



MUNICIPALIDADTEMUCO



TERRITORIOMAYOR

ESTUDIO ACTUALIZACIÓN DIAGNÓSTICO TERRITORIAL PARA MODIFICACIÓN AL PLAN REGULADOR

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS NATURALES



I	INTRODUCCIÓN	4
II	CONCEPTUALIZACIÓN	5
III	METODOLOGÍA	12
IV	ANTECEDENTES GENERALES	15
	4.1 Geología	15
	4.1.1 Depósitos Sedimentarios No Consolidados	15
	4.1.2 Depósitos Volcanoclásticos y Sedimentarios Moderadamente Consolidados	18
	4.1.3 FLUVIALES DEL CAUTÍN PPlc (Plioceno-Pleistoceno) (Unidad informal)	20
	4.2 Geología Estructural	23
	4.3 Recursos de Aguas Subterráneas	24
	4.3.1 Acuíferos	25
	4.3.1.1 Acuífero o Secuencia de Acuíferos de Alta Importancia en Depósitos No Consolidados	25
	4.3.1.2 Acuífero o Secuencia de Acuíferos de Media a Baja Importancia en Depósitos no Consolidados o Semiconsolidados	27
	4.3.1.3 Acuíferos de Media a Baja Importancia en Roca Fisurada	28
	4.4 Peligros Geológicos y Problemas para Obras Civiles	30
V	CARACTERIZACIÓN LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
	5.1 Tipologías de Suelo	36
	5.2 Geomorfología	39
VI	RIESGOS NATURALES PERCIBIDOS POR LA COMUNIDAD	50
VII	PROCESOS DE PELIGROSIDAD NATURAL DE INTERÉS	55
	7.1 Procesos de Remoción en Masa	55
	7.2 Procesos de Anegamiento Estacional	62
	7.3 Procesos de Anegamiento Permanente	67
	7.4 Procesos de Inundación	75
	a) Canal Gibbs y sus afluentes	
	b) Estero Temuco y sus afluentes	
	c) Canal Gabriela Mistral y sus afluentes	
	d) Sistema Botrolhue	
	Historia de Inundaciones	
	a) Inundaciones producidas por el río Cautín	
	b) Inundaciones producidas por el Canal Gibbs	
	c) Inundaciones producidas por el Canal Gabriela Mistral	
	d) Inundaciones producidas por el Canal de la Luz	
	e) Inundaciones Estero Botrolhue	



VIII	INTERVENCIONES ACTUALES	82
	8.1 Defensas Fluviales Rio Cautín	82
	8.1.1 Descripción de Intervenciones Fluviales	82
	8.2 Mejoramiento de Cauces	86
IX	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	87
	9.1 Procesos de Remoción en Masa	87
	9.2 Proceso de Anegamiento Estacional	89
	9.3 Procesos de Inundación	92
X	DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO	95
XI	CONCLUSIONES	111
XII	BIBLIOGRAFÍA	112



I. INTRODUCCIÓN

El proceso metodológico que se desarrolló, consideró como pilar básico del estudio la Interpretación Ambiental de los Ecosistemas Naturales dado que estos sustentan el desarrollo de las actividades que sobre este se desenvuelven. De esta manera, se buscó generar las bases para avanzar hacia una “ciudad sostenible”, integrando el desarrollo urbano, ambientalmente equilibrado y económicamente eficiente.

La Dimensión Ambiental, consideró el análisis y comprensión de los riesgos naturales que afectan o puede generar la ciudad. Para ello, fue necesario en primer lugar, identificar el conjunto de características que hacen más peligroso a un fenómeno potencialmente dañino, un Peligro; así, pueden ser el calado y la velocidad en una inundación, etc. La Peligrosidad se compone de dos aspectos, la Severidad o Intensidad y la Probabilidad, ambas relacionadas (cuanto más intenso o severo es un peligro, afortunadamente, es tanto menos frecuente).

Para comprender las variables que condicionan la peligrosidad de un evento, fue necesario revisar la información bibliográfica y documental existente, al igual que considerar la percepción de los vecinos ante la generación de determinados eventos de peligrosidad, luego, se contrastaron y se definieron los procesos a de mayor relevancia y las áreas a estudiar en detalle.

Es relevante señalar, que fue un pilar fundamental para la comprensión del medio la interpretación de las curvas de nivel, dado que estas proporcionaron un acercamiento preciso para conocer y comprender la geomorfología del área en estudio, con la modelación del relieve y el aporte de definición de procesos detectados por la comunidad.

En el presente estudio, analizó los procesos de peligrosidad natural y propuso una nueva zonificación en esta materia para los procesos de remoción en masa e inundación, lo anterior, considerando las nuevas definiciones consideradas en el Artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.



II. CONCEPTUALIZACIÓN

Para comprender de mejor manera el estudio y los procesos a alcanzar fue necesario homologar algunos conceptos, los que correspondieron a:

- **Riesgo.** Los Factores del Riesgo son tres: la Peligrosidad, la Exposición y la Vulnerabilidad (Ayala-Carcedo, F.J., 1990).
 - a) La Peligrosidad, hace referencia al conjunto de características que hacen más peligroso a un fenómeno potencialmente dañino, un Peligro; así, pueden ser el calado y la velocidad en una inundación, el caudal de gas y la dirección de los vientos dominantes en un escape químico etc. La Peligrosidad se compone de dos aspectos, la Severidad o Intensidad y la Probabilidad, ambas relacionadas (cuanto más intenso o severo es un peligro, afortunadamente, es tanto menos frecuente).
 - b) La Exposición es el conjunto de personas y bienes potencialmente expuestos a la acción de un Peligro.
 - c) La Vulnerabilidad, es el tanto por uno de pérdida que puede producir un Peligro de una determinada Severidad o Intensidad.

Sin que se den los tres, no existe Riesgo, es decir, una pérdida esperada. Un terremoto en un desierto donde no hay Exposición, personas o bienes, no supone Riesgo.

- **Restricción.** Condición que disminuye la posibilidad de un uso determinado, pero que no lo impide. Está dada por factores como geomorfología, geología, pendiente, exposición, clima, entre otros.
- **Procesos de Inundación.** Las inundaciones son un evento natural y recurrente para un río. Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al., 1984). Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

Se pueden considerar las llanuras de inundación desde varias perspectivas diferentes: "La definición de llanuras de inundación depende algo de las metas que se tenga en mente. Como categoría topográfica es plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundaciones" (Schmudde, 1968). Más sencillamente, una llanura de



inundación se define como "una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas" (Leopold et al., 1964).

Las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una "inundación de 100 años*" o "una llanura de inundación de 100 años" se refiere a un evento o una área expuesta a un 1 % de probabilidad que ocurra una inundación de un determinado volumen en cualquier año dado. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si es que ocurre o no en un determinado año no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1 % de que ocurra algo similar al año siguiente. Dado que las llanuras de inundación pueden ser cartografiadas, los linderos de una inundación de 100 años se utilizan comúnmente en programas de mitigación de llanuras de inundación, para identificar las áreas donde el riesgo es significativo.

La frecuencia de inundaciones depende del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del canal. Cuando ocurre copiosa precipitación en una determinada estación cada año, o la inundación anual es resultado del deshielo, las llanuras de inundación pueden ser inundadas casi todos los años, aún a lo largo de grandes ríos con muy poca pendiente de canal. En las regiones que no sufren extensos períodos con temperaturas bajo cero, las inundaciones generalmente ocurren en la época de mayor precipitación. Cuando el mayor número de inundaciones son resultado del deshielo, frecuentemente acompañado por precipitación, la época de inundaciones es la primavera o el inicio del verano.

Las llanuras de inundación no son estáticas ni estables. Están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones, o pueden ser el lugar donde se depositen nuevos estratos de lodo, arena y limo. En tal virtud, el río puede cambiar de curso e ir de un lado de la llanura de inundación al otro. La Figura adjunta se muestra este comportamiento dinámico donde el cauce de un río puede cambiar de posición en la amplia llanura de inundación y ésta, a su vez, es modificada periódicamente por las inundaciones, a medida que el canal se desplaza de un lugar a otro.

Corte transversal generalizado, de una hipotética llanura de inundación fluvial, mostrando como el desarrollo en la llanura de inundación aumenta la altura de la inundación:

- A- antes del desarrollo
- B- aumento en altura de inundación
- C- después del desarrollo
- D- relleno

Las construcciones, rellenos de tierra y otras intrusiones en la llanura de inundación ocupan espacio que se necesita para el paso de los flujos de la inundación. Esto puede resultar en dañar las actividades de desarrollo así como en una inundación más extensa, río arriba y junto al desarrollo.

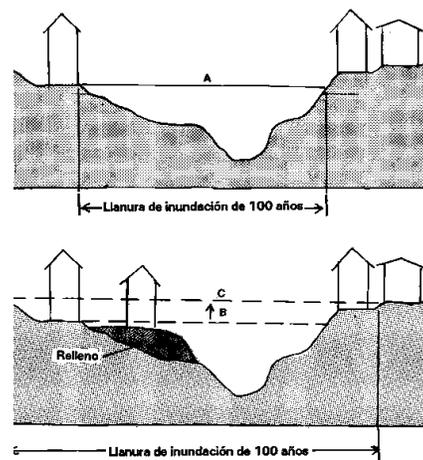


Figura N°1. Llanura de inundación urbanizada.



- Procesos de Anegamiento.** Se define como el proceso de acumulación de un volumen de agua - lluvia sobre la superficie del suelo. Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria) y las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la capacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas). Dependiendo si el fenómeno se manifiesta durante todo el año o temporalmente en épocas invernales se le clasifica como estacional o permanente, siendo estos últimos los más difíciles de mitigar.

Materiales como Limo, arena, arcilla, grava o material suelto depositado por corrientes de agua lluvias son comunes en los procesos aluviales. El aluvión aparece normalmente en cualquier punto en el que la velocidad de las aguas torrenciales se reduce, así como la capacidad de transporte de la corriente hasta que el traslado de sedimentos ya no es posible, siendo en estos últimos más recurrente la manifestación de procesos de anegamiento.

De esta manera unidades como las llanuras aluviales y fluviales asociadas no son estáticas ni estables. Están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones y son más propensa a verse afectadas por procesos de anegamiento y/o crecidas de agua, o pueden ser el lugar donde se depositen nuevos estratos de lodo, arena y limo, facilitando con ello la ocurrencia de procesos de anegamiento.

Las construcciones, rellenos de tierra y otras intrusiones en la llanura fluvial y/o aluvial ocupan espacio que se necesita para el paso de los flujos y regulación de las crecidas. Esto puede resultar en dañar las actividades de desarrollo así como en una inundación más extensa, río arriba y junto al desarrollo.

Lo anterior, se grafica en la siguiente imagen:

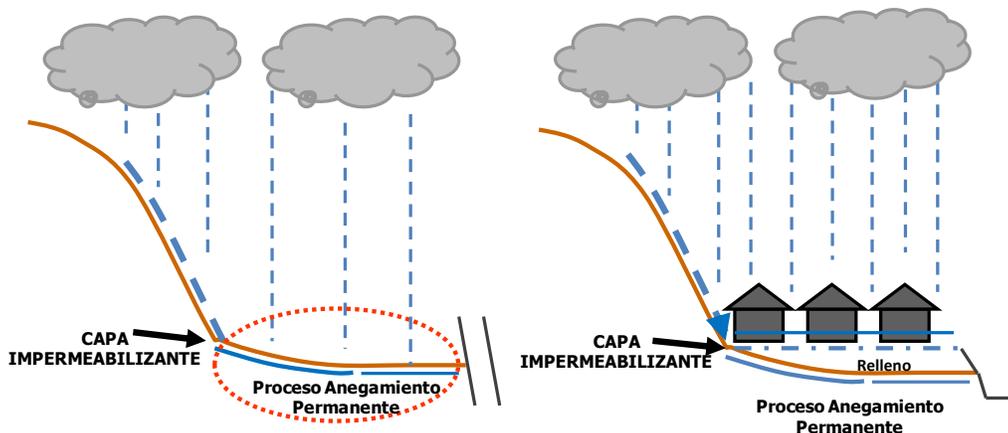


Figura N°2. Esquema de proceso de anegamiento y su interacción ante intervenciones artificiales.

Entre relieves de erosión, dependiendo de la cobertura, forma de la ladera, intensidad de las precipitaciones, tipo de roca, suelo, etc. se puede producir la acumulación de material

erosionado, generando zonas de acumulación susceptibles a generar procesos de anegamiento permanente. Llanuras Aluviales.

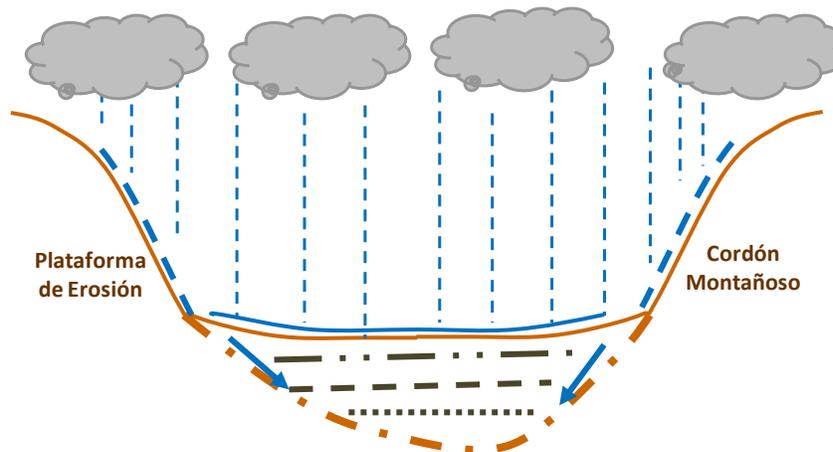


Figura N°3. Esquema de proceso de formación de una llanura aluvial.

- **Procesos de Remoción en Masa.** Las laderas adoptan pendientes naturales cercanas al equilibrio; ante el cambio de condiciones, su morfología se modifica buscando de nuevo el equilibrio. En este contexto, los movimientos de ladera pueden entenderse como los reajustes del terreno para conseguir el equilibrio ante un cambio de condiciones.

Las inestabilidades en las laderas se deben al desequilibrio entre las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, de tal forma que las fuerzas desestabilizadoras superan a las fuerzas estabilizadoras o resistentes. Este desequilibrio puede ser debido a una modificación de las fuerzas existentes o a la aplicación de nuevas fuerzas externas estáticas o dinámicas.

La clasificación de los movimientos de ladera suelen referirse a los tipos de materiales involucrados, distinguiendo generalmente entre materiales rocosos, derrubios y suelos, y al mecanismo y tipo de la rotura, considerando también otros aspectos, como el contenido de agua del terreno, la velocidad y magnitud del movimiento.

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno.

- Factores Condicionantes. Dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, estos factores corresponden a:
 - Estratigrafía y litología.
 - Estructura geológica.
 - Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales.
 - Propiedades físicas, resistentes y deformacionales.
 - tensiones naturales y estado tenso – deformacional.

- Factores Desencadenantes. Dependen de factores externos que provocan o desencadenan las inestabilidades y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los movimientos, estos corresponden a:
 - Sobrecargas estáticas.
 - Cargas dinámicas.
 - Cambios en las condiciones hidrogeológicas.
 - Factores climáticos.
 - Variaciones en la geometría.
 - Reducción de parámetros resistentes.

Los procesos más comunes de identificar, corresponden a:

- **Deslizamientos.** Son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura al superarse la resistencia al corte de estas superficies, la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido.

En ocasiones, cuando el material deslizado no alcanza el equilibrio al pie de la ladera, la masa puede seguir en movimiento a lo largo de cientos de metros y alcanzar velocidades muy elevadas, dando lugar a un flujo; los deslizamientos también pueden ocasionar avalanchas rocosas.

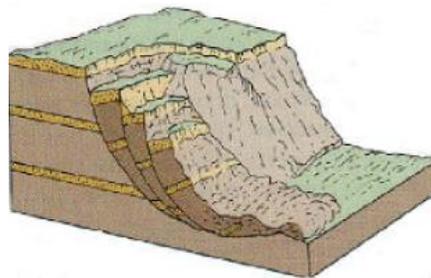


Figura N°4. Esquema de proceso de deslizamiento.

- **Derrumbes.** Son caídas libres muy rápidas de bloques o masas rocosas independizadas por planos de discontinuidad preexistentes (tectónicos, superficies de estratificación, grietas, etc.).

Los factores que lo provocan son la erosión y pérdida de apoyo o descalce de los bloques previamente independizados o sueltos, el agua en las discontinuidades y grietas, las sacudidas sísmicas, etc.

Corresponden a procesos repentinos.



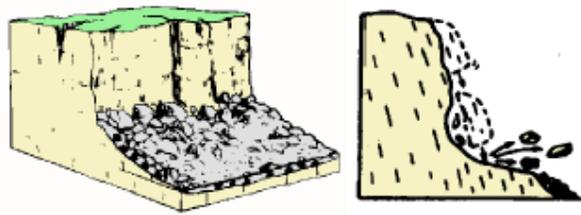


Figura N°5. Esquema de proceso de derrumbe.

- **Flujos.** Los flujos son movimientos de masas, más o menos rápidos, característicos de materiales sin cohesión. Principalmente tienen lugar en suelos muy susceptibles que sufren una considerable pérdida de resistencia con el movimiento.

Los materiales involucrados actúan, temporalmente, como un fluido, sufriendo una deformación continua y sin presentar superficies de rotura definidas. El agua juega un papel primordial en este tipo de movimientos, siendo el principal desencadenante.

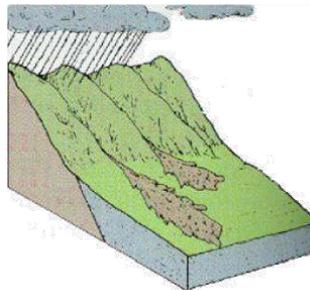


Figura N°6. Esquema de proceso de flujos.

Dentro de los movimientos denominados flujos, se incluyen la reptación y la soliflujión.

La REPTACION se define como un movimiento extremadamente lento que puede afectar a suelos y sustratos rocosos, dando lugar a deformaciones continuas generalmente superficiales, esta es provocada por procesos de “creep”.

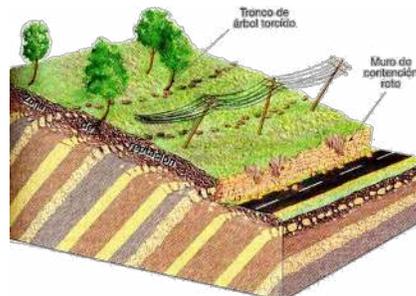


Figura N°7. Esquema de proceso de reptación.

La SOLIFLUXION se define como un movimiento rápido asociado a las acciones hielo – deshielos presentes en las regiones frías. Afecta principalmente a suelos de grano fino y poco potente.

La SOLIFLUXION EN TERRACETAS es el desplazamiento en seco, en sectores de rocas compresibles, pero compactas homogéneas. Depende del peso de la formación en cuestión, la pendiente y si la roca es plástica o no.

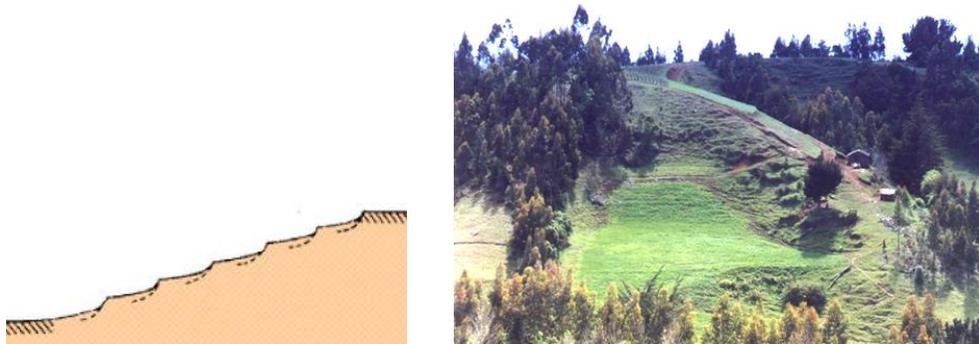


Figura N°8. Esquema de proceso de soliflujión en terracetas.



III. METODOLOGÍA

El Estudio de Riesgos se llevó a cabo mediante el desarrollo de 5 pasos metodológicos, los cuales se explican a continuación:

1. Caracterización Local Áreas de Estudio:

Para el análisis de los riesgos naturales fue necesario conocer dos factores relevantes, estos correspondieron a:

- **Tipo de suelo:** En 1999 el Centro de Información de Recursos Naturales, CIRE, efectuó el estudio “Actualización y Homogeneización de los Estudios de Suelos de la IX Región”. Los estudios utilizados en la actualidad corresponden a: Estudio Agrológico de la Cuenca del Bío-Bío, realizado por el Servicio Agrícola y ganadero, SAG en 1072 y 1077; Estudio Agrológico del Valle de Angol, realizado por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG 1974; Estudio Agrológico de la provincia de Cautín, realizado por IREN en 1970 y Estudio de Suelos del Proyecto Aerofotogramétrico CHILE/OEA/BID, realizado por IREN en 1964. Esta nos entrega finalmente la identificación de las series de suelo, variaciones y características en superficie como en profundidad de cada suelo.
- **Geomorfología:** Según su significado etimológico, la geomorfología es la ciencia que analiza las formas de la superficie terrestre, al igual, que los procesos que la modelan. Para el desarrollo de la carta geomorfológica se empleó interpretación de curvas de nivel, apoyado de un modelo tridimensional de terreno y consultas a las variaciones de textura de la fotografía aéreas actual. Para la definición de los procesos, junto con separar los relieves de erosión de los de acumulación se analizó el uso de suelo de acuerdo al Catastro de Bosque Nativo (CONAF, 2007), de manera de comprender el porcentaje de cobertura que resguarda los relieves, tipos de pendiente (en grados) y exposición de laderas, estas dos últimas, generadas a través de las curvas de nivel con la extensión análisis espacial de ArcGis.

Es relevante destacar que para comprender y analizar el área de estudio fue relevante disponer de una **cobertura de curvas de nivel actualizada**, esta última, adquirida por el Municipio de Temuco durante el año 2014, con una equidistancia entre curvas de nivel 2 m. Las curvas permitieron, mediante su interpretación y modelación tridimensional definir tipologías de relieves, procesos actuales y antiguos, así, como explicar la ocurrencia de procesos al combinar las coberturas de tipos de suelo con las de curvas de nivel, de igual manera, al agregar los usos de suelo y la distribución de calles y colectores, se comprende la dinámica de cada proceso, siendo la base de toda la información, las curvas de nivel.

2. Riesgos Naturales Percibidos por la Comunidad:

Durante los talleres realizados por macro-sector, durante la Etapa I, se le consultó a la comunidad que riesgos percibían, donde se localizaban estos y a que condicionantes atribuían su generación, lo anterior, con el objeto de dilucidar los procesos de peligrosidad presentes, nivel de magnitud, incidencia y afectación.

El registro de cada macro-sector se desarrolló a través de la siguiente ficha:



Sector	Pueblo Nuevo
Apreciaciones de la Comunidad	<i>Detalla los distintos procesos de riesgo identificados por la comunidad.</i>
Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector	<i>Síntesis de los procesos de riesgo percibidos por la comunidad con la definición de las causantes percibidas por estos.</i>

3. Procesos de Peligrosidad Natural de Interés

Sobre la base de la información recopilada en los talleres de participación ciudadana se identificaron los fenómenos de riesgo de mayor recurrencia, dinámica de estos procesos y factores detonantes, lo anterior, separado por tipo de riesgo. En este capítulo se analizó cada proceso, sus causantes, sus áreas de mayor afectación, los antecedentes existentes, información bibliográfica y se generó una ficha de síntesis al final de cada análisis, la que consideró la siguiente estructura:

Tipo de Proceso	
Condicionantes	
Macro-sectores afectados	
Breve análisis normativo	

4. Intervenciones Actuales

Identificó en base a información proporcionada por los distintos servicios públicos, cuales son las intervenciones que se han realizado en Temuco – Labranza que pueden mitigar y/o subsanar problemas asociados a riesgos naturales.

5. Análisis de Información Existente

Consignó los estudios que se han generado en la región para los distintos procesos de riesgo, con especial atención en la extensión del proceso y las recomendaciones de intervención.

En este punto fue relevante considerar que los antecedentes aportados a través de estudios, correspondieron a material proporcionado por la Dirección de Obras Hidráulicas, la cual disponía de la definición de áreas de inundación en formato Autocad, estos antecedentes fueron traspasados a formato *.shp y ajustados mediante la topografía actualizada que facilito el municipio de Temuco (Curvas de nivel y cotas de altitud).

6. Definición y Evaluación de Áreas de Riesgo

En este capítulo se expuso las áreas de riesgo normada por el actual Plan Regulador, la nueva propuesta de áreas de riesgo y las recomendaciones de los cambios a desarrollados y su justificación.



6.1 Áreas de Riesgo Actuales (PRC)

Se describió y mostro las áreas de riesgo por tipología considerando los antecedentes expuestos en el estudio de riesgo que permitió dicha zonificación en el Plan Regulador Vigente.

6.2 Áreas de Riesgo Propuestas (Modificación del PRC)

Se describieron y mostraron las áreas de riesgo por tipología considerando el nuevo estudio de riesgo expuesto en el presente estudio, además, se hizo énfasis en las condicionantes y factores que proponían las nuevas áreas afectas por riesgo.

6.3 Recomendaciones

Se contrapusieron las áreas de riesgo del actual Plan Regulador y las generadas por este estudio y sobre ella se generaron recomendaciones de cambio y procesos a desarrollar.

Los pasos anteriores, se ilustran en la siguiente figura:



Figura N° 9. Esquema Metodológico.
Fuente: Elaborado por Equipo Consultor, 2015.



IV. ANTECEDENTES GENERALES

4.1 Geología

Durante la evolución geológica del área de Temuco se han producido intensas modificaciones de su geografía, en su mayoría relacionadas con la actividad volcánica característica de su sector oriente. Para los períodos Jurásico y Oligoceno-Mioceno se han encontrado evidencias de procesos tectónicos como subsidencia, elevación de la corteza y modificaciones en la ubicación de los cordones volcánicos. Entre el Plioceno y el Pleistoceno, la intensa actividad volcánica en la Cordillera de los Andes queda registrada por la presencia de potentes espesores de depósitos volcanoclásticos y laháricos. Evidencias de las glaciaciones ocurridas durante el Pleistoceno son los depósitos glaciofluviales, que son de carácter más bien distal respecto a las grandes masas de hielo formadas en el sector cordillerano. La erosión provocada por los actuales ríos Cautín, Quepe y Toltén, ha dejado expuestos los depósitos asociados a los procesos volcánicos y sedimentarios anteriormente mencionados y, al mismo tiempo, estos ríos aportan grandes cantidades de materiales desde la Cordillera de los Andes.

En el área de Temuco se encuentran representadas rocas metamórficas del Paleozoico-Triásico (Complejo Metamórfico Bahía Mansa, PzTrbm), que constituyen el basamento de rocas sedimentarias continentales del Triásico (Formación Llafquentué-Huimpil, Trllh), marinas del Jurásico (Estratos de Puello, Jp) y volcánicas y sedimentarias del Oligoceno-Mioceno (Formación Pilmahue, OIMp). Abanicos formados por depósitos volcanoclásticos representan los procesos laháricos y piroclásticos que se desarrollaron en la Cordillera de los Andes durante el Plioceno-Pleistoceno (Abanicos Volcanoclásticos de Puello, Muco y Malleco), que son, en parte, contemporáneos con procesos fluviales (Depósitos Fluviales del Cautín, PPlc) y a los que siguieron sucesivas glaciaciones durante el Pleistoceno, representadas, en esta área, por depósitos glaciofluviales (Río Llico, Santa María y Llanquihue). Los depósitos fluviales del Pleistoceno-Holoceno y Holoceno representan procesos fluviales que aún se encuentran en desarrollo. A continuación se describen los depósitos, secuencias estratigráficas y rocas metamórficas, de más joven a más antigua.

4.1.1 Depósitos Sedimentarios No Consolidados

Fluviales Actuales Hf (Holoceno)

Compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, que sobreyacen a rocas del basamento paleozoicotriásico (PzTrbm) y terciario (OImp), y a rocas y sedimentos del Plioceno-Pleistoceno. Tienen amplia distribución y corresponden a los actuales depósitos aterrizados y a sedimentos de los ríos Cautín, Quepe, Toltén-Allipén y a sus quebradas y esteros afluentes. Los depósitos están escasamente consolidados, localmente imbricados, y moderadamente seleccionados, tienen estratificación horizontal y cruzada, y son clasto- y matriz soportados. Los fragmentos se presentan frescos y corresponden a rocas volcánicas e intrusivas de composición andesítica, andesítico-basáltica y granodiorítica, respectivamente, con tamaños de hasta 40 cm y formas tanto redondeadas como alargadas. Las gravas presentan matriz arenosa e intercalación de niveles de arenas de 20 a 40 cm de espesor. Localmente, los clastos tienen pátinas de óxidos de hierro y manganeso asociadas a su cercanía con la superficie. En el río Cautín los depósitos, que presentan distintos niveles de terrazas,



están formados por materiales de las mismas características texturales y composicionales, pero con un aumento en el grado de consolidación de acuerdo a su mayor antigüedad. En esteros afluentes de los cauces mayores como Collimallín, Pichitemuco, Pumalal, Quintrilpe, Puello, Chapod, Repocura y Metrenco, los materiales corresponden principalmente a limos con porcentajes variables de arcillas, gravas y arenas.

Los materiales en su mayoría provienen de la meteorización y erosión de rocas volcánicas e intrusivas de la cordillera andina y han sido transportados y depositados por los actuales ríos. En los cauces pequeños están compuestos por el material acumulado producto de la erosión y transporte local de sedimentos.

Fluviales PIHf (Pleistoceno-Holoceno)

Comprenden arenas, gravas, cenizas, arcillas y limos que sobreyacen a depósitos glaciofluviales del Pleistoceno y volcanoclásticos del Plioceno-Pleistoceno y subyacen y/o engranan con sedimentos fluviales del Holoceno.

De acuerdo con su proveniencia y forma de depositación se han subdividido en dos grandes grupos que se localizan en los siguientes lugares:

En el sector de río Quepe, esteros Ranquilco y Pircunche, las gravas y arenas se presentan moderadamente frescas y están compuestas por fragmentos de rocas volcánicas e intrusivas que se alternan con sedimentos volcanoclásticos. Estos últimos forman una secuencia en la que alternan arenas y gravas con matriz de cenizas, capas de cenizas y depósitos de gravas arenosas sin texturas definidas. Los materiales se presentan moderadamente consolidados y las gravas tienen leve imbricación. De acuerdo a observaciones en terreno, se estima que la secuencia tendría un espesor mínimo de 10 m.

Al NO de Temuco, los sedimentos corresponden principalmente a alternancia de arenas, limos y arcillas. Al norte de esta ciudad, en el sector de las vegas de Chivilcán, los sedimentos se componen de arenas medias a gruesas, moderadamente consolidadas, bien seleccionadas, y con intercalaciones de capas de arcillas oscuras (Hauser, 1975). En estos sectores, los materiales son el producto tanto de procesos de inundación como de intensa erosión de los cerros adyacentes.

Los sedimentos fueron depositados durante el Pleistoceno y hasta el Holoceno y se ha podido inferir, de acuerdo a sus características, un ambiente de depositación fluvial con influencia de procesos laháricos distales.

Glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue Plgf1 (Pleistoceno Superior)

(Mercer, 1976)

Corresponden a gravas y arenas que sobreyacen a los depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2) y a los depósitos volcanoclásticos del Plioceno-Pleistoceno (PPlp, PPlmu) y subyacen a depósitos fluviales actuales. Se encuentran



distribuidas en los alrededores de Pillanlelbún, en torno al río Cautín, río Quepe y su confluencia con el río Huichahue y en la ribera del río Toltén. Corresponden a depósitos clastosoportados, moderada a bien seleccionados, con estratificación horizontal, granodecreciente y cruzada, que conforman bancos con alturas entre 4 y 10 m. Gran parte de la ciudad de Temuco, en particular el centro cívico y los barrios residenciales más antiguos, se encuentran emplazados en las terrazas asociadas al río Cautín. Los clastos se presentan moderadamente frescos, redondeados a subredondeados y corresponden a andesitas, andesitas basálticas, rocas graníticas y cuarzo, insertos en una matriz de arenas gruesas angulosas. Localmente, se observan lentes de arena poco consolidados y en el sector del río Muco, lentes de pómez retrabajadas de hasta 5 cm de espesor. La presencia de pátinas de óxidos de hierro y manganeso, estaría relacionada con la cercanía de la superficie y se limita a los primeros 2 m superiores de los depósitos. Por su morfología, sus estructuras sedimentarias y su escasa meteorización, han sido asignados a la última glaciación o Glaciación Llanquihue, con edades probables entre 73.000 y 14.000 AP (Mercer, 1976; Mercer, 1983; Clapperton, 1993; Lowell et al., 1995). Estos materiales corresponden en su mayoría a sedimentos glaciofluviales que provendrían de rocas de la Cordillera de los Andes afectadas por erosión glacial.

