



Ilustre Municipalidad
Puerto Varas

Estudio de Riesgos y Protección Ambiental

**Plan Regulador Comunal
Puerto Varas
2019
(2022)**

ESTUDIO DE RIESGOS Y DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

TABLA DE CONTENIDOS

I	CONTEXTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO	4
I.1	Objetivos del Estudio	4
I.2	Marco Normativo Vigente.....	4
I.2.1	Zonas No Edificables y Áreas de Riesgos en instrumento de planificación intercomunal	5
I.2.2	Áreas de riesgo en PRC Vigente	7
II	MARCO CONCEPTUAL	8
II.1	El Concepto de Riesgo	8
III	RIESGOS DE ORIGEN NATURAL.....	10
III.1	Riesgos Geológicos Derivados de Procesos Internos	10
III.1.1	Riesgo Asociados a Actividad Sísmica	10
III.1.2	Riesgos Asociados a Actividad Volcánica	13
III.2	Riesgos Geológicos Derivados de Procesos Externos	17
III.2.1	Riesgos Asociados a Inundación	17
III.3	Riesgos Asociados a Remoción en Masa	18
IV	CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS.....	20
IV.1	Metodologías Específicas Para Riesgos Considerados.....	21
V	DEFINICIÓN Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO.....	24
V.1	Áreas susceptibles de ser afectadas por actividad volcánica	25
V.2	Áreas Bajo Susceptibilidad de Inundación	40
V.3	ÁREAS BAJO SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIÓN EN MASA.....	49
VI	Conclusiones y Recomendaciones.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación Plan Regulador Intercomunal – Puerto Varas	6
Figura 2. Sector Ensenada	6
Figura 3. Área de Riesgo para Asentamiento Humano	7
Figura 4 Placas de Nazca y Sudamericana	10
Figura 5. Zonas de Subducción y Tipos de Sismos	11
Figura 6. Falla Liquiñe - Ofqui	11
Figura 7. Grandes Terremotos Ocurredos en Chile	12
Figura 8. Esquema Comparativo	22
Figura 9. Esquema Metodológico	23
Figura 10. Colapso de techumbre por caída de cenizas – localidad de Ensenada	26
Figura 11. Restos de ceniza en inmediaciones de Ruta 225 - Ensenada	26
Figura 12. Volcán Calbuco	27
Figura 13. Volcán Osorno	28
Figura 14. Mapa de Peligros de los Volcanes Osorno y Calbuco	30
Figura 15. Riesgo Volcánico en el área de Estudio	31
Figura 16. Vista de sector rural Ensenada	32
Figura 17. Vista curso de agua en Ensenada.	32
Figura 18. Vista de Erupción Volcán Calbuco – Abril 2015	33
Figura 19. Vista de Ensenada	34
Figura 20. Mapa de Peligros Volcánicos – Volcán Calbuco, 10 de Mayo de 2015	36
Figura 21. Mapa de Peligros Volcánicos – Volcán Calbuco, 27 de Mayo de 2015	37
Figura 22. Area Ensenada Afectada por Caida de Cenizas	38
Figura 23. Area susceptible de ser afectada por Lahar	39
Figura 24. Emplazamiento de Ensenada sobre abanico aluvional	40
Figura 25. Calles céntricas de Puerto Varas Inundadas	41
Figura 26. Áreas de Inundación Nivel comunal	45
Figura 27. Modelo de Elevación del Área Urbana de Puerto Varas	46
Figura 28. Terraza Lacustre Inferior	47
Figura 29. Mapa de Susceptibilidad de Inundación – Puerto Varas	48
Figura 30. Mapa de Pendientes a nivel comunal	51
Figura 31. Mapa Geológico – Sector de Puerto Varas	52
Figura 32. Mapa de Pendientes – Puerto Varas	53
Figura 33. Mapa de Susceptibilidad de remoción en masa – Puerto Varas	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Registro Erupciones Volcánicas.....	14
Cuadro 2. Registro de Erupciones Volcánicas con Efectos sobre Comunidades.....	14
Cuadro 3. Amenazas principales asociadas a niveles de riesgo.	17
Cuadro 4. Consideraciones Metodológicas	20
Cuadro 5. Sismos que han Afectado el Área en Estudio.....	24
Cuadro 6. Cronología Eruptiva Histórica del Volcán Calbuco	27
Cuadro 7. Cronología Eruptiva Histórica del Volcán Osorno.....	29
Cuadro 8. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015.....	42
Cuadro 9. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015.....	42
Cuadro 10. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015.....	43
Cuadro 11. Rangos de pendientes y procesos asociados	50
Cuadro 12. Resumen de riesgos identificados y zonificados por localidad	56
Cuadro 13. Síntesis y recomendaciones	57

I CONTEXTUALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El presente documento corresponde al Estudio de Riesgo y de Protección Ambiental, que se desarrolla en el contexto de la Actualización del Plan Regulador Comunal de Puerto Varas.

El estudio aborda aspectos normativos vigentes, conceptuales, metodológicos y análisis de los riesgos susceptibles de manifestarse en la localidad de Puerto Varas¹.

I.1 Objetivos del Estudio

Objetivo General

Identificar y delimitar las áreas susceptibles de ser afectadas por riesgos de origen natural en el territorio sujeto a planificación, con énfasis en aquellas localidades pobladas que considera la Actualización del Plan Regulador Comunal de Puerto Varas. Todo, conforme a lo señalado por el artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Objetivos Específicos

- Identificar aquellos riesgos de origen natural susceptibles de afectar el territorio en estudio, a partir de instrumentos de planificación vigentes, las características territoriales del ámbito natural y una recopilación de información referida a eventos ocurridos.
- Conocer e identificar los riesgos de origen natural susceptibles de afectar el territorio en estudio, considerando la clasificación establecida en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Delimitar los riesgos de origen natural identificados en las localidades pobladas incluidas en el presente estudio, confeccionando para ello mapas de susceptibilidad.

I.2 Marco Normativo Vigente

El artículo 2.1.17 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones establece que en los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

Dichas áreas, se denominarán “zonas no edificables” o bien, “áreas de riesgo”, según sea el caso, como se indica a continuación:

Por “zonas no edificables”, se entenderán aquéllas que por su especial naturaleza y ubicación no son susceptibles de edificación, en virtud de lo preceptuado en el inciso primero del artículo 60° de la Ley General de Urbanismo y Construcciones. En estas áreas sólo se aceptará la ubicación de actividades transitorias.

Por “áreas de riesgo”, se entenderán aquellos territorios que se ubiquen en alguna de las siguientes categorías:

¹ Originalmente, el estudio de Actualización del Plan Regulador Comuna de Puerto Varas incluía también las localidades de Nueva Braunau y Ensenada, por lo que el Estudio de Riesgo también consideró dichas localidades. Sin embargo, el municipio optó por acelerar la aprobación correspondiente a la localidad de Puerto Varas, postergando las dos localidades menores. En consecuencia, el presente documento sólo se refiere -en lo específico, más allá del análisis de contexto- a la localidad de Puerto Varas.

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.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodadas, 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.

I.2.1 Zonas No Edificables y Áreas de Riesgos en instrumento de planificación intercomunal

La SEREMI de Vivienda y Urbanismo Región de los Lagos se encuentra elaborando el estudio Plan Regulador Intercomunal del Lago Llanquihue y su Hinterland², estudio que incorpora las comunas de Puerto Montt, Puerto Varas, Llanquihue, Frutillar y Puerto Octay.

Se ha considerado revisar este instrumento, a objeto de definir un marco referencial en relación a las áreas que éste reconoce como excluidas al desarrollo urbano.

Respecto de las zonas no edificables, el instrumento reconoce de manera genérica, las siguientes: las fajas de protección de obras de infraestructura vial, energética y portuaria.

En tanto, establece de un modo más preciso la zona no edificable correspondiente a los conos de aproximación del aeropuerto El Tepual, señalando que en dicha zona no se permitirá ningún tipo de construcciones.

Respecto de las áreas de riesgo, establece tres tipos de áreas de riesgo natural, entre ellas: zonas inundables o potencialmente inundables (ZR1), Zonas de riesgo por actividad volcánica y zonas de riesgo susceptibles de ser afectadas por avalanchas, rodados, aluviones o erosión acentuada.

Sin embargo, debido a la erupción del volcán Calbuco ocurrida en abril del año 2015, la Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo de Los Lagos ha suspendido el proceso de aprobación final y encomendado a la empresa INFRACON S.A la elaboración del Estudio de Riesgo Correntoso, Ensenada, Las Cascadas, Adecuación PRI Lago Llanquihue e Hinterland de Puerto Montt. Su objeto central consiste en *“actualizar los riesgos presentes, respecto a volcanismo e inundación por desborde de cauces y canales, según sea el caso, en Sectores de las comunas de Puerto Montt (Sector Río Blanco, Correntoso, Lago Chapo), Puerto Varas (Sector Ensenada) y Puerto Octay (Sector Las Cascadas)”*³.

De este modo, cuando este último estudio (mencionado) concluya, sus resultados serán incorporados al instrumento de ordenamiento territorial de carácter intercomunal.

No obstante, resulta útil revelar la zonificación establecida en el PRI antes de la suspensión, a fin de observar las orientaciones que este aporta en la elaboración de la actualización del PRC de Puerto Varas. La siguiente figura muestra la zonificación

² La fase final de este instrumento se encuentra temporalmente suspendida.

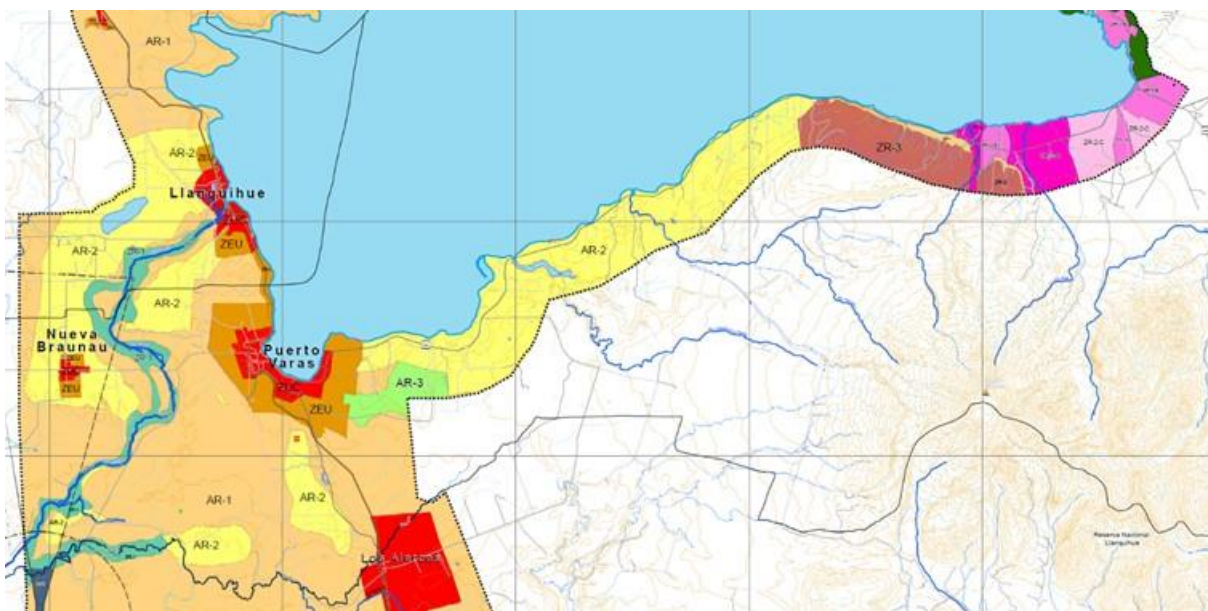
³ Bases Administrativas y Técnicas Diagnóstico Estudio de Riesgos. Licitación 644-12-Ip15

establecida en el área de estudio, en ella se observa que las áreas más vulnerables corresponden a:

- Sector de Ensenada, que podría ser afectado por actividad volcánica y avalanchas, rodados y aluviones. Área fuertemente influenciada por el volcán Calbuco.
- Sector de Nueva Braunau, área susceptible de ser afectada por riesgo de inundación por desbordes del río Maullín.

Estos sectores no se incluyen en el presente estudio de riesgo, sólo se hace referencia a éstos como parte del contexto comunal.

Figura 1. Zonificación Plan Regulador Intercomunal – Puerto Varas



Fuente: Estudios Previos Plan Regulador Intercomunal del Lago Llanquihue y su Hinterland Puerto Montt. SEREMI MINVU, Región de los Lagos.

