener más antecedentes que sólo las zonas de inundación proporcionados por el Plan Maestro.

De esta manera, en la reunión sostenida se destacó la zona sur del estero San Isidro, en donde, tal como se puede apreciar en la siguiente ilustración, se producen desbordes inundando un área considerable al sur del estero San Isidro, desde la confluencia del río Aconcagua, hasta unos 2 km aguas arriba.

Lo cual se deja como antecedente en la siguiente ilustración.

**Ilustración 58 Zona de Riesgo – Sector F**



Fuente:Elaboración propia.

- Evaluación Situación Actual Estero San Pedro

Dentro de los antecedentes recopilados, el estero San Pedro no posee algún estudio detallado que pueda entregar información del eje hidráulico en situación de crecida ni sus capacidades de porteo.

No obstante, el Plan Maestro de Aguas Lluvias desarrolló una campaña de terreno destinada a determinar las secciones representativas de los tramos homogéneos del cauce, y además, identificando las obras de arte que pudiesen variar la capacidad de porteo del estero.

De esta manera, considerando que las condiciones del cauce y sus inmediaciones no han sufrido grandes modificaciones durante los últimos años, dado que del año 2003 a la fecha no se han ejecutado obras que modifiquen las condiciones del cauce, se tienen los niveles de agua para las crecidas de 25 y 100 años, las cuales se presentan en el siguiente cuadro, mientras que la zona de inundación se presenta en el anexo de planos adjunto en el presente estudio.

**Cuadro 18 Eje Hidráulico en Área de Estudio – Estero San Pedro**

Perfil	Distancia Acum. (m)	Cota de Fondo (m)	Nivel de Agua (m)		Ancho Superficial (m)	
			T=25	T=100	T=25	T=100
PTESP-1	0	102,66	103,80	103,93	24	25
PTESP-2	230	100,13	102,30	102,62	30	35
PTESP-3	396	98,00	99,98	100,20	15	16
PTESP-4	628	96,90	98,83	99,00	18	19
PTESP-5	795	95,97	97,31	97,53	16	17
PTESP-6	1.037	93,82	96,89	97,18	20	25
PTESP-7	1.046	93,72	95,56	95,98	11	12
PTESP-8	1.286	91,18	95,69	96,05	9	9
PTESP-9	1.292	91,09	94,67	95,45	10	10
PTESP-10	1.595	87,54	90,35	90,84	16	35
PTESP-11	1.761	86,29	88,86	89,07	13	20
PTESP-12	1.913	84,09	86,74	86,98	18	21

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias Quillota

Observando la actual zona de inundación generada por el estero San Pedro, se analiza cada uno de los sectores en riesgo de inundación identificados en el capítulo anterior.

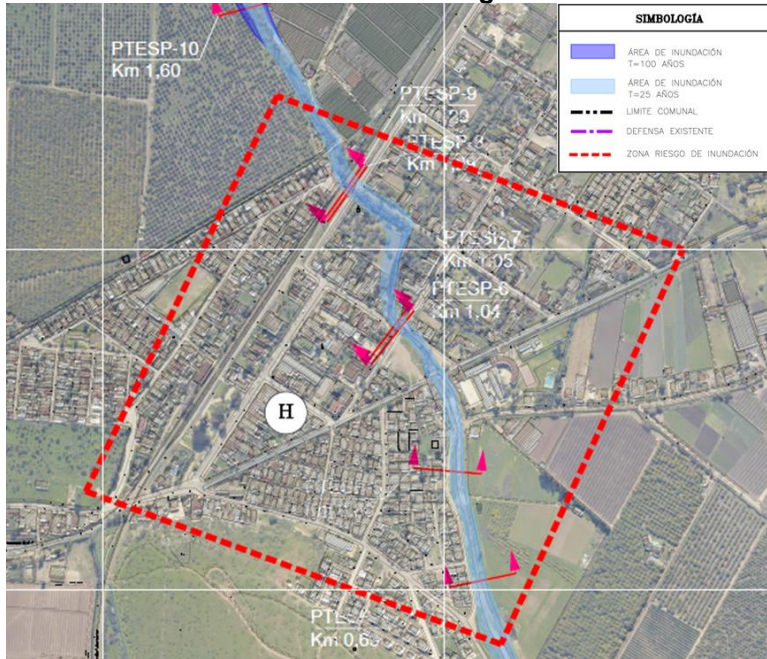
**H.El cruce del estero con la calle Santa Rosa.**

Según los antecedentes recopilados, actualmente este estero posee serios problemas de falta de limpieza, vegetación y mantención, lo que reviste un grave peligro de inundaciones en el caso de que se registren fuertes precipitaciones, tal como se puede ver en la siguiente imagen.

Además, existen antecedentes que en este punto se han producido desbordes, los cuales generan anegamientos en la zona norte de San Pedro, escurriendo el agua por la calle Santa Rosa hasta la parte más baja de este sector, inundando el sector entre las calles Galo y Luis Alberto, las cuales se indican en la siguiente ilustración.

Otro aspecto importante que podría generar inundaciones, pero no por efectos de cauces naturales, son los posibles desbordes del canal de Viñas, el cual cruza la localidad de San Pedro de noreste a suroeste

**Ilustración 59 Zona de Riesgo – Sector H**



Fuente:Elaboración propia.

**Ilustración 60 Estero San Pedro en Puente Santa Rosa**



Fuente:Elaboración propia.

**Ilustración 61 Estero San Pedro – Esquema Sector de Inundación.**



Fuente:Elaboración propia.

- Evaluación Situación Actual Estero San Isidro

Al igual que para el estero San Pedro, dentro de los antecedentes recopilados, el estero San Isidro no posee algún estudio detallado que pueda entregar información del eje hidráulico en situación de crecida ni sus capacidades de porteo.

No obstante, el Plan Maestro de Aguas Lluvias desarrolló una campaña de terreno destinada a determinar las secciones representativas de los tramos homogéneos del cauce.

De esta manera, considerando que las condiciones del cauce y sus inmediaciones no han sufrido grandes variaciones durante los últimos años, dado que del año 2003 a la fecha no se han

ejecutado obras que modifiquen las condiciones del cauce, se tienen los niveles de agua para las crecidas de 25 y 100 años, las cuales se presentan en el siguiente cuadro, mientras que la zona de inundación se presenta en el anexo de planos.

**Cuadro 19 Eje Hidráulico en Área de Estudio – Estero San Isidro.**

Perfil	Distancia Acum. (m)	Cota de Fondo (m)	Nivel de Agua (m)		Ancho Superficial (m)	
			T=25	T=100	T=25	T=100
PTSI-1	0	88,99	93,33	93,79	30	35
PTSI-2	269	87,72	92,88	93,27	22	23
PTSI-3	405	86,71	92,79	93,18	30	35
PTSI-4	605	86,10	90,66	91,60	27	47
PTSI-5	781	86,39	89,86	90,15	42	45
PTSI-6	1.029	86,02	88,74	88,97	35	40
PTSI-7	1.325	83,97	87,29	87,58	35	40
PTSI-8	1.597	83,36	86,31	86,60	41	48
PTSI-9	1.893	81,51	84,77	85,04	48	54
PTSI-10	2.101	81,18	82,98	83,19	41	41
PTSI-11	2.237	79,18	81,80	82,01	49	51
PTSI-12	2.699	78,31	80,89	81,11	115	120
PTSI-13	2.974	76,93	79,23	79,49	49	57
PTSI-14	3.221	75,84	78,59	78,86	75	80
PTSI-15	3.530	74,36	77,03	77,21	53	60
PTSI-16	3.819	71,47	76,01	76,32	70	75
PTSI-17	4.062	70,86	74,98	75,34	44	50
PTSI-18	4.468	70,04	73,96	74,31	73	96
PTSI-19	4.809	68,12	73,12	73,36	65	70
PTSI-20	5.169	67,16	72,21	72,53	75	80
PTSI-21	5.467	66,60	71,04	71,39	46	60
PTSI-22	5.758	66,27	70,71	71,03	75	80
PTSI-23	6.009	66,03	70,41	70,74	80	85
PTSI-24	6.405	65,52	69,13	69,52	50	55
PTSI-25	6.617	64,60	67,88	68,08	36	40
PTSI-26	6.857	63,89	66,70	66,91	70	80