Glaciofluviales de la Glaciación Santa María Plgf2 (Pleistoceno Medio)
(Porter, 1981)

Integrados por gravas y arenas gruesas, con intercalaciones locales de limos y arcillas. Sobreyacen a depósitos volcanoclásticos del Pleistoceno y su techo corresponde a sedimentos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1). Se observan en las riberas de los ríos Toltén, Allipén y Cautín, donde conforman una topografía plana más elevada que los sedimentos más jóvenes. Los materiales, moderadamente consolidados, clasto- y matriz soportados, con una selección regular a mala y de color gris anaranjado, presentan estratificación cruzada, horizontal, y grano-decreciente. Los clastos son bien redondeados y moderadamente frescos con fragmentos de rocas graníticas, andesitas, andesitas basálticas, cuarzo y magnetita. La matriz es arenosa y con escaso contenido de arcillas, en la que se observan, además, óxidos de hierro y, en menor proporción, óxidos de manganeso. De acuerdo con su bajo grado de meteorización y características morfológicas, esta unidad se asigna a la Glaciación Santa María (Pleistoceno Medio; Porter, 1981) y se correlacionaría con las EIOM 8-6 (260.000-132.000 AP; Shackleton y Opdyke, 1973, 1977; Clayton et al., 1997).

Glaciofluviales de la Glaciación Río Llico Plgf3 (Pleistoceno Medio)
(Porter, 1981)

Corresponden a gravas arenosas y arenas que sobreyacen y/o engranan con depósitos volcanoclásticos (PPlp) y subyacen a depósitos glaciofluviales de las glaciaciones Llanquihue y Santa María (Plgf2). Medianamente consolidadas, contienen fragmentos de composición volcánica, moderada a fuertemente meteorizados, con formas redondeadas y alargadas, y presentan estratificación horizontal tanto granodecreciente como creciente, cruzada y localmente, con clastos imbricados. Los escasos afloramientos se encuentran al norte de la localidad de Radal y tienen morfología plana



de terrazas, topográficamente más elevadas que las correspondientes a depósitos glaciofluviales de la primera y segunda glaciaciones (Plgf1 y Plgf2), aunque, localmente, conforman lomajes suaves producto de la erosión. De acuerdo con su grado de meteorización y características morfológicas, esta unidad se asigna a la Glaciación Río Llico (Pleistoceno Medio; Porter, 1981).

4.1.2 Depósitos Volcanoclásticos y Sedimentarios Moderadamente Consolidados

Abanico volcanoclástico de Malleco PPlm (¿Plioceno?-Pleistoceno)
(Moreno y Varela, 1985)

Corresponden a gravas, arenas, lapilli y cenizas que sobreyacen a rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de edad terciaria (OIMp) y subyacen a depósitos glaciofluviales y fluviales del Pleistoceno al Holoceno.

Se distribuyen en un extenso depósito con forma de abanico que rellena gran parte de la Depresión Intermedia entre los ríos Biobío (fuera del área) y Cautín, que se observan al oeste y noroeste de la localidad de Lautaro.

El Abanico Volcanoclástico de Malleco está integrado por una secuencia alternada de depósitos de origen piroclástico, lahárico y fluvial.

Los depósitos de flujos piroclásticos y laháricos se presentan moderada a bien consolidados, con clastos de andesitas basálticas, angulosos a subredondeados, con matriz de cenizas, sin estratificación y, localmente, con fuerte meteorización. Tienen capas de ceniza y lapilli escoriáceo. Estos depósitos están constituidos por mantos de 2 a 40 m de espesor.

Los depósitos fluviales corresponden a gravas y arenas, poco a moderadamente consolidadas, con fragmentos de composición volcánica, de formas redondeadas a subangulosas, matriz arenosa y que, localmente, contienen capas fuertemente meteorizadas, conocidas como rodados multicolores (Hauser, 1986) debido a la presencia de cáscaras de meteorización en sus clastos. El espesor de los depósitos fluviales varía de 2 a 30 m.

Las características de los depósitos tales como forma y disposición de clastos, así como el grado de consolidación y composición de los fragmentos y matrices, dan indicios acerca de los diferentes ambientes de depositación. Aquellos conformados por materiales atribuidos a flujos piroclásticos y laháricos, con texturas brechosas, se habrían producido durante eventos de rápido derretimiento de hielos relacionados con episodios eruptivos. Las altas temperaturas que caracterizan a estos procesos habrían favorecido la consolidación de la matriz de estos depósitos. Los depósitos compuestos de materiales considerados de origen fluvial presentan menor consolidación, clastos redondeados y matriz arenosa, características que sugieren una importante cantidad de agua durante el transporte y temperaturas bajas durante su depositación, si se las compara con las que se alcanzan durante procesos de flujos laháricos.



La secuencia completa que comprende este abanico tendría un espesor superior a 100 m. Hacia el este (fuera del área de estudio) depósitos de similares características han sido asignados a la Formación Malleco de edad pliocena a pleistocena inferior (Emparan et al., 1997).

Abanico volcanoclástico de Muco PPlmu (¿Plioceno?-Pleistoceno)
(Moreno y Varela, 1985)

Integrado por gravas, arenas y ceniza, sobreyace con discordancia de erosión a la Formación Pilmahue (OIMp) e interdigita con los niveles superiores del Abanico Volcanoclástico de Malleco (PPlm), al norte del área.

Se distribuye al este y sureste de la localidad de Lautaro, entre los ríos Cautín y Quepe y está integrado por una secuencia alternada de depósitos de origen fluvial, piroclástico y lahárico, con desarrollo de paleosuelos.

Los depósitos fluviales corresponden a gravas y arenas, escasa a moderadamente consolidadas, con espesores variables de 1 a 3 m, localmente muy meteorizadas (Fig. 4). Los depósitos de flujos piroclásticos y laháricos varían de clasto- a matriz soportados, moderadamente seleccionados, y con matriz de cenizas y arenas. Los fragmentos mayores, de 0,5 a 20 cm de largo máximo, presentan formas tanto redondeadas a subangulosas como alargadas. Localmente, fragmentos y matriz se presentan intensamente meteorizados y con cáscaras de meteorización y núcleos frescos. La selección y redondeamiento de los clastos aumentan a medida que se alejan de su fuente de origen. A mayor contenido de cenizas en la matriz, mayor es el grado de consolidación de los depósitos (Moreno y Varela, 1985).

En su mayoría, los depósitos corresponden a facies distales de materiales tanto de origen lahárico como, probablemente, de flujos piroclásticos, provenientes del sector cordillerano de Hirampe, donde se ubicaba la cadena volcánica activa de la época, así como a materiales de origen fluvial transportados desde el mismo sector.

Abanico volcanoclástico de Puello PPlp (¿Plioceno?-Pleistoceno)
(Moreno y Varela, 1985)

Compuesto por gravas, arenas y cenizas, sobreyace con discordancia de erosión a la Formación Pilmahue (OIMp), y bajo la superficie subyace a depósitos glaciofluviales de las glaciaciones Río Llico, Santa María y Llanquihue y a depósitos fluviales actuales y se interdigitaría con depósitos del Abanico Volcanoclástico de Muco (Moreno y Varela, 1985). Los materiales se distribuyen entre los ríos Quepe y Allipén, y conforman una topografía ondulosa y más elevada que los depósitos fluviales actuales y glaciofluviales de la glaciación Llanquihue (Hf, Plgf1).

Corresponde a una secuencia de depósitos laháricos, fluviales y de flujos piroclásticos, compuestos por ignimbritas (niveles de cenizas), gravas y arenas. Los depósitos laháricos se caracterizan por la presencia de bloques aislados de hasta 2 m de diámetro de composición andesítico-basáltica en matriz de cenizas, lapilli y arenas;



presentan mala selección, son poco consolidados e intercalan con gravas y arenas fluviales. Los depósitos de flujos piroclásticos tienen más de 5 m de espesor, y se presentan bien consolidados, con fragmentos de lapilli en una matriz de vidrio y cristales. Generalmente, fragmentos y matriz se presentan intensamente meteorizados. Sondajes realizados para la extracción de agua permiten inferir espesores de hasta 100 m para esta secuencia.

Se les ha asignado una edad pliocena (?) a pleistocena debido a su relación de engrane hacia el este con los Estratos Volcánicos de Melo (fuera del área) (Moreno y Varela, 1985).

Al igual que los depósitos que conforman el Abanico Volcanoclástico de Muco, estos depósitos serían producto de la alternancia de materiales de origen fluvial, lahárico y probablemente de flujos piroclásticos.

Los distintos grados de consolidación de las matrices que contienen estos depósitos pueden explicarse, principalmente, por sus temperaturas de depositación y por sus diferentes contenidos de ceniza (Moreno y Varela, 1985). La presencia de numerosas capas de ceniza, que muchas veces cubren paleosuelos, evidencia la ocurrencia de frecuentes eventos volcánicos.

4.1.3 FLUVIALES DEL CAUTÍN PPlc (Plioceno-Pleistoceno) (Unidad informal)

Comprenden arenas, gravas, limos, arcillas y cenizas. Fue descrita por Rubio (1990) como una secuencia de areniscas líticas con matriz arcillosa y gravas de composición andesítica y andesítico-basáltica, con matriz tobácea. Subyacen subhorizontalmente a depósitos glaciofluviales de las glaciaciones Llanquihue, Santa 17 María y Río Llico y sobreyacen con discordancia angular y de erosión a depósitos de la Formación Cholchol (en subsuperficie) y a las secuencias de la Formación Pilmahue. Los materiales presentan disposición subhorizontal y se distribuyen al noroeste, sur y sureste de Temuco y conforman una morfología ondulosa topográficamente más elevada que los depósitos fluviales actuales.

Las arenas son medianas a gruesas, compuestas por fragmentos líticos volcánicos y de feldespatos, y localmente con intensa meteorización. Las gravas están compuestas por clastos de composición andesítica y andesítico-basáltica, de 3 a 15 cm, mal seleccionados, bien redondeados y fuertemente meteorizados y con matriz arcillosa. Los depósitos presentan compactación moderada a fuerte y matriz con alto porcentaje de cenizas. Se observan frecuentes intercalaciones de niveles pumíceos y en subsuperficie se distinguen niveles de arcillas y limos de hasta 30 m de potencia. En los alrededores de Metrenco, al sur de Temuco, se observa la presencia de suelos compuestos por arcillas y limos, con una distribución amplia pero discontinua y un espesor de hasta 3 m. Se caracterizan por su coloración rojiza y están compuestos principalmente por caolinita, cristobalita, cuarzo y feldespatos. Estos suelos se habrían formado por alteración, supérgena de depósitos de cenizas volcánicas, relacionadas con eventos eruptivos producidos probablemente durante el Pleistoceno



en la cordillera andina (Hauser y Marti, 1973; Mendoza y Gajardo, 2003). Sin embargo, no existen estudios detallados de sus propiedades físicas y químicas. Sobre la base de la información obtenida de sondeos realizados por ENAP y la información estratigráfica obtenida de pozos de captación de aguas subterráneas, se estima que su espesor varía entre 80 y 120 m. De acuerdo con relaciones estratigráficas, se les ha asignado una edad pliocena a pleistocena.

Las características composicionales y texturales sugieren un origen principalmente fluvial para estos depósitos, con intercalaciones de materiales finos de probable ambiente lacustre o asociados a llanuras de inundación. La presencia de niveles con importante contenido de cenizas indica la ocurrencia de numerosos eventos volcánicos sincrónicos, los que habrían aportado estos materiales.



4.2 Geología Estructural

Las rocas sedimentarias terciarias, en general, presentan disposición subhorizontal, con manteos muy leves, mientras que las rocas mesozoicas presentan manteos superiores a 20°.

Los sistemas de fallas normales NNW y NS, asociados a un régimen extensional, conforman estructuras de grabens asimétricos (Elgueta y Rubio, 1990). Estas estructuras formadas probablemente con anterioridad al Mioceno, habrían controlado la subsidencia de parte de estos terrenos y la depositación de sedimentos en las cuencas terciarias, que presentaban formas elongadas en dirección norte-sur.

Álvarez (1978) denomina falla Temuco a la estructura de dirección NNO, que pondría en contacto rocas volcánicas terciarias (OIMp) con rocas sedimentarias más jóvenes y que correspondería al lineamiento de mayor importancia en el área. Este fenómeno se evidencia en el cambio brusco en la morfología, en la distribución y disposición de las quebradas y, por lo tanto, en la red de drenaje, que se presenta en el sector de Chivilcán al norte de Temuco. Sin embargo, en el área de este estudio, la única evidencia observada en terreno, que podría corresponder a esta estructura, es el intenso fracturamiento y recristalización de las rocas volcánicas terciarias en el sector de Padre Las Casas y cerros aledaños, que espacialmente coinciden con la traza de este lineamiento.

Eventos tectónicos y sedimentarios habrían controlado la ocurrencia de discontinuidades tanto angulares como de erosión, las que se pueden correlacionar con las existentes en áreas adyacentes (Elgueta y Rubio, 1990). El basamento metamórfico, las secuencias triásicas continentales, las unidades jurásicas marinas y las rocas terciarias están separadas por discordancias angulares y de erosión. Discordancias de erosión separan la Formación Pilmahue de la Formación Chol-Chol (fuera del área) y esta última de sedimentos pliocenos que, a su vez, se encuentran en contacto con sedimentos pleistocenos por una discordancia del mismo tipo.



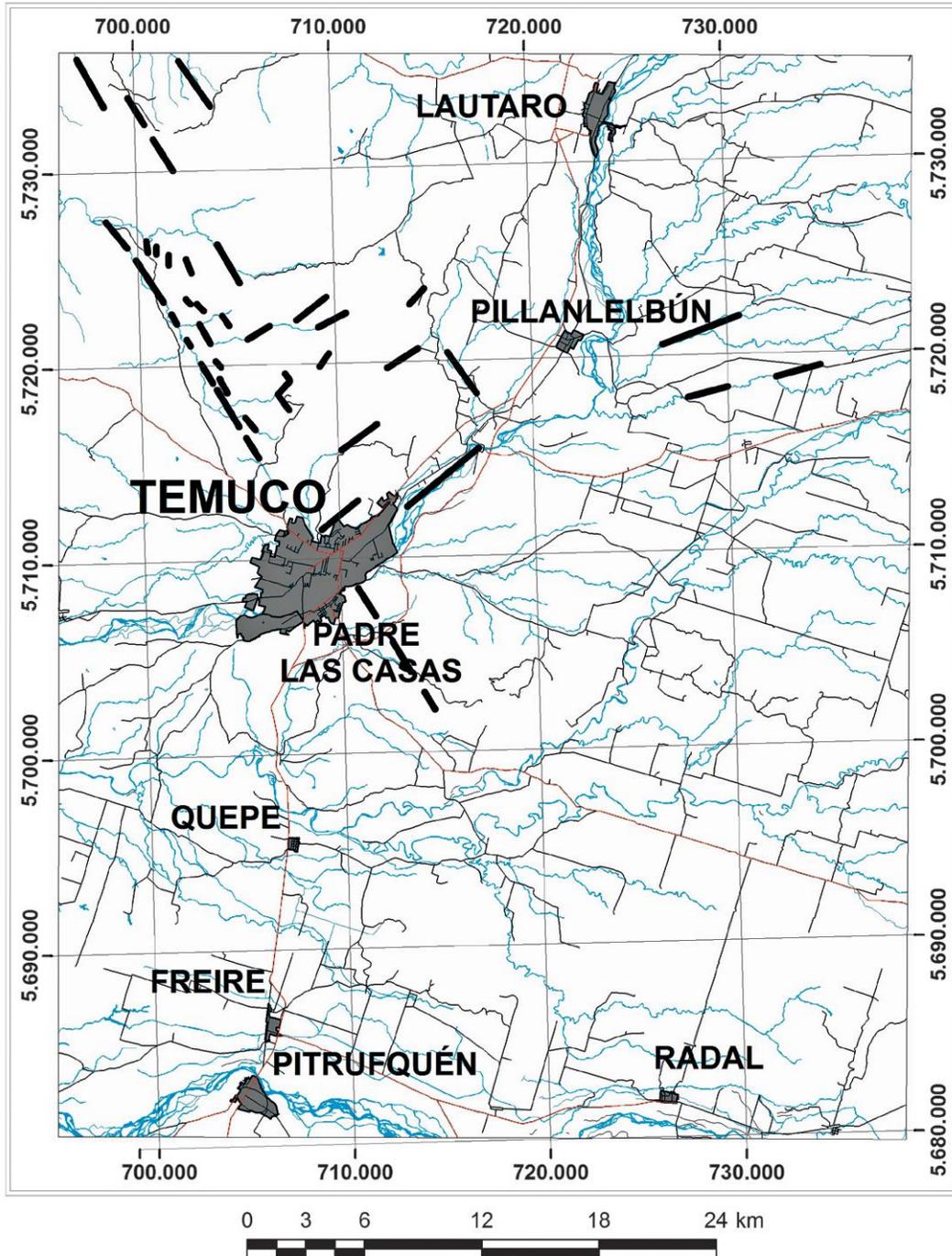


Figura N° 11. Esquema de fallamientos presentes en Temuco – Padres Las Casas.
 Fuente: Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco, Región de La Araucanía.
 Servicio Nacional de Geología y Minería, 2007.

4.3 Recursos de Aguas Subterráneas

La investigación y el conocimiento de la hidrogeología de los depósitos sedimentarios de las ciudades de Temuco, Lautaro, Pitrufquén y sectores rurales son de gran importancia, ya que



constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable para la población y para el desarrollo de las actividades económicas.

En estos sectores, las unidades hidrogeológicas de mayor importancia, por su productividad y extensión, corresponden a los depósitos fluviales y glaciofluviales.

4.3.1 Acuíferos

Se reconocieron, de acuerdo con la presencia de agua subterránea y las condiciones de circulación y almacenamiento, acuíferos libres, libres cubiertos, semiconfinados y confinados, tanto con permeabilidad primaria (entre granos o intergranular) como secundaria (fisuras).

De acuerdo a la importancia hidrogeológica, en cuanto a su productividad y extensión, se definieron en el área de Temuco los siguientes acuíferos: acuíferos de alta importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados (A1, //A1, A2 y //A3), acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica en depósitos no consolidados (//B1, //B2 y //B3), acuíferos de media a baja importancia hidrogeológica en roca fisurada (B4y B5) y dos sistemas de acuíferos (//A3/B4 y B3/B4), formados por una secuencia de dos unidades acuíferas que se explotan en forma conjunta: una unidad superior de alta a media importancia en depósitos no consolidados y una unidad inferior en roca fisurada.

4.3.1.1 Acuífero o Secuencia de Acuíferos de Alta Importancia en Depósitos No Consolidados

Acuífero A1. Acuífero libre en depósitos fluviales (Hf) y glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1), expuesto en los valles de los ríos Cautín, Muco, Toltén y Allipén y situado, en parte, bajo las ciudades de Temuco, Lautaro, Pitrufrquén y la localidad de Pillanlelbún. Este acuífero compuesto de gravas y arenas gruesas, presenta un espesor variable entre 11 y 114 m, transmisividades muy bajas a muy altas (T: 2 a 6.000 m²/d), permeabilidades bajas a altas (10⁻⁶ a 3x10⁻³ m/s), caudal específico entre 0,06 y 54,26 (l/s)/m, caudal explotable variable entre 3 y 113 l/s y niveles estáticos a profundidades entre 1 y 44 m bajo el nivel del terreno (b.n.t.).

En algunos sectores, como al oeste de la ciudad de Temuco y en algunos pozos de la ciudad de Pitrufrquén, se presenta como un acuífero multicapa, donde los niveles de gravas y arenas, que varían entre 35 y 3 m de espesor, están separados por estratos de baja permeabilidad y constituidos por arcilla, limo y arcilla o por gravas y/o arenas arcillosas.

Este acuífero se explota en forma intensiva, especialmente en el sector que se ubica bajo el área urbana de Temuco, ya que constituye la única fuente de agua potable para el abastecimiento de la ciudad.

Acuífero //A1. Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en depósitos fluviales (Hf) y glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1) que, en el sector de Radal, al norte del río Allipén, río Quepe y, posiblemente, en las cuencas de algunos ríos de menor orden como el Codihue, Huichahue y afluentes de los ríos principales,



se encuentra cubierto por gravas y arenas arcillosas, de 8 a 21 m de espesor, localmente con intercalaciones de ceniza volcánica. Los niveles estáticos se sitúan a profundidades variables entre 4 y 13 m b.n.t., cuando el acuífero se encuentra en situación confinada o semiconfinada alcanza a los 20 m b.n.t. en el caso libre cubierto. Los caudales de explotación varían entre 0,4 y 20 l/s, presenta transmisividad y permeabilidad muy baja a baja (T: 1 a 17 m²/d; K: 2x10⁻⁷ a 2x10⁻⁵ m/s) y los caudales específicos se encuentran entre 0,01 y 0,29 (l/s)/m.

Acuífero A2. Acuífero libre en depósitos glaciofluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2), que se encuentra en forma amplia y continua en el sector sur del área, extendiéndose tanto hacia el este como al oeste de la ciudad de Freire. En este acuífero, de espesor entre 27 y 37 m, constituido principalmente por gravas y arenas gruesas a finas, con arcillas en proporción variable y moderadamente consolidadas, se registran caudales explotables variables entre 2 y 11 l/s, niveles freáticos entre <1 y 7 m b.n.t., transmisividades medias a altas (T: 150 a 324 m²/d), permeabilidades medias a bajas (K: 10⁻⁴ a 6x10⁻⁵ m/s) y caudales específicos entre 0,83 y 3,73 (l/s)/m.

En el sector localizado al oeste de Freire, al sur del estero Pelales, se infiere, de la observación del material extraído durante la construcción de norias y a la condición reductora del acuífero, la presencia de niveles de granulometría fina con alto contenido de materia orgánica. Además, en algunos pozos profundos, se distinguen niveles de arenas arcillosas, arcillas arenosas o gravas con arena y arcilla bien cementada, intercalados en los niveles permeables. Algunos de estos niveles podrían corresponder a los depósitos glaciofluviales de la Glaciación Río Llico (Plgf3), que se encontrarían bajo los depósitos de la Glaciación Santa María, que en conjunto constituyen un acuífero multicapa.

Este acuífero se explota para uso doméstico principalmente mediante norias, que tienen profundidades entre 1,8 y 9 m.

Acuífero //A3. Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en depósitos fluviales (PIHf), expuesto en el sector central de la zona de estudio, al este de la ciudad de Temuco. Este acuífero, de espesor variable entre 7 y 58 m, está constituido por gravas y arenas gruesas a finas, que posiblemente, en parte, corresponden a depósitos glaciofluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgf1). Se encuentra cubierto por materiales de granulometría variable, incluyendo gravas y arenas arcillosas y limosas, con niveles de arcilla y ceniza (PIHf) de 5 a 63 m de espesor, con caudales explotables variables entre 12 y 25 l/s, niveles estáticos a profundidades entre 5 y 28 m b.n.t en el caso confinado a semiconfinado y entre 16 y 25 m b.n.t. en la condición libre cubierto, con transmisividades medias a altas (T: 130 a 1.095 m²/d), permeabilidades bajas a medias (K: 6x10⁻⁵ a 3x10⁻⁴ m/s) y caudales específicos entre 1,02 y 1,47 (l/s)/m.

Sistema de acuíferos //A3/B4. Secuencia compuesta por un acuífero confinado (//A3) en depósitos fluviales (PIHf) y/o glaciofluviales (Plgf1), y un acuífero (B4) en rocas volcánicas fisuradas (OIMpa), que se localiza en el sector de Chivilcán,



actualmente en el área urbana de Temuco. El acuífero confinado (//A3), compuesto por gravas y arenas que pueden contener intercalaciones de arcillas, presenta una cubierta de arcillas de 7 a 27 m de potencia (PIHf). El acuífero en roca fisurada (B4), corresponde a rocas volcánicas en las que la permeabilidad de las capas se debe a la existencia de fracturas que se concentran en algunos niveles. El espesor total de las capas permeables es de 38 a 51 m, y en ellas el acuífero //A3 alcanza entre 21 y 51 m, mientras que, bajo los depósitos que componen el acuífero //A3, se han perforado 17 m en rocas volcánicas sin alcanzar la base de la unidad volcánica.

El caudal de un pozo que atraviesa ambos acuíferos es de 7 l/s, con un nivel estático de 4 m b.n.t. Un ensayo de bombeo permitió determinar una transmisividad y permeabilidad baja (T: 72 m²/d; K: 2x10⁻⁵ m/s), con caudales específicos de 0,28 (l/s)/m. En otro pozo localizado en el mismo sector, pero que corta solo el acuífero superior, se registra un caudal de pozo de 16 l/s, con nivel estático de 7 m b.n.t., transmisividad y permeabilidad muy baja (T: 4,5 m²/d; K: 10⁻⁶ m/s) y caudal específico de 0,1 (l/s)/m.

4.3.1.2 *Acuífero o Secuencia de Acuíferos de Media a Baja Importancia en Depósitos no Consolidados o Semiconsolidados*

Acuífero //B1. Acuífero confinado a semiconfinado en depósitos glaciofluviales de la Glaciación Río Llico (PIgf3), ubicado en el sector SE del área de Temuco, al norte de la localidad de Radal. El acuífero, compuesto por gravas arenosas y arenas finas a gruesas, de 18 a 34 m de espesor, está cubierto por limos, arcillas y arenas finas, y tiene niveles estáticos a profundidades variables entre 1 y 10 m b.n.t., caudales explotables entre 0,7 y 8 l/s, transmisividades bajas a medias-altas (T: 20 a 130 m²/d), permeabilidades bajas a medias (K: 7 x10⁻⁶ a 2x10⁻⁵ m/s) y caudales específicos entre 0,18 y 2,2 (l/s)/m.

En un pozo localizado entre el río Huichahue y el estero Cumbli, se alcanzó la roca de base a una profundidad de 49 m b.n.t.

Acuífero //B2. Acuífero confinado en depósitos de arenas y gravas, moderadamente consolidadas, de origen fluvial (PPIc), que se localiza al oeste de los cerros de Ñielol, tanto al norte como al sur del río Cautín, bajo Padre Las Casas y Quepe. El espesor del acuífero varía entre 10 y 35 m y se encuentra cubierto por estratos de arcillas y limos con niveles de ceniza, moderadamente a muy bien consolidados, y espesores variables entre 8 y 32 m. Se registran caudales de explotación entre 1 y 8 l/s, niveles estáticos variables entre <1 y 31 m b.n.t., transmisividades muy bajas a altas (T: 6 a 900 m²/d), permeabilidad baja (K: 3x10⁻⁶ m/s) y caudales específicos entre 0,08 y 7,44 (l/s)/m.

Acuífero //B3. Acuífero confinado, semiconfinado a libre cubierto en depósitos principalmente fluviales, compuestos de arenas finas a gruesas y gravas, que se intercalan en una secuencia de depósitos piroclásticos y laháricos, que constituyen los Abanicos Volcanoclasticos de Malleco (PPIIm), Muco (PPIImu) y Puello (PPIIp). Se ubica en el sector norcentral del área, al oeste de Lautaro, y en forma discontinua



en el sector este del área de Temuco. El acuífero tiene un espesor entre 5 y 28 m y se encuentra cubierto por estratos de arcillas y ceniza volcánica, de 3 a 24 m de potencia. Registra caudales de explotación de 1 a 5 l/s y niveles estáticos variables entre 1 y 11 m b.n.t. y hasta 25 m cuando se encuentra en situación libre cubierto.

Se registran transmisividades bajas ($T: 30 \text{ m}^2/\text{d}$), el caudal específico es de 1 (l/s)/m y no ha sido posible determinar la permeabilidad.

La existencia de niveles permeables en la zona no saturada de este acuífero y la gran variabilidad lateral que suelen presentar estos depósitos indica que podrían presentarse acuíferos colgados constituidos por arenas y gravas.

Sistema de acuíferos B3/B4. Secuencia de dos acuíferos libres: el superior (B3) en arenas arcillosas, posiblemente de origen fluvial-lahárico (PPlmu) y el inferior (B4) en rocas volcánicas fisuradas (Olmp), que se localiza en el flanco este de los cerros de Ñielol, en el sector de Pumalal. Ambos acuíferos tienen un espesor de 3 a 9 m y los caudales explotables son de 2 l/s, con niveles estáticos entre <1 y 2 m b.n.t. Ensayos de bombeo en pozos habilitados en ambos acuíferos indican transmisividades muy bajas ($T: 12$ a $15 \text{ m}^2/\text{d}$), permeabilidades bajas a medias (2×10^{-5} a $3 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) y caudales específicos entre 0,26 y 0,35 (l/s)/m.

4.3.1.3 Acuíferos de Media a Baja Importancia en Roca Fisurada

Acuífero B4. Acuífero libre en roca fisurada, correspondiente a andesitas, tobas, areniscas y limolitas de la Formación Pilmahue (OIMpa, OIMpb), que se ubica en los sectores NO y central del área, al norte, sur y SE de la ciudad de Temuco. Presenta niveles estáticos variables entre 1 y 5 m b.n.t y un espesor que alcanza los 85 m en un pozo profundo situado al norte de Temuco, cuyo ensayo de bombeo permitió determinar una transmisividad y permeabilidad muy baja ($T: 2 \text{ m}^2/\text{d}$; $K: 3 \times 10^{-7} \text{ m/s}$) y caudal específico de 0,04 (l/s)/m.

Esta unidad hidrogeológica incluye los conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas con mantos de carbón, pertenecientes a la Formación Llafquenué-Huimpil (Trllh), y areniscas finas, limolitas y lutitas del Jurásico (Jp), que por su reducida extensión en el área y falta de información de pozos de captación de agua subterránea, no han sido caracterizados hidrogeológicamente, pero que potencialmente podrían corresponder a acuíferos en roca fisurada de baja importancia.

Acuífero B5. Acuífero libre en roca fisurada, correspondiente a esquistos semipelíticos y metabásicos del Complejo Metamórfico Bahía Mansa (PzTrbm), muy meteorizados, con abundantes óxidos de hierro, vetillas de cuarzo, foliación penetrativa y fracturas abiertas. La información hidrogeológica de este acuífero, que se localiza en forma restringida al este de Quepe, es muy escasa. Sin embargo, en este sector se observa un conjunto de esteros de primer orden que probablemente son alimentados por este acuífero, para el que se infiere un nivel estático >5 m b.n.t. y espesores entre 15 y 25 m, aunque no existen pozos de captación de agua que permitan comprobar estos valores, como tampoco se dispone de antecedentes técnicos para realizar la caracterización hidráulica del acuífero.



4.4 Peligros Geológicos y Problemas para Obras Civiles

Los principales peligros geológicos reconocidos en el área de Temuco correspondieron a inundaciones, provocadas por una combinación de factores geológicos e hidrometeorológicos, y remociones en masa, fenómenos asociados a condiciones geológico-geomorfológicas propias del terreno y a fenómenos externos. Cantera en rocas volcánicas de edad terciaria (OIMpa), sector cerro Repocura (SE de Temuco). Cantera en rocas volcánicas de edad terciaria (OIMpa), sector de Quinquere, entre Temuco y Metrenco que actúan como desencadenantes. Aunque el peligro sísmico no fue abordado en este trabajo, él afecta a la totalidad del área de estudio y debe ser considerado en el diseño de construcciones e infraestructura por la recurrencia histórica de estos eventos. Debido a la lejanía con los centros volcánicos ubicados hacia el este, el peligro volcánico en la zona estudiada es bajo, pudiendo ser afectada, principalmente, por caída de cenizas y por flujos volcánicos densos, restringidos a los cauces activos de los ríos⁵.

El mapa de peligros geológicos muestra las áreas susceptibles de verse afectadas por un fenómeno peligroso, especifica el grado de amenaza y entrega algunas directrices para la prevención y mitigación de los efectos de estos eventos. Además, se presentan algunos problemas derivados del desarrollo de infraestructura vial, los que han sido agrupados bajo el título de problemas para obras civiles.