La figura 2 muestra parte de la localidad de Ensenada en horas cercanas a la erupción del volcán Calbuco en abril del año 2015 y la situación en agosto del mismo año. El efecto más visible en el área corresponde a la acumulación de cenizas volcánicas y el consecuente colapso de algunos techos.

Figura 2. Sector Ensenada



Izquierda, vista ruta CH 225 abril 2015, Derecha, vista ruta CH 225 agosto 2015.
Fuente: www.soychile.cl/Puerto-Montt/ - SURPLAN LTDA- H. Cáceres, Agosto 2015.

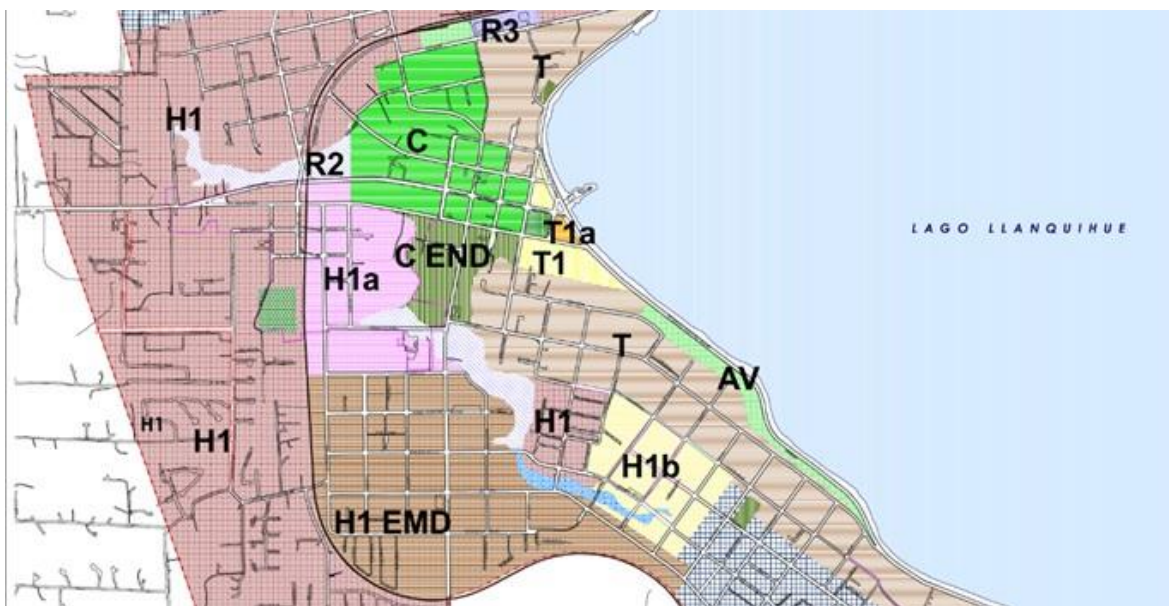
I.2.2 Áreas de riesgo en PRC Vigente

De igual manera que en el apartado anterior, se revisa el PRC vigente con el objeto de verificar que se ajuste a las actuales directrices de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

En este sentido, el instrumento define las siguientes áreas: Resguardo de terrenos de playa del Lago Llanquihue (R-1), Alto riesgo para asentamientos humanos (R-2), Protección de trazados ferroviarios (R-3), Protección de instalaciones de Agua Potable (R-4), Preservación de parques (R-5) y Protección de vertientes y cauces naturales de agua (R-6). Todas están dentro del área urbana de la ciudad de Puerto Varas.

Sin embargo, al realizar la correspondencia con las actuales directrices de la OGUC, se evidencia que solo la zona R – 2, corresponde a un área de riesgo, que para el caso se trata de las “quebradas naturales y terrenos inundables por crecidas estacionales de cauces normalmente secos, y por ende no aptos para asentamientos humanos”⁴. La siguiente figura, muestra el sector centro de la ciudad de Puerto Varas con tal área.

Figura 3. Área de Riesgo para Asentamiento Humano



Fuente: Plan Regulador Comunal Vigente. I. Municipalidad de Puerto Varas.

⁴ Ordenanza PRC Vigente. I. Municipalidad de Puerto Varas

II MARCO CONCEPTUAL

II.1 El Concepto de Riesgo

Un primer aspecto a considerar es que el concepto de riesgo supone la existencia de dos factores que interactúan, estos son: amenaza y vulnerabilidad.



Donde la amenaza o peligro se define como la potencial ocurrencia de fenómenos que pueden producir daños al manifestarse.

En un fenómeno natural calificado como amenaza se pueden distinguir tres aspectos: Ubicación, Intensidad y Probabilidad de ocurrencia.

La ubicación y probabilidad de ocurrencia se caracterizan por constituir atributos espacio – temporales, en tanto que la intensidad dice relación con la forma en que se manifiesta la amenaza.

A su vez, en cada uno de estos aspectos es posible distinguir componentes como los siguientes:

- Ubicación: ¿Dónde se origina y cuál es su extensión?
- Intensidad: ¿Existe la posibilidad de medir el fenómeno o cuáles son los tipos de efectos esperables?
- Probabilidad de ocurrencia: ¿Cuáles son los lapsos de tiempo en que el fenómeno puede ocurrir, con un tamaño e intensidad definidos?

La disponibilidad de información en cada uno de estos componentes determinará la posibilidad de caracterizar las amenazas con la exactitud y definición necesaria, siendo la más difícil de caracterizar la probabilidad de ocurrencia, por ejemplo, en fenómenos asociados a sismicidad o erupciones volcánicas.

La ubicación, se puede determinar mediante información y registro geológico, o histórico, en función de características del entorno físico como geomorfología, drenajes, huellas de fenómenos anteriores y la cercanía de fuentes de peligro o amenaza.

La intensidad, en algunos fenómenos puede ser cuantificada por medio de instrumentos especializados, pero también ser evaluada mediante registros naturales y documentales, por extensión y tipo de efectos observables o por comparación con eventos similares, por ejemplo, cuando no se dispone de información de crecidas de ríos es posible documentar con relatos e información que entreguen personas que han presenciado tales situaciones o recurrir a fotografías que revelen su expresión.

La probabilidad de ocurrencia conlleva mayores dificultades. Muchos eventos ocurren en lapsos de tiempo promedio que pueden abarcar desde años, décadas o varias generaciones hasta cientos de años, frente a lo cual no se puede establecer anticipaciones seguras de ocurrencia. En eventos sobre los cuales existen registros suficientes es posible estimar el periodo de retorno, o lapso en el que, en promedio, ocurre un evento con una intensidad especificada. Las crecidas de ríos son un ejemplo de esto último.

La vulnerabilidad, en tanto, se define como la medida que indica qué tan propenso es un sistema a ser afectado por una amenaza o peligro. Es decir, mide la facilidad con que este sistema puede ser impactado negativamente y cambiar de un estado normal a un estado de daño o desastre.

La vulnerabilidad de un asentamiento humano depende de varios factores, entre los cuales pueden señalarse los siguientes:

- Su grado de exposición a un tipo de amenaza. Por ejemplo, una localidad podría estar parcialmente ubicada sobre un terreno inundable.
- La calidad del diseño de las construcciones y de la infraestructura en general y la presencia o ausencia de medidas adecuadas de protección.
- El grado de percepción que tenga la comunidad de los peligros a las cuales están expuestos. Es más vulnerable una comunidad que ignora los procesos del medio ambiente en el cual vive, que una que está consciente de ellos.
- El grado de organización de la comunidad desde el punto de vista de las acciones a llevar a cabo ante una emergencia.
- Las capacidades de las instituciones que prestan apoyo en las emergencias, como los sistemas locales de servicios de salud y los organismos de socorro.

En función de los antecedentes expuestos, es posible señalar que el riesgo en asentamientos humanos es posible cuantificarlo a través de los efectos adversos que se desencadenan sobre una comunidad y sobre el entorno construido resultante de un fenómeno de origen natural. En este sentido, es una conjugación de las características de las amenazas y de las vulnerabilidades. En estricto rigor, corresponde al cálculo anticipado de pérdidas esperables (en vidas y en bienes), para un fenómeno de origen natural, que actúa sobre el conjunto social y sobre su infraestructura.

En términos generales, los riesgos son posibles de clasificar genéricamente en aquellos de origen natural y de origen antrópico. Sólo para efectos prácticos y referenciales, se muestra a continuación una clasificación de tipos de riesgos que pueden actuar sobre asentamientos humanos y el entorno construido.

Riesgos Naturales, se definen como la probabilidad de que un territorio y la comunidad que habita en él, se vean afectados por episodios naturales de rango extraordinario. Estos riesgos se pueden clasificar, entre otros, de la siguiente forma:

- Geológicos, entre los cuales se incluyen eventos asociados a volcanismo, terremotos y tsunamis.
- Climatológicos, expresados, por ejemplo, en aumento de precipitaciones, sequías y procesos de desertificación.

Riesgos Antrópicos, son riesgos provocados por la acción del ser humano sobre la naturaleza, como la contaminación ocasionada en el agua, aire, suelo, sobreexplotación de recursos, deforestación, incendios, entre otros.

III RIESGOS DE ORIGEN NATURAL

Considerando, lo expuesto en la introducción del presente estudio, en el sentido de que el objetivo central es identificar y delimitar las áreas de riesgo conforme a lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC, se examinarán a continuación aquellos riesgos de origen natural tipificados como riesgos geológicos, puestos que engloban los requerimientos con los que debe cumplir el estudio fundado de riesgos en las localidades pobladas, consideradas en la Actualización del Plan Regulador Comunal de Puerto Varas. Estos, tienen su origen, tanto en procesos internos como de origen externo de la tierra.

Aquellos provenientes de procesos internos corresponden al riesgo sísmico y el riesgo volcánico. En tanto, aquellos de origen externo corresponden a los movimientos de remoción en masa e inundaciones.

III.1 Riesgos Geológicos Derivados de Procesos Internos

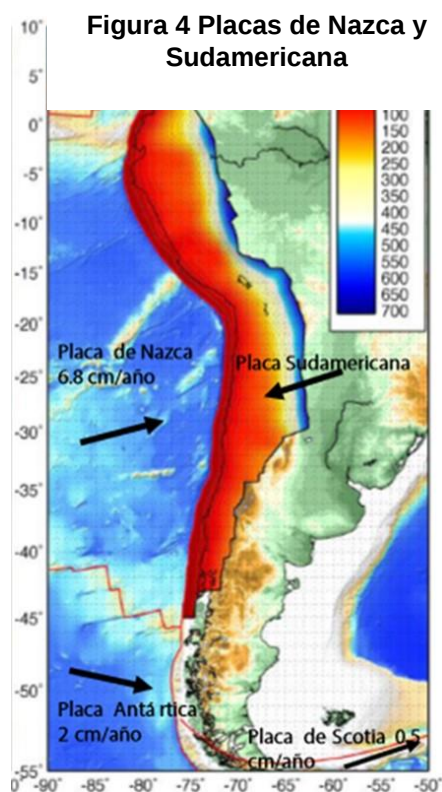
III.1.1 Riesgo Asociados a Actividad Sísmica

Un sismo puede originarse a partir de distintos fenómenos, entre ellos los movimientos tectónicos y los principales efectos que causan sobre el territorio son, por ejemplo, colapso de edificaciones, inestabilidad de terreno, ocurrencia de tsunamis dependiendo de la magnitud, entre otros.

Particularmente, nuestro país se caracteriza por ser altamente sísmico. Situación que obedece a la convergencia de placas tectónicas. Chile continental, se ubica sobre la placa Sudamericana la cual está en contacto con la placa de Nazca.

El hundimiento de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana genera una zona de contacto conocida como subducción⁵, el movimiento permanente de ambas placas genera una gran presión en sus bordes produciéndose de esta forma la actividad sísmica que afecta distintas zonas de nuestro país, Figura 4.

Es por esta forma de contacto de las placas, de subducción, a lo largo de la falla hace que la sismicidad en Chile se caracterice por al menos tres rasgos de importancia: número de sismos por unidad de tiempo, gran intensidad y una diversidad de ambientes tectónicos donde estos ocurren⁶.