Fuente: Plan Maestro de Aguas Lluvias Quillota

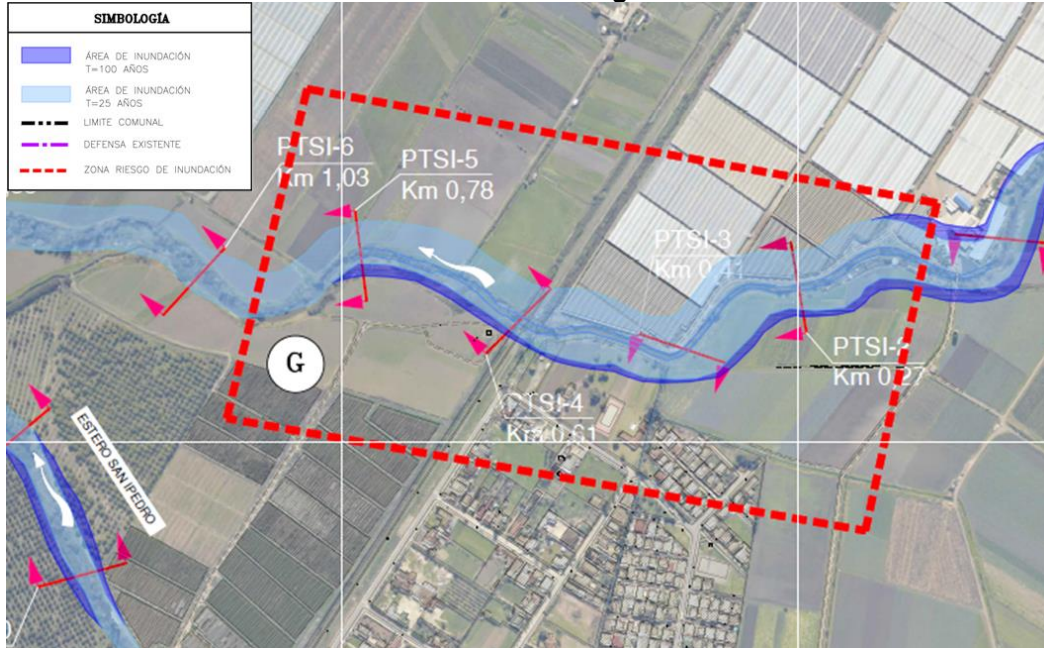
Observando la zona de inundación generada por el estero San Isidro, se analiza cada uno de los sectores en riesgo de inundación identificados en el capítulo anterior.

**G. El límite norte de la zona urbana de San Pedro, el cual se encuentra en la ribera izquierda del estero.**

En la actualidad, este estero no reviste mayores problemas para la zona norte del sector de San Pedro, dado que no existen viviendas a casi 100m del cauce. Sin embargo, como se puede observar en la siguiente ilustración, la zona de expansión urbana limita al norte con el estero, por lo cual en el caso de sufrir cualquier desborde, por más pequeño que sea, podría causar anegamientos en las viviendas que se emplacen en este sector. Dado lo anterior, se recomienda realizar estudios que ayuden a mitigar y/o reducir el riesgo de inundación en el sector antes de proyectar su urbanización, o por otra parte, definir este sector como área de riesgo y evitar cualquier expansión urbana en la ribera del estero.

Por otra parte, mención especial merece el sector ubicado al norte del este estero, el cual a pesar de estar fuera de los límites urbanos de la comuna, podría sufrir daños ante crecidas de gran relevancia.

Ilustración 62 Zona de Riesgo – Sector G.



Fuente:Elaboración propia.

Ilustración 63 Estero San Isidro – Zonas de Expansión Urbana San Pedro.



Fuente:Elaboración propia.

#### **F. Sector industrial, lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica San Isidro y Nehuenco, zona de confluencia con el río Aconcagua.**

Como se mencionó anteriormente en el análisis de inundaciones del río Aconcagua, este sector posee gran complejidad, dado que corresponde al punto de confluencia del estero San Isidro con el río Aconcagua.

Como se aprecia en la siguiente ilustración, en este sector el estero San Isidro se bifurca antes de desembocar al río Aconcagua, y en situación de crecida, este puede verse influenciado aguas arriba por el río Aconcagua, generando aumentos en los niveles del cauce que podrían generar amplias inundaciones, viéndose afectado el sector de la termoeléctrica y la ruta CH-60.

Sin embargo, la modelación hidráulica realizada por el Plan Maestro de Aguas Lluvias no considera el brazo sur del estero San Isidro, generando una condición conservadora para la estructura de la Planta Termoeléctrica, obligando a pasar todo el caudal por el brazo norte, el cual es el más cercano al sector de las termoeléctricas.

Por lo anterior, es que se realizó la reunión con la Oficina de Protección Civil y Emergencia, en la cual definieron, según su experiencia, las posibles áreas de inundación en el sector, las cuales quedaron presentadas anteriormente en la Ilustración del sector F como registro.

**Ilustración 64 Estero San Isidro – Zona Termoeléctricas**



Fuente:Elaboración propia.

- Evaluación Situación Futura

En una primera instancia, se consideró la evaluación de una situación futura modificando los coeficientes de escorrentía con los cuales se determinaron los caudales de crecida de los distintos cauces, dado que la modificación del suelo agrícola a urbano genera disminución en los tiempos de concentración de la cuenca, menos infiltración y en consecuencia, mayor escorrentía. En el siguiente cuadro se presenta la superficie actual y ampliada de cada una de las zonas.

**Cuadro 20 Superficies Urbanas e Industriales Quillota**

Zonas	Superficie (km <sup>2</sup> )		
	Actual	Extensión	Total
Quillota	10,68	7,09	<b>17,77</b>
El Boco	-	0,34	<b>0,34</b>
San Pedro	0,43	1,10	<b>1,53</b>
Termoeléctrica	2,85	-	<b>2,85</b>
<b>Total</b>	<b>13,95</b>	<b>8,53</b>	<b>22,48</b>

Sin embargo, al contrastar las magnitudes de las superficies de extensión con las de las cuencas aportantes, las que se pueden observar en el siguiente cuadro, se observa que no reviste mayor relevancia, por lo cual, en una situación futura, se pueden considerar los mismos caudales de crecida para los cauces naturales. Cabe destacar que se podría considerar relevante un aumento de al menos un 10% de la cuenca aportante.

**Cuadro 21 Superficies Aportantes a cada Cauce**

Cuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )		Razón (%)
	Extensión Urbana	Cuenca Aportante	
Río Aconcagua	7,43	6.485	<b>0,1</b>
Estero San Isidro	1,1	100,4	<b>1,1</b>
Estero San Pedro	1,1	42,6	<b>2,5</b>

Tomando en cuenta las zonas de expansión, tanto urbana como industrial, las únicas que podrían sufrir ante desbordes de los cauces naturales serían las de San Pedro, dado que limitan directamente con los esteros San Isidro y San Pedro. Se recomienda que para estas zonas, se permita mantener una faja de áreas verdes y parques, de modo que en caso de desbordes de los esteros, se evite el anegamiento de viviendas, o en caso contrario, antes de cualquier expansión urbana del tipo habitacional entorno a los esteros, estudiar la situación de los esteros en condición de crecida y, si es necesario, construir algún tipo de defensa fluvial y mantenimiento de los esteros de tal manera que asegure que no se produzcan desbordes.

**Ilustración 65 Zonas de Posible Expansión Urbana con Peligro de Inundación San Pedro**



Fuente:Elaboración propia.

### 1.2.7.8 Conclusiones y Recomendaciones

Se concluye que, ante los riesgos en torno a las riberas del río Aconcagua y los esteros San Pedro y San Isidro, el nuevo Plan Regulador Comunal debe establecer áreas de riesgo para prevenir que inundaciones afecten sectores donde se proyecten conjuntos habitacionales.

Tomando en cuenta el análisis a escala comunal como local, se considera que las áreas de inundación se reducen, considerando que a nivel comunal, la determinación de las zonas susceptibles a inundación fueron bastante conservadoras.

En lo particular, considerando las zonas de inundación de los cauces naturales de la comuna, se recomienda para los distintos sectores lo siguiente:

- Sector Quillota

La zona norte de la comuna, específicamente los sectores habitacionales emplazados entre la Av. 21 de Mayo y el río Aconcagua, podrían sufrir inundaciones para los períodos de retorno mayores a 25 años.

Por lo anterior, se recomienda la extensión de defensas fluviales desde las ya existentes, en la zona de las instalaciones de agua potable de ESVAL hasta la comuna de La Cruz, comprendiendo parte de esta última, dado que lo más probable es que si suceden desbordes e inundaciones en la comuna de La Cruz, estas aguas llegarán hasta la comuna de Quillota escurriendo por la calle 21 de Mayo, anegando el sector norte. Para lo anterior, se debe realizar un estudio hidráulico fluvial en detalle del río Aconcagua desde la comuna de La Cruz, para proyectar las obras que aseguren la zona norte de la comuna de Quillota y la zona sur de la comuna de La Cruz. Lo anterior se representa esquemáticamente en la siguiente ilustración.