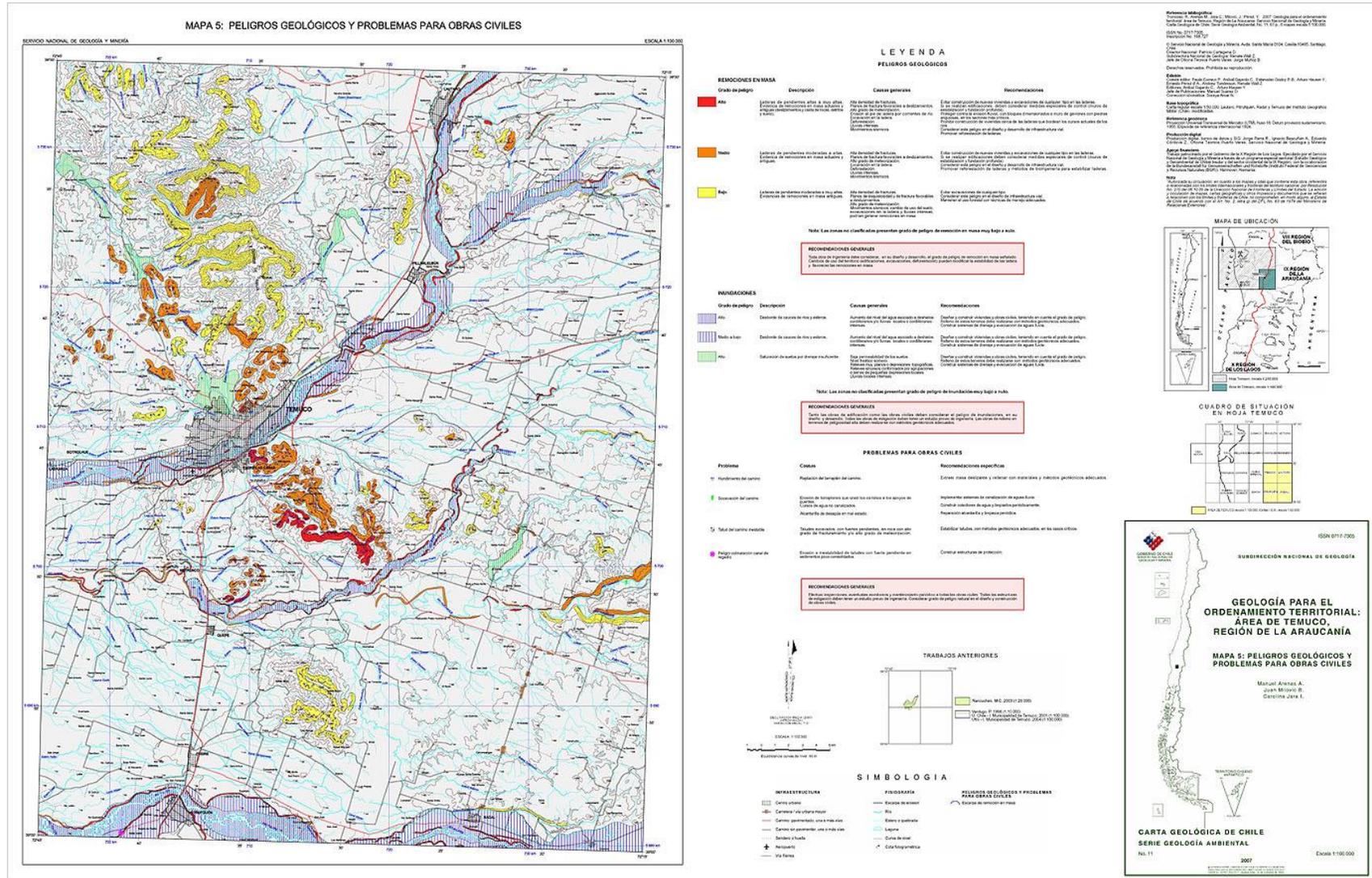


Figura N° 13. Mapa Peligros Geológicos y Problemas para Obras Civiles de Temuco – Padres Las Casas.

Fuente: Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco, Región de La Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2007.



Remociones En Masa

El término remoción en masa se usa para denotar 'el movimiento ladera abajo de una masa de roca, detritos o de suelo' (Cruden y Varnes, 1996), incluyendo indistintamente, para mencionar tanto al fenómeno mismo (acción) como al resultado del evento (efecto: geoformas, depósitos). Las remociones en masa deben su origen a la suma y combinación de diferentes factores geológicos, morfológicos y físicos y a algunas actividades humanas (Cruden y Varnes, 1996). Uno de estos factores actúa como detonante del proceso de remoción (Wieczorek, 1996), y entre los más comunes están las precipitaciones intensas y los movimientos sísmicos.

El peligro de remoción en masa se representa, generalmente, en mapas que muestran la distribución espacial de diferentes niveles de peligrosidad. Esta zonación se refiere a 'la división del terreno en áreas o dominios homogéneos y su clasificación de acuerdo al grado de peligro real/potencial causado por una remoción en masa' (Mantovani et al., 1996). Estos mapas debieran idealmente indicar la probabilidad espacial y temporal, y el tipo, magnitud y velocidad de las remociones predichas en cierta área (Soeters y van Westen, 1996).

En estudio Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco, Región de La Araucanía, sitúa el grado de peligrosidad como la probabilidad espacial de ocurrencia de remociones. Es decir, las zonas de mayor peligro son aquellas áreas más susceptibles de verse afectadas por estos fenómenos, sin entregarse información acerca de la probabilidad temporal de su recurrencia. De esta manera, el mapa representa la susceptibilidad del terreno a las remociones en masa y este se determinó directamente a partir de la presencia de remociones en masa actuales y pasadas, la pendiente de las laderas y otros factores que fueron identificados y que influyen en la generación de las remociones (e.g., uso de suelo, litología y grado de fracturamiento entre otros). Esta metodología es conocida como 'método implícito' (Ojeda y Muñoz, 2001) o 'método de mapeo directo' (Soeters y van Westen, 1996).

Para la clasificación de las remociones en masa se utilizó la propuesta de Cruden y Varnes (1996), que describe y clasifica estos fenómenos de acuerdo al tipo de material involucrado y al tipo de movimiento, de modo que su nombre queda compuesto por dos términos relacionados con estas dos características. Los términos detritos y suelo ('earth' en el original) hacen referencia al tamaño predominante de los fragmentos involucrados en la remoción. En el primero, los fragmentos mayores de 2 mm constituyen entre 20% y 80% del material, mientras que en el segundo, el 80% o más de los fragmentos son menores a 2 mm (Cruden y Varnes, 1996).

Los tipos de remociones en masa presentes en el trabajo Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco, correspondieron, principalmente, a deslizamientos rotacionales de suelo y roca, y caída de detritos y rocas. Los primeros se distribuyen, en general, en el sector noroccidental y central del área de estudio, donde se encuentran cordones montañosos con zonas de alta pendiente y significativos espesores de suelo (1 a 3 m de espesor) como producto de procesos de meteorización de las rocas volcánicas de la Formación Pilmahue (OIMpa). Estos terrenos están compuestos por porcentajes variables de arcillas y, en forma local, presentan altas tasas de deforestación, erosión y degradación del suelo. Por otra parte, los procesos de caída se encuentran ligados a los bancos laterales que conforman los cauces de los principales ríos de la zona, como son Cautín, Toltén, Quepe y Muco. La erosión provocada por estos cursos



de agua ha generado taludes de hasta 25 m de altura en sedimentos con bajo grado de consolidación, propiciando la caída periódica de grandes volúmenes de material.

La caída de bloques de roca se observa en cortes de talud con alta pendiente en rocas con alto grado de fracturamiento. Estas se asocian, en general, al desarrollo de la infraestructura vial.

Las precipitaciones son las principales detonantes de procesos de remociones en masa en el área de Temuco. Estas pueden corresponder a lluvias intensas de pocas horas de duración, o lluvias moderadas durante varios días (Wieczorek, 1996). Los eventos detonados por esta causa corresponden, principalmente, a deslizamientos superficiales de suelo y de roca meteorizada en laderas de pendientes fuertes. Ejemplo de esto se ha observado al norte de Temuco, junto a la planta de gas licuado INTERGAS y en el camino interior del Parque Cerro Ñielol, donde ocurrieron deslizamientos compuestos (rotacional-flujo) de suelo durante días de lluvias intensas el año 2003. La rápida infiltración de agua lluvia y la consecuente saturación del suelo y el aumento temporal de la presión de poros, son los mecanismos principales que provocan las remociones superficiales durante las tormentas. Para que esto se produzca son necesarios umbrales combinados de intensidad/duración de precipitaciones, por lo que para calcularlos es necesario tener un registro amplio y detallado de la fecha y hora de las remociones detonadas por precipitaciones, así como también mediciones de intensidad y duración de estas. En el caso de Temuco los datos existentes son insuficientes para estimar estos umbrales.



Figura N° 14. Ubicación (indicada por flecha roja) de deslizamientos rotacionales de suelo, ocurridos durante días de lluvias intensas el año 2003, en una ladera del cerro Ñielol junto a una planta de gas en el sector norte de la ciudad de Temuco. En la fotografía se observa el resultado de los trabajos de mitigación, con la estabilización del talud mediante modificación geométrica y la construcción de bancos.

Tomando en consideración los antecedentes expuestos previamente y el análisis geomorfológico, se definieron las siguientes categorías:

- Alto grado de peligro: estas zonas se presentan, en general, en laderas de pendientes altas a muy altas con presencia de remociones en masa actuales y antiguas.
- Medio grado de peligro: coinciden con laderas de pendientes moderadas a altas con evidencias de remociones actuales y antiguas.
- Bajo grado de peligro: estas áreas se presentan, comúnmente, en laderas de pendientes moderadas a muy altas con evidencia de remociones antiguas y procesos erosivos activos, pero sin remociones actuales.

Las actividades humanas relacionadas con la generación de remociones en masa, en el área de Temuco, correspondieron, principalmente, a las excavaciones realizadas en las laderas (cortes viales, canales, preparación de fundaciones) y a la deforestación, todos estas asociadas al cordón del Ñielol. El diseño de infraestructura vial requiere, en la mayoría de las ocasiones, realizar ese tipo de trabajo para su construcción. Sin embargo, no siempre se consideran las características geológicas del terreno, lo que propicia las condiciones adecuadas para la generación de remociones en masa. En la ciudad de Padre Las Casas son comunes las excavaciones en las laderas para nivelar el terreno y, posteriormente, construir viviendas, muchas de las cuales se encuentran en peligro de ser destruidas, parcial o totalmente, por deslizamientos. Fenómenos de este tipo ocurrieron en ese sector, en las laderas del cerro Conunhuenu, durante el invierno del año 2000. Las excavaciones en las canteras también generan condiciones de inestabilidad. Ejemplo de esto se puede observar en la localidad de Miraflores, al sur de Lautaro. La deforestación y la consecuente muerte de las raíces generan la pérdida de soporte físico entregado por estas últimas, lo que favorece la erosión y las remociones en masa, fenómeno evidente en la zona del cordón montañoso del Ñielol y Conunhuenu.

Problemas para Obras Civiles

Bajo este título el estudio Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco ha agrupado los problemas que afectan a diferentes obras de ingeniería, principalmente infraestructura vial. El común denominador de la mayoría de estos problemas es que el diseño y desarrollo de las obras no se adaptaron completamente a las condiciones geológicas (litología, geotecnia, geomorfología, entre otras) del terreno. Las infraestructuras más afectadas corresponden principalmente a calzadas y taludes de carreteras y caminos, identificándose hundimientos, socavación de calzadas e inestabilidad de taludes.

En el área se han detectado hundimientos en los caminos que recorren el cerro Ñielol. Estos se presentan en forma de grietas o diferencias significativas de nivel a lo largo de los terraplenes del camino. Procesos de reptación (movimientos muy lentos, casi imperceptibles, que provocan una deformación continua de los materiales) han causado estos problemas.

La socavación de calzadas en los caminos se produce debido a tres causas diferentes: erosión de terraplén que une el camino al puente (río Caihuico), debido a la ausencia de canalización de aguas lluvia; cursos de agua no canalizados que, al aumentar de caudal debido a lluvias intensas, erosionan la calzada, y alcantarillas de desagüe en mal estado, obstruidas o mal diseñadas y construidas, las que facilitan la erosión de las calzadas de caminos. Algunos



caminos presentan también problemas relacionados con inestabilidad de taludes, causados por erosión y remociones en masa. En la mayoría de los casos los volúmenes involucrados son pequeños; sin embargo, volúmenes mayores podrían provocar la obstrucción de la calzada. En uno de los casos (camino Millachiguay-Las Pitras) se implementaron medidas de mitigación con muros de contención y forestación de la ladera, en el caso de Temuco, estos se dan hacia el Cordón del Ñielol y en torno a la plataforma de erosión asociada al sector Pedro de Valdivia.



V. CARACTERIZACIÓN LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 Tipologías de Suelo.

Los tipos de suelos identificados dentro del área de estudio corresponden a:

Serie Barros Arana, franco limosa - BAA

Suelos delgados, de origen volcánico con redepositación aluvial, en posición de terrazas recientes. De textura superficial franco limosa y textura franco arenosa fina en profundidad. Substrato constituido por gravas con matriz arenosa. Suelos planos, de permeabilidad moderadamente rápida y excesivamente drenados. Se presentan en sectores con ligera o moderada pedregosidad superficial.

Serie Temuco, franco limosa - TEM

Suelos ligeramente profundos, de origen aluvial, en posición de terraza reciente, que se ubican en el Llano central a una altura de 100 a 150 msnm. De textura superficial franco limosa y color pardo oscuro; de textura franco limosa y color pardo amarillento oscuro en profundidad. Se presentan en forma de depósitos de cenizas volcánicas sobre gravas y piedras en los diferentes niveles de terrazas aluviales. Suelo plano ha ligeramente inclinado, de permeabilidad moderada y bien drenada.

Serie Metrenco, franco arcillo limosa- MET

Suelos profundos, formados por cenizas volcánicas muy antiguas sobre planos remanentes, que se ubican principalmente en el Llano central, a una altura de 100 a 300 msnm. De textura superficial franco arcillo limosa y de textura arcillosa en profundidad. La topografía es moderadamente ondulada con pendiente de 8 a 15%, permeabilidad moderada y bien drenada.

Serie Nueva Imperial, franco limosa- NPL

Suelos que se ubican en el Llano Central a una altura de 30 a 70 msnm; delgados, de origen aluvial. De textura superficial franco limosa y de textura franco arcillo limosa en profundidad. Substrato de gravas cementadas. La permeabilidad es moderadamente lenta, de drenaje pobre y de topografía casi plana con 1 a 3% de pendiente.

Misceláneo Río - MR

Corresponden a terrenos pedregosos, con matriz arenosa, que se ubican en las terrazas bajas y recientes de los ríos y en parte cubiertos de vegetación rala de pastos y arbustos.

Misceláneo Pantano- MP

Corresponde a terrenos húmedos, con nivel freático superficial, con vegetación hidromórfica, pero que en los meses de verano mantiene una cubierta herbácea que permite un talaje directo.

Misceláneo Quebrada - MQ

Corresponden a terrenos de pendientes abruptas, susceptibles a erosionarse y presentar en su cauce piedras y bolones abundantes. Presenta generalmente una buena a regular vegetación arbustiva que evita los procesos erosivos y que deben mantenerse como terreno de protección.



Terrazas Aluviales TA

Corresponden a suelos de texturas arcillosas, profundos, planos y de drenaje pobre. Se presentan en valles entre lomajes y cerros, formados por sedimentos de la Serie Metrenco.

Terrazas Aluviales de Cenizas Volcánicas -TV

Corresponde a suelos de texturas medias, moderadamente profundos, casi planos con 1 a 3% de pendiente y bien drenados.

Serie Pemehue- PEH

Suelo profundo, formado por cenizas volcánicas, que se ubica principalmente en la parte alta del Llano Central y en los inicios de la precordillera, a una altura de 150 a 300 msnm. De textura superficial franco limosa y textura franco arcillo limosa en profundidad. Substrato de tipo aluvial o fluvio-gracial. Suelos en topografía ondulada a lomajes suaves, de permeabilidad moderada y bien drenada.

Los tipos de suelo anterior, se ilustran en la imagen adjunta:



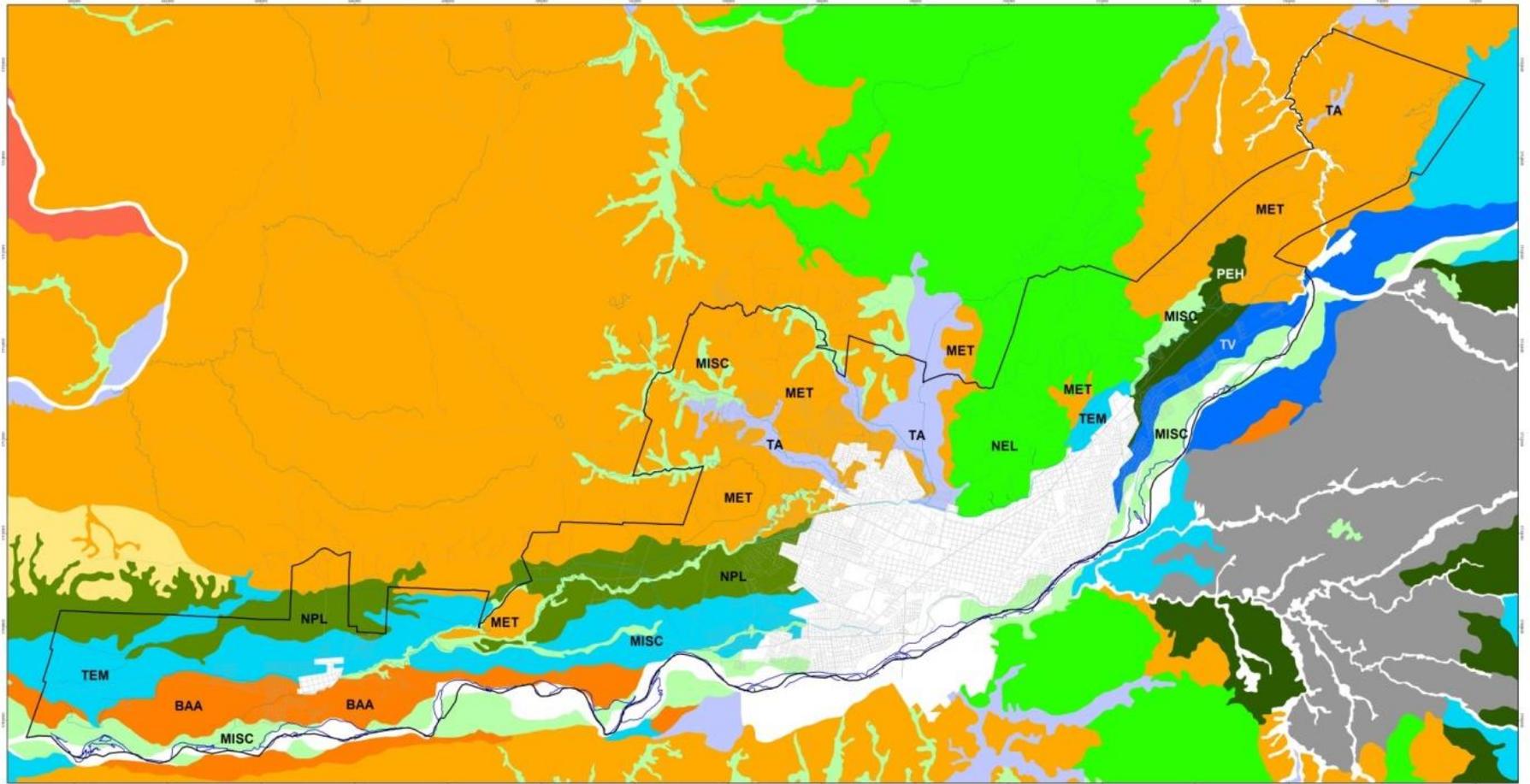


Figura N° 15. Tipos de Suelos.
Fuente: Ortofotod CIREN CORFO 2002.



5.2 Geomorfología

Los relieves se clasifican en dos tipos: Relieves de Erosión y Relieves de Acumulación. En el caso de los relieves de erosión se identificaron plataformas de erosión y cordón montañoso del Ñielol. En cuanto a relieves de acumulación se distinguieron terrazas fluviales (superior, media e inferior), así, como llanuras aluviales y aluviones fluviales (no estabilizado y semi estabilizados). Lo anterior, se ilustra en la imagen adjunta.



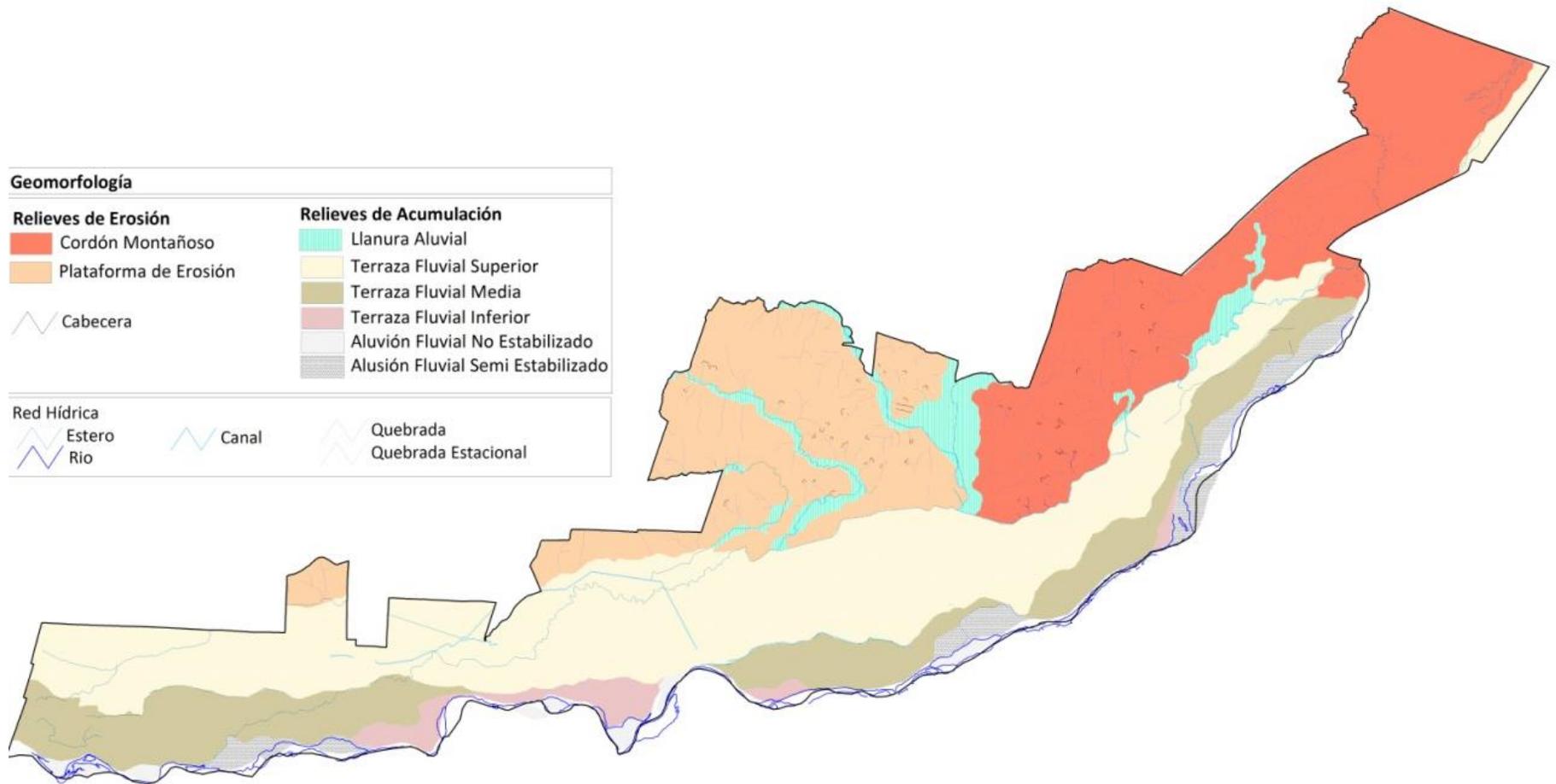


Figura N° 16. Carta Geomorfologica
Fuente: Elaborada Equipo Consultor.



Las plataformas corresponden a los conjuntos estructurales más antiguos, representan parten consolidadas de la corteza terrestre, rígidas y relativamente estables. Esta unidad se encuentra constituida por rocas metamórficas, en estas dominan complejos granítico - gneísicos y esquistos del metamorfismo regional (Coque, 1987), lo que las hace fácilmente erosionable, especialmente por el agua.

En esta unidad predomina los flujos superficiales, intermedios y de agua de saturación, los cuales tributan, con el tiempo, a un curso de agua, que no es más que una forma de escorrentía más rápida y que concentra una mayor cantidad de agua. En este entendido, definiremos Quebradas Estacionales como una estrecha y larga depresión, o canal, por donde el agua se desplaza hacia niveles inferiores bajo la fuerza de la gravedad. De esta manera, se conforma un sistema de drenaje, el cual se compone de una red ramificada de quebradas estacionales (intermitentes) que recogen el agua superficial y la de la zona intermedia procedente de las diferentes vertientes que tributan en ellos, erosionando y modelando la unidad. De esta manera, cada una de ellas se podría imaginar como una pequeña red de drenaje, una cédula dentro de un sistema, que contribuye en la modelación y erosión consntante de esta unidad.

Sobre esta unidad se emplazan edificaciones y praderas, las que se asocian a los macrosectores Pedro de Valdivia, El Carmen y sector alto de Labrabza, el uso urbano conlleva cambios en la capacidad de infiltración y conducción de las aguas.

Lo anterior, se ilustra en la imagen adjunta de usos de suelo de Temuco:



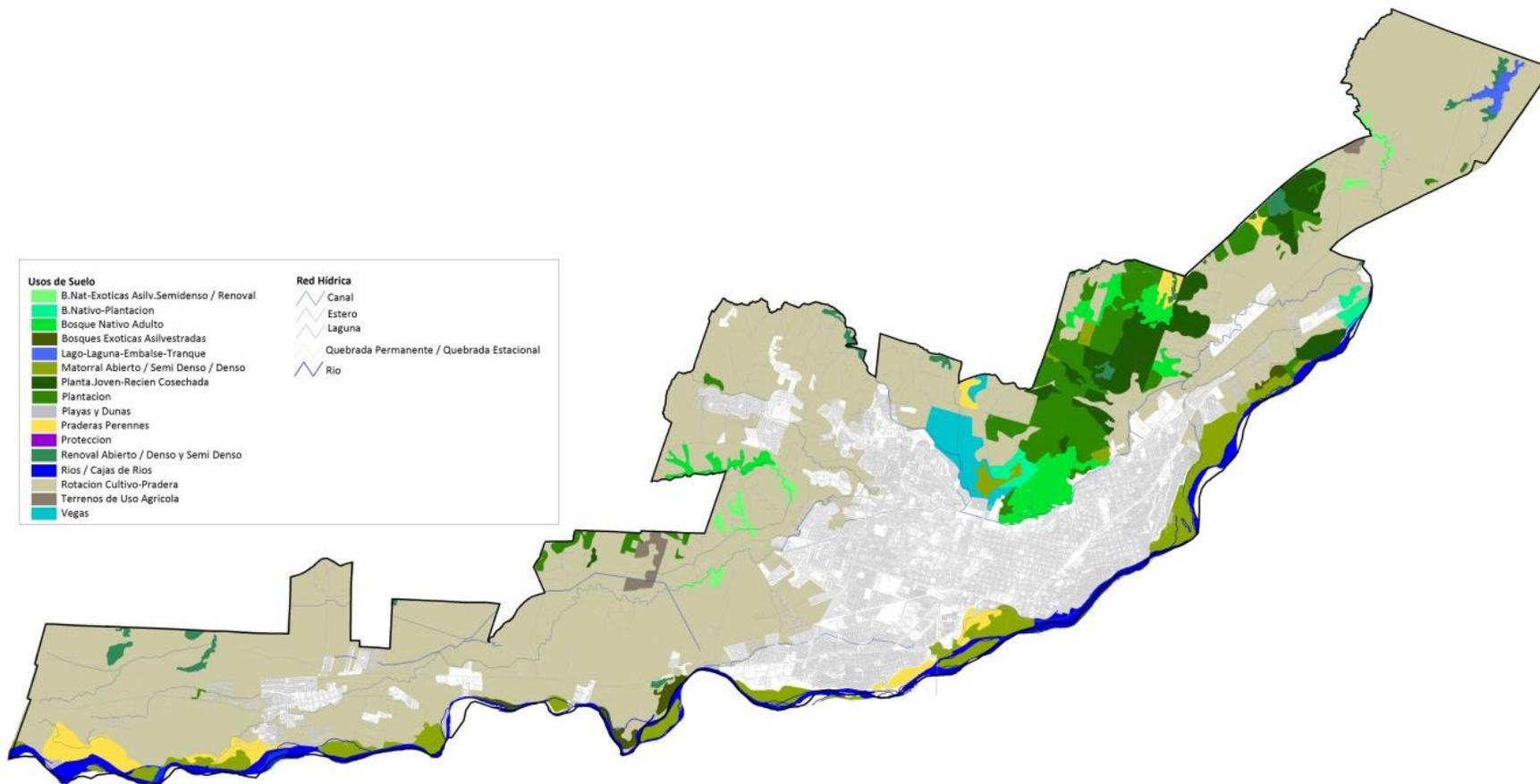


Figura N° 17. Usos de Suelo
Fuente: Cobertura Catastro Bosque Nativo, CONAF 2007.



Los cordones montañosos, correspondieron a unidades que se apoyan o adaptan al armazón constituido por las plataformas, constituyendo los conjuntos estructurales más jóvenes de la corteza terrestre (Coque, 1987). Si bien, gran parte de esta unidad, presenta una abundante cobertura vegetal esta presenta evidencia de erosión producto del modelamiento pluvial, situación que se evidencia por la alta densidad de líneas de escurrimiento (Quebradas intermitentes).

De acuerdo a su morfología, los cordones, presentan las cotas de mayor altitud dentro de las áreas morfológicas descritas para las unidades dentro del Límite Urbano de Temuco. Debido a su morfología, morfometría y tipo de roca esta unidad es adecuada para el desarrollo de actividades forestales, siendo necesario disponer de una cobertura vegetal del 100%.

En el caso de los relieves de acumulación, las Llanuras Aluviales deben su origen a los procesos erosivos – sedimentarios, de los relieves adyacentes, es decir, de plataformas y cordones, lo anterior, producto de la acumulación progresiva de las partículas. Su morfometría la describe como una unidad caracterizada por presentar una topografía poco diferenciada, siendo un terreno más o menos llano, registrando pendientes que fluctúan entre los 0 y 3°. Producto de su origen y pendientes, es normal que sobre esta se registren procesos de anegamiento, sean estacionales como permanentes, situación que se asocia a la presencia de vegetación hidromorfa, además, del desborde de cursos de agua.

Lo anterior, se aprecia, de mejor manera, en la carta de pendiente, adjunta:



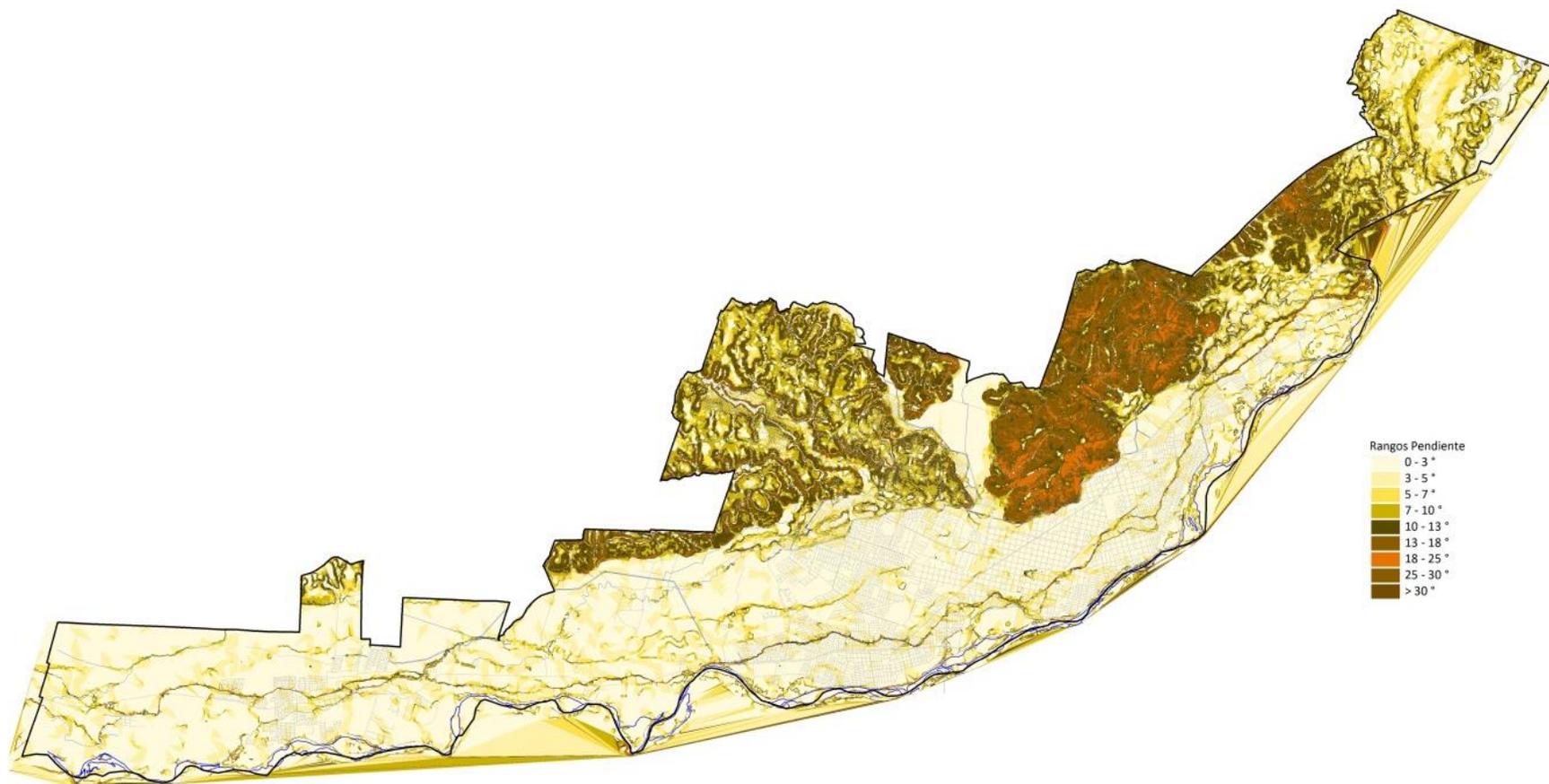


Figura N° 18. Usos de Suelo

Fuente: Elaborada Equipo Consultor sobre la Base de las Curvas de Nivel facilitadas por el Municipio de Temuco.