Fuente: Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile

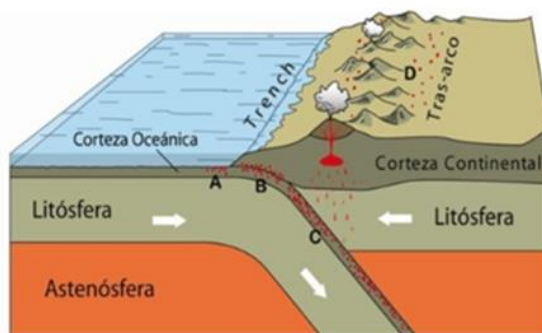
⁵ Servicio de Sismología de la Universidad de Chile. www.sismologia.cl/.

⁶ Servicio de Sismología de la Universidad de Chile. www.sismologia.cl/.

Una zona de subducción ocurre en los bordes de las placas convergentes. Donde la placa más densa o más pesada penetra bajo la menos densa, debido al peso de la placa subductada. En estas zonas ocurren todo tipo de sismos o terremotos tectónicos, Figura 5.

En el caso de las placas de Nazca y Sudamérica en Chile, la placa oceánica de Nazca, más densa que la placa continental de Sudamérica, penetra bajo el continente, formando una zona de subducción.

Figura 5. Zonas de Subducción y Tipos de Sismos



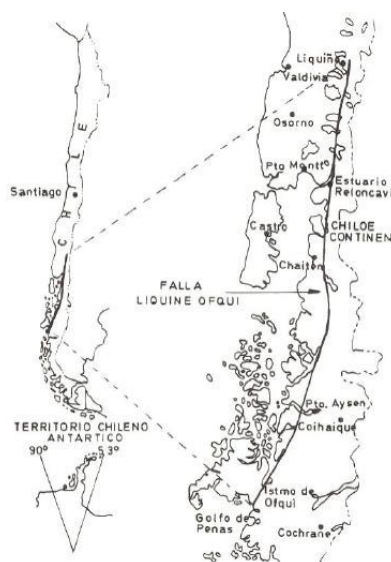
Fuente: Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile

Particularmente, la sección oriental de la comuna, donde se ubica la localidad de Ensenada, se encuentra influenciada por la zona de falla Liquiñe – Ofqui. Respecto de esta zona, Luis E. Lara; José Cembrano y Alain Lavenu, en el documento “La Zona de Falla Liquiñe – Ofqui: Antecedentes de su Evolución Cuaternaria e Implicancias para el Volcanismo en los Andes Sur, del año 2006, señalan:

“La Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO) es un sistema estructural de larga vida que se manifiesta como un rasgo morfotectónico actual de primer orden en el margen continental entre los 38° y 46°S.

Es una estructura activa en régimen de transpresión dextral y el desplazamiento relativo de bloques tendría una importante componente vertical. Esta última, evidentemente, resultaría de una combinación de factores entre los cuales la erosión controlada por el clima, el rebote isostático postglacial y el ciclo sísmico juegan un papel importante, tal vez incluso dominante. Finalmente, el registro estructural observado documenta tanto la deformación transpresiva de largo plazo como aquella de corto plazo sobreimpuesta”.

Figura 6. Falla Liquiñe - Ofqui



Fuente:

<https://luxveritatem.wordpress.com/2010/03/20/alerta-ante-la-activa-falla-liquine-ofqui/>

Los sismos han sido clasificados en distintos tipos y el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile los presenta de la siguiente forma⁷:

a. Sismos Interplaca: Se producen cuando la fuerza de roce entre las placas traba el movimiento entre las placas, las que se pueden mover relativamente sólo cuando la fuerza neta en la zona interplaca es mayor que la fuerza de roce entre ellas. Cada vez que logre moverse, ocurre un terremoto interplaca. El tamaño del terremoto (magnitud), es proporcional al área de la zona que logró moverse y a cuánto se movió. Si durante el movimiento (terremoto), se desplaza el fondo oceánico verticalmente, se genera una ola sobre la zona de ruptura que al propagarse en el océano se llama “tsunami”. Estos son los sismos de mayor magnitud, siendo ejemplos de estos sismos el terremoto de Valdivia de 1960 ($M_w=9.5$), y el terremoto del Maule de 2010 ($M_w=8.8$).

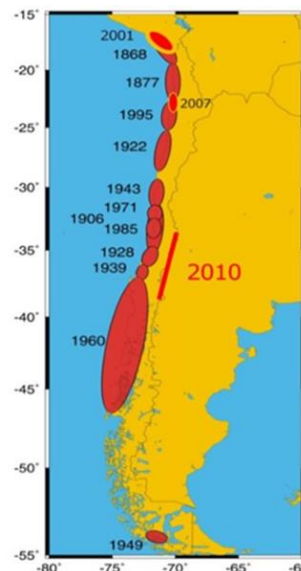
b. Sismos “outer-rise”: Son sismos que ocurren costa afuera de la fosa oceánica, debido a la deformación en la placa de Nazca (“bending”) al tratar de meterse bajo el continente y que el contacto interplaca no se mueve por estar acoplado (fuerza de roce mayor que la fuerza neta). En general tienen magnitudes menores que 8.0. Ejemplo de este tipo de sismos, es el terremoto de 2001 ($M_w=6.7$), frente a las costas de Valparaíso.

c. Sismos Intraplaca-oceánica. Son sismos que ocurren dentro de la placa oceánica subductada debido al peso de la placa y fuerte acoplamiento interplaca. Se originan a profundidades mayores que 60 km hasta la máxima profundidad en que la placa siga siendo frágil y/o ocurran cambios de fase que originen sismos (~700 km). Los 60 km de profundidad, corresponden aproximadamente a la profundidad que alcanza el contacto interplaca. El potencial de daños de estos sismos, es mayor que el de los sismos interplaca de la misma magnitud. Ejemplos de estos sismos son los terremotos de Chillan en 1939 ($M_s=8.3$), y Punitaqui en 1997 ($M_w=7.1$).

Figura 7. Grandes Terremotos Ocurridos en Chile

d. Sismos Intraplaca-continental. Son sismos que ocurren dentro de la placa continental, en la corteza a profundidades menores que 30 km, debido a deformación generada principalmente por la convergencia entre las placas y por esfuerzos locales. La principal deformación generada por la subducción, es el alzamiento de la cordillera de los Andes. En general, estos sismos ocurren en torno a la cordillera, tanto en Chile como en Argentina. Ejemplo de estos sismos es el terremoto de Las Melosas de 1958 ($M_w=6.3$), en el Cajón del Maipo frente a Santiago.

La Figura 7 muestra un esquema con la ubicación de grandes movimientos sísmicos o terremotos ocurridos en Chile en un sentido norte sur.



Fuente: Centro Sismológico Nacional. Universidad de Chile

⁷ www.sismologia.cl/.

Se estima que existe probabilidad de que en zonas donde no han ocurrido terremotos durante un tiempo prolongado, estén más propensas a producirse, esto porque ha transcurrido suficiente tiempo para acumular energía desde el último gran terremoto, constituyéndose en las llamadas “gaps” o “lagunas” sísmicas.

III.1.2 **Riesgos Asociados a Actividad Volcánica**

La revisión de antecedentes para este componente se basa en recopilación y revisión de fuentes de información secundaria. Particularmente, interesa revelar algunos antecedentes relativos a las características de los riesgos asociados al volcanismo, la ubicación, identificación y caracterización de volcanes existentes en el área de influencia directa del área de estudio, así como también las características generales de ellos, su comportamiento histórico reciente y conocer los mapas de peligros elaborados por SERNAGEOMIN, órgano del estado encargado de realizar tal labor.

El *volcanismo* como proceso, se identifica dentro de los riesgos geológicos asociados a la geodinámica interna del planeta. La actividad volcánica tiene lugar cuando masas de magma (material silicatado fundido) se introducen por zonas de debilidad cortical alcanzando finalmente la superficie terrestre. El magma puede salir en forma de coladas de lava (efusivo) o expulsado como material piroclástico (explosivo).

Estos fenómenos tienen efectos de distinta naturaleza. A largo plazo, pueden generar efectos positivos, como crear buenos suelos de cultivo, paisajes con interés turísticos, energías alternativas, etc. Como efecto inmediato, sin embargo, puede generar daños de gran magnitud, por lo que se incluyen entre los “desastres naturales”.

Se estima que Chile posee unos 500 grupos volcánicos⁸, cada uno con 10 centros de emisión, en promedio. De éstos, más de 50 están en actividad o han tenido alguna erupción en tiempos históricos. Datos actualizados señalan que, desde comienzos del siglo XIX ha habido cerca de 300 erupciones en 36 volcanes chilenos, las que han provocado daños en las personas, bienes y ambiente.

La explicación a este fenómeno se encuentra en la constitución geológica, evolución y situación geotécnica del borde occidental sudamericano, del cual Chile forma parte. Este margen constituye un sector denominado “*Círculo de Fuego del Pacífico*” que se caracteriza por la intensa actividad sísmica y volcánica producto del deslizamiento de las *placas de corteza continental* sobre las *placas de corteza oceánica*, en nuestro caso, estas placas corresponden a la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca respectivamente. En este ámbito, la cordillera de los Andes presenta cuatros segmentos con volcanismo activo:

- La zona Volcánica Norte (ZVN: 6° - 8° S)
- La zona Volcánica Central (ZVC: 16° - 28° S)
- La zona Volcánica Sur (ZVS: 33° - 46° S)
- La zona Volcánica Austral (ZVA: 49° - 56° S)

La cadena volcánica de los Andes del Sur, localizada entre las latitudes 33.3°S y 46°S (entre Santiago y Coyhaique), es el mayor segmento andino con 1.450 km de longitud, a lo largo de

⁸ Información obtenida del documento perteneciente a la ONEMI, “Riesgo Volcánico – Curso Nivel 2, Programa de Formación Profesional en Protección Civil.

Chile y Argentina. Corresponde a un sector con una intensa actividad volcánica. Comprende 31 volcanes con erupciones históricas y un registro total, a la fecha, de alrededor de 277 erupciones. Durante los siglos XIX, XX y XXI, las erupciones documentadas son aproximadamente 230, revelando, aparentemente, que los registros son más escasos y poco representativos con anterioridad al siglo XIX. Según antecedentes, los volcanes con más de 10 erupciones históricas (últimos 445 años) en los Andes del Sur son los siguientes:

Cuadro 1. Registro Erupciones Volcánicas

Volcán	Villarrica	Llaima	Tupungatito	Nevados de Chillán	Osorno	Calbuco	Antuco	Quizapu	Cordón Caulle
Nº erupciones	70	49	19	19	15	14	13	11	10
Región	IX	IX	Metropolitana	VIII	X	X	VIII	VII	X

Fuente: Adaptada a partir de: Planificación de Asentamientos Humanos Bajo Riesgo Volcánico: Localidad de Ensenada comuna de Puerto Varas y Localidad de Las Cascadas comuna de Puerto Octay. SEREMI MINVU X Región de los Lagos. 2004

En las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos sólo durante el siglo XX, erupciones desastrosas con víctimas fatales y grandes pérdidas económicas (bosques, terrenos agrícolas, ganadería, redes viales, puentes, construcciones), se han registrado en los siguientes volcanes:

Cuadro 2. Registro de Erupciones Volcánicas con Efectos sobre Comunidades

Volcán	Llaima	Villarrica	Riñinahue	Carrán	Cordón Caulle	Calbuco	Chaitén
Año Erupción	1927 1946-47 1957	1908 1948-49 1963-64 1971	1907	1955	1921-22 1960 2011	1929 1961 2015	2008
Región	La Araucanía	La Araucanía, Los Ríos	Los Lagos				

Fuente: Adaptada a partir de: Planificación de Asentamientos Humanos Bajo Riesgo Volcánico: Localidad de Ensenada comuna de Puerto Varas y Localidad de Las Cascadas comuna de Puerto Octay. SEREMI MINVU X Región de los Lagos. 2004

Los procesos volcánicos eventualmente peligrosos que, en diversos grados, pueden ocurrir en volcanes andinos, incluyen erupciones de lava, caída de tefra, formación de lahares y crecidas, la emisión de gases y generación de lluvia ácida, flujos y/u oleadas piroclásticas, avalanchas volcánicas, además de la actividad sísmica local y la alteración físico-química de las aguas.

Fenómenos asociados a las erupciones volcánicas

A.- Directos

Flujos de lava. Masa de roca fundida que se desparrama por la superficie terrestre durante una erupción efusiva. Amenazan todo lo que se encuentre en su camino inmediato no sólo por su calor intenso, sino también porque pueden circundar o cubrir cualquier cosa y derretir la nieve o el hielo provocando lahares.