Para realizar el proyecto de defensas fluviales, se recomienda la elaboración de un modelo hidráulico fluvial detallado que comprenda el río Aconcagua y sus planicies de inundación, desde la comuna de La Cruz hasta unos 3 km aguas abajo de la confluencia con el estero San Isidro, el cual pueda determinar las cotas de aguas en el caso de crecida, las zonas de inundación en mayor detalle y definir las obras de defensa a proyectar. Además, se recomienda tener un plan de mantención y limpieza de las planicies de inundación, dado que en algunos sectores se están utilizando como botaderos clandestinos.

**Ilustración 66 Defensas Fluviales Existentes y Extensiones Propuestas.**



Fuente:Elaboración propia.

Cabe destacar que, como se refleja en la ilustración anterior, en la actualidad se está desarrollando la construcción de la extensión de la defensa existente en la zona sur de Quillota, específicamente, una extensión de 540 m de longitud.

Respecto a la zonificación territorial delimitada por el presente estudio, se destaca la gran importancia que posee la definición de áreas verdes a lo largo de toda la ribera oriente del río Aconcagua, separando al cauce de la zona urbana de Quillota, y de tal manera, impidiendo el desarrollo de asentamientos humanos que limiten directamente con el río Aconcagua.

- Sector El Boco

Al igual que para el sector de Quillota, se recomienda la elaboración de un modelo hidráulico fluvial detallado que comprenda las áreas señaladas anteriormente, para así, poder verificar si es necesario proyectar obras que ayuden a mitigar y/o reducir los riesgos de inundación y proteger el terreno de socavaciones. En la siguiente ilustración, se observa un esquema de las defensas fluviales que podría requerir el sector de El Boco.

**Ilustración 67 Defensa Propuesta para Sector El Boco**



Fuente:Elaboración propia.

- Sector San Pedro

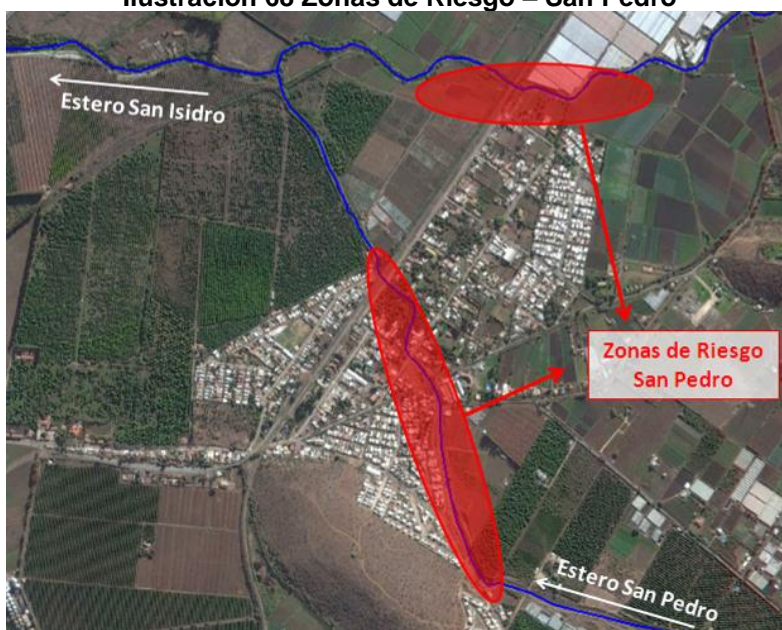
En este sector se identificaron dos esteros que podrían sufrir desbordes, estos son el estero San Isidro y San Pedro.

El estero San Isidro, el cual define el límite norte de la localidad de San Pedro, podría generar inundaciones en la zona de extensión urbana si no se realizan mejoras al cauce y obras que aseguren el escurrimiento controlado del estero en situación de crecida.

Por otra parte, el estero San Pedro, el cual cruza toda la zona urbana, posee antecedentes de desbordes en la zona céntrica de la localidad, produciendo anegamientos en gran parte de la zona norte.

Para evitar estos problemas en ambos cauces, se requiere realizar labores de limpieza, mantención, quitando principalmente los escombros y basura junto con la eliminación de la alta vegetación ribereña, lo cual interfiere al libre escurrimiento. Además, se recomienda realizar labores de aumento de sección en aquellas que históricamente revisten problemas, como lo es en la calle Santa Rosa. En la siguiente ilustración, se destacan los sectores de riesgo de la localidad de San Pedro, los cuales podrían requerir mejoramientos.

**Ilustración 68 Zonas de Riesgo – San Pedro**



Fuente:Elaboración propia.

Finalmente, al igual que para el río Aconcagua, se recomienda realizar un estudio hidráulico que permita, si es necesario, proyectar obras de defensa fluvial que eviten desbordes tanto en la zona urbana actual como la que se proyecta de expansión.

- Sector Industrial – Termoeléctricas

Si bien este sector no se encuentra incluido en el área de planificación del presente Plan, es importante considerar que este sector posee una gran complejidad, dado que corresponde al punto de confluencia del estero San Isidro con el río Aconcagua. Según la información recabada, en este sector se producen importantes inundaciones, las cuales pueden desencadenar un anegamiento de la ruta que CH-60 y las zonas aledañas.

Dado lo anterior y debido al desarrollo industrial que posee actualmente esta zona, se debe asegurar el buen estado de la ruta CH60 y sus puentes, para mantener la conectividad de la comuna en caso de emergencias.

Para asegurar la zona, proyectar obras que ayuden a proteger el camino y evitar riesgos de inundaciones, se recomienda elaborar un estudio hidráulico detallado que puedan definir obras de protección como defensas por la ribera oriente del río Aconcagua o una ampliación y mejoramiento de la sección del estero San Isidro.

## **1.2.8 Análisis de Interacción de Factores Condicionantes y Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad**

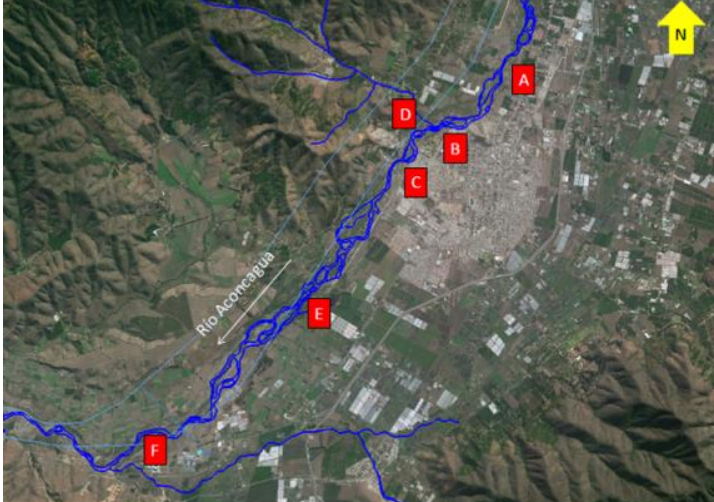
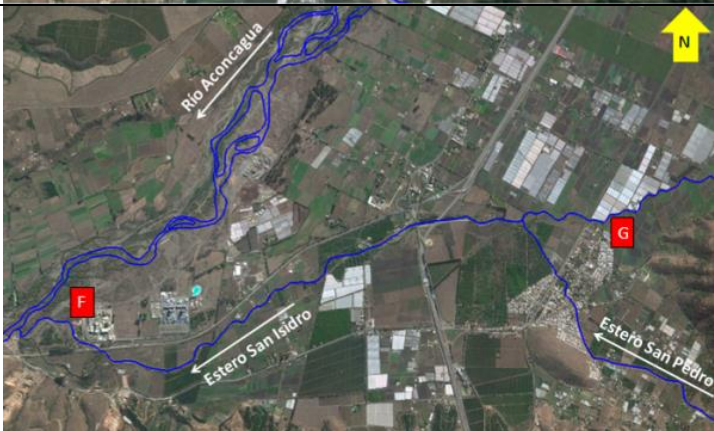
### **1.2.8.1 Riesgos naturales para el área comunal**


- Amenaza por inundación

Dados los resultados presentados, se concluye la identificación de dos áreas de susceptibilidad de inundación: ZONA MUY ALTA, correspondiente a la zona de crecida asociada a 25 años; y una ZONA ALTA, consecuente a las crecidas de 100 años. Lo anterior basada en la modelación hidrológica generada, y el catastro de eventos producidos en la comuna.

A continuación, se exponen los principales sectores afectados por inundaciones, para los momentos en que la comuna se ve afecta a episodios pluviométricos de consideración.