Las terrazas fluviales o terraza de río constituyen pequeñas plataformas sedimentarias o mesetas construidas por el valle fluvial por los propios sedimentos del río Cautín que se depositan a los lados del cauce en los lugares en los que la pendiente del mismo se hace menor, con lo que su capacidad de arrastre también se hace menor. Corre a lo largo de un valle con un banco a manera de escalón que las separa, ya sea de la planicie de inundación o de una terraza inferior. Es un remanente del cauce antiguo de una corriente que se ha abierto camino hacia un nivel subyacente, mediante la erosión de sus propios depósitos.

Estas se formaron cuando la corriente llenó el valle con sedimentos y labró después su cauce a un nivel subyacente. La agradación o construcción inicial pudo ser causada por un cambio en el clima que condujo a un incremento en la carga de la corriente o a una disminución en su descarga. También pudo elevarse el nivel base de la corriente, reduciendo el gradiente y dando lugar al depósito. En cualquier caso la corriente tapó el valle con sedimento y se elevó gradualmente la planicie de inundación. Luego, al perderse el equilibrio nuevamente la corriente comienza a erosionar, labrándolo un cauce a través de los sedimentos anteriormente depositados. El nivel de flujo será inferior al de la antigua planicie de inundación y en este nuevo nivel comenzará la corriente a labrar una nueva planicie de inundación. Con el tiempo, quedarán vestigios de la antigua planicie de inundación en ambos lados de la nueva. Las terrazas que quedan una frente a otra a través de la corriente y a la misma elevación, se conocen con el nombre de terrazas aparejadas.

De esta manera, las terrazas inferiores y aluviones (acumulación de sedimento arrastrado por el río) son frecuentemente afectados por las inundaciones, debido a que se emplazan en lo que se conoce como la llanura de inundación, esta es entendida como las áreas de superficie adyacentes a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza siempre cambiante, las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por él.

Una consideración relevante de tener en cuenta, es que las llanuras de inundación no son estáticas ni estables. Están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones y crecidas de agua, o pueden ser el lugar donde se depositen nuevos estratos de lodo, arena y limo. En tal virtud, el río puede cambiar de curso e ir de un lado de la llanura de inundación al otro.

Sobre las unidades, antes descritas, se reconocen distintos procesos geomorfológicos, entendiendo estos como procesos generadores de cambios en las propiedades del suelo, alterando los niveles de fertilidad y consecuentemente su capacidad de sostener actividades productivas, estos corresponden a:

- Solifluxión en terracetas, esta corresponden a desplazamientos que afectan a una masa de fango despegada de un basamento estable, incidiendo únicamente en los materiales arcillosos susceptibles. En pendientes altas, el movimiento se descompone en pequeños deslizamientos escalonados, expresados en peldaños discontinuos de altitud y de anchura decimétrica, esta parece acentuarse con las pisadas del ganado o el transitar de las personas, en el caso de los procesos que se dan en torno al área urbana, situación que ocurre en el macro-sector Pero de Valdivia y El Carmen.



- Deslizamientos, son movimientos de masas de suelo o roca que deslizan, moviéndose relativamente respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de rotura netas al superarse la resistencia al corte de estas superficies; la masa generalmente se desplaza en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido; la velocidad puede ser muy variable, pero suelen ser procesos rápidos y alcanzar grandes volúmenes (hasta varios millones de metros cúbicos).
- Anegamiento, se define como el proceso de acumulación de un volumen de agua - lluvia sobre la superficie del suelo. Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria) y las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la capacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas). Dependiendo si el fenómeno se manifiesta durante todo el año o temporalmente en épocas invernales se le clasifica como estacional o permanente, siendo estos últimos los más difíciles de mitigar.
- Inundación, corresponde a un evento natural y recurrente para un río. Estadísticamente, los ríos igualarán o excederán la inundación media anual, cada 2,33 años (Leopold et al., 1984). Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebalse su cauce e inunde tierras adyacentes. Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua. Las llanuras de inundación son, por tanto, "propensas a inundación" y un peligro para las actividades de desarrollo si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

Se pueden considerar las llanuras de inundación desde varias perspectivas diferentes: "La definición de llanuras de inundación depende algo de las metas que se tenga en mente. Como categoría topográfica es plana y se encuentra al lado un río; geomorfológicamente, es una forma de terreno compuesto primariamente de material depositado no consolidado, derivado de sedimentos transportados por el río en cuestión; hidrológicamente, está mejor definida como una forma de terreno sujeta a inundaciones periódicas por un río. Una combinación de estas características posiblemente cubre los criterios esenciales para definir una llanura de inundaciones" (Schmudde, 1968). Más sencillamente, una llanura de inundación se define como "una franja de tierra relativamente plana, junto a un río y que sufre desborde de las aguas durante las crecidas" (Leopold et al., 1964).

Las inundaciones suelen ser descritas en términos de su frecuencia estadística. Una "inundación de 100 años*" o "una llanura de inundación de 100 años" se refiere a un evento o una área expuesta a un 1 % de probabilidad que ocurra una inundación de un determinado volumen en cualquier año dado. Este concepto no significa que una inundación ocurrirá sólo una vez cada 100 años. Si es que ocurre o no en un determinado año no cambia el hecho de que siempre hay una probabilidad del 1 % de que ocurra algo similar al año siguiente. Dado que las llanuras de inundación pueden ser



cartografiadas, los linderos de una inundación de 100 años se utilizan comúnmente en programas de mitigación de llanuras de inundación, para identificar las áreas donde el riesgo es significativo.

La frecuencia de inundaciones depende del clima, del material de las riberas del río y la pendiente del canal. Cuando ocurre copiosa precipitación en una determinada estación cada año, o la inundación anual es resultado del deshielo, las llanuras de inundación pueden ser inundadas casi todos los años, aún a lo largo de grandes ríos con muy poca pendiente de canal. En las regiones que no sufren extensos períodos con temperaturas bajo cero, las inundaciones generalmente ocurren en la época de mayor precipitación. Cuando el mayor número de inundaciones son resultado del deshielo, frecuentemente acompañado por precipitación, la época de inundaciones es la primavera o el inicio del verano.

- Procesos de erosión, se presentan estratificados en procesos de erosión en manto y erosión líneal. La erosión, ya sea en manto o líneal, son procesos que actúan de manera selectiva, arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica) y dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas.

De los distintos procesos descritos fue posible graficar en cartografía alguno de los siguientes:

1. Inundación: Para esta se emplearon las áreas consideradas en los distintos estudios facilitados por la DOH, así, como el reconocimiento geomorfológico de las llanuras aluviales, de inundación, aluviones y terrazas inferiores, como unidades susceptibles de ser afectadas por procesos de inundación.
2. En materia de erosión habría que achurar toda la plataforma de erosión dado la característica del tipo de suelo y tipos de intervenciones generadas sobre esta (movimiento de tierras), sin embargo, se optó por definir las cabeceras de erosión, las cuales indican el grado de consolidación del proceso erosivo sobre esta unidad y la de cordón montañoso.
3. La soliflucción si bien se observó en terreno, no es posible su gráfica al no disponer de fotografías aerofotogramétricas que permitan su interpretación, sin embargo, las áreas definidas con micro-deslizamientos, es decir, deslizamientos de menor escala presentan en un inicio procesos de soliflucción, siendo un fenómeno predecesor al de los micro-deslizamientos.
4. Los deslizamientos, que han ocurrido en otros tiempos dejaron cicatrices en las curvas de nivel que permitieron su interpretación actual, sin embargo, el trabajo solo sobre curvas de nivel y no sobre fotografías aerofotogramétricas no impide precisar los deslizamientos actualmente en dormación.



5. Finalmente se graficaron los conos de acumulación de detritos producto de la erosión de las quebradas estacionales, lo anterior, como indicador de la capacidad erosivo y magnitud de algunos procesos erosivos.

Lo expuesto anteriormente, se grafica en la cartografi adjunta:



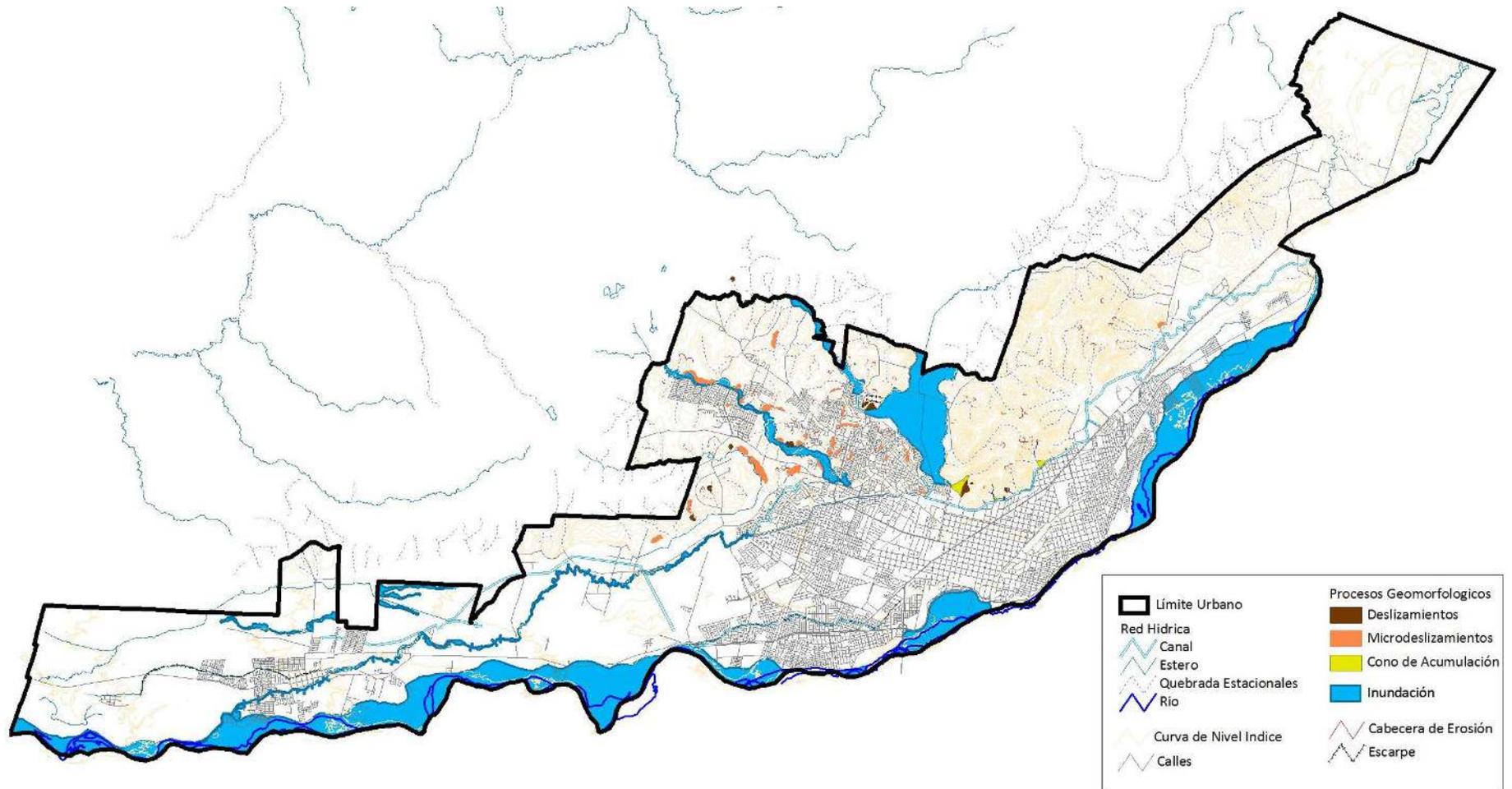


Figura N° 19. Procesos Geomorfologicos

Fuente: Elaborada Equipo Consultor sobre la Base de las Curvas de Nivel facilitadas por el Municipio de Temuco.



VI. RIESGOS NATURALES PERCIBIDOS POR LA COMUNIDAD

A continuación se señalan los procesos de peligrosidad natural percibidos por la comunidad y algunas de las causantes que explican estos:

Sector	Pueblo Nuevo
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El sector registra problemas de pendientes (muy bajas) para la colección de aguas lluvias, además, de colectores pequeños los que se ven colapsados en algunos casos, potenciando la generación de procesos de anegamiento estacional. • En las villas nuevas, si bien las calles están pavimentadas, no tiene pendiente que permita adecuadamente la evacuación de las aguas por gravedad generando con ello procesos de anegamiento estacional. • Se registran procesos de anegamiento por acumulación de aguas lluvias en las calles: Tucapel con Orella, entre Parque Alcántara y Valle de Asturias (en el cruce), Huérfanos con Cacique Lemunao. • Además, se registran procesos de anegamiento en el acceso desde Caupolicán hacia la caletera y en calle paralela a Caupolicán. • Calle moneda con los pasajes 1, 2, 3 y los restantes pasajes, no presentan pavimentos ni sumideros, además, la pendiente no permite la evacuación natural de las aguas lluvias y se acumulan generando procesos de anegamiento estacionales. • Se presenta basura en los cauces naturales lo que facilita el desborde de estos al superar la capacidad de carga, generando inundaciones locales. • En torno al canal Gibbs en áreas mejoradas con gaviones se han generado deslizamiento de árboles hacia el canal, haciendo peligrar el paso de las agua y con ello anegando mayores sectores que los actualmente afectados.
<p>Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Anegamiento estacional por falta de pendiente y baja capacidad de carga de colectores. • Inundaciones localizadas por obturación del cauce por presencia de basura y material de deslizamientos. • Deslizamientos localizados en torno al cerro Ñielol.

Sector	Centro
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los colectores de aguas lluvias colapsan desde calle Lynch hasta calle Carrera, esto considerando el sector Pichicautín generando procesos de anegamiento estacional. • Se registran rebalses producto que no se limpia el canal Pichicautín generando procesos de inundación localizados.



	<ul style="list-style-type: none"> • Se registran falta de colectores que permitan una óptima evacuación de las aguas lluvias. • Se requiere limpieza constante del Canal Gibbs para asegurar una adecuada evacuación de las aguas lluvias. • Un aspecto relevante de considerar, es que se registra la presencia de vertientes naturales que generan una mayor saturación de aguas lluvias, estas se localizan en los faldeos del cerro Ñielol y al existir problemas de estabilidad de suelo generan el deslizamiento del terreno y los árboles que sobre este se emplaza. • Se registran procesos de anegamiento estacional por aguas lluvia en Av. Prieto Norte con Av. Balmaceda, en calles Bulnes con Rodríguez, en calle San Martín con Caupolicán. • Se registran procesos de anegamiento estacional en la cancha de Skate. • Se registran procesos de remoción en masa cerca de tribunales. • Se registran procesos de remoción en masa en el terreno de la empresa Intergas por trabajos en Cerro Ñielol, estos no han sido estabilizados.
<p>Procesos de Peligrosidad predominates en el macro-sector de Peligrosidad Natural en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Anegamiento estacional por baja capacidad de carga de colectores de aguas lluvias. • Inundaciones localizadas por obturación del cauce por material proveniente de deslizamientos. • Deslizamientos localizados en torno al cerro Ñielol.

Sector	Amanecer
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Algunos procesos de anegamiento puntuales obedecen a cámaras drenaje sucias, áreas sin pavimentar y basuras. • Las calles que registran procesos de anegamiento corresponden a Calle Boloña con Milano, Capri con Los Castaños, calle Los Coihues con Las Lumas – Ampliación Las Quilas. • Se registran problemas de erosión fluvial asociados a predios colindantes con el Canal Aquelarre, esto último, ha generado que viviendas pierdan sus patios y se exponga la vivienda a daños o pérdidas totales producto del incremento de la capacidad erosiva del cauce.
<p>Procesos de Peligrosidad predominates en el macro-sector de Peligrosidad Natural en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Anegamiento estacional producto de cámaras drenaje sucias, áreas sin pavimentar y basuras • Movimientos de remoción en masa producto de fenómenos de erosión fluvial.



Sector	Pedro de Valdivia
Apreciaciones de la Comunidad	<ul style="list-style-type: none"> • Se registran procesos de anegamiento estacional por aguas lluvia en Villa Millenium. • Se registran anegamientos estacionales en calle Butamallín con Millahue. • La calle Pitrantu no se encuentra pavimentada y se generan anegamientos estacionales. • Villa Los Laureles no posee pavimentación lo que la hace propensa a verse afectada por procesos de anegamiento estacional. • Villa Arquenco. Se producen procesos de anegamiento estacional dado que colindan con una huella o senda de camino rural, la cual posee un alcantarilla para la evacuación de aguas lluvias, esta se colapsa y afecta a los vecinos. • La calle Pitrantu se anega porque no está pavimentada y posee una pendiente inferior a la del resto, siendo un área de acumulación de aguas lluvias. • En Lefun se generan anegamientos estacionales, sin embargo, estos logran evacuar hacia un estero natural (Cohiueco), falta mayor manejo. • En calle 7 venas se producen derrumbes, se colocaron gaviones, sin embargo, igual el terreno ha seguido cediendo (Villa Nuevo Milenio), además, los vecinos señalan que no hay manejo de aguas lluvias en torno a los gaviones y que existen dos cámaras que potencian la presencia de anegamientos. • Presentan problemas con colectores de aguas lluvias que generan procesos de anegamiento estacional en diversos sectores, tales como: <ul style="list-style-type: none"> ○ Francisco Poblete al llegar a la multicancha. ○ Francisco Poblete con Los Riscos. Se satura de aguas lluvias y genera el colapso del alcantarillado. ○ Javiera Carrera llegando a las Vegas de Chivilcan. ○ Calle Concepción con Pichilemu. ○ Francisco Aragón con Francisco Poblete, dado que existen 4 colectores sucios, además, dado que el terreno es bajo las aguas se estancan y no se logra el drenaje de estas. Por otra parte, en este mismo sector hay afloramiento de agua, lo que complica más el drenaje de las mismas. ○ En calle Fernando de Aragón se presenta una escalera peatonal por la cual desciende el agua, no permitiendo su uso y deteriorando la infraestructura. ○ Calle Concepción con Linares, frente a junta de vecinos.



	<ul style="list-style-type: none"> ○ Calle Concepción con Recreo, también se registran afloramientos de agua, los que potencial el proceso de anegamiento. ● Se registran deslizamientos de tierra en el sector de Los Riscos, siendo un proceso que cada vez avanza más. ● Se requiere de la limpieza constante del Canal Gibbs. ● Se requiere de la limpieza y manejo del Canal Coilaco.
<p>Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Procesos de anegamiento por falta de pavimentos, baja capacidad de los sistemas de colección de aguas lluvias, afloramientos naturales y diseño gravitacional deficiente en los sistemas de evacuación. ● Procesos de remoción en masa, derrumbes y deslizamientos, por pérdida de estabilidad por mal manejo de las aguas lluvias e inadecuado manejo del talud.

Sector	El Carmen
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Dado que este sector se emplaza sobre lomajes los procesos de anegamiento estacional son muy focalizados. ● Se presentan afloramientos de agua los que condicionan la ocurrencia de procesos de anegamiento permanente.
<p>Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Procesos de anegamiento producto de acumulación de aguas lluvias por falta de pendiente y afloramientos naturales de agua.

Sector	Costanera de Cautín
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● El sector se emplaza en una cota inferior a la del resto de la ciudad, lo anterior, dado que se emplaza en parte de la llanura inferior del río Cautín y sobre algunos aluviones estabilizados, lo anterior, dificulta en algunos sectores la evacuación de las aguas lluvias generando procesos de anegamiento estacional. ● El canal de La Luz comienza entubado y de Barros Arana hacia el río Cautín se presenta abierto siendo un foco de micro basurales los cuales obturan y dificultan el paso de las aguas, potenciando con ello la generación de procesos de anegamiento estacional. ● Hasta el canal de la Luz llegan las defensas fluviales y de ese punto hacia el norte no hay defensas, situación que preocupa, ante futuras crecidas del río Cautín. ● La última gran inundación que la comunidad recuerda fue en 1985. ● La extracción de áridos ha generado cambios en la morfología del cauce, generando áreas con socavones,



	<p>cambios en la capacidad erosiva y corriente del cauce. Lo anterior, debe ser resguardado, para asegurar el cuidado de los vecinos ante eventuales crecidas.</p>
<p>Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de inundación por falta de defensas fluviales y debido a la extracción de áridos la cual ha generado cambios en la morfología del cauce, generando áreas con socavones, cambios en la capacidad erosiva y corriente del cauce. • Procesos de anegamiento estacional producto de afloramientos de agua del canal de la Luz, conectividad hidráulica y falta de pendiente.

Sector	Labranza - Botrolhue
<p>Apreciaciones de la Comunidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los procesos de anegamiento estacional son puntuales y obedecen a calles sin pavimentar u áreas con menor pendiente que generan el problema de drenaje en las aguas Lluvias. • El mejoramiento del estero Botrolhue en algunos tramos de este cauce ha evitado que se provoquen desbordes de agua como los ocurridos el año 2008, sin embargo, mientras más se acerca este cauce al río Cautín en las áreas bajas de Labranza es mayor la posibilidad de desborde de las aguas. • La Villa Allend, Alto de Labranza y Los Jardines presentan un canal de riego entubado en el área de estas poblaciones el cual pasa, en algunas secciones, debajo de las viviendas, dejando un rastro de humedad en las casas, además, no tiene mantención y genera diversos problemas. De igual manera, estos sectores presentaban procesos de anegamiento permanente, anterior al emplazamiento de las viviendas, razón que potencia aún más los procesos de anegamiento actuales.
<p>Procesos de Peligrosidad Natural predominates en el macro-sector</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Procesos de anegamiento producto de falta de pavimento y áreas de menor pendiente. • Procesos de anegamiento permanente producto de la morfología y tipología de suelo, potenciado, a procesos de conexión hidráulica por canal de riego sin uso. • Procesos de inundación asociados a la cercanía del río Cautín.



VII. PROCESOS DE PELIGROSIDAD NATURAL DE INTERÉS

7.1 Procesos de Remoción en Masa

Los factores que controlan los movimientos de las laderas son aquellos capaces de modificar las fuerzas internas y externas que actúan sobre el terreno, lo anterior, se muestra en la siguiente tabla:

Factores Condicionantes	Factores Desencadenantes
<ul style="list-style-type: none"> - Estratigrafía y litología - Estructura geológica - Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales. - Propiedades físicas, resistentes y deformacionales. - Tensiones naturales y estado tenso-deformacional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecargas estáticas. - Cargas dinámicas. - Cambios en las condiciones hidrogeológicas. - Factores climáticos. - Variaciones en la geometría. - Reducción de parámetros resistentes.

Los efectos sobre el comportamiento y las propiedades de los materiales se ilustra en la tabla adjunta; los factores condicionantes (o pasivos) dependen de la propia naturaleza, estructura y forma del terreno, mientras que los desencadenantes (o activos) pueden ser considerados como factores externos que provocan o desencadenan las inestabilidades y son responsables, por lo general, de la magnitud y velocidad de los movimientos.

	Factores	Influencia y Efectos
Condicionantes	Relieve (pendiente, geometría)	Distribución del peso en el terreno.
	Litología (composición, textura)	Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico.
	Estructura geológica y estado tensional	Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo y anisótropo. Zona de debilidad.
	Propiedades geomecánicas de los materiales	Comportamiento hidrogelógico. Generación de presiones intersticiales.
	Deforestación	Modificación en el balance hídrico. Erosión
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.
Desencadenantes	Precipitaciones y aportes de agua	Variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno.
	Cambio en las condiciones hidrológicas	Saturación en suelos. Erosión.
	Aplicación de cargas estáticas o dinámicas	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera. Incremento de presiones intersticiales.
	Cambios morfológicos y de geometría de las laderas	Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado tensional.
	Erosión o socavación del pie.	Cambios geométricos en la ladera.



		Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado tensional de la ladera.
	Acciones climáticas (procesos de deshielo, heladas, sequías)	Cambio en el contenido del agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes.

A efectos de su incidencia en el comportamiento geomecánico de los suelos y rocas, los factores o agentes que controlan los movimientos de laderas pueden agruparse en aquellos que contribuyen a reducir la resistencia al corte y aquellos que incrementan los esfuerzos de corte.

En la mayoría de los casos son varias las causas que contribuyen al movimiento de una ladera; aunque con frecuencia se atribuyen a la acción de algún factor desencadenante (lluvias, sismos, etc.), las inestabilidades no se hubieran producido de no existir una serie de condiciones predeterminadas que favorecen estos fenómenos.

Dentro de los factores condicionantes, las propiedades físicas y resistentes de los materiales (directamente relacionadas con la litología) y las características morfológicas y geométricas de la ladera son fundamentales para la predisposición a la inestabilidad; otros factores importantes son la estructura geológica y las discontinuidades, las condiciones hidrogeológicas y los estados tenso-deformacionales.

El relieve juega un papel definitivo, ya que es necesaria cierta pendiente para que se produzcan los movimientos gravitacionales. Los relieves montañosos son los más propensos a los movimientos de laderas, no obstante, en ocasiones, y dependiendo de otros factores, es suficiente una pendiente muy baja, de algunos grados, para que tengan lugar determinados tipos de inestabilidades, como los flujos de barros o tierra, así, como deslizamientos.

Por otra parte, el comportamiento hidrogeológico de los materiales está asociado a sus características litológicas y estructurales y al grado de alteración y meteorización, aspectos en íntima relación con las condiciones climáticas de una zona determinada. El agua juega un doble papel negativo en la resistencia de los materiales:

- Reduce la resistencia al corte por la generación de presiones intersticiales y por la reducción de los parámetros resistentes en determinados tipos de suelos.
- Aumenta los esfuerzos de corte por el incremento del peso del terreno y por la generación de fuerzas desestabilizadoras en grietas y discontinuidades.

Respecto a los factores desencadenantes los más importantes correspondieron a precipitaciones, los cambios en las condiciones hidrogeológicas de las laderas.

Considerando los antecedentes anteriores, se procedió a analizar y definir los distintos procesos de remoción presentes en Temuco – Labranza:

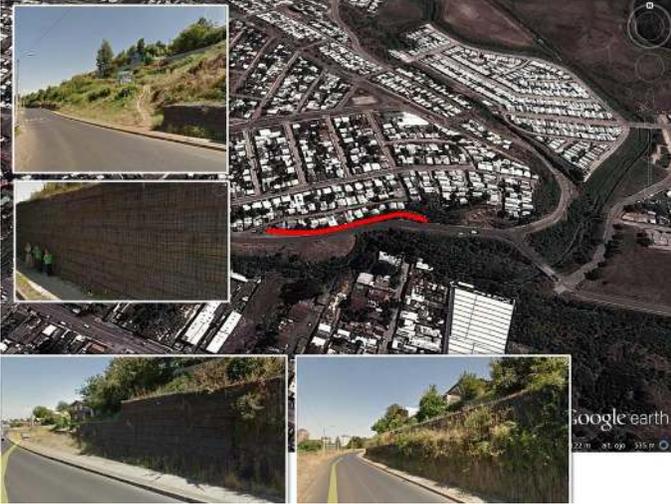


Tipo de Proceso	Remoción en Masa: deslizamiento, micro-deslizamientos, solifluxión en terracetos
Condicionantes	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios geométricos en la ladera producto de la habilitación para el emplazamiento de edificaciones y red vial (Movimiento de tierra). - Modificación en el balance hídrico asociado al sistema gravitacional de evacuación de aguas lluvias y de colección de las mismas. - Procesos de Erosión Hídrica (en manto y lineal). - Generación de grietas y planos de debilidad producto del proceso de habilitación urbana.
Macro-sectores afectados	<p>Macro-sector: Pedro de Valdivia y El Carmen.</p> <p>Cerro Ñielol, si bien este no es un macro-sector es de interés para el estudio su consideración.</p>
Normativa	<p>Artículo 2.1.17. En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos...</p> <p>Las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos. 1 2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas. 3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas. 4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Fue relevante considerar que la norma habla solo de zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas, sin considerar, derrumbes o deslizamientos, sin embargo, el no control de cualquier tipo y nivel de proceso de remoción en masa puede terminar en procesos de alto riesgo que condicionen la seguridad de las personas.

Por otra parte, la inclusión en el artículo 2.1.17 de Zonas o terrenos con riesgo generados por la actividad o intervención humana, dejan incluir aquellas áreas habilitadas para el emplazamiento de viviendas que no han tenido o generado las correctas medidas de habilitación de terrenos, en este caso, en lo que se refiere al movimiento de tierras y sistema de evacuación de aguas lluvias. Considerando esto último se han considerado algunos casos particulares a mencionar:



Sector	Pedro de Valdivia
	<p>Este macro-sector se emplaza sobre plataformas de erosión, con pendientes que fluctúan entre los 0 y 13°, fuertemente disectado producto de la red de drenaje que modela la plataforma, hacia las áreas de quebrada presenta suelos de textura superficial franco arcillo limosa, lo que los hace más susceptibles a los procesos erosivos, con pendientes de 20 a 30 % las cuales son susceptibles a verse afectada por diversos procesos de remoción moderados. En las imágenes adjuntas se ilustran los intentos por controlar los procesos de remoción en masa a través de muretes de gaviones y manejo de taludes, sin embargo, falta el control del factor detonante, es este caso, de los flujos de aguas lluvias. Estas últimas ocasionan la variación de las presiones intersticiales y del peso del terreno, además, de la saturación del mismo.</p>
	

De igual manera, la habilitación de la plataforma para el desarrollo del uso urbano ha generado variaciones de las fuerzas debidas al peso y cambio en el estado tensional de las laderas, lo anterior, potenciando el desarrollo de procesos de remoción en masa. En este entendido, se debe tener claridad que el manejo de los cortes de los taludes (movimiento de tierras), así, como el manejo de las aguas lluvias, son claves para evitar la ocurrencia de procesos de remoción en masa, sin embargo, actualmente, en este sector se emplean las quebradas naturales como desagües de los colectores de aguas lluvias, así, como escurrimiento gravitacional, generando procesos erosivos y con ello, haciendo más susceptibles las laderas a sufrir procesos de remoción, iniciando con procesos erosivos, siguiendo con pequeños retazos de solifluxión, de ahí los micro-deslizamientos, hasta la generación de deslizamientos mayores. Para una mayor entendimiento de lo anterior, en



las figuras adjuntas se ilustra lo complejo del sistema de pendientes que operan en el sector, así, como la diagramación del sistemas de colección de aguas lluvias, este último, drena las aguas que colecta a las quebradas naturales que hoy registran una alta capacidad erosiva, acentuando con ello procesos de inestabilidad.



Figura N° 20. Mapa de pendientes.
Fuente: Elaborado equipo Consultor.



Figura N° 21. Sistema de Colectores de aguas
Lluvias.

Fuente: Elaborado equipo Consultor sobre base
entregada por le Municipalidad de Temuco

Finalmente, fue necesario resguardar el área que circunda las quebradas e incorporar sistemas de conducción y manejo de aguas lluvias a las obras civiles de estabilización de talud, así, como nuevas obras que permitan el manejo de las quebradas intermitentes como colectores de aguas lluvias, lo anterior, considera la implementación de obras estructurales como no estructurales (Manejo de la cobertura vegetal). En la fotografía adjunta se muestran obras de contención desarrolladas en el sector, sin embargo, no se maneja el peso que estas ni se adicionan sistemas de conducción de aguas lluvias que evite la sobre hidratación de estas.





Si bien, los vecinos del macro-sector Pedro de Valdivia reconocen que los gaviones no han sido suficientes para el control de procesos de remoción en masa, identifican la falta de planificación en el sistemas de colección de aguas lluvias, además, del incremento de aguas producto del afloramiento de vertientes naturales, siendo necesario el desarrollo de la completa diagramación de las obras de contención (considerando año, medidas, espesor, material, entre otros aspectos), así, como el detalle de los sistemas de evacuación de aguas lluvias (Considerando caudal, diferenciación de colectores primarios de secundarios, año de emplazamiento y capacidad de carga de estos), lo anterior, para desarrollar un plan de gestión de riesgos que permita manejar la condición actual del sector y evitar futuros procesos de mayor envergadura al incrementar la población que habita en este sector.

Finalmente, sumado a lo señalado en párrafos anteriores, implicó que se ha generado una extensa red de drenaje en torno al macro – sector Pedro de Valdivia (Líneas en color rojo), incrementando los procesos de erosión y haciendo susceptibles sus laderas a sufrir procesos de remoción de distinta escala, lo anterior, denotado por las cabeceras que comienzan a surgir en las nacientes de la red de drenaje (Líneas cóncavas de color rojo oscuro) las cuales aportan con mayores áreas de erosión y de arrastre de material. Ver figura adjunta:





Figura N° 22. Red de Drenaje Sector Pedro de Valdivia con Conformación de cabeceras de Erosión.

Fuente: Elaborada Equipo Consultor sobre la Base de las Curvas de Nivel Entregadas por el Municipio de Temuco.