Eyecciones piroclásticas. Son partículas de tamaños mayores (bombas y bloques), son arrojadas según una trayectoria balística y caen dentro del área más próxima al volcán. Por otra parte, el material más fino (cenizas y lapillis) forma una columna (junto con los gases), la

cual puede alcanzar decenas de kilómetros de altura y dispersarse según la dirección y velocidad del viento.

Bomba. Material rocoso de dimensiones mayores a 64 milímetros y que pueden alcanzar diámetros de hasta varios metros.

Caída de tefra. La tefra está constituida por fragmentos de rocas y lava de variado tamaño, que han sido expulsados hacia la atmósfera y que luego caen nuevamente sobre la superficie terrestre. La caída de tefra puede provocar el colapso de techumbres de viviendas, destruir líneas de transmisión de energía y comunicación y dañar o liquidar la vegetación.

Gases/lluvia ácida. El magma contiene gases disueltos, los cuales escapan hacia la atmósfera, tanto durante las erupciones como mientras el magma permanece estacionado cerca de la superficie. Los gases también pueden ser emitidos por sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua.

Los efectos de un gas volcánico están relacionados directamente a su concentración, la cual decrece con la distancia desde su punto de emisión, ya que el gas es diluido por el aire.

Flujos piroclásticos. Los flujos piroclásticos son masas secas y calientes (de 300° a más de 800° C) de escombros piroclásticos y gases que se movilizan rápidamente a ras de la superficie a velocidades con un rango de 10 a varios cientos de metros por segundo. Se encuentran entre los eventos volcánicos más peligrosos.

Sismicidad. La generación de sismos en áreas volcánicas se puede dar por: el movimiento de magma y la formación de fracturas asociadas, explosiones volcánicas, movimientos de masa a gran escala y esfuerzos tectónicos.

B.- Indirectos

Corrientes laháricas: Los lahares (aluviones de origen volcánico) y las crecidas son mezclas de escombros rocosos, movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes debido al derretimiento de la nieve o glacial por contacto con lava, también un flujo piroclástico puede derretir nieve o glacial y ser el causante de un lahar. Los lahares amenazan las vidas humanas y las propiedades tanto en los volcanes como en los valles que los drenan. Debido a su alta densidad y a su velocidad, los lahares pueden destruir la vegetación y hasta estructuras importantes a lo largo de sus rutas, tales como puentes. Los depósitos de los lahares pueden enterrar obras de infraestructuras y campos cultivados, también pueden rellenar cauces de ríos.

Crecidas: En ocasiones, el aumento del flujo calórico puede provocar deshielos fuera de época. Por ejemplo, incrementos de la actividad fumarólica, erupciones menores de piroclastos o erupciones de lava con bajas tasas de emisión, no son capaces de generar lahares, pero pueden producir crecidas, con la consecuente inundación de los terrenos aterrizados bajos.

Avalanchas de hielo y nieve: Tanto el aumento del flujo calórico como la sismicidad volcánica, pueden provocar avalanchas de hielo y nieve, particularmente en los volcanes cubiertos por glaciares y nieve temporal que presentan laderas escarpadas en sectores sus cimas y flancos inestables.

Deslizamientos: La eventual actividad durante una erupción, puede provocar deslizamientos en lugares geológicamente inestables en torno al volcán, en escombreras activas, en las laderas escarpadas del edificio volcánico, etc.

Obstrucción de valles y cursos fluviales: Las corrientes de lava y las avalanchas volcánicas, entre otros productos, son capaces de bloquear valles y cauces fluviales,

provocando embalses naturales. Estos pueden dar lugar a aluviones, debido al rompimiento repentino de la barrera.

Tormentas eléctricas: Es común que, durante erupciones explosivas, dentro de los hongos de cenizas se produzcan tormentas eléctricas debido a la carga provocada por el roce de las partículas al ser expulsadas violentamente (ej. Volcán Hudson, 1991). Este fenómeno puede producir interferencias radiales y telefónicas e incendios forestales.

Lluvias ácidas: Desde los hongos eruptivos o desde las plumas, se pueden generar lluvias ácidas por la condensación del vapor de agua y su reacción con otros compuestos gaseosos como SO_2 . Además, lluvias meteorológicas pueden cruzar los hongos o las plumas y concentrar cenizas y componentes ácidos. Las lluvias ácidas son, en extremo corrosivas y atacan específicamente a la biosfera y a los materiales metálicos (p.ej. techumbre de zinc, maquinarias, alambradas, etc.). Además, alteran drásticamente las aguas superficiales y la composición de los suelos.

Incendios forestales: La caída de piroclastos gruesos incandescentes, particularmente bombas, en los alrededores de los centros eruptivos, sumado a los flujos de lava o, particularmente a la generación de flujos piroclásticos, a menudo provocan incendios en los bosques circundantes. La propagación de ellos dependerá de la estación del año y del tipo de vegetación afectada.

Alteraciones de aguas termales aledañas: Antes y durante las erupciones volcánicas, se pueden producir cambios de las propiedades fisicoquímicas de las aguas termales del entorno. En algunos casos se ha registrado variaciones en el pH, elevación de las temperaturas, cambios en las razones entre compuestos químicos (cloruros/sulfatos), etc.

Alteraciones de aguas superficiales, suelos y vegetación: Los gases volcánicos solubles en agua, mezclados con detritos o directamente, pueden alterar significativamente las condiciones de las aguas corrientes, lagos, suelos, glaciares, nieve y vegetación. En la erupción de 1992 del volcán Copahue, los lahares que escurrieron hacia el río Lomín hicieron descender el pH de sus aguas hasta un valor de 4 a 5, produciendo la mortandad de miles de peces. Durante la erupción del volcán Lonquimay (1988-90), la lava “exprimió” un terreno pantanoso (mallín), liberando miles de metros cúbicos de aguas putrefactas a 71°C hacia el río Lonco, tributarios del Biobío.

Algunas erupciones emiten gases con cantidades elevadas de cloruros y/o sulfatos (Hudson, 1991), los cuales precipitan junto con las cenizas formando costras salinas sobre los depósitos, alterando significativamente las propiedades de los suelos. Por otra parte, elementos químicos como el flúor, es captado y concentrado por la vegetación, el cual es altamente tóxico para la vida humana y animal, pues origina la enfermedad conocida como osteofluorosis.

C.- Otros peligros

Las explosiones freáticas ocurren cuando el magma calienta el agua subterránea al punto que forma vapor y ráfagas a través de la roca o de sedimentos encima de ella. Los gases volcánicos acarrearán elementos tóxicos que pueden matar a los humanos y a los animales, y ácidos que causan daño a la vegetación y corroen el metal. Se atribuyeron casi 3.000 muertes a la liberación de gases venenosos o bióxido de carbón en la erupción en Camerún, en agosto de 1986. Los peligros indirectos incluyen terremotos volcánicos, tsunamis, deformación del terreno, colapso estructural debido al retiro del magma, ondas de choque en el aire y rayos.

El siguiente cuadro muestra una estimación de las distancias a las que puede llegar el efecto de los fenómenos eruptivos y de las áreas posibles de ser afectadas por los productos volcánicos que constituyen peligro.

Cuadro 3. Amenazas principales asociadas a niveles de riesgo.

AMENAZA	DISTANCIA (KM)	AREA AFECTADA (KM²)	NIVEL DE RIESGO
Sismicidad	50	8.000	Bajo
Flujo Piroclástico	5-10	10-20	Alto
Bomba	2-5	10	Medio
Caída de Tefra	Más de 10	Más de 1.000	Medio
Flujo de Lava	3-10	2	Bajo
Lahar	10-30	10-20	Alto
Gases / Lluvia Acida	20-30	1.000	Medio

Fuente: ONEMI, Metodología básica para la elaboración de un plan de prevención y de respuesta por actividad volcánica ACCEVOL.

III.2 Riesgos Geológicos Derivados de Procesos Externos

III.2.1 Riesgos Asociados a Inundación

Las inundaciones son procesos naturales recurrentes en el tiempo, su origen obedece a diversas causas, entre ellas:

- Lluvias intensas en un periodo relativamente corto de tiempo, donde es superada la capacidad de absorción del suelo y comienza a subir el nivel de los ríos, especialmente donde los márgenes de los ríos son relativamente planos.
- Derretimiento de nieve provocando un aumento del caudal de los ríos.
- Colapso o rotura de represas e infraestructura asociada a riego (canales, por ejemplo).
- Tala de Bosques e impermeabilización del suelo.
- Afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas.
- Aumento del nivel del agua en sectores costeros marítimos o lacustres.

De las causas mencionada, la más frecuente, es la relación existente entre la caída de aguas lluvias intensas asociadas a la estacionalidad, y que dependiendo de las características geográficas de cada territorio pueden traer consigo asociados el desencadenamiento de otros procesos (avalanchas, aluviones, entre otros) y aumentar el nivel de gravedad de las mismas.

Tipos de inundaciones

A continuación, se presenta una sencilla tipología que orienta la evaluación de éste tipo de riesgo en el área de estudio, las cuales se diferencian en función de aquellas provocadas principalmente por la cantidad de agua caída (desborde de cauce y anegamiento) y aquellas que se originan en sectores costeros que tienen como elemento detonador otros fenómenos de orden natural (tsunamis y/o fenómenos climatológicos).

- a. Inundación por desborde de cauce

Sucede cuando ríos o esteros desbordan su cauce natural anegando las terrazas fluviales adyacentes, debido a la ocurrencia de caudales extremos. Estos fenómenos se producen generalmente debido a eventos de precipitaciones líquidas intensas y/o prolongadas en el tiempo. Los valores que pueden alcanzar los caudales, así como el tamaño del cauce, dependen también de otros factores como del área de la cuenca correspondiente, su forma, la diferencia de cota, la presencia de rocas o sedimentos permeables, etc.

b. Inundación por anegamiento.

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 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.

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.

c. Inundaciones Costeras causadas por fenómenos climatológicos

Las causas pueden relacionarse con aumentos del nivel del agua de mares y lagos durante fenómenos meteorológicos. Ejemplos de ello son las tormentas y temporales, así como fenómenos ciclónicos atípicos (huracanes, tifones, tormentas tropicales, ciclones, etc.) que pueden generar fuertes marejadas que afectan al litoral, así como variaciones en el nivel freático aguas adentro produciendo anegamientos.

d. Inundaciones Costeras asociadas a maremotos.

Los tsunamis o maremotos corresponden a una ola o un grupo de olas de gran energía y tamaño que se producen cuando algún fenómeno extraordinario desplaza verticalmente una gran masa de agua. Se conocen tres posibles orígenes: generados producto de un sismo mayor, generados por erupción volcánica submarina, generados por deslizamientos.

III.3 Riesgos Asociados a Remoción en Masa

Del mismo modo que las inundaciones, los procesos de remoción en masa se encuentran generalmente asociados a las condiciones climáticas de un periodo particular, aun cuando su ocurrencia puede también estar ligada a otros eventos extremos, por ejemplo los terremotos.

El fenómeno de remoción en masa presenta causas y manifestaciones variadas, que se encuentran en permanente interacción. Es así como la acción combinada de diversos mecanismos de transporte de materiales, relacionados con los procesos de meteorización que afectan a las rocas, determinan formas diferentes de deslizamientos, las cuales adquieren una complejidad mayor al considerar las condiciones de subsuelo, las pendientes del terreno, los movimientos tectónicos.

Del mismo modo, la intervención del hombre en el medio natural acentúa dichos procesos, siendo esperable que aquellos sectores que presentan mayores grados de intervención por urbanización sean los más vulnerables a este tipo de eventos.

La remoción en masa se produce porque la fuerza actuante, en este caso la sobrecarga, que normalmente es originada por el agua, ejerce una presión hacia abajo que rompe el equilibrio existente hasta ese momento; la gravedad proporciona la energía adicional requerida para que se produzca el movimiento descendente.

En lugares secos donde llueve muy poco o no llueve, la remoción en masa se origina fundamentalmente por los movimientos sísmicos desde los muy débiles hasta los muy fuertes quien los mueve de su lugar y luego la gravedad proporciona la energía adicional para que se produzca el movimiento descendente.