**Cuadro 22 Sectores con amenaza de inundación**

RIO / ESTERO	SECTORES	LOCALIZACIÓN
Río Aconcagua	<p>Sector norte, entre la ribera izquierda del río Aconcagua y la calle 21 de Mayo.</p> <p>Sector El Peumo, específicamente en los pies del cerro Mayaca, en la ribera izquierda del río Aconcagua.</p> <p>Sector Puente El Boco, específicamente en la zona aledaña al Puente Boco, en la ribera izquierda del río Aconcagua.</p> <p>Sector El Boco, específicamente las viviendas ubicadas entre el río y la calle Balmaceda, en el sector norte de la extensión urbana de El Boco.</p> <p>Sector aledaño a la Planta de Tratamiento de Aguas de Quillota.</p> <p>Sector industrial, lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica Nehuenco y San Isidro, zona de confluencia con el estero San Isidro.</p>	
Estero San Isidro	<p>El límite norte de la zona urbana de San Pedro, el cual se encuentra en la ribera izquierda del estero.</p> <p>Sector industrial (ya identificado para el río Aconcagua), lugar de emplazamiento de la Termoeléctrica Nehuenco y San Isidro, zona de confluencia con el río Aconcagua. Este último sector, no se encuentra al interior de las áreas afectas a planificación por el presente instrumento.</p>	

Estero San Pedro	El cruce del estero con la calle Santa Rosa.	 An aerial photograph of a rural area with a network of roads and fields. A blue line representing a watercourse, labeled 'Estero San Pedro', flows from the top right towards the bottom left. Another watercourse, 'Estero San Isidro', flows from the top left towards the bottom right. The two watercourses intersect in the center of the image. A red square with a white letter 'H' is placed at the intersection point. A yellow arrow with a black outline and the letter 'N' is located in the top right corner, pointing upwards. The surrounding area consists of green fields, brown soil, and some buildings.
------------------	--	---

Fuente: Elaboración propia.

Entre las conclusiones recogidas para este tipo de riesgo se presenta lo siguiente.

- La zona norte de la comuna, específicamente los sectores habitacionales emplazados entre la Av. 21 de Mayo y el río Aconcagua, podrían sufrir inundaciones para los períodos de retorno mayores a 25 años.
- Cabe destacar que en la actualidad se está desarrollando la construcción de la extensión de la defensa existente en la zona sur de Quillota, específicamente, una extensión de 540 m de longitud.
- Respecto a la zonificación territorial delimitada por el presente estudio, se destaca la gran importancia que posee la definición de áreas verdes a lo largo de toda la ribera oriente del río Aconcagua, separando al cauce de la zona urbana de Quillota, y de tal manera, impidiendo el desarrollo de asentamientos humanos que limiten directamente con el río Aconcagua.
- Al igual que para el sector de Quillota, en el sector El Boco, se recomienda la elaboración de un modelo hidráulico fluvial detallado que comprenda las áreas señaladas anteriormente, para así, poder verificar si es necesario proyectar obras que ayuden a mitigar y/o reducir los riesgos de inundación y proteger el terreno de socavaciones.
- En este sector de San Pedro se identificaron dos esteros que podrían sufrir desbordes, estos son el estero San Isidro y San Pedro.
- El estero San Isidro, el cual define el límite norte de la localidad de San Pedro, podría generar inundaciones en la zona de extensión urbana si no se realizan mejoras al cauce y obras que aseguren el escurrimiento controlado del estero en situación de crecida.
- Por otra parte, el estero San Pedro, el cual cruza toda la zona urbana, posee antecedentes de desbordes en la zona céntrica de la localidad, produciendo anegamientos en gran parte de la zona norte.
- El sector Industrial – Termoeléctricas, fuera del área de planificación, posee una gran complejidad, dado que corresponde al punto de confluencia del estero San Isidro con el río Aconcagua. Según la información recabada, en este sector se producen importantes inundaciones, las cuales pueden desencadenar en un anegamiento de la ruta que CH-60 y las zonas aledañas.

- Amenaza por remoción en masa

Los procesos remoción en masa evidenciados en este estudio se desarrollan en función de la interacción de un conjunto de variables físico-naturales, las cuales configuran un ambiente, como el semiárido en el cual se desarrolla el valle del Aconcagua, que se activa producto de las precipitaciones eventuales asociadas, en los casos más extremos, al fenómeno “El Niño” y a la actividad sísmica del área.

Es así como el escenario remocivo se limita al comportamiento de esta interrelación, generándose áreas con una respuesta similar asociada a diferentes niveles de susceptibilidad. Este nivel de riesgo remocivo se define en base a la dinámica y a la característica que presenta cada factor evaluado, evidenciándose para el caso del área de estudio, un comportamiento diferenciado a partir de los niveles de pendiente y características de los materiales, en base a las propiedades del terreno y al funcionamiento del dinamismo presentado por el sistema vertiente-fondo de valle, siendo el factor de mayor relevancia el relacionado a la agresividad pluvial y actividad sísmica, la cual se manifiesta en forma diferenciada en el área analizada.

De esta forma, pueden evidenciarse para la comuna de Quillota, un predominio de los tipos remocivos asociados a una alta susceptibilidad. Según estos datos un 50,85% de la superficie total comunal, se encuentra proclive a sufrir procesos erosivos de importancia al ocasionarse un evento precipitacional o sísmico, dado que se asocia un riesgo Alto de remoción en masa. Esta situación

puede explicarse en función de la influencia del factor precipitación y de la morfología existente en el área de estudio, representada, fuertemente, por una pronunciada pendiente. Misma situación ocurre con la clasificación Muy Alta, la cual alcanza un 4,87% del área. Estas dos clasificaciones, se presenta, fundamentalmente, en sistemas de vertientes formadas por rocas intrusivas y secuencias sedimentarias.

Los niveles medios de remoción en masa, alcanzan un 16,15% de la comuna, correspondiendo a los sectores de formas depositacionales, muchos utilizados con fines agrícolas. En cuanto a los sectores con baja susceptibilidad erosiva, se encuentra en áreas de fondo de valle con escasa pendiente (28,13% de la superficie total).

El funcionamiento e interacción del sistema ambiental, y la importancia de los procesos de modelamiento superficial, confirma los efectos que estos generan sobre las actividades humanas. De esta manera, se pone en relieve la alteración de las características, condiciones y equilibrios dinámicos del sistema físico, corroborando lo trascendental del análisis sistémico para el reconocimiento del medio, independientemente de lo complejo que este sea. Esta interacción genera que la actividad agrícola desarrollada en sectores de pendientes, asociados a formas depositacionales, se pueda ver afectado por procesos erosivos y de remoción en masa, perjudicando, incluso, a los cultivos existentes en los sectores de fondo de valle, ya que estas áreas reciben una importante cantidad del material removido desde las vertientes.

- Riesgo Antrópico

En las áreas urbanas este riesgo está representado por la presencia de obras de infraestructura, en especial aquellas de orden lineal, como tendidos eléctricos de alta tensión, el trazado ferroviario, canales, y el radio de protección del aeródromo el Boco, los cuales conforman elementos que se asocian franjas asociadas a Zonas no edificables de acuerdo con lo indicado en el Art. 2.1.17 de la OGUC.

### **1.2.8.2 Zonificación de riesgos**

La ciudad de Quillota y las localidades de San Pedro y El Boco, se encuentran expuestas a amenazas naturales asociadas principalmente a procesos hidrometeorológicos, ligados a la dinámica del río Aconcagua y los esteros San Pedro y San Isidro y a la potencialidad de eventos de remoción en masa. Lo anterior, dada la estructura geográfica que sustenta el territorio, siendo un valle fluvial, con relieves anexos (cordones transversales) elevadas pendientes y sistemas de quebradas.

Es así como se han zonificado estas amenazas, con el propósito de entregar herramientas técnicas para la instancia de planificación del futuro urbano de la comuna.

Bajo los criterios antes expuestos, se expone la zonificación de riesgos para la comuna de Quillota, principalmente respecto a aquellas amenazas naturales indicadas por la normativa vigente (Artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción).

1. Zonas inundables o potencialmente inundables
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.

Para las zonas inundables (1), se han identificado dos tipologías, de MUY ALTA y ALTA susceptibilidad a la ocurrencia de inundaciones, desbordes, en el río Aconcagua, el Estero San Isidro, y Estero San Pedro. Los que están directamente relacionados a los períodos de retorno calculados y a la evidencia registrada en terreno y por recopilación bibliográfica.

Así también, para aquellas zonas propensas a procesos remocivos (2), se ha delimitado bajo el concepto de MUY ALTA, ALTA potencialidad de ocurrencia de este tipo de fenómenos naturales. El desglose de las consideraciones de base para la tipología de remoción, consideraciones

técnicas y de juicio experto, para la homogenización final de zonas de riesgo para la planificación, se explica a continuación.