En el caso de Fundo el Carmen, si bien la Plataforma de Erosión se encuentra menos erosionada, lo anterior, evidenciado por la menor red de drenaje desarrollada sobre esta, es necesario, generar resguardos sobre el manejo de las aguas lluvias, así, como el manejo de las vertientes naturales, dado que el agua es el detonador de los procesos de remoción en masa y, al modificarse la geometría de esta unidad para la habilitación de edificaciones, así, como una mayor escorrentía por la mayor impermeabilización del sector por la habilitación de calles y veredas generan la necesidad de controlar mayores factores desencadenantes de futuros procesos de remoción en masa.

Junto a lo anterior, hubo que considerar que en este sector convergen dos tipos de suelos, aquellos suelos de textura superficial franco arcillo limosa y de textura arcillosa en profundidad de la Serie Metrenco y suelos de texturas arcillosas comúnmente presentes en valles entre lomajes y cerros, formados por sedimentos de la Serie Metrenco.



7.2 Procesos de Anegamiento Estacional

Estos corresponden a procesos de acumulación de un volumen de agua - lluvia sobre la superficie del suelo. Este proceso obedece a una serie de factores naturales y antrópicos entre los que destacan: las características pluviométricas (intensidad de lluvia diaria) y las características físicas del suelo y subsuelo (presencia de sedimentos impermeables que limitan la capacidad del suelo para infiltrar con la debida velocidad el agua de la lluvia y sectores morfológicamente deprimidos con pendientes débiles o nulas). Dependiendo si el fenómeno se manifiesta durante todo el año o temporalmente en épocas invernales se le clasifica como *estacional o permanente*, siendo estos últimos los más difíciles de mitigar.

Considerando lo anterior, unidades como las llanuras aluviales y fluviales no son estáticas ni estables, dado que anualmente están modificando su forma y comportamiento dado el incremento anual de sedimento producto de las lluvias. Considerando esto, están compuestas de sedimentos no consolidados, se erosionan rápidamente durante inundaciones y son más propensa a verse afectadas por procesos de anegamiento y/o crecidas de agua, o pueden ser el lugar donde se depositen nuevos estratos de lodo, arena y limo, facilitando con ello la ocurrencia de procesos de anegamiento.

Considerando lo señalado en párrafos anteriores, debemos comprender que los problemas que genera la urbanización en relación a las aguas lluvias se refiere al incremento del volumen de escorrentía y el aumento de los caudales máximos a evacuar debido a la impermeabilización del suelo. La solución tradicional basada exclusivamente en redes de colectores de aguas lluvias incrementa ambos fenómenos. Además, debido a que los colectores deben proporcionar un estándar de protección adecuado, su diseño es tal que su funcionamiento a plena capacidad en condiciones de diseño es eventual, encareciendo la solución de los problemas generados por las aguas lluvias en las zonas urbanas. En casos en que las áreas urbanas se expanden hacia aguas arriba de los sectores que ya cuentan con un sistema de drenaje, situación, recurrente en la ciudad de Temuco, estos van quedando obsoletos o son incapaces de operar con los mayores caudales que se generan en las nuevas zonas impermeabilizadas por la expansión de la urbanización.

El problema de las aguas lluvias en zonas urbanas tradicionalmente se ha enfrentado de manera de drenar y evacuar rápidamente los posible excesos conduciéndolos mediante redes de colectores hacia el cauce natural más cercano, en este caso, río Cautín, canal Gibbs, Estero Gabriela Mistral y Estero Botrolhue. Recientemente se han planteado algunas observaciones ambientales a este esquema debido a los impactos que esta práctica produce en el sistema natural de drenaje hacia aguas abajo de los lugares de descarga, fundamentalmente en relación al incremento de los riesgos de inundación y el aumento de erosión y sedimentación en los cauces, situación que se refleja en los problemas de inundación del Estero Botrolhue y de erosión del canal Aquelarre en las áreas no entubadas. Adicionalmente, también se cuestiona que el enfoque tradicional afecta el balance hídrico natural, causa efectos de choque por la descarga concentrada de contaminantes, o contribuye al mal funcionamiento de unidades de tratamiento en el caso de sistemas que reciben flujos contaminados de aguas servidas y aguas lluvias. En respuesta a estos problemas algunas comunidades han propuesto un tratamiento distinto basado en la disposición local, más cerca de las fuentes de las aguas lluvias. Eso se logra



infiltrando total o parcialmente las aguas lluvias, o almacenándolas para evacuarlas con posterioridad a las tormentas de manera de disminuir el volumen y los gastos máximos durante las tormentas.

De esta manera, los procesos de anegamiento estacional asociados a la ciudad de Temuco, se deben principalmente al funcionamiento del sistema actual de colección de aguas lluvias, el cual presenta dos sistemas receptores finales que reciben casi la totalidad de la escorrentía producida por las aguas lluvias transportadas por las calles, colectores y cauces naturales y éstos son el río Cautín y el Canal Gibbs, siendo que éste, en su paso por la ciudad, cambia de nombre a Gabriela Mistral, con diferentes características al anterior y finalmente desemboca en el propio Río Cautín como estero Botrolhue – estero Labranza, aguas abajo de Labranza (Figura N° 23). Finalmente, dado lo variante de este proceso producto de la condicionante manejo de aguas lluvias por la ciudad es un proceso que por no ser estático y depender 100% de factores entrópicos no será graficado ni grabado como tal.

Tipo de Proceso	Anegamiento Estacional
Condicionantes	- Diseño de carga del sistema de evacuación de aguas lluvias.
Macro-sectores afectados	- Se registra en distintos puntos de la ciudad según sea el nivel de las precipitaciones.
Normativa	Ley N° 19.525, publicada en noviembre de 1997, que asigna al Ministerio de Obras Públicas la responsabilidad del desarrollo de los Planes Maestros de Aguas Lluvias y Drenaje.

En este entendido el Plan Maestro de Temuco – Padre Las Casas, se justificó en el crecimiento de su área urbana, con el consiguiente aumento de las áreas impermeables, lo que ha tenido como consecuencia un aumento de los caudales, volúmenes y velocidades del flujo superficial, habiéndose generado problemas de anegamiento e inundación, de amplios sectores bajos de la ciudad, y particularmente en la parte de las zonas de Temuco, más cercanas al cauce del río Cautín.

En conclusión este instrumento “Plan Maestro de Aguas Lluvias” planteo los problemas de inundación tanto a nivel de sistema, subsistema y subáreas, para cada periodo de retorno considerado tanto en situación actual y futura, prácticamente son los mismos.

El análisis a nivel de sistema indica las siguientes situaciones:

- El canal Gibbs, entre su inicio y la confluencia del estero Temuco, excede en varios tramos la capacidad de porteo, producto principalmente de los aportes del canal Pillanlelbún aguas arriba, que posee un área de drenaje considerable y de rápida respuesta y que descarga en el Estero Kolossa, que aporta finalmente al canal Gibbs,



que en conjunto con la escasa sección del canal en algunos tramos, no permite el transporte del agua que se introduce en su lecho.

- El canal Gabriela Mistral, entre la confluencia del estero Temuco y la confluencia del estero Coihueco, donde hay varias descargas de aguas lluvias, sobrepasa su capacidad si coincide la crecida de este último, con la capacidad a plena carga del propio canal, Gabriela Mistral.
- El estero Botrolhue, no tiene suficiente capacidad de porteo para recibir la crecida conjunta del Gabriela Mistral y del Coihueco, aguas abajo de su confluencia, principalmente por el estado de sus secciones transversales. Este mismo canal, hacia aguas abajo en su desarrollo, produce desbordes de su cauce al recibir además los aportes en camino de sus sub-cuencas aportantes, lo que hace a partir de la actual bocatoma en su unión con el canal Nueva Imperial. A partir de este punto el desborde de su cauce es generalizado produciéndose reiteradamente, inundando los sectores a su paso y llegando a Labranza, con caudales que inundan toda la parte baja de ésta, produciendo grandes trastornos.

A nivel de red colectora abovedada con descarga al sistema, los problemas se limitan:

- a. Capacidad de algunos de los colectores.
- b. Salida adecuada a niveles que permitan su descarga.
- c. Inundación de puntos bajos que existen.

En el Sistema Cautín se producen inundaciones en gran parte de la Población Amanecer (al poniente del cruce con Ruta 5), por nivel de terreno a cota inferior a la del propio río Cautín, en la mayoría de sus crecidas anuales.

El canal Aquelarre tiene un tramo discontinuado, que no le permite evacuar el flujo de agua que transporta, inundando un sector puntual.

El canal de la Luz, que ha sido recientemente entubado casi en su totalidad, aporta grandes cantidades de caudal a la red colectora, produciendo saturación en ciertos trechos pero de escasa importancia.

A nivel de la red colectora abovedada con descarga al sistema, existe falta de capacidad de algunos colectores para transportar la escorrentía que les llega y también por falta de salida en algunas descargas, tapadas por las defensas fluviales o embacadas.

El Estero Botrolhue produce problemas de inundaciones en Labranza antes de su confluencia al río Cautín en la zona baja, invadida por tomas.

Sobre la base de lo anterior, se plantearon las soluciones para Temuco – Labranza en materia de diseño e implementación de colectores de aguas lluvias, sin embargo, si bien, la Ley establece que los Colectores Primarios son responsabilidad de la DOH y los Colectores Secundarios del SERVIU, ocurre, que se aprueban conjuntos habitacionales con colectores primarios por parte del SERVIU, no siendo estos últimos revisados ni visados por la DOH, además, no existe la planimetría ni antecedentes



técnicos de caudal de diseño de estos colectores, complejizando el desarrollo de soluciones integrales que permitan una correcta administración de la ciudad en esta material.



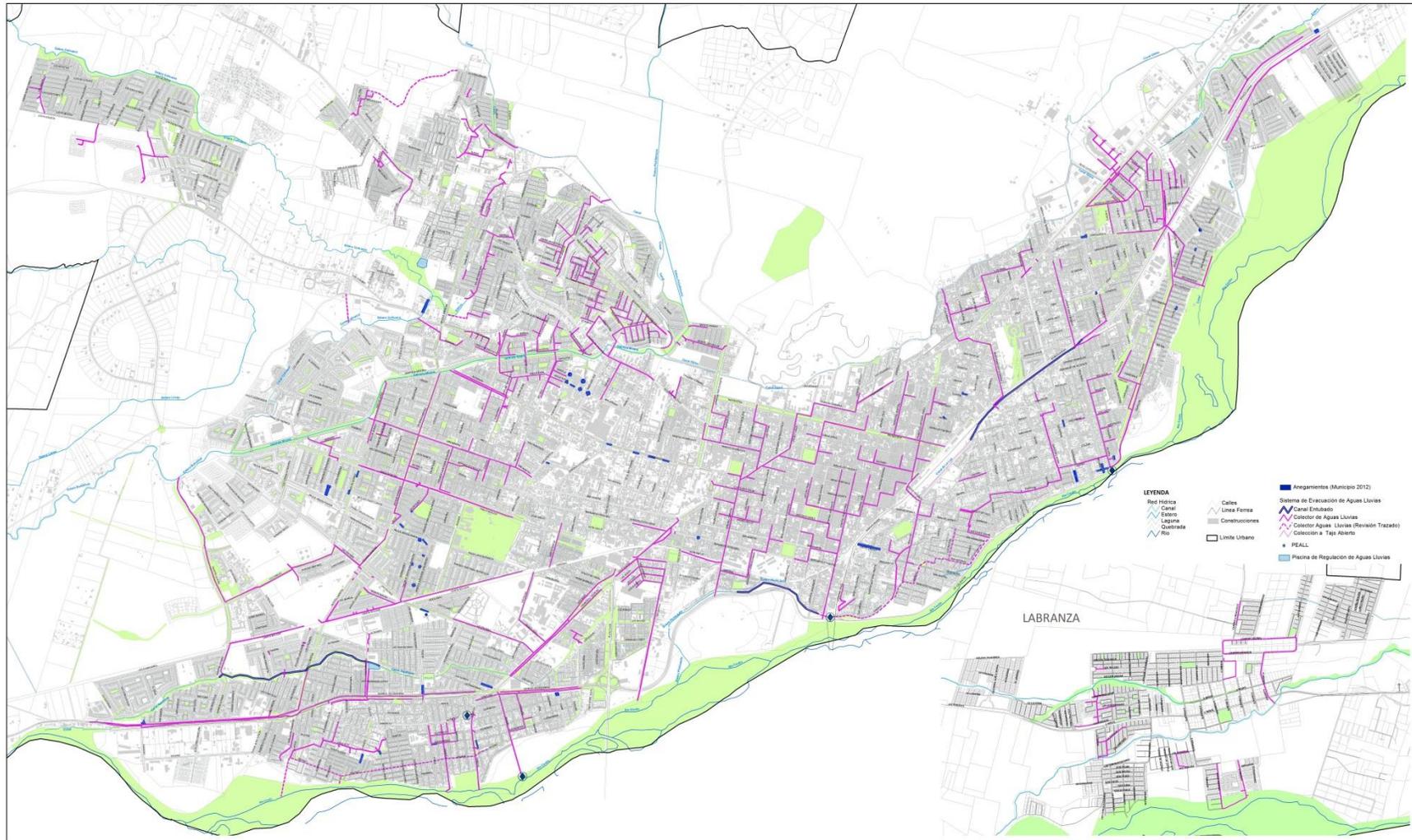


Figura N° 23. Red de Drenaje Natural y Sistemas de Colección de Aguas Lluvias
 Fuente: Elaborada Equipo Consultor sobre la Base de Información Entregada por la Municipio de Temuco.



7.3 Procesos de Anegamiento Permanente

Las llanuras aluviales tienen una importante función de regulación hídrica, aminorando y controlando con ello los procesos de inundaciones, sin embargo, están constantemente afectas por procesos de anegamiento permanente dado la función que estas desarrollan.

Se considera que estos suelos son de material transportado y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados. Se distribuyen en forma estratiforme, con cierta clasificación, variando mucho su densidad. Se consideran suelos muy anisotrópicos en su distribución, con propiedades geotécnicas altamente variables, estrechamente relacionadas con la granulometría. Su continuidad es irregular, pudiendo tener altos contenidos de materia orgánica en determinados medios. La permeabilidad depende de la granulometría, generalmente presentan un nivel freático alto.

Considerando lo anterior, las Vegas de Chivilcan tienen un rol fundamental en la estabilidad de Temuco – Labranza, como embalse natural logrando regular parcialmente las crecidas e inundaciones del canal Gabriela Mistral - Botrolhue. En efecto, tratándose de suelos planos con muy bajas pendientes, recibiendo estas los excesos de aguas lluvia de los esteros Colico y Pichitemuco, experimentando una evacuación superficial lenta y una infiltración casi nula, lo anterior, producto del origen de la unidad geomorfología y sobre el tipo de suelo generado sobre esta.

De esta manera, la urbanización de las vegas resulta nocivo producto de su función reguladora para el balance hídrico urbano, junto a lo anterior, al ser una llanura aluvial de características inestables y móviles la construcción sobre ella es altamente riesgosa, ya que se pueden generar fenómenos como los desencadenados el 27 de Febrero del año 2010, donde se registró en la Villa San Andrés II procesos de licuefacción producto que esta se emplaza sobre parte de las antiguas vegas de Chivilcán, cuyos depósitos corresponden a limos y arcillas no consolidadas, con presencia de abundante agua muy cerca de la superficie (nivel freático). Sobre los materiales originales se habría depositado un indeterminado volumen de relleno artificial, previo a la construcción de la población. De esta manera, la deformación ocurrida en las viviendas corresponde a un asentamiento del terreno provocado por licuefacción, este último, es un fenómeno que ocurre durante los terremotos cuando terrenos conformados por materiales finos, saturados de agua y no cohesivos, son sometidos a vibraciones.

En este entendido, la Ciudad de Temuco, presenta, además, de las vegas de Chivilcan, unidad aluvial reguladora del flujo hídrico del sistema Canal Gibbs – Gabriela Mistral – Botrolhue, otras llanuras aluviales, como se ilustra en la imagen adjunta, las cuales, igual cumplen funciones regulatorias asociadas a los cauces que drenan sobre estas, además, de la recepción y control de las aguas lluvias excedente de los relieves adyacentes, unidades, que deben ser consideradas al momento de planificar el desarrollo de la ciudad y del sistema de colección de aguas lluvias, siendo esencial, el respeto por el espacio que esta ocupan, no rellenándolas ni alterando su dinámica natural, dado que son unidades inestables y móviles.



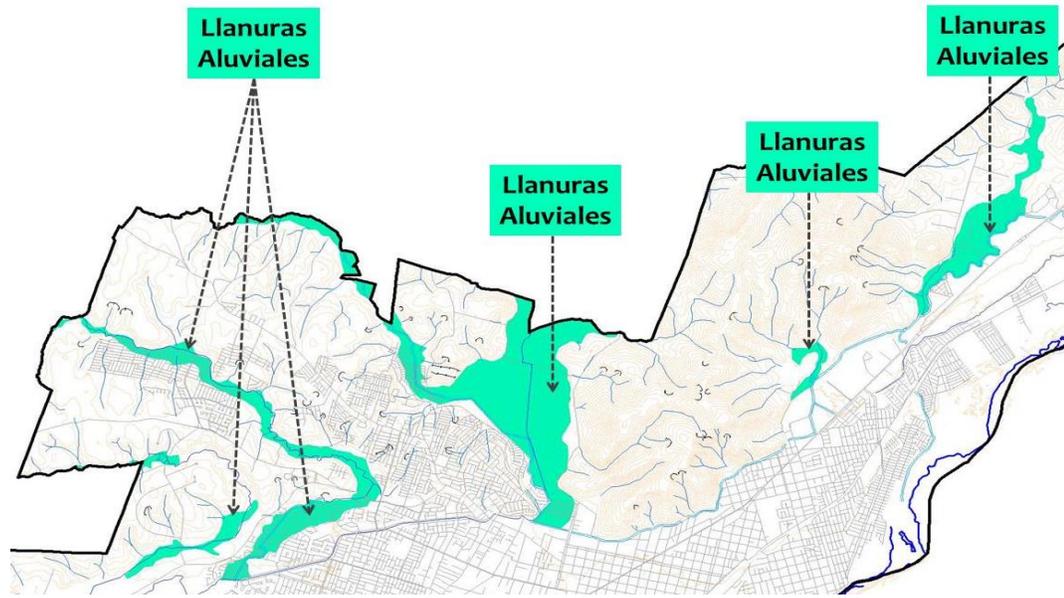


Figura N° 24. Llanuras Aluviales (PichiTemuco, Coihueco y Lircay) presentes en Temuco
Fuente: Elaborada por Equipo Consultor, 2015.

La acción regulatoria de las llanuras se puede apreciar en las siguientes fotografías:



Fotografías N° 25 y N° 26. Función de regulación hídrica como embalse natural regulando parcialmente las crecidas e inundaciones del canal Gabriela Mistral - Botrollhue.

Finalmente, un tema relevante de considerar fue la presión urbana que ha tenido las **vegas de Chivilcan**, desarrollándose conjuntos habitacionales en áreas de alta sensibilidad, así, como las llanuras asociadas al estero Coihueco y Lircay.

De esta manera, una de las primeras intervenciones se realizó en el área de salida de la cuenca, es decir, donde confluye esta con el Estero Gabriela Mistral mediante la habilitación de rellenos para el emplazamiento de la Villa San Andrés (Afectada por procesos de licuefacción), este es un punto clave de la cuenca de drenaje, dado que con el emplazamiento de la población se disminuyó la superficie del punto de desagüe y se limitó el accionar de la cuenca como drenaje natural, además, se genera mayor presión sobre los rellenos sobre los cuales se emplaza la Villa San Andrés, generando que el nivel freático del sector se eleve al igualar la altura del relleno.

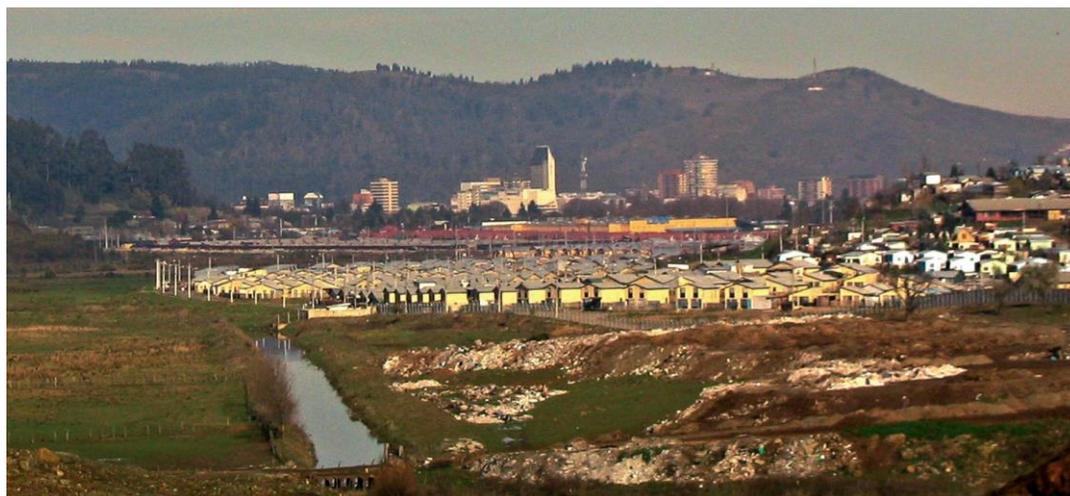


Además, de la obstrucción en el punto de descarga de la llanura aluvial por el emplazamiento de la Villa San Andrés, se registran otras intervenciones sobre la llanura asociada a viviendas sociales, esta últimas, emplazadas en el área de contacto entre la llanura aluvial y la plataforma de erosión, estas áreas, son de mayor fragilidad e inestabilidad, dado que ésta al ser el área de contacto entre ambas unidades tiene como característica recibir y conducir sedimentos de la plataforma de erosión y continuar el proceso de expansión y consolidación de dicha unidad. Lo anterior, se ilustra en la imagen adjunta:



Fotografía N° 27. La línea roja punteada muestra el límite natural de la llanura aluvial y con flechas se muestra las edificaciones emplazadas dentro de esta unidad geomorfológica.

Fuente: Elaborada por el Equipo Consultor, 2015.



Fotografía N° 28. Urbanización de viviendas sociales sobre las áreas de contacto de la llanura aluvial (Vegas de Chivilcan) y la plataforma de erosión (Macro sector Pedro de Valdivia).

Fuente: SERNAGEOMIN, 2007.

Las intervenciones anteriores, no son antiguas y debe resguardarse que no se sigan dando sobre la vega (Llanura Aluvial) ni sobre los cauces que la alimentan, dado que al observar la fotografía aérea del año 1994 es posible apreciar esta unidad en su forma natural sin

intervenciones, siendo necesario resguardar su funcionalidad y extensión, para ello, es necesario evitar intervenciones que alteren el funcionar de esta.



Fotografía N° 29. Vegas de Chivilcan, demarcadas con línea roja punteada.
Fuente: Servicio Aerofotogrametrico (SAF), 1994.

En el caso de la **Llanura Aluvial asociada al Estero Coihueco** esta se ha conformado por la acumulación de sedimentos del estero Coihueco, así, como por el material aportado por los relieves colindantes (Plataformas de erosión macro-sector Pedro de Valdivia y El Carmen). Considerando lo anterior y, al observar la imagen adjunta, tenemos que esta llanura se encuentra fuertemente presionada por el crecimiento de la ciudad, lo que la ha generado la pérdida de superficie por la irrupción de rellenos artificiales (diagramados con flechas naranjas), además, se aprecia en la imagen la pérdida de la cubierta vegetal, esta última, esencial para cumplir el rol de regulador hídrico dentro del sistema Gabriela Mistral – Botrolhue y de infiltración de las aguas.



Fotografía N° 30. Llanura Aluvial Estero Coihueco, las flechas naranjas muestran las áreas afectadas por rellenos de tierra.





Fotografía N° 31. Fotografías de los rellenos que avanzan y afectan la superficie de la llanura aluvial generada por el estero Coihueco.

Esta unidad, presenta una secuencia compuesta por un acuífero confinado en depósitos fluviales y/o glaciofluviales. El espesor total de las capas permeables es de 38 a 51 m, y en ellas el acuífero alcanza entre 21 y 51 m, mientras que, bajo los depósitos que componen el acuífero, se han perforado 17 m en rocas volcánicas sin alcanzar la base de la unidad volcánica, es decir, esta es un área de alta importancia para los recursos de agua subterránea de la ciudad, siendo primordial su mantención y adecuado manejo (SERNAGEOMIN, 2007).

Finalmente, en el caso de la **Llanura Aluvial Estero Lircay** esta se ha conformado por la sedimentación del estero Lircay, así, como por el material aportado por los relieves colindantes (Plataformas de erosión macro-sector El Carmen). Como las llanuras anteriores, aporta a la regulación de las aguas del sistema Gabriela Mistral – Botrolhue, además, de aportar a la infiltración de las aguas subterráneas. Sin embargo, esta llanura, como se ilustra en la secuencia de imágenes adjunta del año 2010 al año 2015 ha sido drenada en su totalidad y se ha ocupado el área de sedimentación con un nuevo proyecto de urbanización (Condominio Londrina Garden), lo que merma el área de infiltración y la función de regulación.





Lamentablemente, esta llanura, como se ilustra en la imagen adjunta ha sido fuertemente intervenida, lo anterior, por los siguientes desarrollos:





En el caso de esta llanura aluvial, el acuífero es libre en depósitos fluviales compuesto de gravas y arenas gruesas, presenta un espesor variable entre 11 y 114 m, transmisividades muy bajas a muy altas permeabilidades bajas a altas caudal específico entre 0,06 y 54,26 (l/s)/m, caudal explotable variable entre 3 y 113 l/s y niveles estáticos a profundidades entre 1 y 44 m bajo el nivel del terreno. Este acuífero es parte del que se explota en forma intensiva, especialmente en el sector que se ubica bajo el área urbana de Temuco, ya que constituye la única fuente de agua potable para el abastecimiento de la ciudad, siendo fundamental, asegurar estas llanuras y su manejo.

Considerando los antecedentes anteriores, se sistematizó la información de los distintos procesos de anegamiento permanente presentes en Temuco – Labranza:

Tipo de Proceso	Anegamiento Permanente
Condicionantes	<ul style="list-style-type: none"> - Composición geológica unidad geomorfológica. - Tipo de drenaje. - Tipo de suelo. - Nivel freático. - Pendiente. - Drenaje.
Macro-sectores afectados	Sector Vegas de Chivilcan – Cerro Ñielol (No clasificado como macro-sector pero de interés para el estudio) llanura Aluvial Estero Coihueco, Llanura Aluvial Estero Lircay, asociadas a los macro-sectores El Carmen, Poniente y Pedro de Valdivia.
Normativa	<p>Artículo 2.1.17. En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos...</p> <p>Las “áreas de riesgo” se determinarán en base a las siguientes características:</p> <p>5. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a</p>



	<p>la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, <u>napas freáticas o pantanos.</u></p> <ol style="list-style-type: none">6. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.7. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.8. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.
--	---

Esta área es clasificada por el Artículo 2.1.17 como de napas freáticas o pantanos producto del proceso de anegamiento permanente, debiendo quedar grabada junto a las otras llanuras aluviales para la no edificación de estas, dado que ofrecen estabilidad a la ciudad al regular el aporte de las aguas lluvias a los colectores primarios, así, como asegurar los niveles freáticos de la ciudad.



7.4 Procesos de Inundación

Para entender los procesos de inundación y su estrecha relación con la urbanización generada por la Ciudad de Temuco – Labranza fue necesario conocer algo sobre su conformación y funcionamiento, a continuación, se detallan estos:

a) Canal Gibbs y sus afluentes

El objetivo primero de la construcción del canal Gibbs fue para alimentar un molino de la Compañía Molinera California de Chile, que estaba ubicado cerca del cementerio de Temuco. Posteriormente, el canal fue transferido a la Compañía General de Electricidad S.A., propietaria de una central hidroeléctrica ubicada a la entrada norte de la ciudad de Temuco; más adelante, el canal se utilizó para abastecer la planta de agua potable de Temuco ubicada a los pies del cerro Ñielol, y en la actualidad, se utiliza como vía de transporte de los derechos de aguas del sistema de regadío del canal Aquelarre y Nueva Imperial que les son descargados por el Canal Pillanlelbún, así como para interceptar los excesos de aguas lluvias que escurren por la ladera sur del cerro Ñielol.

El canal Gibbs nace en una bocatoma (actualmente destruida y en desuso) ubicada en la margen derecha del río Cautín, inmediatamente aguas abajo de la confluencia del estero Pumalal con dicho río. El trazado del canal en sus primeros 6 kilómetros se ubica en la ladera de la primera terraza del río Cautín y fue excavado, aparentemente, en el lecho del antiguo estero Coilaco. Este tramo a tajo abierto finaliza aproximadamente 30 m aguas abajo de la alcantarilla de atraveso bajo la calle Huérfanos, donde se inicia en adelante y hasta la alcantarilla de cruce bajo la avenida Rudecindo Ortega (Ex Ruta 5 Sur), un tramo entubado de 1.000 mm de diámetro y de 800 m de longitud (entre el Km 5,2 y 6,0), que cruza la urbanización Los Trapiales. Esta entubación se denomina colector N°5 según el Plan Maestro de Evacuación de Aguas Lluvias (2002).

Sin embargo, en el Km 4,5, antes del tramo entubado y aproximadamente 180 m aguas abajo del cruce del canal con la calle Unión Norte, tiene su inicio el canal de Descarga del canal Gibbs, cuyas compuertas de admisión permiten que las aguas que portea el canal sean desviadas hacia el río Cautín. Por consiguiente, el canal Gibbs entre el canal de Descarga y la obra de toma de la entubación, se encuentra sin uso y prácticamente abandonado, por lo cual está siendo intervenido por las nuevas urbanizaciones que se ubican en el sector.

El canal Gibbs reaparece a tajo abierto inmediatamente aguas abajo del cruce de la avenida Rudecindo Ortega (Km 6,0). En este punto, el canal Gibbs recoge las aguas provenientes del Colector N°5.

Unos pocos metros antes, se tiene el desagüe del canal Pillanlelbún hacia el río Cautín, a través del estero Mariposa, que se desarrolla en su primer tramo por el costado sur de la calle Reyes Católicos y luego, se entuba para pasar por debajo de la avenida Rudecindo Ortega y, seguidamente, bajo el colector N°5. Este tramo entubado se denomina colector N°4 y tiene un diámetro de 1000 mm.



El canal Pillanlelbún nace en el río Cautín unos 300 m antes de la toma del canal Gibbs, siendo su desarrollo bastante similar a éste, pero se ubica más próximo a las faldas del cerro Mariposa. Para bordear el cerro Ñielol, el canal toma rumbo suroeste hasta llegar a una bifurcación con compuertas que se ubica poco antes del nuevo

Terminal de Buses de Temuco; la compuerta de la izquierda permite el desagüe del canal Pillanlelbún por el estero Mariposa, señalado en el párrafo anterior; en tanto que la compuerta de la derecha, corresponde al desagüe del canal Pillanlelbún que escurre por el estero Kolosa y que finalmente descarga al canal Gibbs en el km 6,5.

El canal Gibbs en adelante y hasta antes del Cementerio General, se desarrolla a los pies de la ladera sur del cerro Ñielol, por lo que va interceptando por la margen derecha los aportes de aguas lluvias del cerro. Aguas abajo del Cementerio General, el canal Gibbs atraviesa bajo la avenida Prieto Norte y toma una orientación este - oeste, hasta su confluencia por la margen derecha con el estero Temuco; desde aquí en adelante, el canal se denomina Gabriela Mistral hasta su confluencia con el estero Coihueco, desde donde pasa a llamarse estero Botrolhue.

b) Estero Temuco y sus afluentes

El estero Temuco se forma a partir de la confluencia de los esteros Pichitemuco y Colico, ambos a su vez generados en el valle de Chivilcán y laderas que conforman este valle; tiene un recorrido de aproximadamente cuatrocientos metros y luego, sus aguas confluyen con las del canal Gabriela Mistral. La superficie total de la cuenca es de 42,9 km².

Esta zona conocida como Vegas de Chivilcán, se caracteriza por tratarse de suelos planos con muy bajas pendientes en todas las direcciones, rodeados de lomajes boscosos en una parte y cubiertos de pastos naturales en el resto; estas vegas reciben abundantes aguas en las tormentas de lluvias, experimentando una evacuación superficial lenta y una infiltración casi nula. En consecuencia, estas vegas actúan como un verdadero embalse natural al retener el agua de las crecidas del estero y retardar así los efectos sobre el canal Gabriela Mistral.

El estero Pichitemuco evacúa la escorrentía de la vertiente suroeste de la cadena de cerros del Ñielol y de los cerros que lo cierran por el oeste, y que lo dividen de la cuenca del estero Colico. La cabecera de la cuenca se ubica en la ladera sur del cerro Centinela (618 msnm), en donde nace su cauce principal; sin embargo, existe otro ramal importante del estero que va más hacia el oriente y que llega hasta la ladera noroeste del cerro Mariposa (394 msnm). La superficie de ésta cuenca es de 30,1 km².