Entre los principales factores que contribuyen al proceso de remoción en masa que pueden actuar en forma independiente o una combinación de ellos, son los que se enumeran a continuación:

- a. Litológicos, se produce remoción en masa cuando el material de superficie se encuentra suelto y puede ser removido con facilidad ladera abajo por la presión que ejerce una cantidad de agua que no tiene la posibilidad de infiltrarse.
- b. Estructurales, se produce remoción en masa cuando en el terreno se observan grietas muy juntas y que por efectos de meteorización física, química o biológica descomponen las rocas, produciendo diversos tipos de deslizamientos.
- c. Topográficos, se produce remoción en masa cuando hay laderas con altas pendientes o terrenos muy inclinados.
- d. Antrópicos, se produce remoción en masa cuando en terrenos con pendientes han sufrido un proceso de deforestación y pérdida de la capa vegetal, quedando el material de superficie expuesto.
- e. Tectónicos, se produce remoción en masa cuando por efectos de algún movimiento sísmico se gatilla el deslizamiento del material superficial.
- f. Climáticos, se produce remoción en masa cuando se asiste a periodos de precipitaciones intensas, provocando deslizamientos por aumento de sobrecarga.

Tipos de procesos de remoción en masa

A su vez, los movimientos de remoción en masa pueden ser clasificados de diversas formas, siendo el criterio mayormente utilizado el basado en el tipo de movimiento y en la naturaleza del material involucrado, a saber:

- **Caídas**, corresponden a aquellos movimientos que se caracterizan por ocurrir sobre superficies rocosas inclinadas, ocurriendo de manera repentina y catastrófica. Se desencadenan cuando el estrato rocoso superficial, con suficiente sobrecarga, rompe la estabilidad e inicia su resbalamiento descendente. Este desplazamiento se realiza sobre el plano de contacto con el estrato rocoso subyacente.
- **Volcamiento**, consisten en un giro hacia delante de uno o varios bloques de roca alrededor de un punto en donde están sostenidos, sea por acción de su propio peso o por acción producida por el agua. El fenómeno es similar a la caída de algún objeto desde una repisa, por ejemplo.
- **Deslizamiento**, son movimientos de material descendentes de suelo, roca o residuos a lo largo de una o varias superficies. Pueden originarse cuando una o varias superficies de rotura superan la resistencia al corte, avanzando enormes distancias y alcanzando elevadas velocidades provocando flujos o avalanchas rocosas.

Este tipo de movimiento tiene lugar principalmente en terreno con pendientes, siendo también frecuentes en laderas de terrazas características de la morfología postglaciar de la región de Los Lagos, desencadenadas por eventos de precipitaciones intensas y prolongadas

- **Flujos**, corresponden a material que está compuesto por una mezcla de fragmentos de roca y barro, el cual se desprende de las laderas pendiente abajo y en su gran mayoría ocurren a partir de crecidas de cursos fluviales con alta tasa de sedimentos, a medida que el flujo aumenta su densidad es capaz de transportar grandes rocas, tal como si se tratara de un fluido. En este tipo de movimiento la presencia de agua es un factor importante y pueden producirse en pendientes bajas incluso, siempre y cuando la granulometría de los materiales sea fina, por ejemplo, limos y arcilla.

Su puesta en movimiento puede obedecer a una vibración brusca y pudiendo alcanzar velocidades de hasta 100 m/seg, dependiendo de las condiciones del terreno. Este es uno de los movimientos de remoción en masa más que se presentan con mayor frecuencia en el país.

IV CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

De un modo general, el estudio se aborda en una secuencia de actividades que se resumen como sigue:

- Definición de metodológica para abordar cada uno de los riesgos considerados
- Caracterización territorial de aspectos geológicos, geomorfológica y red hídrica, entre otros. La cual se entrega en los antecedentes que componen la memoria explicativa del anteproyecto.
- Revisión de antecedentes históricos de eventos ocurridos en el territorio.
- Análisis cartográfico, fotointerpretación y terreno.

En atención a lo anterior, se presenta a continuación un resumen de consideraciones de orden metodológico, para la realización del estudio y al mismo tiempo se indican algunas limitantes en el desarrollo durante la etapa.

Cuadro 4. Consideraciones Metodológicas

Riesgo	Escala	Fuentes de Información para zonificación	Limitante
Sísmico	1: 100.000 o superior.	Antecedentes Históricos	No es posible Zonificar
Volcánico	1: 50.000	SERNAGEOMIN Mapas de Peligros de los Volcanes del área de estudio	Representación 1:50.000
Inundación	1: 5.000	Revisión de eventos Análisis cartográfico Fotointerpretación	
Remoción en masa	1: 5.000	Revisión de eventos Análisis cartográfico Fotointerpretación	

Fuente: Elaboración propia.

IV.1 Metodologías Específicas Para Riesgos Considerados

Teniendo a la vista las consideraciones metodológicas explicitadas en el cuadro anterior para el desarrollo del estudio, se plantean las siguientes metodologías específicas.

Respecto de los riesgos referidos a sismicidad y volcánico, estos corresponden a escalas de trabajo superior a la urbana, siendo solo posible zonificar las áreas bajo riesgo volcánico en áreas urbanas a partir de la información proveniente del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), órgano oficial en la elaboración de mapas de peligro volcánico. Dicho esto, toda la comuna se encuentra expuesta al riesgo sísmico, por tanto, realizar una diferenciación entre el área que involucra a cada una de las localidades incorporadas en la Actualización del PRC y lo rural no adquiere significancia para establecer una zonificación del mismo.

Sin embargo, para los riesgos referidos a inundación y remoción en masa, si es posible establecer una zonificación al interior de las localidades consideradas en el proceso de planificación. Pues, estos son posibles de representar en una cartografía conforme los establece la OGUC para este tipo de instrumentos, pudiendo diferenciarse, aquellas áreas con mayor susceptibilidad a la ocurrencia de un peligro de inundación o remoción en masa.

IV.1.1 Susceptibilidad de Áreas Bajo Riesgo de Inundación

Una limitante relevante para determinar la susceptibilidad de áreas bajo riesgo de inundación orientada a procesos de ordenamiento territorial, radica en la insuficiencia de información, así como también su elevado costo en términos de tiempo para producir la misma, no pudiendo reaccionar ante la elaboración de un instrumento de ordenación territorial como este.

Dicho lo anterior, con el propósito de determinar áreas susceptibles de sufrir procesos de inundación en el territorio en estudio, conforme a la tipología señalada, se desarrolla una metodología mixta, que permita su aplicación a nivel local (escala 1: 2.000 – 1:5.000).

La metodología a aplicar se basa en cuatro fases, que se detallan a continuación:

- La primera, considera una caracterización general del territorio en relación a aquellos aspectos físico natural que cobran interés para la determinación de áreas de susceptibilidad de riesgo de inundación, entre ellos la geología, geomorfología, la red hídrica entre otros. Dichos antecedentes se encuentran disponibles en la memoria explicativa del proyecto.
- La segunda, considera una recopilación de información de carácter histórico, estableciendo el énfasis en: información de prensa, entrevistas con vecinos y consulta a oficina de emergencias de la Municipalidad de Puerto Varas, y recopilación de información de estaciones meteorológicas referidas a precipitaciones y caudales en un periodo no superior a 10 años⁹. La relación que se establezca entre tal información, permitirá localizar, identificar, clasificar y caracterizar las condiciones sobre las cuales se produjeron los eventos.

⁹ Para ello se recurrirá a la información disponible en la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas, la cual tiene esa limitante temporal.

- La tercera, se orienta al análisis cartográfico de la información señalada anteriormente, así como también el análisis de imágenes y fotografías aéreas disponibles¹⁰, que permitan identificar áreas con depósitos que evidencien inundaciones ocurridas en el pasado.

Respecto del análisis cartográfico, este identificará y caracterizará la red hídrica para cada localidad incluida en el estudio.

Posteriormente, a partir de las curvas de nivel existentes (para ambas escalas), se elaborará una carta de pendientes que permita resaltar e identificar las condiciones generales del territorio en estudio.

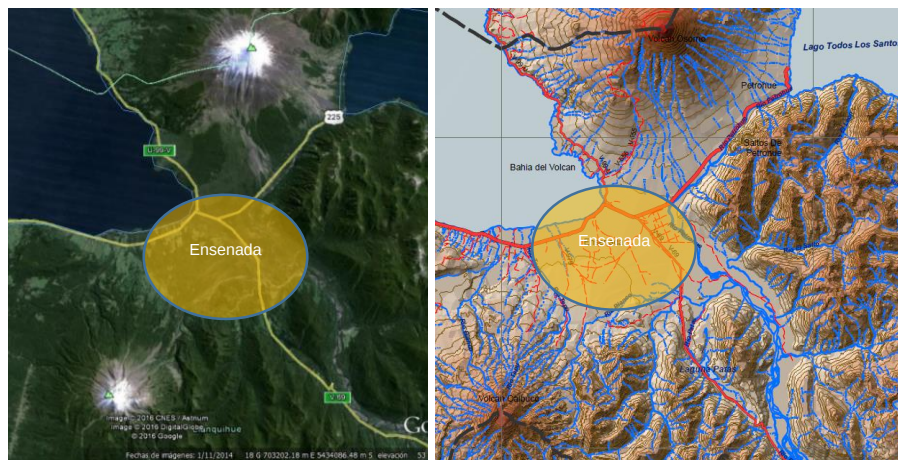
Un apoyo importante a este proceso lo constituye el análisis o fotointerpretación de las imágenes y fotografías disponibles, por ejemplo, para definir áreas con cubierta vegetal y desprovista de ella.

Finalmente, se realiza el análisis para cada unidad territorial, estableciendo su localización e identificación en las láminas de expediente, además de caracterizarlas.

A modo de ejemplo, la figura siguiente, muestra una comparación entre una imagen y un producto cartográfico, en este caso la imagen entrega una vista de las áreas que presentan vegetación. En cambio, la cartografía muestra las curvas de nivel, permitiendo con ello determinar áreas de baja o nula pendiente y susceptibles de ser afectadas por inundaciones.

El área que se muestra corresponde al sector de la localidad de Ensenada, en específico al sector de los ríos Petrohué y Blanco que transportan las aguas desaguadas del lago Todos los Santos y aquellas provenientes del Volcán Calbuco, respectivamente.

Figura 8. Esquema Comparativo



Fuente: Elaboración propia, a partir de Google Earth y cartografía 1: 50.000 aportada por municipio.

- La cuarta, corresponde a una campaña de terreno cuyo objetivo es realizar una verificación y precisión de las áreas determinadas en gabinete, obtener registros

¹⁰ Durante el desarrollo del estudio, se obtuvieron fotografías aéreas conforme a lo establecido en la oferta técnica, por tanto, se cuenta con dicho material. Además de la restitución para las localidades sujetas a planificación.

fotográficos que evidencien de eventos ocurridos con anterioridad, cuando sea posible.

La siguiente figura muestra el proceso metodológico descrito y el cual será aplicado en cada unidad territorial considerada.

Figura 9. Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración Propia SURPLAN Ltda.

IV.1.2 Susceptibilidad de Áreas Bajo Riesgo de Remoción en Masa

La metodología a aplicar se basa en cuatro fases, que se detallan a continuación:

- La primera, consiste en una recopilación de información de carácter histórico, estableciendo el énfasis en: información de prensa, entrevistas con vecinos y consulta a oficina de emergencias de la Municipalidad de Puerto Varas. El objetivo es conocer dónde han ocurrido eventos, los cuales puedan relacionarse posteriormente con las características del territorio y su expresión cartográfica, obteniendo de esta forma un catastro de eventos.
- La segunda, construye cartografía de carácter temático referida a los aspectos considerados en la caracterización territorial (la cual se incluye en la memoria explicativa), para su posterior cruce.
- La tercera, considera un trabajo de terreno, en específico de las localidades incorporadas al proceso de planificación a objeto de complementar información.
- La cuarta, define las áreas susceptibilidad de remoción en masa a incorporar en el PRC de Puerto Varas. Para ello, se identifican utilizan factores condicionantes comúnmente utilizados, tales como la pendiente del terreno, la geología y/o geomorfología, presencia o ausencia de vegetación y exposición de laderas. Dichos factores serán ponderados para la construcción de los mapas de zonificación de susceptibilidad.

V DEFINICIÓN Y ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO

En esta sección, se presentan los resultados de los riesgos reconocidos y evaluados en las localidades sujetas a planificación, conforme a la metodología planteada, escala y disponibilidad de información.

En relación al riesgo sísmico, no se ha realizado una zonificación de respuesta sísmica del suelo, debido a la insuficiencia de información de unidades geológicas detalladas del área de estudio. Se ha asumido como supuesto de evaluación, que toda el área comunal, del mismo modo que una importante sección del país se encuentra expuesto a este tipo de eventos. Por tanto, no es posible descartar la ocurrencia de un evento que afecte de manera homogénea el territorio comunal.

En términos generales, la actividad sísmica en la Región de Los Lagos, se ha caracterizado por numerosos movimientos de fuertes magnitudes. El siguiente cuadro muestra los mayores sismos que históricamente se han registrado en la región.