Con respecto al peligro por actividad volcánica o fallamiento, se indica que este tipo de riesgo no posee las características necesarias para ser zonificable, dada la escala urbana del Plan Regulador Comunal de Quillota. Independiente a lo mencionado, es importante recalcar que el área comunal, se encuentra expuesta a estos tipos de riesgos a nivel regional o de forma escalada.

En relación a las zonas no edificables, se han identificado las siguientes:

**Fajas no edificables en canales de regadío**

Fajas destinadas a senderos de inspección de los canales de riego o acueductos fijados en el Código de Aguas, DFL N°1.122, de 1981.

**Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos**

Las franjas de restricción se deberán a la normativa que sobre la materia establece el organismo competente, de conformidad con lo establecido en la Ley General de Servicios Eléctricos D.F.L N° 4 / 20.018, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, D.O. 05.02.2007, que Fija Texto Refundido, Coordinado y Sistematizado del D.F.L N°1, del Ministerio de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en Materia de Energía Eléctrica.

**Fajas no edificables infraestructura ferroviaria**

Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles, según lo previsto en la Ley General de Ferrocarriles, D.S. N° 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.

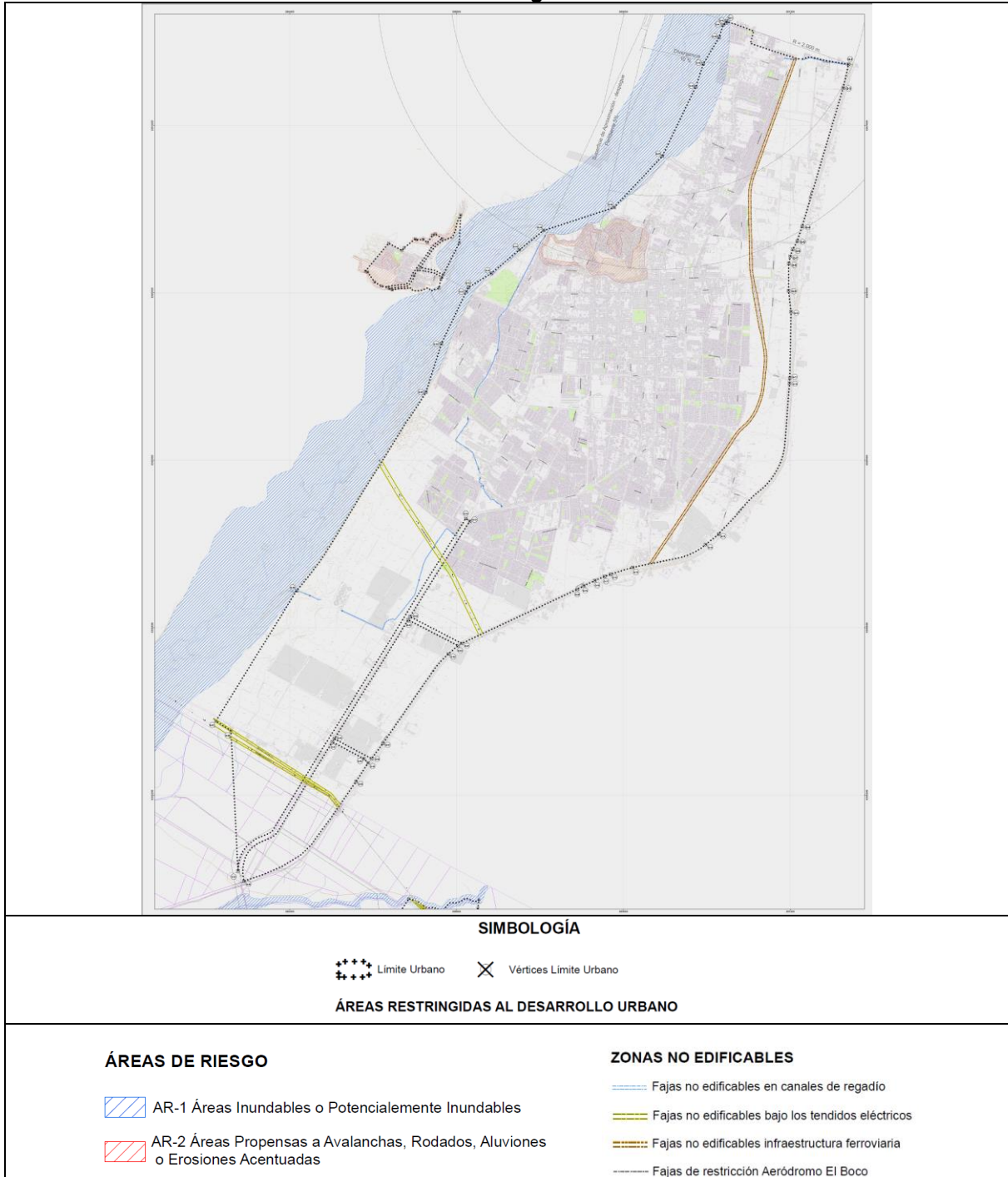
**Fajas de restricción Aeródromo El Boco**

Corresponden a territorios afectados por las superficies que deben mantenerse libre de obstáculos, según lo determine la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), en los terrenos aledaños a Aeropuertos o Aeródromos, así como la regulación de instalaciones de ayuda y protección a la navegación aérea, de acuerdo con lo establecido en el Código Aeronáutico, aprobado por Ley N° 18.916 de 1990, del Ministerio de Justicia, D.O. del 18/02/1990. En el territorio del Plan, se encuentra localizado el siguiente aeródromo:

Aeródromo El Boco: Ubicado en la comuna de Quillota. Resolución Exenta de funcionamiento N°0965 de fecha 11 de diciembre de 1980 y Resolución Exenta 0683 del 5 de octubre de 1982.

A continuación, se presentan de manera gráfica los resultados antes expuestos.

**Ilustración 69 Áreas de riesgos Ciudad de Quillota**



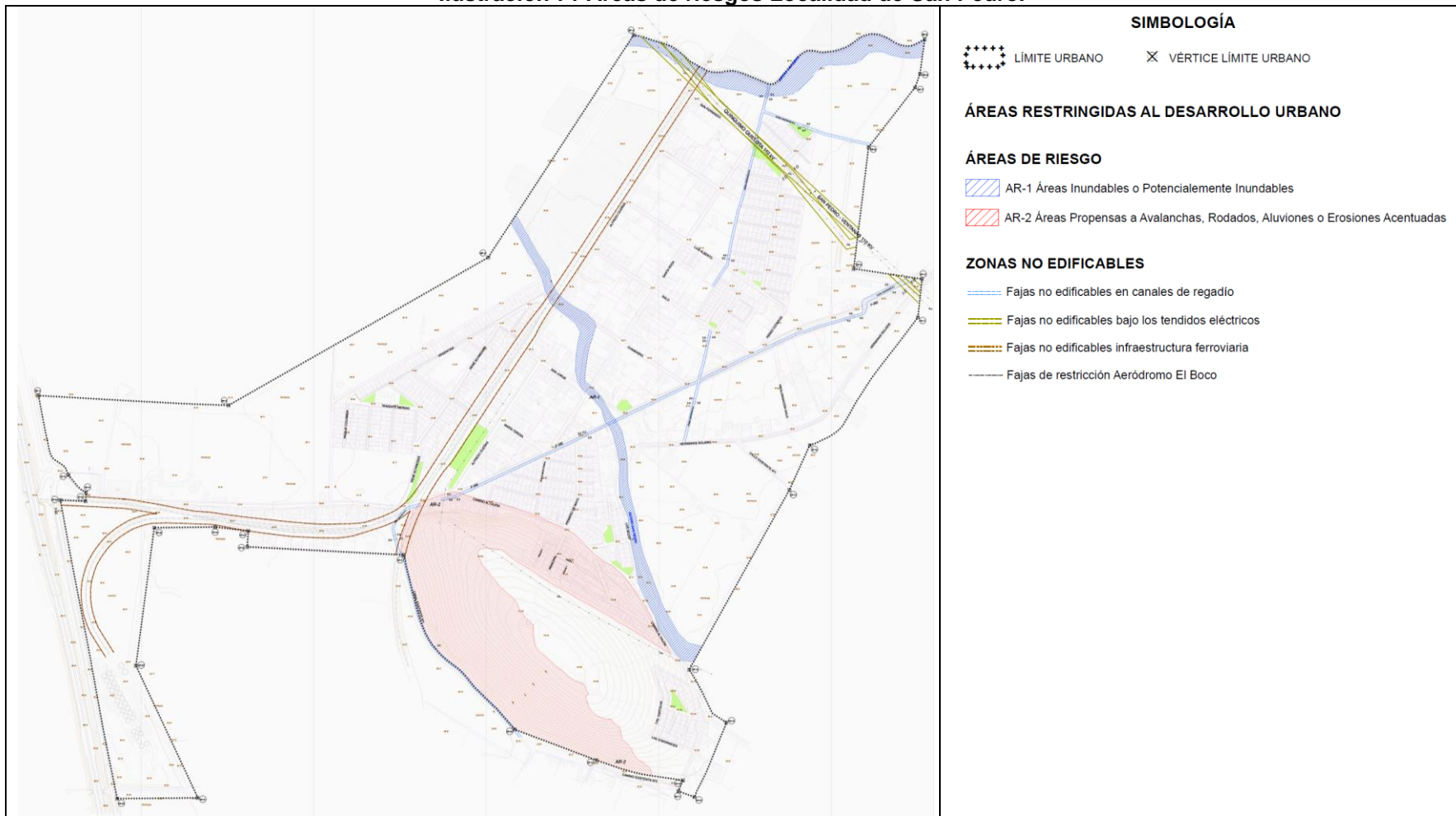
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 70 Áreas de riesgos Localidad de El Boco



Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 71 Áreas de riesgos Localidad de San Pedro.**



Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.9 Recomendaciones

A continuación, se exponen recomendaciones generadas a partir de los resultados expuestos en la zonificación de susceptibilidad a la ocurrencia de amenazas.