Por su parte, el estero Colico o Raluncoyán drena una subcuenca que se ubica al oeste de la subcuenca del Pichitemuco, cuya superficie es igual a 10,3 km². La cabecera de la subcuenca del estero Colico, la forman algunos lomajes que se originan a partir del cordón de Cerros de Ñielol, y que la dividen de las subcuencas de los esteros Pichitemuco por el este, Catrimalal por el norte y Coihueco por el oeste.



c) Canal Gabriela Mistral y sus afluentes

El canal Gabriela Mistral no es más que la canalización de una parte del cauce del Estero Botrolhue, que va desde la confluencia del estero Temuco y el canal Gibbs hasta su confluencia con el estero Coihueco, en un tramo de alrededor de 4.300 m de longitud que tiene una orientación noreste - sudoeste y que va por el costado izquierdo de la avenida Gabriela Mistral. La otra parte del estero Botrolhue continúa inmediatamente aguas abajo de su confluencia con el estero Coihueco, en donde su cauce se caracteriza por sus muchos meandros, en un recorrido de aproximadamente 13.500 m hasta cambiar de nombre. A partir de este punto pasa a llamarse estero Labranza, desarrollándose con este nombre por aproximadamente 5.700 m hasta su desembocadura en el río Cautín, levemente al sudoeste de la localidad de Labranza.

Como evacuador de aguas lluvias, el canal Gabriela Mistral concentra tramo a tramo todo el drenaje del sector poniente de Temuco, de carácter principalmente residencial. En efecto, además de transportar los caudales del estero Temuco y canal Gibbs, recibe la descarga superficial y de colectores de los grandes sectores de Pedro de Valdivia, Avda. Alemania, San Martín y Pablo Neruda, entre otros.

Por su parte, el estero Coihueco se ubica al poniente de los límites actuales de la ciudad de Temuco; nace en las cercanías de la localidad de Guacolda y su curso tiene dirección inicial noroeste - sudeste; gira ostensiblemente al llegar a la ciudad, orientándose, a partir del cruce con el camino Temuco – Tromén, en dirección poniente hasta alcanzar el estero Botrolhue en las afueras del Barrio Inglés. La cuenca aportante tiene una superficie de 15,2 Km², comprendidos principalmente entre los caminos Temuco - Cholchol y Temuco - Tromén, desarrollados por las partes altas de las lomas que la limitan por el nororiente y surponiente con las subcuencas de los esteros Colico y Lircay, respectivamente.

d) Sistema Botrolhue

El estero Botrolhue nace de la confluencia del Canal Gabriela Mistral con el estero Coihueco, presenta orientación este – oeste y descarga en el río Cautín, al poniente de la localidad de Labranza.

Este cauce se ha transformado en el curso receptor final de una parte importante del sistema drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Temuco. Hasta el punto de confluencia con el río Cautín presenta un área aportante de 96,7 Km², encontrándose el 30 % (29,1 Km²) bajo la confluencia del estero Coihueco con el canal Gabriela Mistral.

Adicionalmente, actúa como receptor del Canal Aquelarre, que antiguamente trasvasaba agua desde el río Cautín, encontrándose actualmente en desuso.

A lo largo de su recorrido, recibe como aportes importantes a los esteros Lircay y Diuco. Además, actúa como receptor del drenaje de aguas lluvias de la Localidad de Labranza, recibiendo descargas en forma prácticamente superficial, al no existir en la práctica sistemas de colectores que descarguen al cauce.



En la tabla adjunta se presenta una desagregación por área del sistema de drenaje afluente al sistema Gibbs- Gabriela Mistral- Botrolhue.

Cuenca	Área Aportante (Km ²)
Estero Mariposa / Canal Pillanlelbún	3,6
Aportes Urbanos Canal Gibbs	0,8
Aportes Cerro Ñielol Ganal Gibbs	2,4
Estero Temuco	40,4
Aportes Urbanos Canal Gabriela Mistral	5,2
Estero Coihueco	15,2
SubTotal Sistema Canales Gibbs- Gabriela Mistral	67,6
Subcuenca Confluencia Estero Coihueco - Canal G. Mistral - Canal Aquelarre	1,8
Subcuenca Estero Lircay + Aportes Intermedios Canal Aquelarre	11,1
Subcuenca Estero Lircay - Confluencia Río Cautín	16,2
Subtotal Cuenca Intermedia Sistema Botrolhue	29,1
Área Total Sistema Canales Gibbs-Gabriela Mistral - Estero Botrolhue	96,7

Tabla N° 1. Identificación Áreas Aportantes Sistema Canales Gibbs –Gabriela Mistral – Estero Botrolhue.

Fuente: Estudio de Factibilidad Mejoramiento Estero Botrolhue y Habilitación Descargas al Río Cautín, Temuco, IX Región, 2008

Historia de Inundaciones

a) Inundaciones producidas por el río Cautín

A través del tiempo una buena parte de los problemas ocasionados por las inundaciones en la ciudad de Temuco corresponden a inundaciones de las zonas ribereñas del río Cautín, en especial el sector correspondiente a su margen derecha. Al respecto se aprecia que la ciudad de Temuco, incluidos el sector de Labranza, pertenecen al área aportante del río Cautín, por lo cual, éste constituye el drenaje natural de las aguas lluvias que se generan en el área urbana y rural de dichas localidades.

La ocupación de las terrazas fluviales y llanuras de inundación del cauce del río Cautín en su paso por la ciudad de Temuco, ha generado una serie de problemas durante las crecidas, provocando numerosos daños a la infraestructura existente producto de las inundaciones de los sectores localizados en sus márgenes.

Esta situación ha sido enfrentada con la construcción de obras de defensas fluviales en diversos tramos, dando progresivamente solución al problema.

Los sectores que han presentado inundaciones históricas por desbordes del río Cautín, y que aparecen documentados en la información de prensa recopilada desde el año 1953 y en los estudios realizados al respecto son los siguientes:

- Villa los Ríos.
- Población Langdon.
- Población Galicia.
- Villa Austral.
- Población Alameda.



- Población Amanecer.
- Población Los Boldos.

En dichos sectores se produce anegamiento de viviendas, interrupción del tránsito vehicular y peatonal, depósito de sedimentos y daños a inmuebles.

b) Inundaciones producidas por el Canal Gibbs

En la mayoría de los casos, los problemas de inundaciones generados por desbordes del canal Gibbs, son por falta de mantención y limpieza. Además, hay que considerar el hecho que en situaciones extremas con gran volumen de precipitaciones, se le aporta al canal un gran caudal adicional el que se incrementa con cada población que suma sus aguas a este cauce, el que provoca muchas veces su desborde al superar la capacidad de carga de este.

Los sectores históricos más afectados por los desbordes del canal Gibbs corresponden a:

- Sector Avda. Pedro de Valdivia con Avda. Hochstetter.
- Población Pueblo Nuevo.
- Villa Olímpica.
- Población Juanita Aguirre.
- Calle Cruz hasta Avda. Caupolicán.
- Calle Prieto Norte hasta Balmaceda.

Estos sectores se vieron afectados principalmente por la inundación de calles e interrupción del tránsito vehicular, llegando en ocasiones hasta la misma vivienda.

c) Inundaciones producidas por el Canal Gabriela Mistral

Como evacuador de aguas lluvias, el Canal Gabriela Mistral concentra tramo a tramo todo el drenaje del sector poniente de Temuco, principalmente residencial. En efecto, además de interceptar los caudales de los esteros de la cuenca norte, recibe la descarga superficial y la de colectores de los sectores aledaños.

Las principales causas del desborde del Canal Gabriela Mistral corresponden a su falta de limpieza y mantención como también a los grandes caudales que debe portear cuando se registran abundantes precipitaciones (Ej.: 18/05/1993, 90 mm. en 48 horas) y que se suman al incorporarse más construcciones nuevas.

Los sectores que históricamente se ven afectados por los desbordes de éste canal son:

- Avda. Gabriela Mistral entre Pedro de Valdivia y Avda. Javiera Carrera.
- Población Campalau.

Estas zonas sufren de las inundaciones de las calles y viviendas, impidiendo tanto el tránsito de vehículos como el de peatones.



d) Inundaciones producidas por el Canal de la Luz

Aparte de coleccionar y conducir las aguas lluvias de los colectores del sector norte, éste intercepta el agua que escurre por las calles hacia la terraza inferior (Sector Sta. Rosa) en su rumbo al río Cautín. Sin embargo, la deficiente mantención y limpieza, así como la abundante vegetación en su perímetro y la presencia de secciones de control en la entrada de abovedamientos y alcantarillas, provoca en ciertos sectores su desbordamiento en períodos de tormentas.

Los sectores afectados por el desborde del canal La Luz históricamente corresponden a los siguientes:

- Población Sta. Rosa
- Sectores aledaños al canal La Luz, específicamente a la altura de calle Danubio y calle Valparaíso.

Estas zonas sufren el anegamiento de calles y viviendas, impidiendo tanto el tránsito de vehículos como el de peatones.

e) Inundaciones Estero Botrolhue

29 villas construidas al sur del Estero Botrolhue en la Localidad de Labranza son comúnmente afectadas por procesos de inundación, agrupando alrededor de 3.000 familias, es decir, más de 10.000 mil personas afectadas. Este comprende la Villa Los Robles (Sector Este) hasta la Villa Padre Hurtado (Sector Oeste) de Estero Botrolhue (Sector Norte) hasta la ribera del Cautín (Sector Sur).

En este contexto es relevante destacar, que las inundaciones asociadas al Estero Botrolhue, son un problema recurrente y sin atender aún, dado que no se cuenta con una solución definitiva para la localidad de Labranza. Por otra parte, en los otros cauces mencionados en párrafos anteriores se han generado intervenciones que permitan mitigar el efecto de las crecidas, sin embargo, en el caso del Estero Botrolhue es un problema latente y que cobra mayor relevancia al ir incrementándose la extensión y desarrollo habitacional de Temuco, dado que el principal colector de las aguas lluvias de la ciudad es el Sistema Canal Gibs - Gabriela Mistral – Botrolhue, generando mayor presión sobre el estero Botrolhue.

Considerando el estudio realizado por la Dirección de Obras Hidráulicas durante el año 2007 tenemos que las cotas de inundación que se obtuvieron en algunos puntos característicos del estero y que fueron tomados a partir de los resultados del eje hidráulico para las crecidas de períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años, y duración 24 horas, que es la duración de tormenta que maximiza los caudales de crecida. De igual manera, en la tabla adjunta se presentan las cotas de riberas del estero, de manera de precisar las alturas de inundación que se alcanzan en el sector de Labranza. Cabe comentar que para período de retorno 1,33 años no se producen desbordes del cauce.



Kilometraje (Km)	Sector urbano	Cota ribera estero	Crecida de Período de Retorno (años)				
			T=2	T=10	T=25	T=50	T=100
13.208	Antes Ruta S-30	59.28	58.78	59.50	59.79	59.98	60.18
13.282	5 Oriente	58.70	58.64	59.18	59.37	59.47	59.55
13.302	4 Oriente	58.60	58.60	59.08	59.27	59.37	59.44
13.450	3 Oriente	57.77	57.91	58.45	58.65	58.76	58.85
13.628	2 Oriente	58.90	57.59	58.24	58.43	58.54	58.60
13.745	1 Oriente	58.85	57.44	58.01	58.18	58.28	58.38
13.892	1 Poniente	57.17	57.26	57.63	57.49	57.81	58.11
14.022	2 Poniente	56.64	57.02	57.70	57.66	57.75	58.07
14.116	El Pinar	56.67	56.89	57.67	57.59	57.68	58.04
14.180	3 Poniente	57.05	56.74	57.66	57.57	57.66	58.04
14.521		56.55	56.43	57.01	56.37	56.85	56.87
14.551	La Cosecha	56.06	56.45	57.01	56.81	56.84	56.85
14.559		56.67	56.44	57.01	56.79	56.83	56.82
14.629		56.01	56.16	57.00	56.45	56.48	56.53
14.736	El Arado	55.50	55.61	56.14	56.20	56.27	56.33
14.880		55.86	55.39	56.00	55.88	55.95	56.04
14.908		55.92	55.34	55.47	55.87	55.94	56.03
14.959		55.63	55.26	55.69	55.83	55.90	55.99
15.026		55.69	55.16	55.54	55.67	55.75	55.88
15.054	El Trigal	55.61	54.99	55.52	55.65	55.73	55.87

Tabla N° 2. Eje Hidráulico para Estero Botrollhue para Periodos de Retorno 2, 10, 25, 50 y 100 Años. Sector Urbano de Labranza

Fuente: DOH, 2007.

A partir de los niveles de aguas obtenidos en el estero y de las alturas de las distintas manzanas con riesgo de inundación, se trazaron las líneas de inundación sobre la trama urbana y sobre los terrenos rurales y para las crecidas de períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años, las cuales se muestran como parte de la nueva propuesta de áreas de restricción consideradas en este estudio.

Finalmente, fue relevante destacar que en el tramo frente a la localidad de Labranza las áreas afectadas por el lado sur llegan a alcanzar al margen norte del río Cautín, lo que puede implicar que los desbordes de ambos cauces se unifiquen en este sector causando en eventos puntuales una mayor peligrosidad para el área.



VIII. INTERVENCIONES ACTUALES

8.1 Defensas Fluviales Río Cautín

De acuerdo a lo informado por la Dirección de Obras Fluviales de la ciudad de Temuco, fueron realizadas obras de defensa en la ribera del río Cautín para protegerse de las crecidas del río, las anteriores, se señalan a continuación:

Proyectos u obras realizadas	Fecha	
	Inicio	Término
Construcción de defensas Fluviales Río Cautín sector Población Langdon en Temuco	07.07.94	15.11.94
Construcción de defensas fluviales río Cautín sector Macoga I y Villa Los río en Temuco	14.09.94	24.01.95
Construcciones de defensas con enrocado río Cautín sector Los Boldos en Temuco	14.09.94	20.02.95
Construcción de defensas fluviales río Cautín sector Población Langdon II etapa en Temuco	04.11.94	15.11.94
Diseño de Ingeniería mejoramiento integral del cauce del Río Cautín en su paso por Temuco	07.12.94	06.03.95
Construcción defensa fluvial Río Cautín sector Villa Los Ríos II y reforzamiento con enrocado sector Población Alameda y Villa Austral en Temuco	29.12.94	01.03.95
Mejoramiento Integral del cauce del Río Cautín en su paso por Temuco, sector Puente Cautín en Ruta 5, Población Amanecer, Villa Austral y Alameda.	18.05.95.	09.06.96
Mejoramiento integral del cauce del río Cautín en su paso por Temuco, sector ribera norte aguas arriba del Puente Cautín en Padre Las Casas.	01.11.95	10.02.97
Mejoramiento integral del cauce del río Cautín en su paso por Temuco, sector ribera norte del río Cautín Población La Ribera y Población Santa Rosa.	20.12.95	13.10.96
Construcción defensas fluviales río Cautín Km. 6,8 al 8,2 sector Santa Rosa II etapa.	12.12.96	14.05.97
Construcción defensas fluviales río Cautín: Sector aguas abajo Puente Padre Las Casas, ribera sur de Km. 9,100 a km 9,482. Comuna de Temuco. Sector Macoga II etapa, Km. 0,850 a Km 3,20. Comuna de Temuco.	17.12.97	01.06.98

Tabla N° 3. Resumen de obras ejecutadas desde al año 1994 hasta 1998.

Fuente: Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Temuco y Padre Las Casas (2002).

8.1.1 Descripción de Intervenciones Fluviales

Las intervenciones se extienden desde el sector Macoga por el norte hasta la denominada Villa Austral por el poniente, en una longitud aproximada de 13 km, además de zonas suburbanas (El Portal, Los Alerces y Labranza). Lo anterior, se detalla a continuación (Plan de Obras Públicas para Temuco, 2007):

- Sector Macoga: Espigón longitudinal de 680 m. construido en 1994 por la Dirección Regional de Vialidad (DV), consistente en un pretil de material granular protegido con una coraza de enrocado. La defensa presenta taludes cercanos a 1:1, lo que hace inestable su estructura ante socavaciones.

Se prolongó la defensa existente en 324 m. 1996 - 1997, aguas arriba, a fin de evitar que el río rebasase por detrás la defensa. A futuro, deberá considerarse la **prolongación de estas obras aguas abajo**, hasta empalmar con la defensa existente en el sector Villa Los Ríos, considerado como área de extensión urbana por el PRC Temuco, existiendo una población en el área de inundación del río.



b. Macro zona “Langdon”

Villa Los Ríos: Acorazamiento con enrocados de la ribera norte en una longitud de 540 m. Esta obra fue construida en dos etapas: la primera en 1992 con fondos SERVIU IX Región, consistente en una defensa de 401 m con enrocados de bajo peso específico, sin fundación y de menor tamaño; y la segunda en 1995, consistente en el peraltamiento de la defensa anterior y su prolongación aguas arriba en 139 m (en esta prolongación la obra presenta taludes pronunciados 1:1, lo que hace inestable la estructura). La obra requiere una prolongación aguas arriba en una longitud aproximada de 300 m, a fin de evitar la posible erosión de ribera y rebalse del río por la parte posterior.

Población Langdon: Perfil de material granular protegido con roca en una longitud de 1080 m. diseñada y construida por la Dirección de Vialidad IX Región en 1994 y 1995.

Población La Ribera: Obras ejecutadas por la Dirección de Vialidad IX Región, en una longitud de 723 m. Consiste en la formación de un pretil de material granular revestido con enrocados de 400 a 700 kg de peso nominal. En el empalme con la defensa existente de la población Langdon se produce una diferencia de altura del orden de los 2.5 m.

c. Macro zona “Santa Rosa”

Población Santa Rosa: Obras de defensas fluviales en una longitud de 1750 m, ejecutados por la DV durante los años 1996 y 1997. Las obras consistieron en un peraltamiento de la defensa existente y colocación de enrocados.

Sector los Boldos: Obras fluviales ejecutadas en tres etapas. La primera, construida por administración directa de la DV en el año 1990, corresponde a un pretil de material granular de 1.000 m de longitud que empalma con el puente ferroviario. La segunda, hecha en 1992, fue un revestimiento de ribera con enrocados de bajo peso específico, sin fundación, redondeada y de menor tamaño, en una longitud de 168 m. La tercera data de 1994 – 1995 y consiste en un revestimiento de pretil granular, en una longitud de 210 m, aguas arriba y 56 m aguas abajo de la obra de la segunda etapa. Durante los años 1996 – 1997 la DV ejecutó obras de revestimiento del pretil granular existente con enrocados en una longitud de 659 m; en el empalme de esta obra con la defensa existente se produce una diferencia de altura de 2,5 m. Esta obra consultó además el empalme entre los dos puentes, y un alargue hacia la denominada Isla Cautín en una longitud de 385 m.

d. Macro zona “Isla Cautín”. No presenta defensas Fluviales construidas, actualmente, estas se encuentran en proceso de diseño en la Dirección de Obras Hidráulicas, Región de La Araucanía.

e. Macro zona “Las Quilas”

Fuente Cautín en Ruta 5 Sur a Población Amanecer: Formación de un pretil de material granular revestido con roca en una longitud de 1548 m.



f. Macro zona “Amanecer”

Población Amanecer – Alameda: Aguas abajo del sector anterior, se consulta ejecutar a futuro el peraltamiento en 1.0 m en 720 m de longitud y su reparación, tanto del enrocado del talud, como de la fundación.

g. Macro Zona “Galicia”

Villa Austral: Se consulta la reparación de la defensa existente, reacondicionar los 4 espigones construídos y el pie del talud.

Villa Galicia: Corresponde a los últimos 640 m. de la defensa existente, con *serios problemas de estabilidad*, al presentar socavación al pie del talud con deslizamiento de bloques de roca; por lo que se hace necesario faenas de conservación y mejoramiento.

Villas el Portal y Los Alerces: En ambos sectores se consulta la construcción de las defensas fluviales en una longitud estimada de 750 m. las que consisten en peraltamiento de ribera, complementado por una batería de espigones disipadores.

A modo de síntesis, se presenta el siguiente cuadro:

Sector Ribera	Distancia (m)
Bayona	0.000
Macoga	1.200
Villa Los Ríos	2.640
Villa Langdon	4.111
Santa Rosa	5.045
Los Boldos	5.545
Puente FF. CC	6.204
Puente Viejo Tco. - PLC	6.264
Pte. Ruta 5 Sur	8.324
Villa Galicia	10.303
Villa Austral	10.974
Boca toma canal Imperial	13.174
El Portal y Los Alerces	17.324

Fuente: Plan de Obras Públicas para Temuco, diciembre de 2007.

En la imagen adjunta, en color naranja se destaca el trazado actual de las defensas fluviales del río Cautín:



8.2 Mejoramiento de Cauces

- **Obras de mejoramiento del canal Gibbs y Canal Gabriela Mistral (2008 -2009).** Proyecto, que alcanzó una inversión por 1.577 millones de pesos y tuvo como objetivo el resolver problemas de inundaciones en las cercanías del cauce.

Este proyecto consistió en mejorar la capacidad de conducción de agua, contribuyendo a mejorar sustancialmente la evacuación de gran parte de las aguas lluvias transportadas por calles, colectores y cauces naturales de la ciudad. El proyecto propiamente tal consiste en aumentar la sección del canal a través de su limpieza, perfilamiento y modificaciones de altura y taludes. Las obras principales corresponden a revestimientos en 634 m con hormigón, 734 m en mampostería y 3.365 m recubrimiento vegetal). Contempla además obras especiales en puentes existentes en el canal Gabriela Mistral. Este proyecto pertenece al programa de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias. Código BIP identificador MOP (20188120-0)



IX. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Una vez identificados los procesos naturales se revisó la bibliografía para reconocer cuales procesos presentan antecedentes previos y cuales pueden aportar para una mejor identificación de los mismos.

9.1 Procesos de Remoción en Masa

En el caso de procesos de remoción en masa, solo se encontraron dos estudios puntuales, asociados al Sector Los Riscos y San Andrés, generados, ambos luego del terremoto del 27 de febrero, antes no se registran estudios que permitan un mayor conocimiento sobre el área.

1. Estudio de Riesgo PRC de Temuco. Sector Los Riscos y San Andrés (Fuente SEREMI MINVU y SERNAGEOMIN)

La comuna de Temuco al igual que la gran parte del país, se vio afectada el día 27 de febrero del año 2010, por un sismo con características de terremoto. Ante la magnitud de este evento de la naturaleza, que provocó derrumbes y daños de consideración en gran parte de las edificaciones y viviendas, red vial, servicios básicos, entre otros, el Gobierno mediante Decreto N°150, del 27 de febrero de 2010, dispuso la aplicación de la Ley N°16.282, declarando a la Región de La Araucanía, como afectada por la catástrofe derivada del sismo antes mencionado.

Los daños producidos por el movimiento sísmico y sus réplicas son de una magnitud tal que afectan el normal desarrollo actual y futuro, especialmente de dos sectores de la comuna de Temuco, Los Riscos y San Andrés, manteniendo en riesgo la integridad física de los habitantes de estos sectores, lo que obliga a adoptar medidas de carácter extraordinario destinadas a enfrentar la situación de emergencia y determinar las soluciones que se requieran para la protección de las personas.

Características Generales

El sector de la población Los Riscos 3 se emplaza sobre depósitos volcanoclásticos en los que se han desarrollado suelos con un *fuerte componente arcilloso*. De acuerdo al relato de los vecinos, gran parte de las edificaciones de calle Punta Arenas estarían localizadas sobre *rellenos artificiales sin compactar*.

En esta población alrededor de 10-12 viviendas están localizadas en el borde de un *eskarpe de probable origen artificial*, cuya ladera se encuentra en parte sostenida por un muro de contención construido por el SERVIU. Con el fin de ampliar las viviendas y extender sus patios traseros, la mayoría de los propietarios han rellenado con materiales de diferente origen los terrenos que dan hacia el eskarpe.

Todos los juegos de grietas observados se desarrollaron durante el sismo principal ocurrido el 27.02.10 y se ubicaban en el borde del eskarpe, principalmente afectando a los depósitos de relleno.

La mayoría de las grietas formaban un conjunto de fisuras curvas o rectilíneas, paralelas al borde de las laderas de fuerte pendiente, cuyo número alcanzaba hasta 4 y con



aperturas de hasta 15 cm. Las grietas afectaban tanto al suelo natural arcilloso, como al relleno artificial utilizado para instalar y ampliar las viviendas.

Todas las edificaciones se encuentran en el borde de una ladera inestable y de fuerte pendiente. Una de las principales condicionantes para la ocurrencia de las deformaciones producidas por el sismo, fue la mala calidad de los suelos de fundación, tanto el suelo natural arcilloso como el relleno artificial. Queda en evidencia que la estructura de contención de laderas construida, fue insuficiente para evitar las remociones en masa.

Recomendaciones

De acuerdo a las recomendaciones establecidas por los estudios geológicos y geotécnicos para el Sector Los Riscos se indicaba que:

- El suelo presenta un alto contenido de grava.
- El suelo es de características estructurales malas para efectos del Diseño y Construcción de Calles o Pasajes, pero no así para la construcción del tipo de viviendas existentes en el Sector.
- Los daños sufridos por las viviendas en el Sector Los Riscos obedecen más bien a un problema de tipo geológico de los suelos del sector o a la acomodación de éstos por problemas también de tipo geológicos puntuales.
- Erradicar las edificaciones y trasladar a la población asociada, de las construcciones ubicadas próximas a la parte superior y las más próximas a la parte inferior de la ladera de fuerte pendiente ubicada al Este de la calle Punta Arenas.
- Reforzar el muro de contención en las partes de reconocido daño o deterioro.
- Reforestar y dedicar a áreas verdes el sector de Los Riscos ubicado próximo a la parte superior y el más próximo a la parte inferior de la ladera.
- En este contexto, se recomienda la implementación de áreas verdes y establecer los estudios técnicos específicos con las respectivas obras de mitigación para este tipo de uso

Las recomendaciones establecidas por los estudios geológicos y geotécnicos para el sector Villa San Andrés indicaban que:

- Las viviendas fueron construidas sobre un suelo natural sin ningún tipo de mejoramiento, sin embargo, existe factibilidad de seguir construyendo condicionado a especificar de acuerdo a los cálculos estructurales respectivos, y particularmente el de capacidad de soporte, si se requiere un mejoramiento en base a rellenos con material cuyas características deberán ser el producto de los cálculos estructurales pertinentes.
- Los daños sufridos por las viviendas en el Sector San Andrés obedecen a un problema de tipo geológico de los suelos del Sector o a la acomodación de estos por problemas también de tipo geológicos puntuales (Licuefacción).
- Es necesario reubicar a la población de Villa San Andrés dando prioridad a las familias de los pasajes Apóstol Simón y Apóstol Santiago.



- Dedicar a área verde los terrenos donde se emplaza la Villa San Andrés.
- Se recomienda no construir viviendas, servicios básicos y de emergencia en el área conocida como Vegas de Chivilcán.
- La infraestructura vial (puentes, caminos, etc.) que sea necesario construir en los terrenos de las Vega de Chivilcán debe realizarse teniendo en cuenta estudios geotécnicos y geomecánicos.
- Se sugiere que el caso de construcción de segundo piso en el sector específico de las viviendas afectadas se establezcan sugerencias y especificaciones técnicas de construcción.

9.2 Proceso de Anegamiento Estacional

1. Plan Maestro de Aguas Lluvias

Antecedentes Históricos Sistemas de Colección de Aguas Lluvias

La instalación del servicio de alcantarillado de agua servidas y de alcantarillado de aguas lluvias para la ciudad de Temuco, se remonta a los primeros años de la década del 20.

El proyecto original se realizó en dos etapas y de acuerdo a esta planificación se esperaba realizar obras de gran envergadura. Por tal motivo se programó la habilitación de una fábrica de tubos. El proyecto primitivo para los desagües de aguas lluvias, fue realizado por el Ingeniero. Sr. Guillermo Agüero, y contemplaba la descarga de la red de colectores al Canal de la Luz; sin embargo, debido a la oposición que hubo de los concesionarios de este canal, esta descarga debió ser modificada. La modificación fue realizada por el Ingeniero Sr. Concha, quien proyectó la descarga al río Cautín, en las inmediaciones de los puentes existentes, ferroviario y antiguo caminero.

Esta modificación, significó un mayor desarrollo de la red y su profundización obligada, con el objeto de no interceptar las uniones domiciliarias de la red de aguas servidas, lo que elevó considerablemente los costos de construcción. De esa época, datan también los primeros estudios de Intensidades de Lluvias para la ciudad de Temuco. Estudios posteriores fueron elaborados con mayores datos estadísticos, en la década siguiente. Con posterioridad a este saneamiento, fue necesario implementar en forma progresiva el sistema, mediante obras de ampliación.

La red de cañerías del desagüe J.M. Carrera data de 1940, la cual fue proyectada por el Ingeniero E.C. Rowe. Posteriormente, se estudió la ampliación de la red de este sector, dando origen al proyecto de los Ingenieros Señores René Fuentes y Carlos Radrigán". En la década del 30 y 40, correspondió al "Departamento de Hidráulica" de la Dirección General de Obras Públicas la construcción de los colectores de aguas lluvias. Entre los años 1953 y 1977 correspondió a la Dirección de Obras Sanitarias. Hasta antes de la década de los '70, las funciones provenientes de lo dispuesto en la Ley N° 11.402, de 1952 sobre defensas de las riberas de los ríos, correspondieron a la Dirección de Obras Sanitarias del Ministerio de Obras Públicas, creándose a partir del año 1971 el Departamento de Obras Fluviales del MOP. En 1979, la función que



cumplía el Departamento de Defensas Fluviales (DDF) de la Dirección General de Obras Públicas pasa al Departamento de Obras Fluviales (DOF) de la Dirección de Vialidad. A partir del año 1977 la función le correspondió al Servicio Nacional de Obras Sanitarias vigente hasta el año 1989. Desde el año 1990 hasta el año 1997, las aguas lluvias quedan en territorio de nadie. Finalmente en noviembre de 1997 todo lo relacionado con obras hidráulicas pasó a manos del MOP a través de la Dirección de Obras Hidráulicas y del MINVU, al dictarse la ley 19.525.

Descripción General del Sistema de Colección de Aguas Lluvias

En la ciudad de Temuco se pueden destacar, preferentemente, dos sistemas receptores finales que reciben casi la totalidad de la escorrentía producida por las aguas lluvias transportadas por las calles, colectores y cauces naturales y éstos son el río Cautín y el Canal Gibbs, siendo que éste, en su paso por la ciudad, cambia de nombre a Gabriela Mistral, con diferentes características al anterior y finalmente desemboca en el propio Río Cautín como estero Botrolhue – estero Labranza, aguas abajo de Labranza.

Para efectos de denominación se entiende entonces la existencia de 2 macro sistemas o subcuencas: el Cautín y el Gibbs – Gabriela Mistral – Botrolhue – Labranza.