Cuadro 5. Sismos que han Afectado el Área en Estudio

FECHA	COORDENADAS EPICENTRO		MAGNITUD
	LATITUD	LONGITUD	
Mayo 1960	39.5	74.5	8.5
Noviembre 1837	39.8	74.0	8.0
Marzo 1967	40.1	74.5	7.2
Marzo 1934	40.0	72.5	7.1
Octubre 1940	41.5	74.5	7.0
Agosto 1960	40.0	74.9	6.9
Junio 1960	39.5	73.0	6.9
Mayo 1971	42.2	71.7	6.8
Octubre 1965	42.9	75.1	6.5
Agosto 1964	41.1	74.9	6.5
Septiembre 1961	41.7	75.2	6.5
Noviembre 1960	40.3	73.9	6.5

Fuente: Departamento de Geofísica. Universidad de Chile.

Como antecedente, el último terremoto del 27 de febrero de 2010, no generó consecuencias de daños físicos en el área de estudio

No obstante, la presencia de la Zona de la Falla Liquiñe – Ofqui, en el sector oriental de la comuna, presupone que el territorio comunal debiese tener un comportamiento diferenciado de respuesta sísmica, que se reitera no se evalúa, debido a la inexistencia de información de carácter secundario y a los plazos involucrados en el proyecto.

En tanto, la evaluación los riesgos vinculados a actividad volcánica, se ha realizado en base a los mapas de peligros elaborados por SERNAGEOMIN.

Riesgos de escala local, se asocian principalmente a riesgos de inundación, remoción en masa y el traspaso de los mapas de peligro volcánico elaborados por SERNAGEOMIN para las localidades sujetas a planificación.

V.1 Áreas susceptibles de ser afectadas por actividad volcánica

Se revisan los mapas de peligro volcánico elaborados por SERNAGEOMIN, para los volcanes existentes en el territorio comunal y cuya actividad tenga la susceptibilidad de afectar el territorio en estudio. Se revisan en esta ocasión, los Volcanes Calbuco y Osorno.

Volcán Calbuco

(Pleistoceno Superior – Reciente) 41°20' S – 72°37' O, 2.003 m.s.n.m.

El estrato volcán Calbuco es parte de la Zona Volcánica Sur y está localizado en los 41°20'S – 72°37'W, en la ribera SE del lago Llanquihue y al NW del lago Chapo. Tiene forma irregular semejante a un cono truncado bajo, de aspecto macizo levemente elongado en dirección NE – SW, alcanza una altura de 2.003 m.s.n.m. alzándose en unos 1.550 m. sobre el nivel local. Se ha desarrollado a través de sucesivas etapas de actividad de tipo central, que han incluido emisiones tanto de lavas como de piroclastos de composición esencialmente andesítica. Su información histórica da cuenta de un comportamiento eruptivo violento, que se caracteriza por erupciones freatomagmáticas, vulcanianas, subplinianas y freatoplinianas débiles, con eyección de piroclastos tanto de caída como de flujos.

A comienzos del período Postglacial el cono principal del volcán sufrió un colapso, que dio origen a una gran avalancha y un teatro de 2 km. de diámetro. A partir de la erupción de 1893, en el interior del teatro de avalancha se comenzó a construir un domo, que ha crecido hasta alcanzar el borde del escarpe originado por la avalancha. Desde el Domo han sido emitidas coladas de lava viscosas de bloque.

El Volcán Calbuco presenta sólo glaciares pequeños en la cima, por lo cual la generación de lahares gatillados por las erupciones se produciría solamente durante la temporada invernal. El registro histórico señala erupciones desde el cráter central en 1792 – 1837-38? – 1845 – 1893-95 (comenzó la construcción del domo), 1906-07- 1911-12? – 1917-1927- 1929-1932- 1945- 1961, 1972 y 2015 lo que permite inferir que ha experimentado una frecuencia eruptiva histórica de aproximadamente 17 años. Han transcurrido más de 40 años desde la última erupción menor de cenizas (1972) y más de 50 años desde una erupción mayor que ocurrió en 1961, por otro lado, antes de la mayoría de las erupciones de cierta magnitud, han ocurrido fenómenos precursores tales como ruidos subterráneos, actividad sísmica perceptible y pequeñas explosiones de cenizas.

La reciente erupción, de abril del 2015, aún muestra evidencias de los daños que dejó sobre el territorio comunal.

Figura 10. Colapso de techumbre por caída de cenizas – localidad de Ensenada



Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015.

Figura 11. Restos de ceniza en inmediaciones de Ruta 225 - Ensenada



Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

El siguiente cuadro muestra un resumen de la actividad volcánica y eruptiva correspondiente al volcán Calbuco, se exceptúa de ella la última erupción.

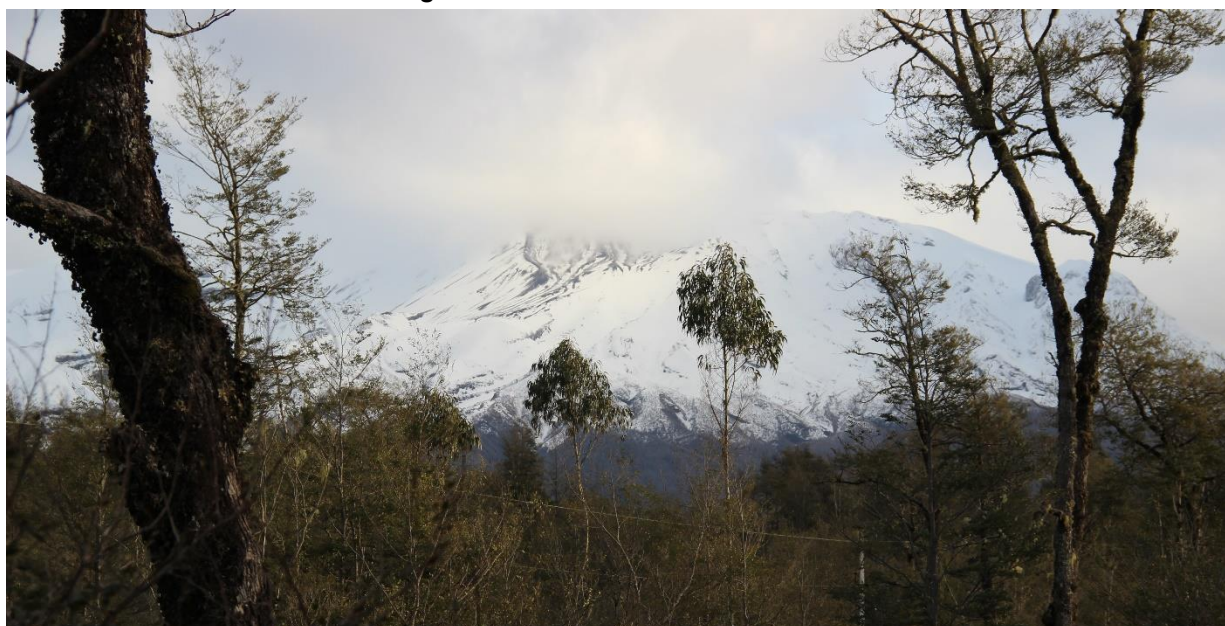
Cuadro 6. Cronología Eruptiva Histórica del Volcán Calbuco

Inicio Actividad			Término Actividad			Características Eruptivas													
Año	Mes	Día	Año	Mes	Día	SV	RS	EC	CP	EF	CG	EB	DP	Lv	Lh	CT	CF	IEV	
1792						X	X				X	X						2	
1837			1838								X	X						2	
1893	feb		1895			X	X	X		X	X	X	X		X	X	X	4	
1906									X		X	X					X	2	
1907	abr	22							X		X	X						2	
1909	mar	9							X		X	X						2	
1911			1912						X		X	X						2	
1917	abr	30	1917	may		X	X	X	X		X	X	X	X			X	3	
1929	ene	5	1929	ene	9	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	4	
1932	dic								X		X	X						2	
1945	feb	19	1945	mar					X		X	X						2	
1961	ene	25	1961	mar		X	X		X	X	X	X		X	X		X	3	
1972	ago					X	X	X	X		X	X						2	

SV: Sismos Volcánicos; RS: Ruidos Subterráneos; EC: Expl. Por el cráter Central; CP: Erupción en cono parásitos; EF: Erupción fisural; CG: Columna de gases y cenizas; EB: Eyección piroclastos balístico; Lv: Flujo de lava; Lh: Flujo lahárico; DP: Pp de cenizas de la pluma; CT: Coincidió antes o después con sismos tectónicos; CF: Erupción componente freática; IEV: Índice de Explosividad Volcánica

Fuente: M^aEugenia Petit-Breuilh.

Figura 12. Volcán Calbuco



Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015

Volcán Osorno

(Pleistoceno Superior - Reciente) 41°06' S – 72°30' O, 2.652 m.s.n.m.

El volcán Osorno corresponde a un estratovolcán mixto con varios centros eruptivos adventicios que se ha desarrollado a través de cuatro etapas sucesivas durante los últimos 200 mil años. Se localiza en los 41°06'S – 72°30'W. Al E limita con el lago Todos los Santos, al W con el lago Llanquihue y al SW con el volcán Calbuco. De su falda nacen el río Blanco – Las Cascadas que desagua en el lago Llanquihue. Tiene una altura de 2.652 m de altura con una perfecta formación piramidal (composición basáltica-andesítica basáltica), salvo una pequeña prominencia gibosa que se encuentra en la falda W. Además, presenta un glaciar en la cumbre y su cráter tiene un diámetro entre 250 y 300m.

El volcán Osorno presenta erupciones históricas del tipo estromboliana y los centros de las emisiones han sido fisuras, cráteres parásitos y el cráter principal, caracterizadas principalmente por ser explosivas y algunas veces presentando fases efusivas de importancia. La presencia de hielo en su cima ha provocado la infiltración de agua dentro del edificio volcánico, dando lugar a erupciones freatomagmáticas junto con avalanchas laháricas que han descendido por todos los flancos del volcán. La estructuración de este volcán causó la separación de los lagos Llanquihue del Todo los Santos (Petit-Breuilh, 1997, 1999; Gonzalez-Ferran, 1995; Moreno y Muñoz, 2000; Moreno et al., 1985).

Se estima que el volcán ha presentado al menos 13 erupciones de importancia, calculándose una frecuencia de 21 años. Los periodos de silencio mínimo del Complejo son de aproximadamente 1 año y un periodo de silencio máximo de 46 años aproximadamente. Aunque en la actualidad han transcurrido más de 130 años sin erupciones, la última actividad es del año 1994 con una débil fumarola en el cráter principal.

Figura 13. Volcán Osorno



Vista desde la Localidad de Las Cascadas

Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

El siguiente cuadro, muestra la cronología de la actividad volcánica y eruptiva registrada por el volcán Osorno.

Cuadro 7. Cronología Eruptiva Histórica del Volcán Osorno

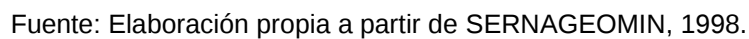
Inicio Actividad			Término Actividad			Características Eruptivas												
Año	Mes	Día	Año	Mes	Día	SV	RS	EC	CP	EF	CG	EB	DP	Lv	Lh	CT	CF	IEV
1575								X			X	X						2
1640								X			X	X						2
1644								X			X	X						2
1719								X			X	X						1
1737	dic	24						X			X	X						1
1765								X			X	X						1
1778								X			X	X						1
1790	mar	7	1791	dic				X			X	X	X	X	X			2
1796								X			X	X	X					2
1834	nov	29						X			X	X	X					2
1835	ene	19	1835	dic		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		3
1837	nov	7	1838					X			X	X	X					1
1850			1851					X			X	X	X					1
1852			1853					X			X	X	X				X	1
1855	ene	17						X			X	X	X				X	1
1869								X			X	X	X				X	1

SV: Sismos Volcánicos; RS: Ruidos Subterráneos; EC: Expl. Por el cráter Central; CP: Erupción en cono parásitos; EF: Erupción fisural; CG: Columna de gases y cenizas; EB: Eyección piroclastos balístico; Lv: Flujo de lava; Lh: Flujo lahárico; DP: Pp de cenizas de la pluma; CT: Coincidió antes o después con sismos tectónicos; CF: Erupción componente freática; IEV: Índice de Explosividad Volcánica

Fuente: M^aEugenia Petit-Breuilh.