1. Aplicar las bases teóricas y prácticas de *Gestión de Riesgos de Desastres*, y capacitar a las autoridades locales en las fases del ciclo del riesgo, en especial a la gestión de carácter prospectiva (preventiva).
  - **GESTIÓN PROSPECTIVA. Evitar el Riesgo.** Comprensión como proceso de prever situaciones de riesgo que podrían generarse y toma de medidas para garantizar su no surgimiento. Visión de la Gestión prospectiva como componente integral de la planificación. Gestión preventiva.
  - **GESTIÓN CORRECTIVA.** Corregir o mitigar el Riesgo. Rol de la determinación y aplicación de medidas correctivos ante el reconocimiento de situaciones de riesgo.
  - **GESTIÓN REACTIVA.** Enfrentar el Desastre. Aquella que interviene sobre el riesgo no reducido o el riesgo aceptado. Mediante medidas que minimizan probables daños y pérdidas.
  - **GOBERNANZA DEL RIESGO.** Análisis y valoración del papel de la institucionalidad nacional y de los organismos de base de la sociedad en la gestión del riesgo con fines de preparación, respuesta y recuperación.
2. Asesoramiento técnico de forma regular, tanto en procesos de prevención, de mitigación y respuesta al riesgo.
  3. Mantener un catastro actualizado de eventos de amenazas acontecidos en la comuna, identificando sus principales características, para ser utilizadas como futuras bases de información en la planificación comunal.
  4. Fortalecer los sistemas de prevención y educación.
  5. Monitoreo del río Aconcagua, generando entre ellas la revisión completa de todas las defensas fluviales asociadas.

### 1.2.10 Recomendaciones Constructivas Áreas de Remoción Cerro Mayaca

Se presentan las especificaciones generales y particulares a considerar en la materialización de los procesos constructivos, las que estarán referidas al desarrollo de elementos de fundación para viviendas y/o estructuras de similares características, como también a la generación o intervención de taludes de corte ya existentes.

#### 1.2.10.1 Recomendaciones para la materialización de fundaciones y elementos estructurales.


A continuación, se presentan recomendaciones para fundaciones y elementos estructurales.

- Especificaciones sobre excavaciones

Los sellos de fundación de las excavaciones deberán ser recepcionados por personal especialista en mecánica de suelos. Además, si se considera técnicamente necesario, se podrá exigir la profundización local o total de los sellos de fundación.

Según las siguientes tablas “Perfil estratigráfico de diseño” y “Parámetros Geomecánicos”, se considera fundar en el horizonte H-02, el cual se hace manifiesto a partir de 0,30(m) en algunos sectores, debido a la existencia de material de relleno superficial, y en algunos sectores a partir del N.T.N actual, lo anterior debido a una distribución homogénea del manto de maicillo o roca

meteorizada. Por lo anterior, y según lo visto en la campaña de terreno, el horizonte H-02, se puede observar en toda la profundidad prospectada 2,00 (m) en las zonas próximas a los taludes, y en terrazas generadas a partir de cortes realizados.

Estratigrafía de Diseño				
Horizonte	Profundidad (Metros)	Símbolo Gráfico	Clasificación U.S.C.S.	Descripción
H - 01	0,00 – 0,30			Horizonte H - 01: El primer estrato denominado relleno no controlado de origen local, está compuesto por suelo de origen coluvial, conocido también como derrame de cerro. Dicho estrato, tiene presencia de materia orgánica y/o basura, ya que corresponde a aquellas remociones de suelo superficial, donde destaca la acción del hombre.
H - 02	0,30 – 2,00		SM	Horizonte H - 02: El segundo estrato, se observa entre los ±0,30 (m) hasta 2,00 (m). Corresponde a un material grueso, su distribución granulométrica es del orden de 90% de arena y 10 % de finos. La coloración en estado natural es parda, con escasa materia orgánica representada raicillas, en zona superficial del estrato, plasticidad baja a nula de la fracción fina. El contenido de humedad denota un estado húmedo, con compacidad media en estructura homogénea. El origen del suelo presente en el horizonte se establece como residual. Clasificación en sistema USCS, SM, arena limosa.
Parámetros Geomecánicos				
Horizonte	H-02			
Ángulo de Fricción Interna; $\Phi_p$ (°)	39,0			
Cohesión; c (kg/cm <sup>2</sup> )	0,30			
Peso Unitario Suelo Fundación; $\gamma_{12}$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1,85			
Peso Unitario Suelo Sobrecarga; $\gamma_{11}$ (kgf/dm <sup>3</sup> )	1,85			
Módulo de Deformación; Es (kg/cm <sup>2</sup> )	300			
Coefficiente Poisson; $\mu_s$	0,30			
Relación de vacíos	0,45			

Respecto a lo indicado en el párrafo anterior, las excavaciones estarán en función de la profundidad considerada como profundidad de desplante de las fundaciones a considerar, sin

embargo, se estima una profundidad promedio de 0,80(m) según lo sugerido por esta oficina de ingeniería.

*Nota: Es importante destacar que, se ha observado un incremento en la calidad del suelo a partir de 1,60 (m) en promedio, siendo los 2,00(m) un buen indicador de suelo con alta compacidad o roca residual granítica más competente que la expuesta en la superficie. No obstante, puede ocurrir la existencia de afloramientos de roca competente a profundidades menores.*

Las excavaciones se podrán realizar de forma mecanizada mediante maquinaria. Sin embargo, los últimos 20[cm] para alcanzar el sello de excavación se deberán realizar de forma manual o con dispositivos que no destruyan la estructura del suelo del fondo, a modo de no sobre-excavar las profundidades indicadas y no alterar las condiciones naturales del sello de fundación. De esta manera, se recomienda no excavar de forma mecanizada más allá de 0,60[m] medidos desde el nivel de terreno natural.

Se sugiere compactar el sello de las excavaciones, con vibroapisonadores y/o pisones manuales ya que eventualmente el sello de fundación obedece a un suelo de estructura susceptible a perder sus propiedades de compacidad al ser alterado (removido). Se dará por finalizado el proceso de compactación, si una vez aplicadas las pasadas mínimas, existe estabilización en los asentamientos verticales denotados. En caso contrario deberá continuarse con el proceso de compactación hasta lograr dicha estabilización. Se debe asegurar una compactación de por lo menos los 15 (cm) superficiales. El nivel de asentamiento esperado para el proceso de compactación queda definido por el esponjamiento que presente el material base en función de sus propiedades geomecánicas. En caso de no encontrar un nivel de estabilización para las deformaciones terminado el proceso de compactación, remover el material y reemplazar por relleno estructural controlado en los términos indicado más adelante.

Se deberán tener en cuenta todas las recomendaciones de la norma chilena NCh 349 Of.99, en referencia a la seguridad en las excavaciones.

- Especificaciones sobre sellos fundación.

Los alcances de este informe aplican para sistemas tradicionales de fundaciones de estructura. En este caso particular, se refiere a sistemas de fundaciones aisladas y/o corridas. En tal caso se debe considerar las siguientes especificaciones:

- Para el sistema de fundación, se considera el horizonte compuesto maicillo (SM), como horizonte de fundación, de acuerdo al punto "Caracterización macizo rocoso y propiedades índice". De igual forma, se deben excavar al menos los últimos veinte centímetros, 20 (cm), de forma manual, a modo de generar una superficie de apoyo horizontal, posteriormente se debe retirar, el material granular de sobre tamaño, material suelto o contaminado con basura y/o escombros que se presenten. En caso de hallar suelos de menor calidad a los informados en este estudio (Maicillo), se deberá seguir profundizando hasta generar una superficie de apoyo que se desarrolle en la roca residual mencionada.
- Por ningún motivo las estructuras quedaran apoyadas sobre material de relleno no controlado, sobre material de relleno ordinario o toda clase de material inadecuado. Dichos materiales serán extraídos previamente.