De acuerdo al Plan Maestro de Aguas Lluvias vigente, están son las calles que sobrepasan la capacidad máxima para distintos periodos de retorno:

Identificación calle nombre	nodo	Exceso (m ³ /s)		
		T=2	T=5	T=10
Arturo Pérez Canto	CAPC1	0.195	0.260	0.303
	CAPC2	0.349	0.493	0.587
	CAPC3		0.073	0.140
Av Pablo Neruda	CPN3			0.018
Av. Gabriela Mistral	CGM2			0.004
Av Italia	CAI1		0.009	0.037
	CAI2	0.120	0.249	0.333
Av. Pedro de Valdivia	CPV7			0.014
Av. Alemania	CAA	0.456	0.628	0.741
Senador Esteban	CSE	1.322	1.723	1.987
Av. Costanera	CAC1	0.190	0.368	0.486
	CAC3			0.020
Av. Valparaíso	CV3		0.053	0.112
	CV4	0.066	0.108	0.136
Av. Urrutia	CU1	0.153	0.265	0.339
Av. Rudecindo Ortega	CRO1	0.285	0.423	0.515
	CRO2	1.016	1.361	1.589
Venecia	CV	0.074	0.172	0.237

Este mismo plan, identifico las áreas que debían ser saneadas para mejorar la capacidad de evacuación de las aguas lluvias:

Sistema Gibbs – Gabriela Mistral - Botrolhue

Proyecto	Nombre	Zona a Sanear
A1 (Li)	Subsistema Gibbs	Área comprendida en el Subsistema Gibbs entre Estero Azul y Estero Temuco. Frente a Liceo y toma ESSAR S.A



A1 (Cu)	Subsistema Gibbs	Área comprendida en el Subsistema Gibbs entre Estero Azul y Estero Temuco. Curva del Canal con albañilería
A2 (Te)	Subsistema Gabriela Mistral	Área comprendida en el Subsistema G. Mistral entre Estero Temuco y Estero Coihueco. Ingreso del Estero Temuco.
A2 (Cl)	Subsistema Gabriela Mistral	Área comprendida en el Subsistema G. Mistral entre Estero Temuco y Estero Coihueco. Vegas de Chivilcán.
A3	Subsistema Colector 32	Área comprendida en el Subsistema Huaina (colector 32) de descarga al Estero Colico
A4	Subsistema Colector 37	Área comprendida en el Subsistema San Martín (colector 37) de descarga al G. Mistral
A5	Subsistema Canal Pillanlelún	Área comprendida en el Canal Pillanlelun ingreso a Canal Gibbs

Sistema Río Cautín

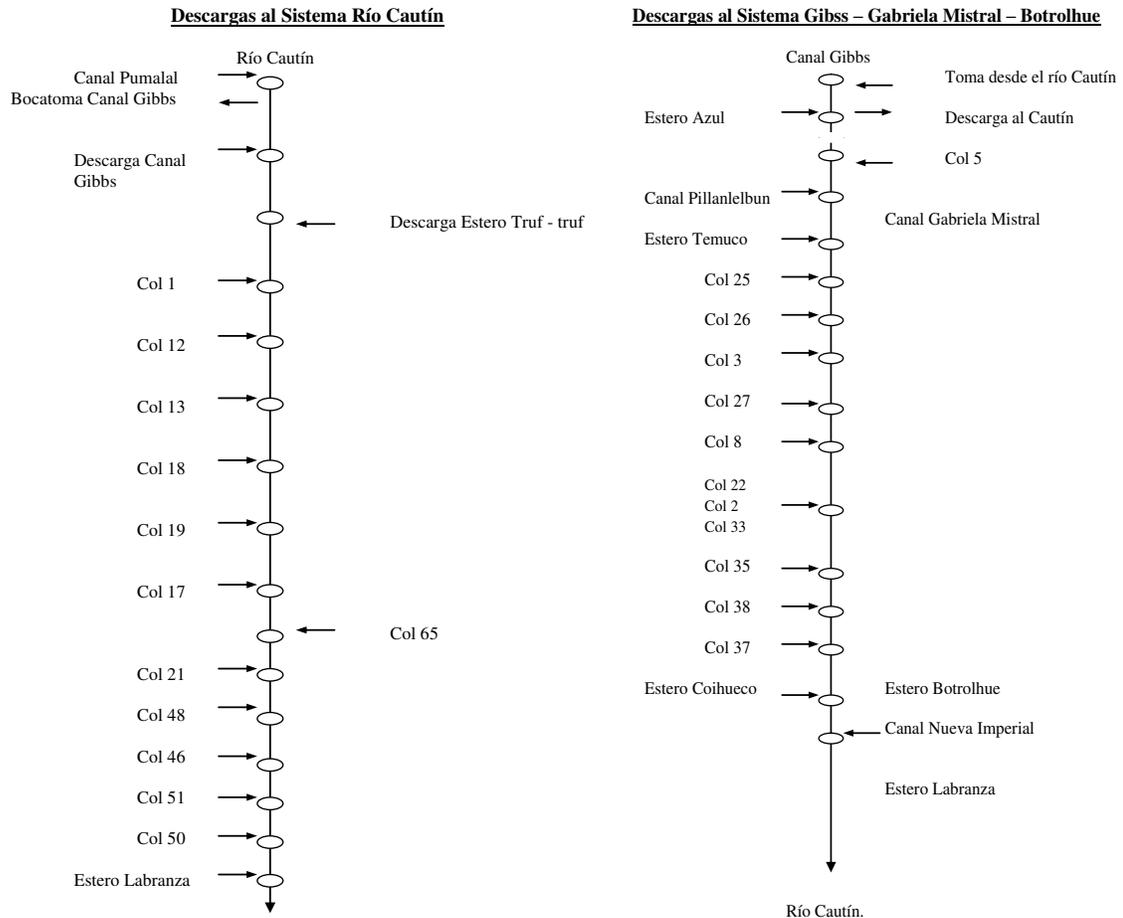
Proyecto	Nombre	Zona a Sanear
B1	Subsistema Colector 11	Subsistema 12 de Febrero (colector 11) de descarga al Canal de la Luz
B2	Subsistema Colector 14	Subsistema Sargento Aldea (colector 14) de descarga al colector 18
B3	Subsistema Colector 48	Subsistema Francisco Salazar (colector 48) que descarga al Río Cautín
B4	Subsistema Colector 50	Subsistema José M. Carrera (colector 50) que descarga al terreno eriazó (Río Cautín)
B5	Subsistema Colector 44	Subsistema Altamira (colector 44) sin descarga
B6	Subsistema Colector 23	Subsistema Inés de Suarez (colector 23) sin salida
B7	Subsistema Colector 41	Subsistema Santa Teresa (colector 41) sin salida
B8	Subsistema Colector 49	Subsistema Las Encinas (colector 49) sin salida
B9	Subsistema Colector 34	Subsistema Arturo Pérez Canto (colector 34) sin salida
B10	Interceptor Costanera	
B11	Colector 39 unitario	

Anegamientos / Inundaciones Puntuales en Calles y/o Puntos Bajos

Proyecto	Zona a Sanear	Descripción
C1	San Martín / Recreo	Refuerzo colector 37/ nuevo trazado conectado a Gran interceptor Simón Bolívar
C2	Neruda / J. Carrera	Extender colector
C3	Rudecindo Ortega	Solución Caupolicán ingresar a colector 5
C4	Pedro de Valdivia Tizano	Construir colector al Gibbs
C5	Alemania / J. Estebanez	Gran interceptor hasta Simón Bolívar y refuerzo colector 40
C6	San Martín / Recreo	Unión ramal a gran interceptor Simón Bolívar
C7	P. Neruda / I. Carrera Pinto	Ramal a colector 38
C8	A. Pérez C / Inés de Suarez	Nuevo colector hacia el canal Gibbs o hacia el Colector 23 vía Inés de Suarez hasta S. Bolívar (refuerzo)
C9	Montevideo / F. Salazar	Ramal hacia interceptor Milano por Recabarren
C10	Recabarren / Parma	Refuerzo por Parma hasta Interceptor Milano
C11	Venecia / Alessandria	Ramal hasta interceptor costero por Venecia
C12	Italia / Milano	Ramal por Italia hasta Interceptor Milano
C13	San Marcos / Recabarren	Refuerzo por Recabarren
C14	Italia sobre Aquelarre	Colector descarga Aquelarre

Las descargas de estos se grafican a continuación:





9.3 Procesos de Inundación

a) Estudio de Factibilidad Mejoramiento Estero Botrollhue y Habilitación Descargas al Río Cautín, Temuco, IX REGIÓN

Dadas las prioridades establecidas en el Plan Maestro, se consideró fundamental abordar obras de mejoramiento en el Sistema de los canales Gibbs y Gabriela Mistral, en un sector de aproximadamente 9 km, correspondiente al paso de estos canales por la zona urbana de la ciudad de Temuco. Para ello la DOH contrató la consultoría ESDPALL-24: “Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo Canales Gibbs – Gabriela Mistral, Temuco –IX Región”, a la firma consultora CONIC-BF Ingenieros Civiles Consultores, según Resolución DOH N° 242 del 17 de Diciembre de 2003, con Toma de Razón por la Contraloría General de la República y que se tramitó el 19 de Enero de 2004.

Al igual que el proyecto de mejoramiento de los Canales Gibbs y Gabriela Mistral, el Plan Maestro definió también como una de las obras prioritarias de la Red Primaria, el Mejoramiento del Estero Botrollhue, cauce que se inicia en la confluencia del canal



Gabriela Mistral con el Estero Coihueco y finaliza en el Río Cautín, previo paso por la localidad de Labranza.

Las obras de mejoramiento del Estero Botrolhue, estarán destinadas a resolver los problemas de inundaciones a que se ven expuestos vastos sectores de planicies aledaños al curso del cauce del estero Botrolhue, como también los sectores urbanos de Labranza, permitiendo una continuidad con las obras de mejoramiento de los canales Gibbs y Gabriela Mistral, las que verán reforzada su eficacia al mejorarse la capacidad del cauce natural del Estero Botrolhue, que se constituye en el receptor de los canales urbanos, permitiendo así un mejoramiento integral del eje de evacuación conformado por los Canales Gibbs – Gabriela Mistral – Estero Botrolhue.

Las obras de mejoramiento en el Estero Botrolhue tienen por propósito resolver los problemas de inundaciones que se producen en el entorno del cauce de dicho estero, motivados por la insuficiente capacidad de conducción que presenta, al recibir los caudales generados tanto por los sectores urbanos de Temuco y sus cuencas aportantes, y la escorrentía adicional que se origina en la cuenca del Estero Botrolhue entre el límite urbano de Temuco y el Río Cautín, sin embargo, a la fecha, estas obras no han podido ser materializadas.

Alternativas de Solución

Para el mejoramiento integral del sistema del estero Botrolhue se han considerado indistintamente los siguientes elementos constitutivos:

- a. Canal de descarga Nº 1, el que se ubicará en el sector donde actualmente se emplaza el canal Aquelarre, aproximadamente 3 km aguas abajo del inicio del estero Botrolhue, cuya función será derivar total o parcialmente el flujo del estero hacia el río Cautín. La longitud de este canal es de 1,8 km.
- b. Canal de descarga Nº 2, a ubicarse aproximadamente a 8,8 km aguas abajo del inicio del estero Botrolhue, lugar que coincide con la menor distancia que existe entre el estero y el río Cautín. Al igual que el canal anterior, este evacuará total o parcialmente el flujo del estero hacia el río y su longitud es de 600 m.
- c. Una laguna de regulación en las vegas de Chivilcán.

A partir de los tres elementos antes indicados, se plantearon distintas opciones de mejoramiento que incluyen distintas combinaciones de obras además de la ampliación de capacidad hidráulica de los distintos tramos del estero Botrolhue.

Para un mejor entendimiento de las soluciones, se dividió el estero Botrolhue en tres tramos, según la siguiente descripción:

- Tramo 1: Se ubica entre el inicio del estero, ubicado en el punto de confluencia del canal Gabriela Mistral y el estero Coihueco, y el punto de inicio del canal de descarga Nº 1. Tiene una longitud de 3.028 m.



- Tramo 2: Se ubica entre el inicio del canal de descarga N° 1 y el inicio del canal de descarga N° 2 y tiene una longitud de 5.835 m.
- Tramo 3: Se ubica entre el inicio del canal de descarga N° 2 y la descarga del estero al río Cautín. La longitud de este tramo es de 7.194 m.

Las canalizaciones proyectadas serán excavadas en sección trapecial cuyo fondo tendrá un punto bajo en su centro. Serán en terreno natural sin revestimiento a objeto de mantener la condición natural del cauce, por lo que deberá asegurarse un escurrimiento con velocidades admisibles que no comprometan la estabilidad de los taludes. En ese sentido, se ha optado como criterio de diseño para definir la pendiente longitudinal del cauce rectificado, considerar tramos afines en cuanto a geometría y características, que actualmente posee el cauce. Para definir los taludes máximos de las paredes de la canalización se adoptó los parámetros definidos en el estudio de mecánica de suelos.

En aquellos casos en que se obtengan velocidades superiores a las admisibles para el tipo de suelo del canal, se considera además la protección de los taludes con una geomanta más un recubrimiento vegetal.

Las obras se diseñaron en función de los criterios de diseño antes definidos e incluyen las obras singulares necesarias para la interacción con la infraestructura del entorno, que se ven afectadas a lo largo tanto del cauce existente como de los canales proyectados. Dentro de estas obras, se contemplan puentes, pasarelas, alcantarillas, cañerías, compuertas, descargas, etc. La única obra que se mantendrá sin modificaciones, independientemente de la opción analizada, es el puente de la antigua vía férrea de Temuco a la costa, toda vez que este se encuentra en desuso. El peraltamiento del escurrimiento que ocurre, para las opciones que intervienen en forma importante el tramo en que se ubica este puente, no superan los 0,2 m y es contenido por las riberas, que aguas arriba del puente son más altas que el común del estero.

Desde el punto de vista de la seguridad hidrológica, se estudiaron las obras para las crecidas asociadas a 25 y 50 años de período de retorno.

De las 8 opciones analizadas, la con mayor rentabilidad corresponden a Mejoramiento por tramos del estero Botrollhue y habilitación del canal de descarga N° 2.



10 DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO

El Plan Regulador vigente presenta áreas de restricción y protección las que corresponden a zonas especiales, definidas por la presencia de elementos naturales o artificiales que representan un riesgo para las personas y/o infraestructura, o que contienen elementos del sistema natural que por su singularidad, escasez o función ambiental se hace necesario proteger y/o restringir su uso.

En algunos casos estas áreas se superponen.

Áreas de Restricción:

Estas áreas fueron definidas en la propuesta basándose en el “Estudio de Riesgos” elaborado por la Universidad de Chile y corresponden a zonas que presentan las siguientes características:

- a) Áreas inundables.
- b) Áreas con riesgo de deslizamiento de suelos.
- c) Áreas con pendientes sobre 30 por ciento.

Áreas de Protección:

Estas áreas corresponden a zonas que presentan características especiales desde el punto de vista de los recursos naturales presentes en ellas y/o las funciones que dichos ecosistemas cumplen y que son de importancia para el desarrollo de la vida urbana y constituyen patrimonio de la comuna. A saber:

- a) Reductos de Bosque Nativo (Rucamanque, Ñielol)
- b) Zonas receptoras de escurrimiento superficial de aguas lluvia (Vegas de Chivilcan, sector Laguna Puente Chispas).
- c) Zonas de Valor Paisajístico (Cerro Ñielol)
- d) Esteros (Pichitemuco, Cohiuco, Lircay y Botrolhue).
- e) Quebradas

A continuación, se detallan aquellas áreas de interés definidas por el PRC y contrastadas con el actual estudio:

ÁREA DE RESTRICCIÓN POR PENDIENTE “ARP”

Corresponde a las áreas con pendiente superior a 15° (grados), donde se exige estudio de riesgo de acuerdo a lo descrito en los Artículos 28 y 30 de la presente Ordenanza.

Estas corresponden a las áreas con pendiente superior a 15 grados que están en estrecha relación con el estado de equilibrio de las laderas o sus componentes y con la energía erosiva que los procesos presentes o desencadenables pueden desarrollar en su superficie.

Los rangos de pendientes según umbrales morfodinámicos considerados en el estudio del PRC vigente se detallan en la siguiente tabla:



Tabla de Rangos de Pendiente según Umbrales Morfodinámicos

PENDIENTES		TIPO DE PENDIENTE	UMBRAL GEOMORFOLÓGICO
Grados	% aprox.		
0 - 2	0 - 4,5	Horizontal	Erosión nula a leve
2 - 5	4,5 - 11,0	Suave	Erosión débil, difusa. Sheet wash. Inicio de regueras. Soliflucción fría.
5 - 10	11,0 - 22,0	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. Rill-wash o desarrollo de regueras.
10 - 20	22,0 - 44,5	Fuerte	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcavas incipientes.
20 - 30	44,5 - 67,0	Muy Fuerte a Moderadamente Escarpada	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación.
30 - 45	67,0 - 100	Escarpada	Coluvionamiento. Soliflucción intensa. Inicio de derrubación.
> de 45	> 100	Muy Escarpada a Acantilada	Desprendimientos y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes.

Los Rangos de Pendientes utilizados y su justificación geomorfológica están basados en Araya & Börgel 1972, Young 1975 y Ferrando 1993.

A continuación se muestra el área graficada en el actual Plan Regulador como de restricción por pendiente:

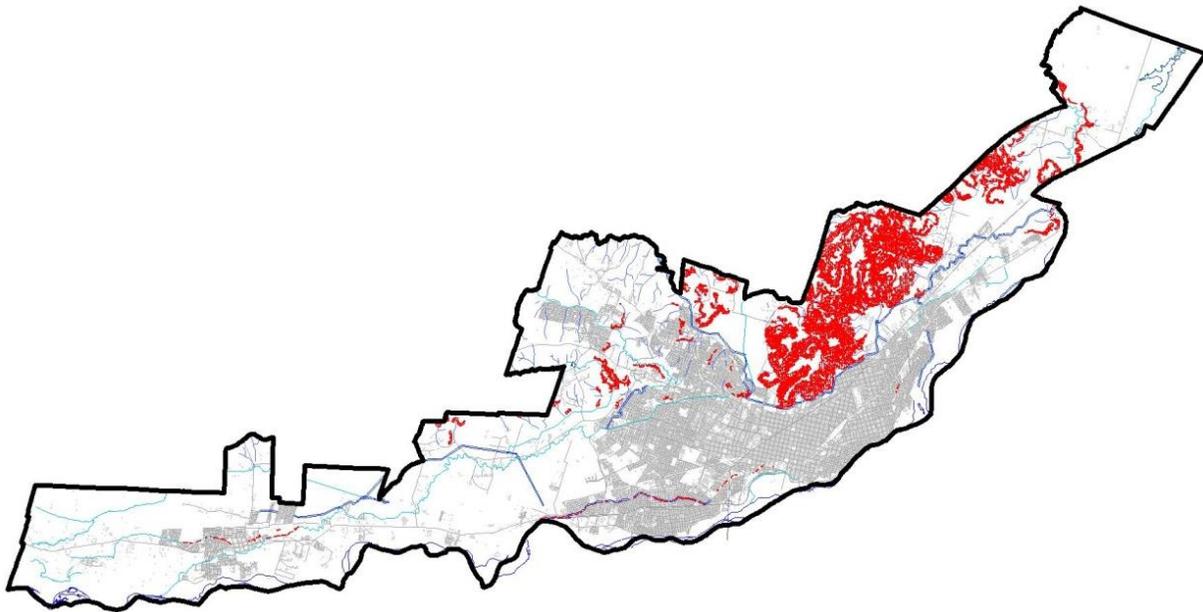


Figura N° 33. Áreas Restricción por Pendiente
Fuente: Zonificación Urbana Plan Regulador de Temuco, 2010.

Junto a la delimitación anterior, se consideraron las siguientes normas complementarias establecidas en el PRC vigente:

- **ADUC1 Área de Desarrollo Urbano Condicionado El Carmen / Pedro de Valdivia**
Corresponde a la zona delimitada por la suma de los polígonos del Barrio El Carmen y las Zonas de Expansión de Pedro de Valdivia que colindan con este.



Se determina como Condicionado por las deficiencias para evacuar los caudales que recibe el sistema hídrico vinculado a estas zonas, ya que la totalidad de los predios drenan hacia el Sistema Botrolhue formado por los Esteros Lircay, Coihueco y Botrolhue.

La restricción se levantará con el VºBº de la Dirección de Obras Hidráulicas, en la medida que esta señale que se han proyectado adecuadamente los sistemas de evacuación de aguas lluvias generadas por los diferentes proyectos, considerando para esto las soluciones insertas en el predio como asimismo las modificaciones a los esteros que sea necesario ejecutar. Lo anterior deberá considerar el efecto sinérgico de la ejecución de otros proyectos.

NUEVAS ÁREAS DE RIESGO POR PROCESOS DE REMOCION EN MASA

Se ha considerado generar un área de restricción por procesos de remoción en masa y no por pendiente, dado que estos agrupan todos los procesos de transporte que movilizan, en conjunto, un volumen más o menos grande de materiales y no solo asociado a rangos de pendiente, como se generará en el instrumento vigente, sino que con un concepto más amplio, procesos de remoción, no solo condicionados por la pendientes, si no, que por el material, forma, geología, hidrogeología, etc.

Considerando el contexto anterior, al evaluar el área en estudio, se observaron claros signos de haber sufrido procesos de deslizamientos, micro-deslizamientos, solifluxión en terracetos y procesos de erosión hídrica. En el caso de los deslizamientos y micro-deslizamientos, estos consisten en un descenso masivo y relativamente rápido de materiales a lo largo de una vertiente. En el caso de generarse estos en la plataforma de erosión, el desplazamiento se efectúa sobre basamento arcilloso o margoso saturado de agua. En este caso, presenta generalmente, un perfil curvo, cóncavo, que imprime un movimiento de rotación a la masa en deslizamiento, susceptible de fraccionarla en bloques basculados en sentido contrario a la pendiente.

En el caso de las solifluxiones estas corresponden a un desplazamiento que afecta a una masa de fango despegada de un basamento estable, como el presente en la plataforma de erosión, afecta únicamente a los materiales arcillosos susceptibles de transformarse en barro (fango) por aumento de su contenido de agua líquida. En el caso de los procesos de solifluxión presentes en la plataforma de erosión, se desarrolla asociadas a las cabeceras de erosión, en este caso, se habla de solifluxión laminar dado que el fenómeno adquiere la forma de un lento descenso de una capa de barro poca espesa. La existencia de un manto herbáceo en algunas áreas donde se desarrolla dificulta en la parte superficial, esta solifluxión subcutánea, produce abombamientos del tapiz vegetal, finalmente, en áreas de mayor pendiente, el movimiento se descompone en pequeños deslizamientos escalonados, expresados en peldaños discontinuos de altitud y de anchura decimétricas, esta abunda en gran parte del área en estudio y se denomina solifluxión en terracetos.

Considerando lo anterior, el nivel de cabeceras de erosión y la segregación de procesos de micro-deslizamientos productos de la red de drenaje estacional que ha ido modelando esta unidad, es necesario resguardar las áreas de quebradas que conforman la plataforma, así,



como las áreas de mayor pendiente y complejidad asociadas al cordón montañoso, lo anterior, se ilustra en la siguiente figura:

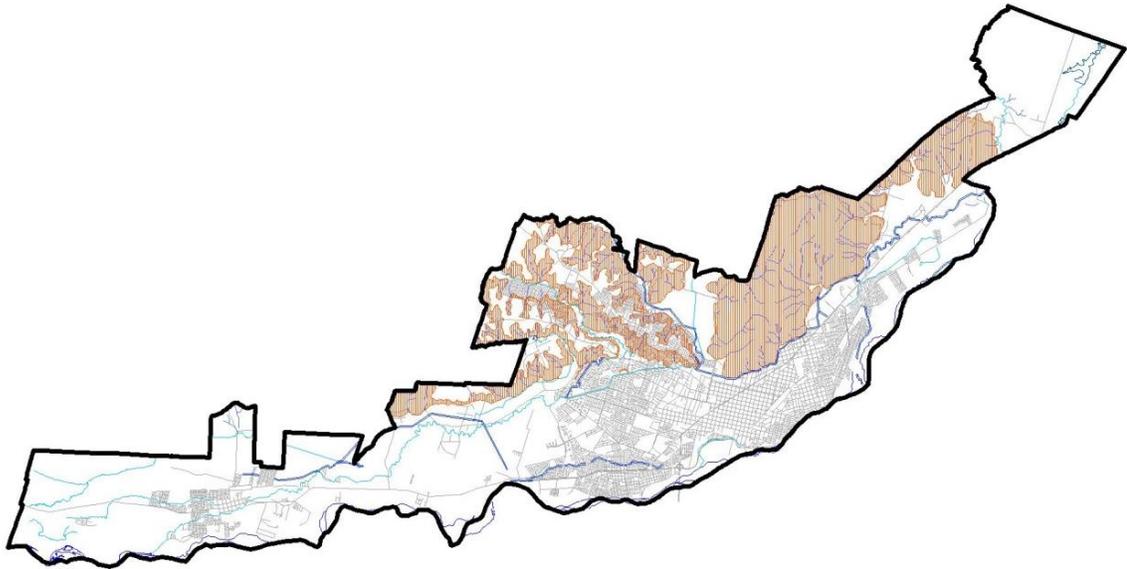
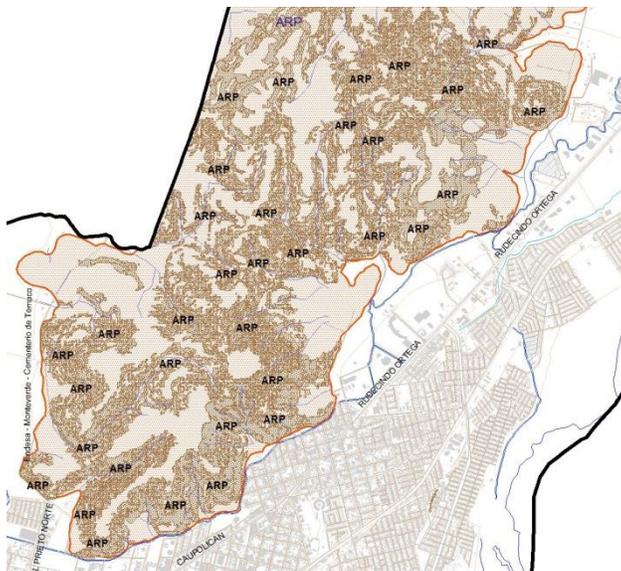


Figura N° 34. Nueva Propuesta de Áreas de Restricción por Riesgos Generados por la Intervención Humana (Remoción en Masa).

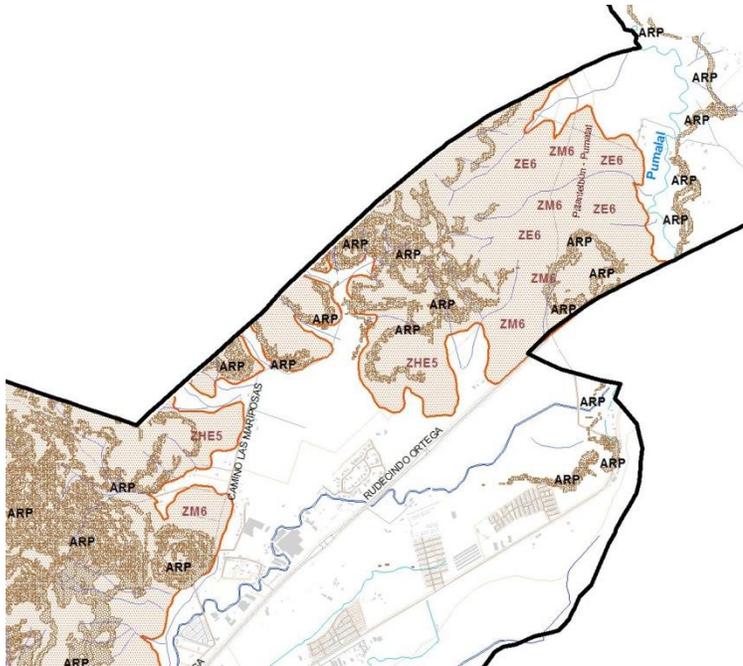
Fuente: Elaborado por Equipo Consultor, 2015.

La diferencias entre las áreas de restricción consideradas en el PRC Vigente y las propuestas por el estudio, radica en que en la propuesta no se consideran Áreas de Desarrollo Urbano Condicionado, sino, que áreas de riesgo netamente, dado que el condicionar no es una norma eficiente que evite o mitigue el desarrollo de estos procesos al no territorializar donde ocurren estos, razón, por la cual las principales diferencias entre la restricción actual y la propuesta se analizan a continuación:

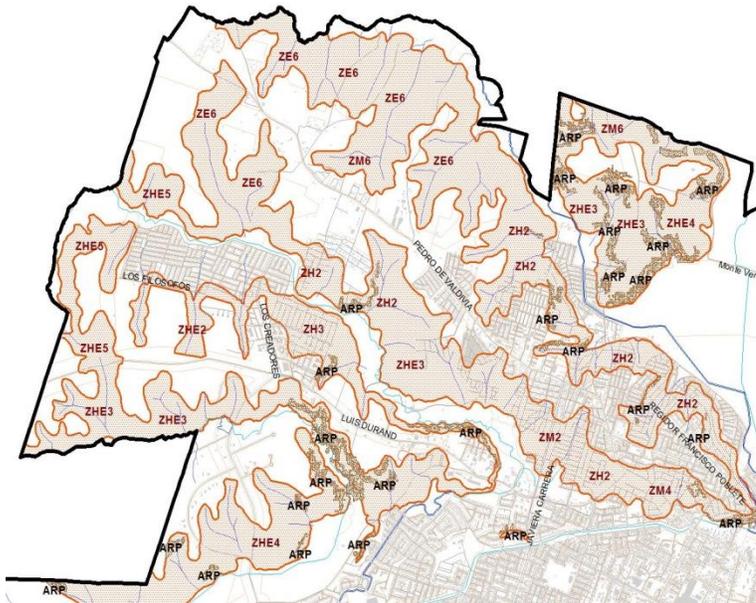


En el caso del Cordón del Ñielol la norma vigente identifica fragmentos con el símbolo ARP asociado a determinadas pendientes, sin hacer una evaluación integral que considere la forma, nivel de erosión, drenaje actual, cobertura vegetal y condición geológica del cordón, razón por la cual al evaluar los posibles peligros que conllevan los procesos de remoción se ha englobado toda la unidad (delimitada en color naranja) y no solo fragmentos de ella, dado que lo que se haga en las altas cumbres repercute en las áreas bajas.





Igual situación se genera en el resto del cordón del Ñielol hacia el sector de Pumalal ampliándose con ello el área de restricción hacia áreas clasificadas como ZM6 las cuales corresponden a corredor periurbano, siendo necesario para la habilitación de estas considerar las nuevas condicionantes asociadas a la restricción propuesta.



En el caso de la Plataforma de Erosión asociado a Pedro de Valdivia y El Carmen la restricción simbolizada por ARP es muy puntual, dado que la pendiente no permite grabar más áreas al ser este el único criterio del estudio del PRC vigente, razón por la cual, se genera el Área de Desarrollo Urbano Condicionado El Carmen / Pedro de Valdivia, sin embargo, al no espacializarse no es factible su aplicación.

En este contexto, el nuevo estudio graba las áreas de cabecera entre quebradas generando un continuo, identificando las áreas que por su forma, grado de erosión y aumento de la red de drenaje, requieren de un tratamiento especial a la hora de habilitarse para cualquier uso urbano.





Se elimina la restricción ARP de la localidad de Labranza dado que esta se asocia a un escarpe de erosión fluvial que marca la diferencia entre terrazas fluviales y que se asocia a un uso de área verde dado su límite para el desarrollo de otros usos, encontrándose con esta condición (área verde) resguardada.

ÁREAS DE INUNDACIÓN

Los límites de los efectos negativos por inundación del río Cautín generan zonas de conflicto en el límite urbano del PRC, particularmente en la zona Sur de la ciudad de Temuco.

Especial preocupación se presenta en la zona ribereña oriental de la ciudad, donde una eventual crecida del río podría inundar esta parte de la ciudad.

Una situación similar a la anterior se presenta en el sector sur del pueblo de Labranza, donde además entra en conflicto con la zona de inundación del curso inferior del estero Botrolhue.

Igualmente preocupante resulta el área de conflicto que se presenta en el curso inferior del estero Botrolhue, donde confluyen otros cursos de agua que producen un punto de concentración cuya dinámica hidrológica genera una zona de inundación en el sector urbano (canal Gibbs, de Chivilcan y Estero Coihueco).

Dada la dinámica de urbanización que se está produciendo, junto con la zona de expansión urbana considerada por el PRC el estero Coihueco aumentará considerablemente la velocidad de concentración de las aguas lluvias generando un aporte instantáneo superior al actualmente existente que generará un área de conflicto con la función residencial.

Área de Restricción por Riesgo de Inundación o Anegamiento "ARRI"

Corresponden a aquellos sectores en los cuales podría ocurrir la invasión de aguas, de acuerdo a lo descrito en los Artículos 26 y 28 de la presente Ordenanza.

Corresponden a aquellos sectores en los cuales podría ocurrir la invasión de aguas en un territorio, debido al escurrimiento descontrolado de aguas superficiales, debido a desbordamiento de cauces y/o colmatación de la cuenca receptora sumada a condiciones



de insuficiencia de los sistemas de evacuación (cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos etc.).

Para la delimitación de las riberas de los cauces de los ríos, lagos, esteros o quebradas, se regirá de acuerdo a lo dispuesto en el D.S. N° 609 (Tierras y Colonización) del 31.08.78, publicado en el D.O. del 24.01.79, al Código de Aguas y a lo dispuesto en el Artículo 15 de la presente Ordenanza.

Las zonas de riesgo de inundación deben complementarse con estudios de crecidas para períodos de retorno determinados. A su vez, las distancias establecidas desde los cauces naturales y los canales, deben justificarse con estudios hidrológicos e hidráulicos correspondientes.

Los elementos generadores de zonas inundables en el área normada por el PRC de la comuna Temuco corresponden a la acción de: Ríos, Esteros, Quebradas, Vegas, Napas de poca profundidad, Aguas lluvias y Canales, según Estudio de Riesgos para el PRC, lo anterior, se ilustra en la siguiente figura:

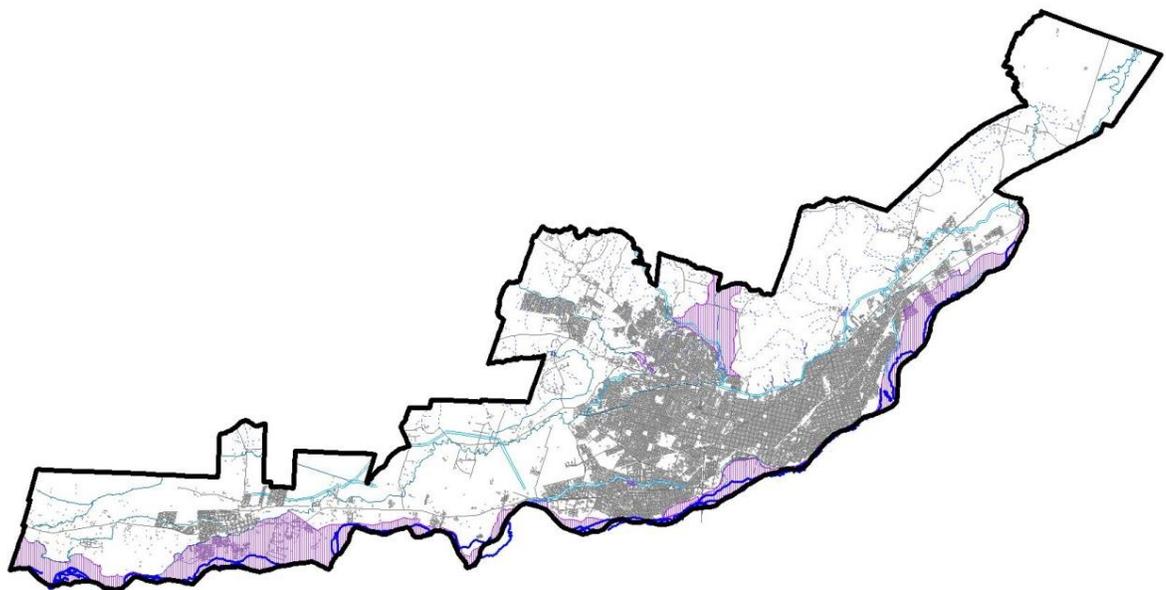


Figura N° 35. Zona Especial restricción por Anegamiento e Inundación (Achuradas en color fucsia)
Fuente: Zonificación Urbana Plan Regulador de Temuco, 2010.