Conocer las cronologías y los efectos de las erupciones históricas, ya sea, en el medio ambiente físico o sobre asentamientos humanos aledaños, permite realizar una zonificación del territorio considerando peligros según sea el caso.

La figura Siguiende muestra el mapa de peligros para los volcanes Osorno y Calbuco, elaborado por SERNAGEOMIN, los cuales constituyen la base para la determinación de áreas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica en la comuna.

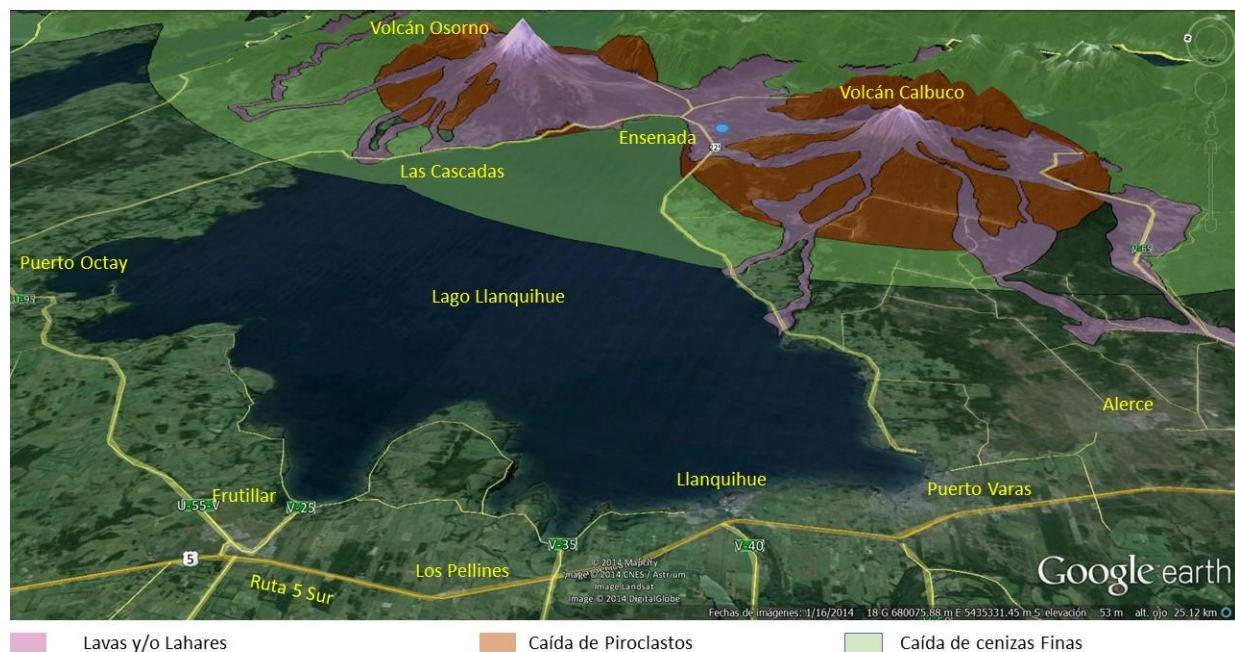


A partir del mapa de peligros de los volcanes Osorno y Calbuco presentados, se evidencia que el territorio rural y asentamientos humanos emplazados en el sector norte y poniente del lago Llanquihue, esto es Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas, no presentan susceptibilidad de ser afectadas por eventos asociados a posibles erupciones de los volcanes Calbuco y Osorno.

Las áreas definidas como altamente susceptibles de ser afectadas por actividad volcánica corresponden, esencialmente, a las áreas de influencia directa de corrientes de lava, eyecciones piroclásticas y emisión de gases de los volcanes Calbuco y Osorno. Las áreas definidas como moderadamente susceptibles corresponden a procesos de remoción en masa, donde se generan procesos indirectos (corrientes laháricas y obstrucción de cursos y valles fluviales) asociados a la presencia de los volcanes Calbuco y Osorno.

La siguiente figura muestra ubicación las principales ciudades y localidades de la ribera del lago Llanquihue en relación al mapa de peligros elaborado por SERNAGEOMIN (resumido). De él se concluye que **la ciudad de Puerto Varas no presenta susceptibilidad de ser afectada por riesgos asociados a lahares/lavas o caída de piroclastos. El mismo mapa señala, que tampoco serían afectadas por caída de cenizas.** Sin embargo, cabe considerar que, dependiendo, entre otros elementos, de la dirección del viento, es probable que pudieran llegar cenizas a la ciudad de Puerto Varas y por extensión al territorio rural de la comuna, tal como se observó en la erupción del volcán Chaitén del año 2008, donde finas cenizas alcanzaron la zona en estudio.

Figura 15. Riesgo Volcánico en el área de Estudio



Fuente: Elaboración Propia a Partir de SIT Regional y Google Earth.

Dentro de la comuna, la amenaza que representa la presencia de los volcanes Osorno y Calbuco está claramente definida en el mapa de peligros presentado anteriormente y el cual constituye la base para determinar las áreas afectas a este tipo de riesgo. Pues este ha sido realizado por SERNAGEOMIN, organismo competente en la materia.

En este contexto, la localidad de Ensenada, se encuentra en el área definida con probabilidad de ser afectada por lavas/lahares, además de la caída de piroclastos y finas cenizas. Es decir, presenta un importante grado susceptibilidad de ser afectada por erupciones de los volcanes Osorno y Calbuco, tal como ocurrió con la erupción del volcán Calbuco el 22 de abril del año 2015.

Figura 16. Vista de sector rural Ensenada.



El nivel de las cenizas alcanza aproximadamente a un metro.
Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015.

La erupción citada, entregó la oportunidad de contrastar el mapa de peligros revelado anteriormente. Según se constató en terreno, el efecto más severo sobre la localidad de Ensenada se asoció la caída de cenizas y piroclastos, los cuales provocaron colapso de techumbres y colmataron el suelo con cenizas, alcanzando niveles superiores al metro en algunos sectores, afectando diversas actividades de tipo agropecuario y dificultando en algunos casos el escurrimiento de aguas por los cauces existentes en la localidad.

Figura 17. Vista curso de agua en Ensenada.



El nivel de las cenizas en borde del curso de agua, aproximadamente 30 a 50 centímetros.
Fuente: SURPLAN LTDA. – H. Cáceres. Agosto 2015.

El día de la erupción y los días siguientes a ella, SERNAGEOMIN elaboró informes periódicos¹¹ que dan cuenta de la situación, siendo en primero el que se muestra a continuación:

Hoy 22 de abril, a las 18:04 Hora Local (21:04 GMT), se produjo un evento eruptivo intempestivo en el volcán Calbuco, focalizado en el cráter principal.

- Este evento fue precedido por un aumento en la actividad sísmica asociada a la zona del volcán, la cual comenzó aproximadamente una hora antes del evento sísmico mayor, con el registro de eventos tipo VT, localizados en el flanco este del edificio volcánico, cercanos al cráter principal. Posterior a este episodio (17:35 Hora Local), se comenzaron a registrar sismos del tipo LP, asociados a la dinámica de fluidos al interior del edificio volcánico, los que presentaron un desplazamiento reducido máximo (DRc) de 5.890 cm² (evento registrado a las 17:54 Hora Local, 20:54 GMT) con una amplitud de 1.723 um/s y una frecuencia dominante de 0,75 Hz. Cabe destacar que la actividad sísmica asociada al volcán no presentaba aumentos significativos en alguno de sus valores desde el año 2009 cuando se inició el monitoreo sísmico en tiempo real por el OVDAS.
- Luego del evento sísmico mayor (17:54 Hora Local), se generó de una columna eruptiva de carácter vigorosa de color grisáceo que en la etapa paroxismal alcanzó una altura superior a los 15 km sobre el cráter principal. La dispersión piroclástica ha sido principalmente hacia el E-NE del volcán. Colapsos menores de la columna eruptiva han ocurrido localmente en forma radial, **afectando las nacientes de los principales cursos fluviales**. Crecidas en algunos valles.
- Al momento de la emisión de este reporte, la actividad sísmica y superficial continúa en valores considerados altos, ahora con la presencia de una señal tipo tremor (TR) continuo, asociado a la dinámica de fluidos al interior del macizo.
- En el escenario actual se espera dispersión y acumulación piroclástica hacia el N_NE-E (varios y ocurrencia de flujos piroclásticos menores en los valles principales que descienden del volcán cuyo alcance no superaría los 20 km. (peor escenario según registro geológico)

Se mantiene la Alerta Técnica en **Nivel ROJO**

Figura 18. Vista de Erupción Volcán Calbuco – Abril 2015



Fuente: SERNAGEOMIN.CL

¹¹ www.sernageomin.cl

Los principales efectos inmediatos de la erupción sobre el territorio, son los que se indican.

- Declaración de zona de exclusión de 20 kilómetros en torno al cráter y de 200 metros de los caudales de ríos que nacen del volcán por posibles lahares, siendo el más cercano para este último caso el río Tepú.
- Evacuación de la población de la localidad de Ensenada, la cual se estimó que alcanzaron a un total de 4.900 personas, equivalentes a un 54% de la población total evacuada en todo el territorio.
- El Ministerio de Vivienda y Urbanismo informó que, en el área de afectación del volcán, resultaron con daños un total de 655 viviendas, incluyendo las comunas de Puerto Montt y Puerto Varas. De ellas 121 se ubican en la comuna de Puerto Montt y 531 en la comuna de Puerto Varas¹².
- En cuanto a equipamiento e infraestructura, en total se deterioraron cuatro postas rurales, 13 establecimientos educacionales, además de sistemas de agua potable rural, puentes y caminos.

El principal efecto sobre la localidad de Ensenada específicamente fue el daño provocado por la caída de ceniza, el cual causó el colapso de techumbres. Respecto de afectación por lahares no se informaron en Ensenada. No obstante, estos afectaron sectores de la comuna de Puerto Montt, en particular Río Blanco. La siguiente figura muestra un sector de la localidad de Ensenada aledaño a la ruta CH 225 con los efectos de las cenizas.

Figura 19. Vista de Ensenada



Fuente, [//www.soychile.cl/Puerto-Montt/](http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/)

¹² <http://www.soychile.cl/Puerto-Montt/Sociedad/2015/06/09/327449/Minvu-identifica-655-casas-danadas-producto-de-la-erupcion-del-volcan-Calbuco.aspx>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

Otros efectos de la erupción fueron, suspensión de vuelos en aeropuerto El Tepual y cierre de los pasos fronterizos Cardenal Samoré, Hua Hum, Carirriñe, Mamuil Malal, entre otros, debido a la escasa visibilidad.

Una revisión de los reportes publicados por SERNAGEOMIN en la web, respecto de la actividad presentada por el volcán en días posteriores, se puede constatar lo siguiente.¹³

Periodo evaluado	Alerta
9 mayo – 10 mayo 2015	Roja
Conclusión	
Durante el periodo evaluado continúa el descenso de la energía sísmica del tremor volcánico, incluso siendo superado por el ruido de fondo. Sin embargo, se resalta que el sistema volcánico durante los días recientes presenta un comportamiento fluctuante, sugiriendo que el sistema volcánico permanece en una fase inestable que podría evolucionar hacia un nuevo pulso eruptivo en un corto plazo. Por lo tanto, continúa la probabilidad de evolución hacia condiciones que favorecen una reactivación de la actividad eruptiva, y por lo tanto se sugiere mantener la restricción de acceso a la zona de alto peligro próxima al volcán. Por otra parte, el material piroclástico inestable acumulado en la parte superior del volcán y en sus laderas, así como en sectores aledaños, podría ser removilizado por lluvia dando origen a lahares secundarios a lo largo de los ríos que drenan del volcán y las cuencas vecinas. Los 'lahares secundarios' son aluviones volcánicos causados por la removilización parcial de material piroclástico depositado durante o de manera posterior a una erupción, normalmente causados por precipitaciones intensas. De esta forma, se sugiere prestar especial atención a la ocurrencia de estos fenómenos debido al pronóstico de lluvias durante los próximos días, particularmente en los cauces que descienden del volcán, en una franja de 200 m de ancho a cada costado de ellos, y en otros sectores donde hay acumulación importante de material piroclástico.	