Como acondicionamiento superficial del nivel de sello de excavación se indica perfilar y nivelar el sector de incidencia directa de los sistemas de apoyo, logrando un contacto suelo – estructura uniformemente repartido, evitando al máximo la conformación de sobre relieves que induzcan fallas locales por concentración puntual de tensiones. Para lo anterior, cobra gran importancia la verificación en terreno al momento de obtener los niveles de excavación detallados la existencia de un solo material que conforme el plano de contacto entre suelo y estructura.

- Especificaciones granulométricas rellenos estructurales

En el caso del suelo de cimentación para radieres, presencia de material inadecuado u otra singularidad que implique la conformación de una plataforma de nivelación menor, se recomienda incorporar un relleno mejorado y controlado, según las especificaciones de este numeral, en

espesor definido según la naturaleza del mismo, a modo de uniformar el nivel de contacto y capacidad de transferencia de solicitaciones entre la estructura y el sello de fundación.

Se recomienda realizar tal relleno con material granular, con no más de un 20% bajo malla N° 200, con Índice de Plasticidad, IP, menor o igual a 6,0 (%) y sin restos vegetales orgánicos.

El suelo a emplear como relleno controlado, debe cumplir con los requisitos granulométricos indicados a continuación, sin incluir restos orgánicos.

**Tabla 12 Requisitos de los materiales para rellenos estructurales.**  
REQUISITOS GRANULOMETRICOS RELLENO ESTRUCTURAL

Tamices		Relleno Estructural
[mm]	ASTM	
80	3"	100
5	N° 4	35 - 100
0,08	N° 200	0 - 20

Además de los requisitos anteriores, el material deberá cumplir con un equivalente de arena de mínimo 20%, determinado según método descrito en 8.202.9 del MC-V8.

Cada capa debe ser compactada hasta obtener una Densidad Compactada Seca superior o igual al 95 % de la Densidad Máxima Compactada Seca (D.M.C.S.), o una Densidad Relativa,  $D_r$ , no menor al 80 %.

*Nota: Con el propósito de evaluar los % de compactación en los rellenos estructurales se sugiere solicitar al proveedor, certificados asociados a los materiales (base estabilizada). En dichos documentos, se pueden obtener los resultados de laboratorio, a modo de hacer las verificaciones pertinentes en terreno, respecto a los % de compactación.*

El proceso de compactación deberá ser controlado por un laboratorio de Mecánica de Suelos reconocido oficialmente, el cual deberá certificar todas las capas que conforman el relleno. Se recomienda efectuar controles de densidad cada 100[m2].

Las propiedades índice del relleno se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 13 Parámetros geomecánicos característicos de rellenos estructurales**  
PARÁMETROS DE DISEÑO

Ángulo de Fricción Máximo; $\Phi_p$	38,0 [°]
Cohesión; c	0,0 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
Peso Unitario; $\gamma_t$	2,100 [kgf/m <sup>3</sup> ]
Módulo de Deformación; $E_s$	800 [kgf/cm <sup>2</sup> ]
Coefficiente Poisson; $\mu_s$	0,30

Tal como se ha señalado, es poco probable utilizar los rellenos mencionados para efectos de radieres, no obstante, dicho material es el adecuado para la conformación de rellenos controlados tras los muros de contención (en el caso de considerar).

- **Recomendación para escarpes**

En el caso de desarrollar radieres en el terreno objeto de estudio, se recomienda generar escarpe del terreno natural, del orden de 20(cm), lo que obedece a remover el suelo suelto o contaminado con materia orgánica producto de los rodados superficiales. No obstante, en la situación de observar materia orgánica como raíces y/o raicillas, se recomienda profundizar los escarpes hasta eliminar el material inadecuado.

- **Recomendaciones de excavación para sistemas de contención**

En relación a que las excavaciones para los muros de contención y de sostenimiento proyectados no se estiman en profundidades mayores a 6,0 metros, se considera que éstas corresponden a las denominadas "excavaciones poco profundas". De acuerdo con lo anterior, solo se estima necesario la utilización de sistemas de apuntalamiento con elementos de madera, no siendo necesario la ejecución de piezas metálicas.

Considerando lo anteriormente expuesto, se indican las dimensiones mínimas de los elementos a servir como sostenimiento durante la etapa constructiva, de acuerdo a la siguiente tabla.

**Tabla 14 Dimensiones y espaciamientos de elementos de contención**

Profundidad de excavación (m)	Vertical		Larguero horizontal		Espaciamiento máximo puntales	
	Dimensiones mínimas (cm)	Espaciamiento máximo (m)	Dimensiones mínimas (cm)	Espaciamiento máximo (m)	Vertical (m)	Horizontal (m)
1,5 a 3,0	5 x 15	Tablestacado	10 x 10	1,0	1,0	1,0
3,0 a 4,5	7,5 x 10	Tablestacado	10 x 15	1,0	1,5	2,5

De acuerdo a las características de los suelos a sostener, se considera la utilización de un sistema tablestacado, a modo de evitar posibles desprendimientos del material existente. Por otra parte, se recomienda que los puntales sean de sección mínima de 4 x 4", y que su inclinación no forme un ángulo superior a 40° con la horizontal. Cabe señalar que el primer puntal debe ser instalado a 0,50 metros bajo el borde superior de la excavación.

Por otra parte, se recomienda que la profundidad de la tablestaca, bajo el nivel que se requiere excavar, sea de al menos 1,50 H, siendo H la altura libre necesaria de excavación.

Con la finalidad de realizar el sistema de entibación de forma correcta y segura para el personal, se recomiendan una serie de etapas enumeradas de acuerdo a lo siguiente:

1. Realizar la excavación mediante maquinaria hasta la profundidad requerida, ejecutando tal maniobra desde la parte inferior del talud en excavación con el fin de evitar deslizamientos del suelo de apoyo de la máquina misma. Se debe procurar realizar el retiro de la mayor cantidad de terreno suelto desprendido producto de la excavación. El depósito del terreno excavado debe ser colocado a una distancia superior a la mitad de la profundidad de excavación.
2. Alcanzada una profundidad, se procede a la colocación de los paneles conformados por tablestacas y largueros. Se recomienda que la construcción de dicha pieza se ingrese armada a la excavación, procurando especial cuidado en la unión de los elementos verticales, para los cuales es posible la utilización de placas metálicas dentadas si la altura de excavación indicada es mayor a la longitud del elemento.
3. Una vez instalada la pieza indicada en el punto 2, ejecutar la instalación de los puntales en espaciamientos indicados en la Tabla "Dimensiones y espaciamientos de elementos de contención", indicada previamente. Se

recomienda cortar estos elementos luego de la colocación del tablestacado y la medición correspondiente a la longitud libre efectiva que requerirá el puntal. La longitud final de este elemento puede ser cortada con una holgura de +2,0 centímetros en relación a que su colocación quede lo más ajustada posible entre los largueros.

4. Por último, se recomienda que el proceso constructivo se realice por etapas de longitudes no mayores a 2,50 metros, correspondiendo esta medida a los procesos de excavación y entibación, en la dirección del eje a sostener.

### 1.2.10.2 Recomendaciones para el tratamiento de taludes

Tal como se ha indicado en el cuerpo de este documento, la acción antrópica (acciones realizadas por el hombre), han generado los mayores factores de riesgo asociados a excavaciones en ladera, generando así taludes de corte con escasos a nulos criterios de evaluación técnica. Por lo anterior, se dan a conocer en este punto, algunas consideraciones mínimas a la hora de generar taludes, o en su defecto mitigar los problemas observados.

- Pendiente de Talud

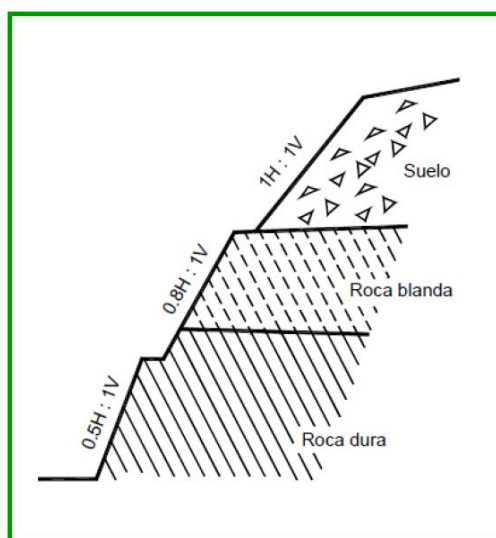
Para el diseño de la pendiente del talud se debe analizar en detalle las condiciones de litología, estructura y meteorización de los materiales constitutivos del talud. El suelo y la roca son materiales complicados como heterogéneos y tienden a deteriorarse con el tiempo. Los suelos residuales por la presencia de discontinuidades estructurales son especialmente difíciles de manejar (caso en estudio). Para decidir el valor de la pendiente y la forma del talud se debe realizar un juicio en conjunto, analizando la influencia de todos los factores.