Junto a la delimitación anterior, se debe considerar las siguientes normas complementarias establecidas en el PRC vigente:

- **ADUC2 Área de Desarrollo Urbano Condicionado Costanera del Cautín**
Corresponde a la zona definida por el polígono formado por la zona de expansión Costanera.



Esta zona ha sido delimitada como área de riesgo de inundación por el Estudio de Riesgos de la Comuna, por lo que requiere la realización de obras civiles que permitan el levantamiento de tal condición.

La restricción se levantará previa construcción y recepción de la continuidad de las Defensas Ribereñas en el Río Cautín por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas o presentando un estudio de Riesgo de Inundación que garantice que los terrenos no son inundables, y en caso de tener esta condición deberán proyectar las obras necesarias que garanticen la eliminación del riesgo, ambas situaciones deberán ser visadas por la Dirección de Obras Hidráulicas IX Región.

- **ADUC3 Área de Desarrollo Urbano Condicionado Labranza**

Labranza corresponde a los terrenos localizados entre el Estero Botrolhue y el Río Cautín, comprendiendo las zonas de Expansión de Labranza, Zonas Mixtas respectivas y Zona Residenciales de Baja Densidad definidas por el Plano Regulador en el sector.

En dicha zona existen una topografía irregular por lo que algunos terrenos puede que no se encuentran afectos a esta restricción, en estos casos deberán presentar un estudio de Riesgo de Inundación que garantice que los terrenos no son inundables, y en caso de tener esta condición deberán proyectar las obras necesarias que garanticen la eliminación del riesgo, ambas situaciones deberán ser visadas por la Dirección de Obras Hidráulicas IX Región.

- **ADUC4 Área de Desarrollo Urbano Condicionado Isla Cautín**

Corresponde a la zona definida por el polígono formado por las calles Av. Los Poetas, la Prolongación de la Calle Arturo Prat y las defensas ribereñas existentes.

Esta zona ha sido delimitada como área de riesgo de inundación por el Estudio de Riesgos de la Comuna, por lo que requiere la realización de obras civiles que permitan el levantamiento de tal condición.

La restricción se levantará previa construcción y recepción de la continuidad de las Defensas Ribereñas en el Río Cautín por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas.

- **ADUC5 Área de Desarrollo Urbano Condicionado Costanera Amanecer**

Corresponde a la zona definida por el polígono formado por las calles Alejandro Gram. Bell, la Prolongación de la Thomas Alba Edison y la ribera norte del río Cautín.

Esta zona ha sido delimitada como área de riesgo de inundación por el Estudio de Riesgos de la Comuna, por lo que requiere la realización de obras civiles que permitan el levantamiento de tal condición.

La restricción se levantará previa construcción y recepción de la continuidad de las Defensas Ribereñas en el Río Cautín por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas o presentando un estudio de Riesgo de Inundación que garantice que los terrenos no son inundables, y en caso de tener esta condición deberán proyectar las obras



necesarias que garanticen la eliminación del riesgo, ambas situaciones deberán ser visadas por la Dirección de Obras Hidráulicas IX Región.

NUEVAS ÁREAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

En el caso de los procesos de inundación se emplearon las cotas de inundación aportada por los estudios generados por la Dirección de Obras Hidráulicas y donde no existe mayor información, se han definido geomorfológicamente las llanuras de inundación, compuesta por aluviones y terraza inferior, así, como las llanuras aluviales, estas últimas, sufren de procesos de anegamiento y luego de inundaciones. En el caso de la llanura de inundación entorno al río Cautín se han descontado las áreas que presentan defensas fluviales por contar con obras estructurales que controlan la ocurrencia de este fenómeno, dado que las defensas fluviales del Cautín en Temuco fueron generadas para un periodo de retorno de 100 años.

Las nuevas áreas de grafica en la siguiente figura:

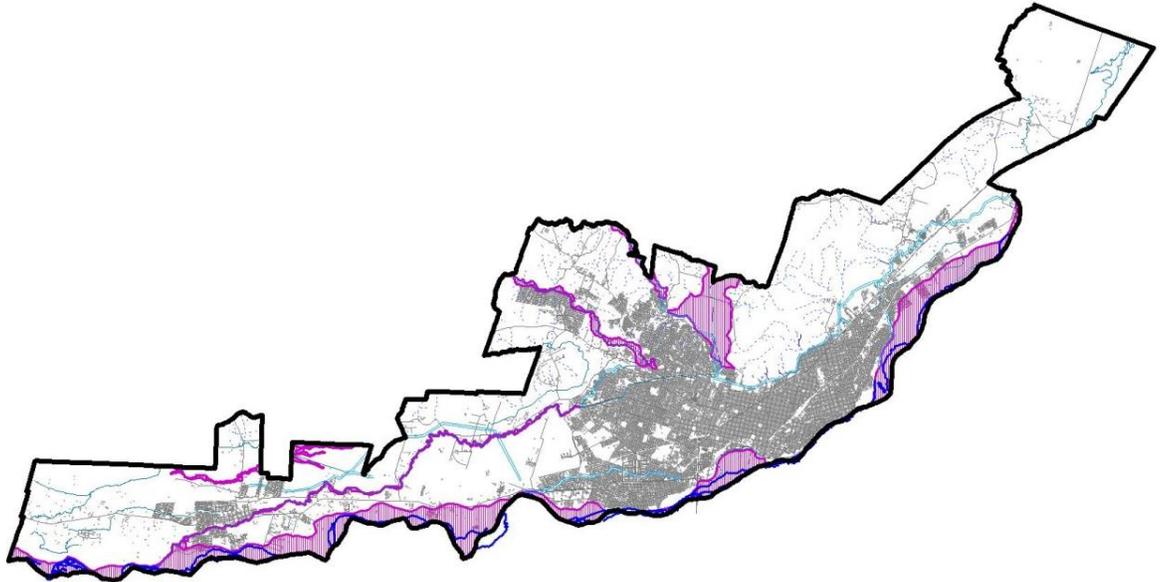
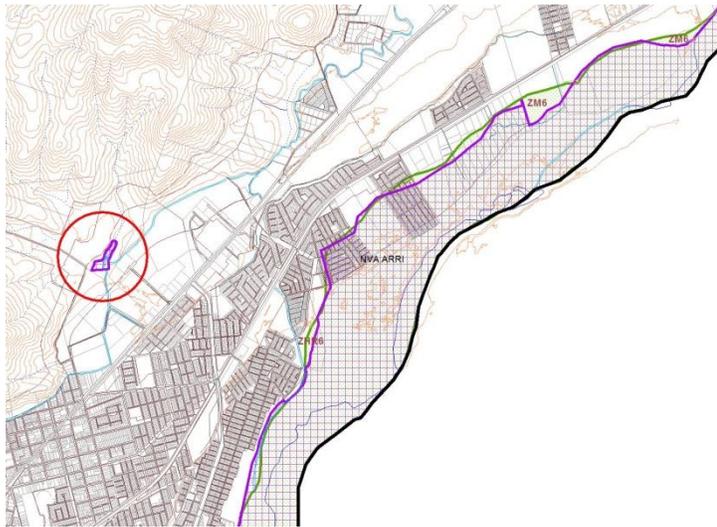


Figura N° 36. Nueva Propuesta de Áreas de Restricción Inundación (Remoción en Masa).
Fuente: Elaborado por Equipo Consultor, 2015.

La diferencias entre las áreas de restricción consideradas en el PRC Vigente y en la propuesta generada por este estudio, radicó en el reconocimiento de los estudios de la Dirección de Obras Hidráulicas, en especial, lo referido al estero Botrolhue y el reconocimiento de las defensas fluviales del río Cautín. Las principales diferencias entre la restricción actual y la propuesta se analizan a continuación:





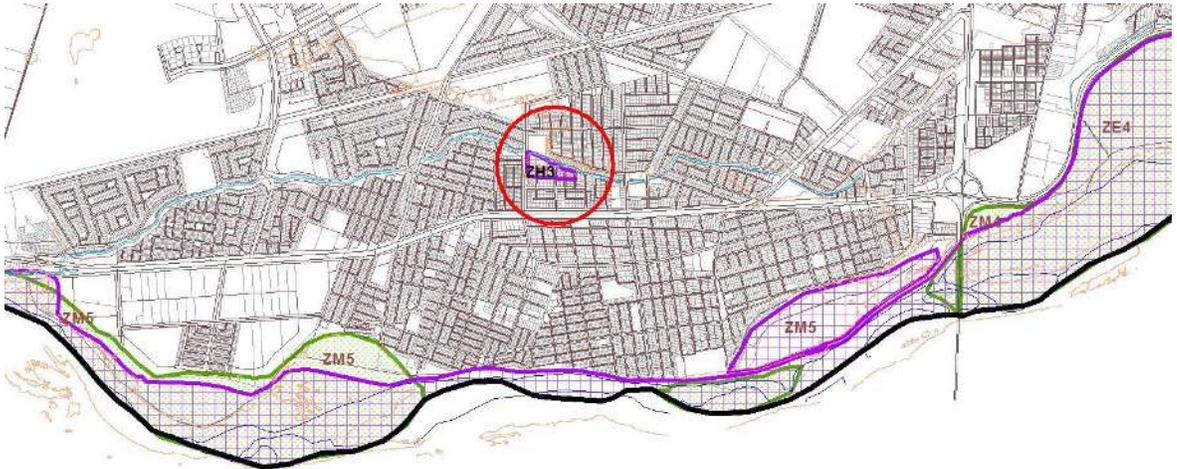
En el caso del área definida de restricción por inundación en el PRC vigente (achurado fucsia) respecto al nuevo estudio (delimitado en verde) no existen diferencias que sean significativas entre la definición vigente y la propuesta para los macro-sectores Costanera de Cautín y Centro. La única diferencia se aprecia en el área en círculo rojo donde se marca un área inundable de la cual no existen antecedentes.



Las mayores diferencias se aprecian respecto a las áreas delimitadas para el macro-sector Amanecer dado que la actual propuesta retrotrae el área de restricción comprendida entre la puente Cautín y el inicio de calle Milano por estar esta área protegida por las defensas fluviales del río Cautín y amplía estas en el sector Amanecer a la altura de la empresa Coca Cola dado que el área no tiene defensas y las huellas de inundaciones anteriores identifican un área mayor a la grabada actualmente. Por otra parte, el actual estudio no reconoce el área definida en el círculo rojo en la imagen adjunta, dado que esta corresponde a una



laguna de regulación hídrica que es parte del sistema de evacuación de aguas lluvias, lo expuesto anteriormente, se ilustra en la imagen adjunta:



En el caso de la restricción asociada al río Cautín diagramada entre Temuco y Labranza la restricción actual es conservadora en su delimitación, sin embargo, la nueva propuesta amplía el área de restricción en consideración a la geomorfología del área y a los registros de inundaciones anteriores que evidencian lo susceptible de estas zonas, lo anterior, se ilustra en la imagen adjunta:



El estero Botrolhue nace de la confluencia del Canal Gabriela Mistral con el estero Coihueco, presenta orientación este – oeste y descarga en el río Cautín, al poniente de la localidad de Labranza. Este cauce se ha transformado en el curso receptor final de una parte importante del sistema drenaje de aguas lluvias de la ciudad de Temuco. Hasta el punto de confluencia con el río Cautín presenta un área aportante de 96,7 Km², encontrándose el 30 % (29,1 Km²) bajo la confluencia del estero Coihueco con el canal Gabriela Mistral (DOH, 2008).

A lo largo de su recorrido, recibe como aportes importantes a los esteros Lircay y Diuco. Además, actúa como receptor del drenaje de aguas lluvias de la Localidad de Labranza, recibiendo descargas en forma prácticamente superficial, al no existir en la práctica sistemas de colectores que descarguen al cauce (DOH, 2008).

Considerando lo anterior, el Estudio de Factibilidad Mejoramiento Estero Botrolhue y Habilitación Descargas al Río Cautín, Temuco, IX Región, señala que “en general, al



comparar los niveles de escurrimiento respecto de los bordes altos de las riberas, se concluye que el estero Botrolhue, tendría capacidad, para portear crecidas de entre 1,33 y dos años de período de retorno, independiente del escenario analizado. No obstante, existen sectores puntuales en donde incluso se producirían desbordes para crecidas inferiores a 1,33 años de período de retorno (DOH, 2008).

En la Tabla adjunta, se presenta un resumen con las longitudes de desborde estimadas, considerando el escenario más desfavorable, correspondiente a la geometría actual y caudales en condiciones futuras de urbanización (DOH, 2008).

T (Años)	Longitud Desborde (m)	
	Ribera Izquierda	Ribera Derecha
1,33	1.172	1.440
2	5.265	5.756
5	10.558	11.779
10	12.794	13.605
25	14.011	14.843
50	14.585	15.041
100	14.791	15.195

En general, a pesar de que existen desbordes por ambas riberas, en el caso de la ribera derecha, éstos quedarían relativamente confinados por puntos altos aledaños a las riberas del cauce. En el caso del costado izquierdo, los desbordes se propagarían a lo largo de una extensa planicie aledaña al estero (DOH, 2008).

Las cotas de inundación que se obtuvieron en algunos puntos característicos del estero y que fueron tomados a partir de los resultados del eje hidráulico para las crecidas de períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años, y duración 24 horas, que es la duración de tormenta que maximiza los caudales de crecida. Adicionalmente, en esta tabla se presentan las cotas de riberas del estero, de manera de precisar las alturas de inundación que se alcanzan en el sector de Labranza. Cabe comentar que para período de retorno 1,33 años no se producen desbordes del cauce (DOH, 2008).

Kilometraje (Km)	Sector urbano	Cota ribera estero	Crecida de Período de Retorno (años)				
			T=2	T=10	T=25	T=50	T=100
13.208	Antes Ruta S-30	59.28	58.78	59.50	59.79	59.98	60.18
13.282	5 Oriente	58.70	58.64	59.18	59.37	59.47	59.55
13.302	4 Oriente	58.60	58.60	59.08	59.27	59.37	59.44
13.450	3 Oriente	57.77	57.91	58.45	58.65	58.76	58.85
13.628	2 Oriente	58.90	57.59	58.24	58.43	58.54	58.60
13.745	1 Oriente	58.85	57.44	58.01	58.18	58.28	58.38
13.892	1 Poniente	57.17	57.26	57.63	57.49	57.81	58.11
14.022	2 Poniente	56.64	57.02	57.70	57.66	57.75	58.07
14.116	El Pinar	56.67	56.89	57.67	57.59	57.68	58.04
14.180	3 Poniente	57.05	56.74	57.66	57.57	57.66	58.04
14.521		56.55	56.43	57.01	56.37	56.85	56.87
14.551	La Cosecha	56.06	56.45	57.01	56.81	56.84	56.85
14.559		56.67	56.44	57.01	56.79	56.83	56.82



Kilometraje (Km)	Sector urbano	Cota ribera estero	Crecida de Período de Retorno (años)				
			T=2	T=10	T=25	T=50	T=100
14.629		56.01	56.16	57.00	56.45	56.48	56.53
14.736	El Arado	55.50	55.61	56.14	56.20	56.27	56.33
14.880		55.86	55.39	56.00	55.88	55.95	56.04
14.908		55.92	55.34	55.47	55.87	55.94	56.03
14.959		55.63	55.26	55.69	55.83	55.90	55.99
15.026		55.69	55.16	55.54	55.67	55.75	55.88
15.054	El Trigal	55.61	54.99	55.52	55.65	55.73	55.87

A partir de los niveles de aguas obtenidos en el estero y de las alturas de las distintas manzanas con riesgo de inundación, se trazaron las líneas de inundación sobre la trama urbana y sobre los terrenos rurales para la situación sin proyecto y para las crecidas de períodos de retorno de 2, 10, 25, 50 y 100 años (DOH, 2008).

En el tramo frente a la localidad de Labranza las áreas afectadas por el lado sur llegan a alcanzar la margen norte del río Cautín, lo que puede implicar que los desbordes de ambos cauces se unifiquen en este sector (DOH, 2008).

En base a los resultados del Estudio de Factibilidad Mejoramiento Estero Botrolhue y Habilitación Descargas al Río Cautín, Temuco, IX Región (2007), se traspasó la cartografía de áreas de inundación a la nueva propuesta de áreas de inundación a considerar en las futuras modificaciones del PRC (Achurado en verde), los círculos azules, destacan las fechas que genero este estudio para ilustrar las posibles áreas de rebalse, lo anterior, se ilustra en las imágenes adjuntas:



Figura N° 37. Estero Botrolhue tramo inicial.



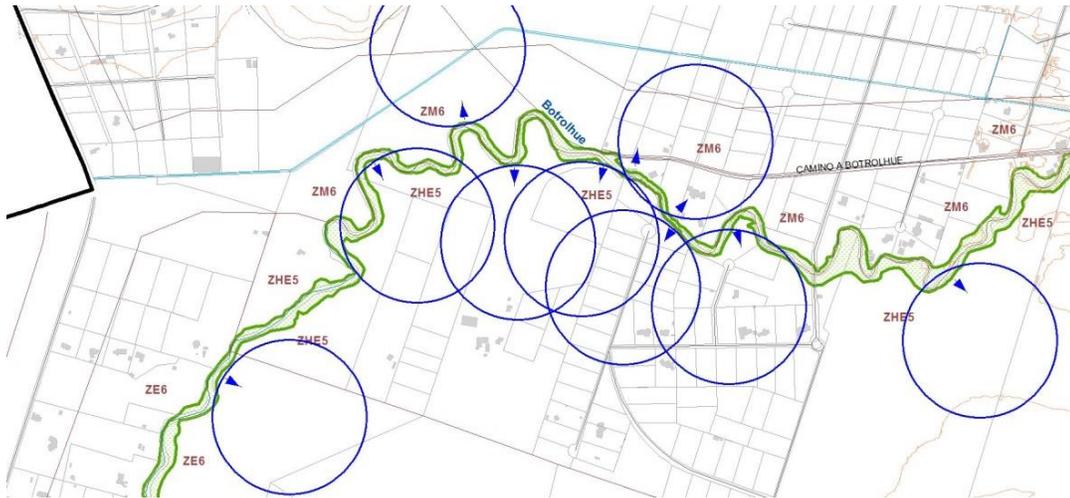


Figura N° 38. Estero Botrolhue tramo dos.

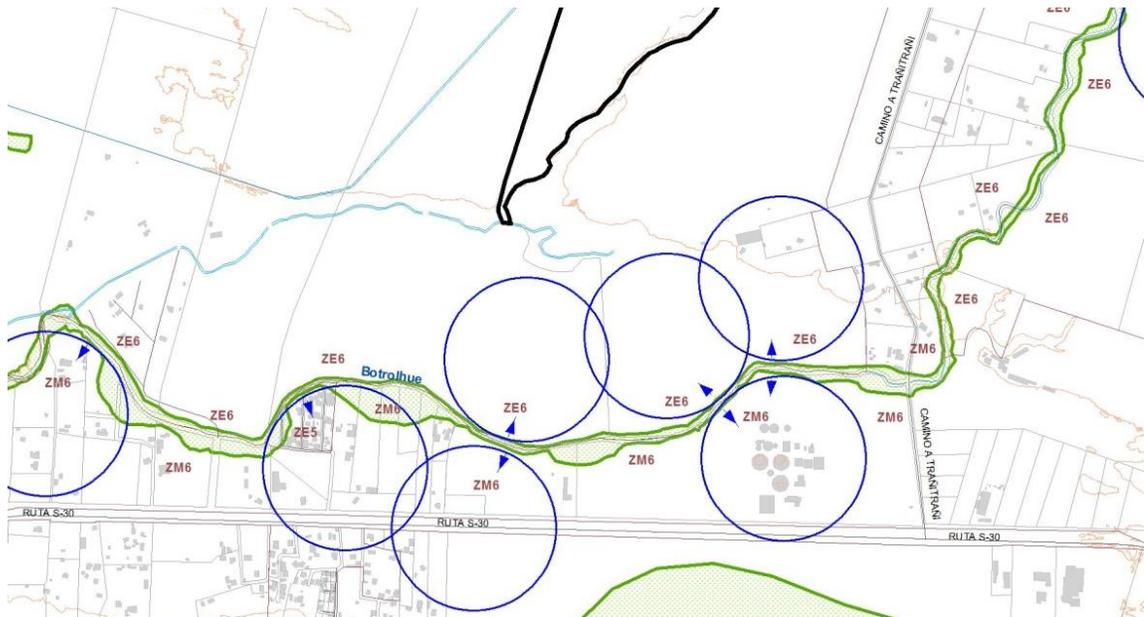


Figura N° 39. Estero Botrolhue tramo tres.



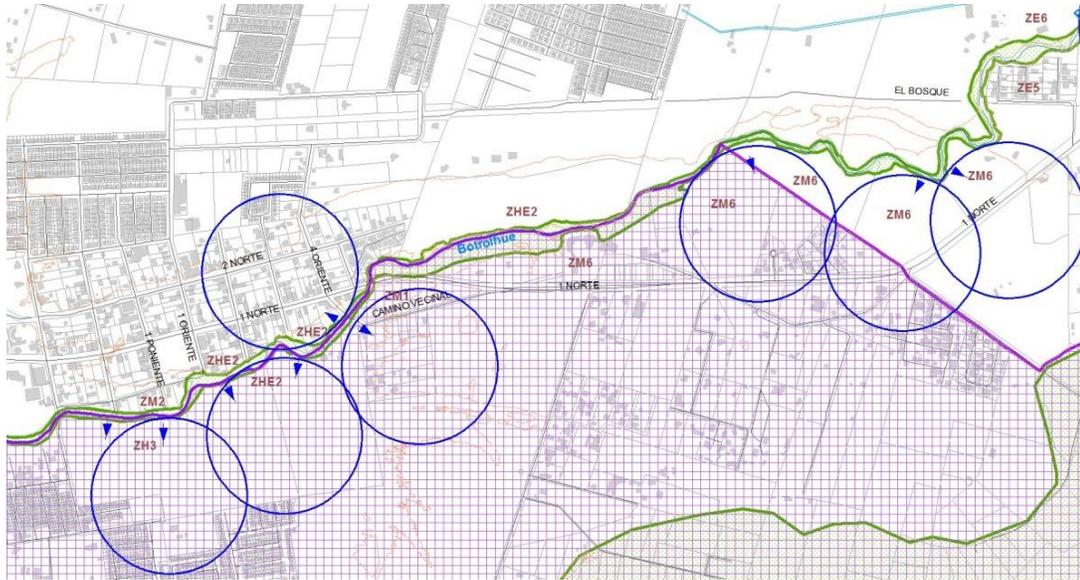


Figura N° 40. Estero Botrolhue tramo cuatro.

Finalmente, en lo que se refiere a áreas de inundación asociadas al río Cautín para la localidad de Labranza, se presentan algunas diferencias, entre la restricción existente y la propuesta (Delineada en verde) dado que el área vigente cubre la superficie total entre el Estero Botrolhue y el río Cautín y, la nueva propuesta, reconoce las áreas de inundación asociadas al río Cautín, estas últimas, corresponden a aluviones y segmentos de terraza inferior que si bien, los cuales, dependiendo de la intensidad de la tormenta pueden llegar a juntarse con los rebales del Estero Botrolhue, sin embargo, si bien, existe la posibilidad no es una constante para frenar el desarrollo de un área que se encuentra actualmente altamente habitada.

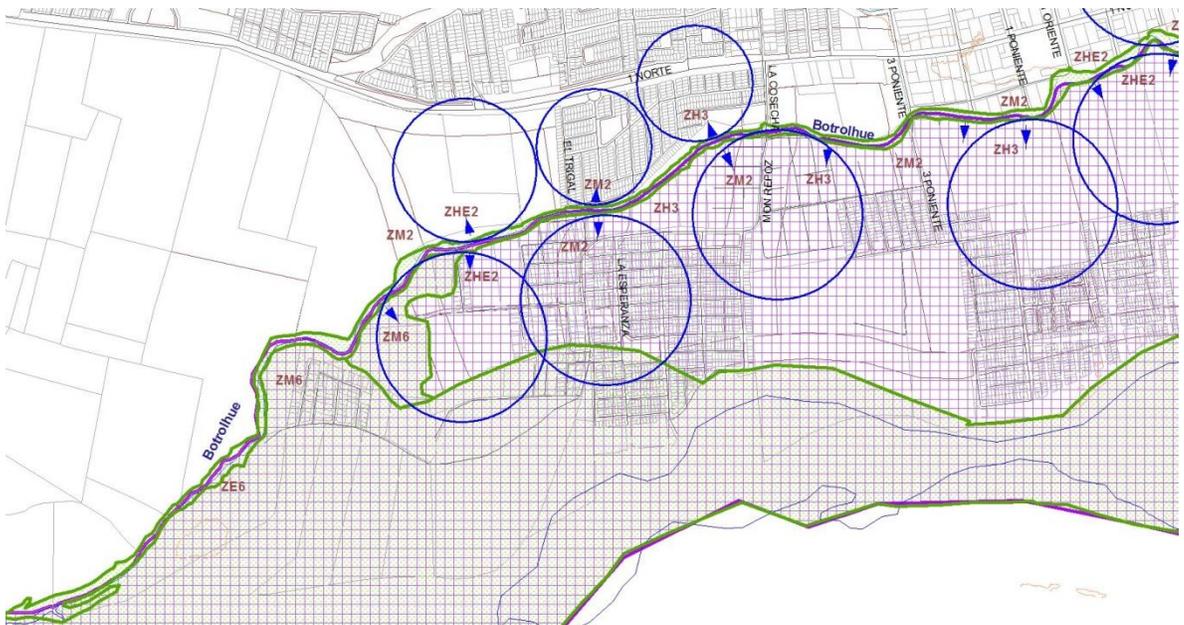


Figura N° 41. Río Cautín desembocadura Estero Botrolhue.



10.2 Recomendaciones

- Se recomienda considerar las nuevas áreas de inundación propuestas por el estudio en desarrollo, las cuales, no graban las áreas protegidas por las defensas fluviales del río Cautín, dado que las áreas que tienen defensas fluviales ya cuentan con medidas de mitigación que controlen este riesgo.
- Se recomienda considerar dentro de las áreas de restricción la totalidad de las llanuras aluviales presentes dentro del límite urbano, dado que todas cumplen funciones de regulación hídrica y aminoran el efecto de las inundaciones en la ciudad. En este entendido, es recomendable protegerlas con un uso definido, como por ejemplo reconocerlas como Parques Urbanos Inundables, los cuales considerando la condición de esta pueden ser un aporte relevante para la comunidad y significar un área importante de espaciamiento y recreación.
- En el caso de las áreas de inundación asociadas a la localidad de Labranza se reconocen solo aquellas áreas que se emplazan sobre aluviones no estabilizados y semi estabilizado del río Cautín, liberando una parte importante del área grabada por el actual plan regulador, sin embargo, se debe considerar un área de amortiguación respecto al límite del área de riesgo, asociada a usos no residenciales ni con permanencia.
- En el caso de los procesos de remoción en masa se recomienda usar este concepto, más, que grabar áreas con restricción por pendiente, que es un factor de un conjunto de variables que determinan la estabilidad de las plataformas y cordones montañosos. Por otro lado, el condicionar el uso de la plataforma en vez de restringir el uso de las quebradas solo genera que los procesos de micro-deslizamientos y solifluxión avancen lentamente, arriesgando a la población y sus viviendas a largo plazo.
- Se debe generar un catastro de las estructuras de contención y de manejo de procesos de remoción en masa para una gestión eficiente, además, de contar con un catastro actualizado de la situación del sistema de evacuación de aguas lluvias que permita la implementación de medidas no estructurales que apoyen y eviten la generación de procesos de remoción en masa.
- El manejo de las aguas lluvias es indispensable para el control eficiente de los procesos de remoción en masa, pudiendo manejarse a través de medidas no estructurales como control de la cobertura vegetal, mejoramiento de la capacidad de infiltración de los suelos, implementación de jardines de lluvia, entre otras.
- En el caso de las llanuras aluviales por su rol regulador es indispensable su protección e inclusión a la vida de la ciudad, dándole uso de área verde o de parque urbano con características inundables.



11 CONCLUSIONES

- Las áreas de restricción de inundación grabadas en el actual plan regulador son mayores a las definidas por el estudio en desarrollo.
- La restricción por pendiente es solo la definición de una variable y no la de un proceso natural como los de remoción en masa por lo que debe ser replanteada.
- Se requiere el resguardo de las quebradas estacionales y de las cabeceras de erosión que hoy modelan la plataforma de erosión, dado que registran disgregadamente procesos de remoción en masa que condicionan a largo plazo la estabilidad de esta unidad y de las personas que la habitan.
- Se debe evitar que se sigan generando obstrucciones a las vegas de Chivilcan así como en las restantes llanura aluviales (Coihueco y Lircay) a través de la habilitación de rellenos para el emplazamiento de viviendas, lo anterior, ya que por una parte, le quita superficie y afecta la funcionalidad de esta unidad como regulador hídrico y, además, expone a las personas y sus viviendas al deterioro de sus construcciones al tratar el agua de recuperar el espacio natural de esta unidad.
- Las llanuras aluviales producto del crecimiento urbano de la ciudad se encuentran en riesgo de ser obstruidas por rellenos, siendo, que son fundamentales para el control de las inundaciones y regulación de los sistemas de aguas lluvias de la ciudad.
- Los procesos de anegamiento estacional no pueden ser grabados por el plan regulador dado que dependiendo de la magnitud de las precipitaciones será donde estos se presenten, sin embargo, su manejo es totalmente responsabilidad del hombre ya que la única forma de tratarlos es a través del diseño eficiente de los colectores de aguas lluvias, generando una coordinación real y transparente de los colectores primarios y secundarios.



12 BIBLIOGRAFÍA

- Consultoría ES-DPALL-24. 2005. Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo Canales Gibbs y Gabriela Mistral, Temuco.
- CIREN. 2002. Estudio Agrologico. Descripción de Suelos, Materiales y Símbolos. Publicación 122. CIREN. 360 pp.
- CYGSA. 2002. Plan Maestro de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias de Temuco y Padre Las Casas. IX REGIÓN. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas.
- CONIC – BF. 2005. Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo Canales Gibbs y Gabriela Mistral. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas.
- CONIC – BF. 2008. Estudio de Factibilidad Mejoramiento Estero Botrolhue y Habilitación Descargas al Río Cautín, Temuco, IX REGIÓN. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas.
- COQUE R. 1987. Geomorfología. Alianza Editorial. Madrid. 478 pp.
- DUMONT P., ESPINOZA L., GONZÁLEZ S., SANTIBÁÑEZ P., TORRES O. 2004. Línea de Base Vegas de Chivilcan. Trabajo Curso Evaluación de Recursos Naturales. Universidad Católica de Temuco. 112pp.
- GONZALEZ L., FERRER M., ORTUÑO L. & OTEO C. 2004. Ingeniería Geológica. Editorial Pearson Educación, S. A., Madrid, 715 pp.
- JARA C., 2010. Efectos Geológicos del Sismo del 27 de Febrero De 2010: Observaciones en el Área Urbana de La Ciudad de Temuco, Población Los Riscos 3 (INF-ARAUCANIA-12). Servicio Nacional de Geología y Minería. 4pp.
- JARA C., 2010. Efectos Geológicos del Sismo del 27 de Febrero de 2010: Deformación del Terreno en Villa San Andrés II de la Ciudad de Temuco (INF-ARAUCANÍA-17). Servicio Nacional de Geología y Minería. 4pp.
- Laboratorio de Planificación Territorial. 2011. ESTUDIO DE RIESGO PRC DE TEMUCO. SECTOR LOS RISCOS Y SAN ANDRES. Ilustre Municipalidad de Temuco y SEREMI MINVU Araucanía.
- TRONCOSO, R.; ARENAS, M.; JARA, C.; MILOVIC, J.; PÉREZ, Y. 2007. Geología para el Ordenamiento Territorial: área de Temuco, Región de La Araucanía. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 11: 67 p., 6 mapas escala 1:100.000. Santiago.
- DICTUC S.A. 2013. Manual de Drenaje Urbano: Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras de Drenaje Urbano MINISTERIO DE OBRAS



PÚBLICAS, DIRECCION DE OBRAS HIDRAULICAS.

- ÑANCUCHEO M (2003). Evaluación y Zonificación de Riesgos Naturales en el Área Urbana de Temuco y Padre las Casas. Tesis de Grado para optar al Grado Académico de Licenciado en Recursos Naturales. Universidad Católica de Temuco.143pp.