De acuerdo a la caracterización geomecánica realizada, se ha estimado un factor de seguridad de 1,40, en condición estática, lo que implica que, ante eventos sísmicos, se pueda modificar dicho factor a el nivel crítico, es decir 1,0. Lo mencionado, depende exclusivamente de la pendiente del talud, la que para este caso no deberá superar los 60° respecto a la horizontal.

Por otra parte, se puede desarrollar la excavación con pendiente combinadas de manera convenientemente en función de la calidad del suelo presente, tal como se indica en la siguiente imagen, donde se muestra a modo explicativo la relación de pendientes H:V.

Se debe construir bermas intermedias en los sitios de cambio de pendiente y en los sitios donde se requiera para garantizar un factor de seguridad adecuado contra deslizamiento. La localización y ancho de las bermas depende del propósito de las mismas. Uno de los propósitos principales de las bermas, es poder desarrollar fosos para evacuar las aguas de escorrentía, donde los mismos deben tener pendientes longitudinales del orden del 3%, a modo de evacuar de manera rápida las aguas.

**Ilustración 72 Ejemplo Conformación de Talud, mediante pendientes combinadas.**



- Planos de falla o estructuras

Por ningún motivo los taludes deberán tener pendientes mayores a los planos de buzamiento hallados en la roca, solo a excepción que dichos planos de falla se encuentren cementados. Entre menos espaciados se encuentren las discontinuidades, menores deberán ser las pendientes de taludes, ya que es inminente la ocurrencia de desprendimientos de roca, tanto en forma de planchones o fragmentos de menos tamaño.

- Presencia de estructuras heredadas

Los mantos de roca y los suelos residuales poseen una gran cantidad de fracturas o superficies de debilidad, en este caso las pendientes de los taludes deben ser determinadas por la localización y buzamiento de las fracturas. En ocasiones cuando aparecen estratos muy blandos se puede requerir tender el talud por el plano de estratificación.

### **1.2.10.3 Manejo de las aguas de escorrentía**

Para el diseño de obras de control de escorrentía debe tenerse en cuenta las características de las lluvias, las áreas aferentes, la topografía y las características de la geología, infiltración y erosionabilidad de los suelos. Es importante que las obras de manejo de aguas de escorrentía sean diseñadas con secciones y pendientes suficientes que impidan la concentración de aguas que pudieren inducir la formación de cárcavas de erosión.

- Drenaje superficial

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud, reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro lejos del talud. El agua de escorrentía debe en lo posible, desviarse antes de que penetre el área cercana a la corona del talud. Esto puede lograrse con la construcción de zanjas interceptoras en la parte alta del talud o canales de desviación. No se recomienda en problemas de taludes la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, generando problemas de infiltración masiva concentrada.

Una manera eficiente de interceptar las aguas de escorrentía, es el desarrollo de canales a modo de fosos y contrafosos, dichos elementos se proyectan en las coronas de taludes, o sitios intermedios (bermas). Los canales de evacuación de aguas deben ser revestidos de manera tal que, no se presente erosión en el mismo, ya que puede provocar una acción acelerada de erosión.

### **1.2.10.4 Protección de la superficie de un talud**

Para la protección de la superficie del talud se emplea generalmente la vegetación, pero en algunos casos se requiere la construcción de otro tipo de recubrimientos, especialmente cuando no es posible garantizar el establecimiento y mantenimiento de la cobertura vegetal.

El establecimiento eficiente de vegetación requiere de una serie de condiciones ambientales que permitan su germinación y crecimiento. Los principales problemas que dificultan la formación de una buena cobertura vegetal son los siguientes:

- Acidez del suelo

Los suelos ácidos con pH menor de 5 dificultan el establecimiento de plantas. En estos casos se requiere implementar tratamientos químicos para mejorar la acidez, especialmente utilizando productos calcáreos.

- Falta de humedad

En los climas áridos y semiáridos la humedad del suelo no es suficiente para que la vegetación pueda permanecer por largos períodos de tiempo y se requiere de riego permanente.

- Pendientes excesivas en grandes alturas

Los taludes de muy alta pendiente y de gran altura no permiten el mantenimiento de la humedad y dificultan el establecimiento de la cobertura vegetal. Adicionalmente la pendiente alta produce inestabilidad del suelo subsuperficial y la vegetación fácilmente se desprende de la superficie inclinada.

- Falta de nutrientes

En estos casos se requiere la colocación de nutrientes que faciliten un buen establecimiento de las plantas, estos nutrientes requieren de un reabastecimiento o mantenimiento a lo largo del tiempo.

- Presencia de sal

En los taludes cerca al mar las plantas pueden morir por la presencia de sal. En los casos en los cuales es muy difícil o no es posible el establecimiento de vegetación, se debe acudir a otro tipo de protección de la superficie.

Es importante señalar que, independiente de la presencia de vegetación, se deben tomar los resguardos asociados a obras de evacuación de aguas superficiales.

### 1.2.11 Anexo de Registro fotográfico

**Ilustración 73 Talud de Corte Visible Erosión Hidráulica.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 74 Talud de corte erosionado por la acción del agua, se observan sedimentos en pie de talud.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 75 Intrusión magmática en formación granítica (observación puntual).**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 76 Taludes de corte erosionados por el agua de escorrentía.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 77 Vista panorámica cara oriente de Cerro Mayaca, se observa cobertura vegetal en ladera.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 78 Talud de corte generado por acción antrópica, patio Capilla.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 79 Ejecución calicata C-01.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 80 Reconocimiento de horizontes, calicata C-01.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 81 Material excedente y ejecución de calicata C-02.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 82 Ejecución calicata C-03.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 83 Reconocimiento de horizontes, calicata C-03.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 84 Ejecución calicata C-04.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 85 Ejecución calicata C-05.**



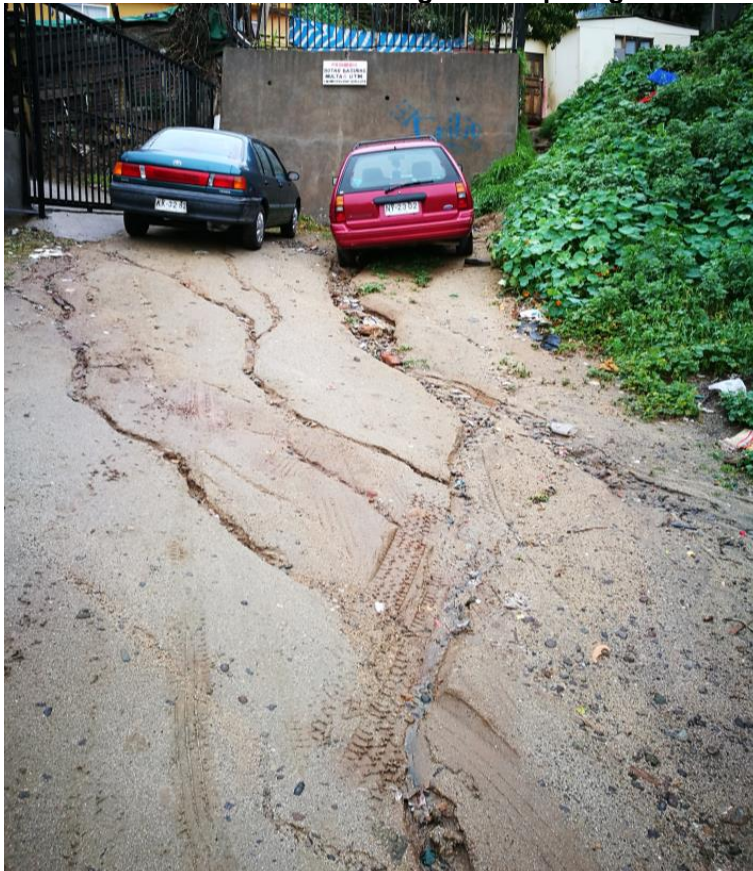
Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 86 Vivienda sometida a constante empuje de terreno.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 87 Erosión hidráulica generada por aguas lluvias.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 88 Muro de contención con evidente deformación horizontal.**



Fuente: Elaboración Propia.

**Ilustración 89 Terraza expuesta a peligro inminente de derrumbe.**



Fuente: Elaboración Propia.