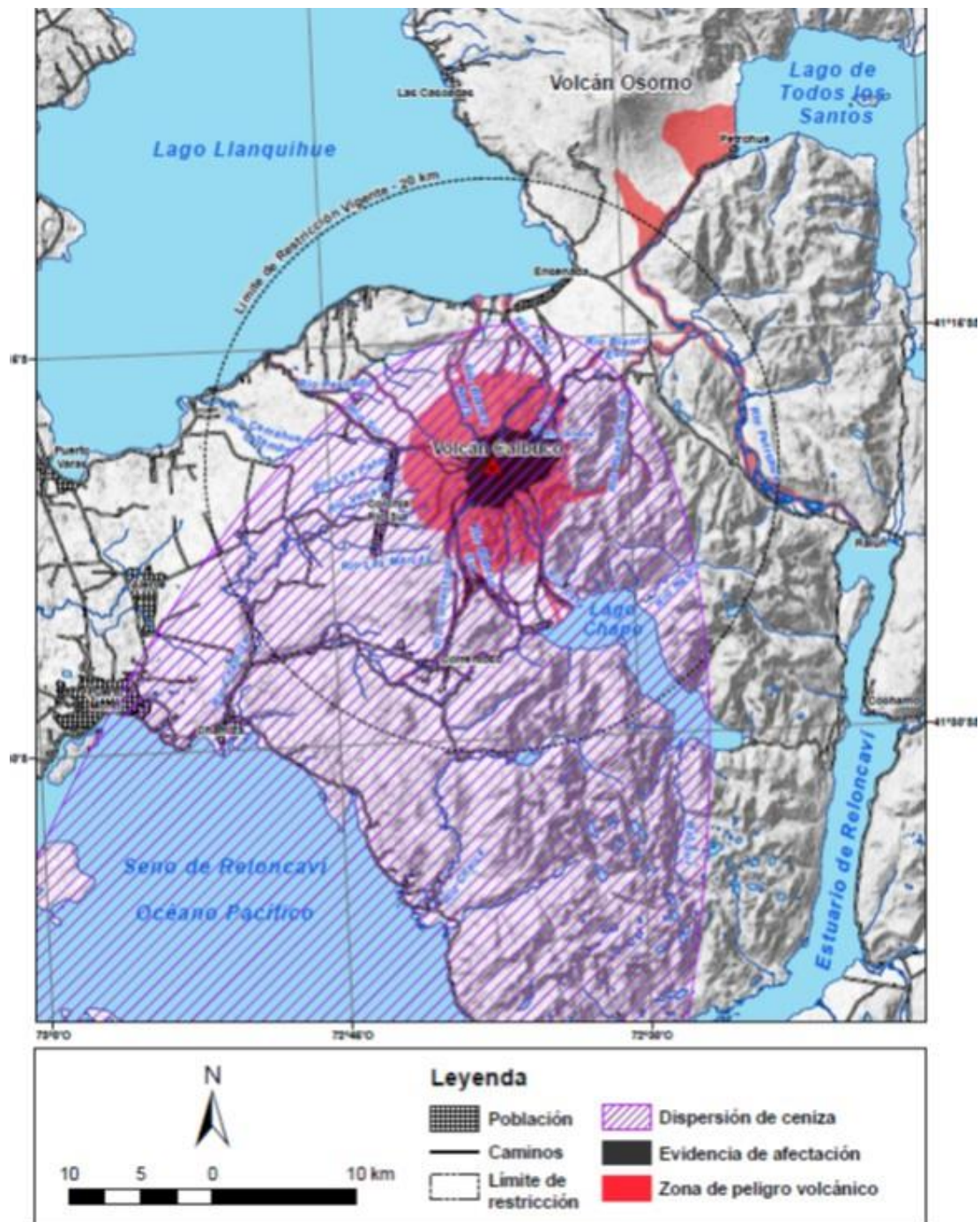
Periodo evaluado	Alerta
27 mayo – 28 mayo 2015	Amarilla
Conclusión	
La actividad sísmica continúa con valores promedios considerados bajos confirmando un descenso paulatino en la actividad durante las últimas semanas. En estas condiciones, la evolución hacia una reactivación de la actividad eruptiva resulta cada vez menos probable. Actividad fumarólica persistente, eventualmente con pulsos menores de emisión de ceniza, sería el comportamiento esperado en la fase actual. Por otra parte, una fracción menor del material piroclástico inestable acumulado en la parte superior del volcán y en sus laderas, así como en sectores aledaños, podría ser removilizado durante eventos de precipitación intensa, aunque la envergadura de este proceso sería progresivamente menor. Sobre la base de los antecedentes técnicos reportados y teniendo en cuenta que la actividad volcánica permanece en niveles bajos, con la ocurrencia de poca sismicidad, se establece la alerta técnica en nivel AMARILLO.	

Periodo evaluado	Alerta
01 junio – 15 junio 2015	Amarilla
Conclusión	
La actividad sísmica continúa con valores promedios considerados bajos, confirmando un descenso paulatino en la actividad durante las últimas semanas. Actividad fumarólica persistente de baja altura y eventuales pulsos menores de emisión de ceniza, sería el comportamiento esperado en la fase actual. Se recomienda restringir el acceso hacia los faldeos y zona del cráter. El nivel de alerta se mantiene en AMARILLO	

¹³ Se han reproducido textual la conclusión del informe que se acompaña en anexo.

Los dos primeros informes además presentan mapas de peligro actualizados para cada uno de ellos, conforme a los respectivos antecedentes y conclusiones. A continuación, se muestran ambos mapas, en los cuales se observan diferencias en la afectación sobre la comuna y en especial sobre la localidad de Ensenada.

Figura 20. Mapa de Peligros Volcánicos – Volcán Calbuco, 10 de Mayo de 2015



Fuente: SERNAGEOMIN.

Figura 21. Mapa de Peligros Volcánicos – Volcán Calbuco, 27 de Mayo de 2015



Fuente: SERNAGEOMIN.

En el primero de ellos, se observa que el Río Tepú (cauce próximo a la localidad y no levantado en la aerofotogrametría disponible para el estudio) mantiene una situación de peligro de ser afectado por lahares, mientras que el área de la localidad se mantiene dentro del límite de restricción de 20 kilómetros en torno al cráter del volcán. En tanto, en el mapa de peligros del 27 de mayo ambas situaciones desaparecen.

En consecuencia, los efectos que la erupción del volcán Calbuco tuvo sobre la comuna son coincidentes con los expresados en el mapa de peligros de SERNAGEOMIN, es decir, la localidad de Ensenada fue afectada principalmente por depósitos de piroclastos de diámetros a algunas personas por medios periodísticos menores a 20 cm, tal como se muestra en la siguiente figura y de acuerdo a notas realizadas ¹⁴.

Figura 22. Area Ensenada Afectada por Caída de Cenizas



Fuente: <http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150427>

- "Dependemos completamente del turismo y en este momento el lugar, que es uno de los más bonitos de Sudamérica, está completamente de color café", le dijo a BBC Mundo César Elgueta, dueño de un restaurante en Ensenada.
- "Todos los días vamos con palas y escobas para sacar la ceniza. Mi casa está en Puerto Varas y por eso no estoy tan preocupado como algunos de los locales que temen perder todo".
- Y también se vieron afectadas algunas viviendas. "Aquí no hay nada más que hacer, rescatar lo poco que puedas y salir adelante. Y no hay más palabras. Lo que pasó está a la vista y esta casa no sirve para nada", le dijo a la agencia AP Andrés Reyes.
- Embarcados en la inmensa tarea de recuperar la antigua apariencia de un lugar enterrado en ceniza, muchos esperan la llegada de maquinaria pesada.

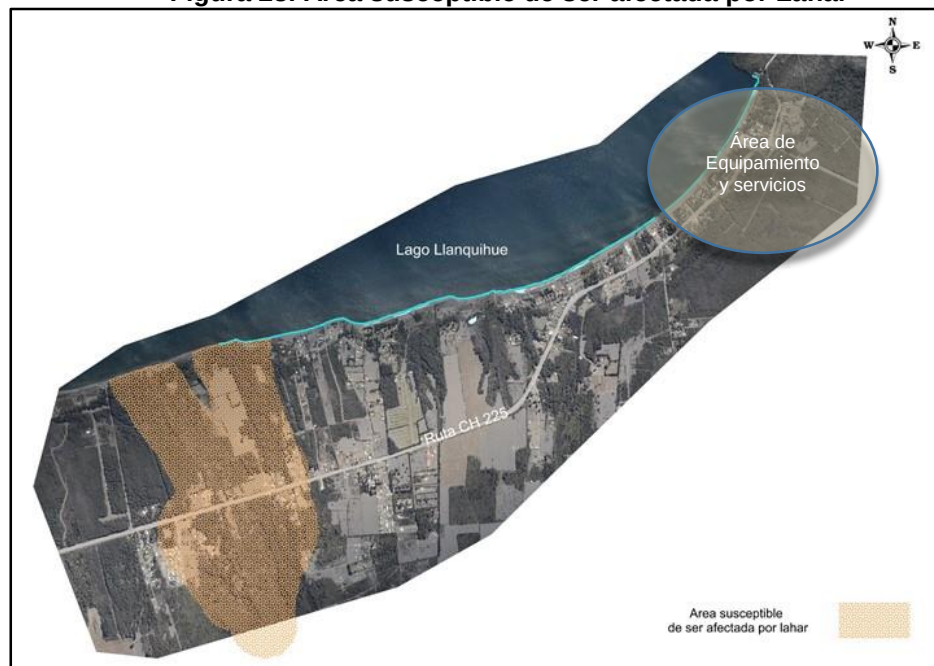
¹⁴ http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/04/150427_chile_ensenada_ceniza_az

- "Ahora tenemos que pensar en el futuro. Esperamos que en dos meses Ensenada pueda volver a la normalidad. Pero depende de si el volcán nos deja en paz", le dijo Pedro González a la AFP.

En consecuencia, tal como señala el mapa de peligros, el área ocupada y consolidada de la localidad de Ensenada (donde se concentra el comercio, equipamiento y viviendas) se encuentra en una zona con peligro de ser afectada por lavas y/o lahares, durante erupciones originadas en el cono y/o cráter principal. Además, presenta la posibilidad de ser afectada por caída de piroclastos y cenizas.

Finalmente, se grafica la zona de peligro volcánico elaborada por SERNAGEOMIN el día 10 de mayo de 2015 (ver figura 27), en el área de la comuna correspondiente a Ensenada. Para ello, se ha utilizado el criterio de 200 metros a partir de los márgenes de los cursos de agua y quebradas, cuyas nacientes se encuentran en la parte superior del volcán Calbuco y sus laderas. En su elaboración se ha utilizado el fotomosaico y cartografía elaborada en el marco del estudio

Figura 23. Área susceptible de ser afectada por Lahar



Fuente: Elaboración Propia, a partir de SERNAGEOMIN:

En un contexto más general, se muestra la siguiente imagen obtenida desde Google Earth, observándose que el área de Ensenada se sitúa sobre la parte final de un perfecto abanico aluvional proveniente desde el volcán Calbuco y que tiende a unirse con uno proveniente del flanco sur del Volcán Osorno. Sin duda, esto viene a ratificar la condición de riesgo que afecta a la localidad de Ensenada.

Figura 24. Emplazamiento de Ensenada sobre abanico aluvional



Fuente: Elaboración propia a partir de Google Earth.

V.2 Áreas Bajo Susceptibilidad de Inundación

V.2.1 Análisis histórico

Reunir información de eventos de inundación ocurridos en el territorio comunal, entrega un antecedente importante para analizar u observar la recurrencia o frecuencia con que el evento puede producirse en un mismo lugar. Por otro lado, ayuda a resolver la carencia de información, permitiendo realizar análisis durante un periodo de tiempo determinado de manera objetiva.

Revisada la información disponible en medios de comunicación regional a través de páginas web, se detectó que el evento de mayor importancia y único informado es el ocurrido durante el invierno del 2014, en dicho periodo fuertes temporales afectaron la cuenca del lago Llanquihue.

A continuación, se muestran de manera resumida los antecedentes recopilados.

02 de junio de 2014¹⁵, inundaciones han marcado la jornada en Puerto Varas y suspendieron clases.

60 familias damnificadas y el liceo Pedro Aguirre Cerda y la escuela Rosita Novaro están preparadas como albergues. El alcalde Álvaro Berger, pidió que se declare alerta roja en la zona para movilizar los recursos necesarios ante el intenso sistema frontal.

21 de junio de 2012¹⁶, Vecinos de Puerto Varas denuncia malos olores e inundaciones a raíz de problemas en alcantarillado.

¹⁵ <http://www.soychile.cl/Puerto-montt/Sociedad/2014/06/02/253115/Las-inundaciones-tambien-han-marcado-la-jornada-en-Puerto-Varas.aspx>

“Habitantes del sector de Nueva Braunau, comuna de Puerto Varas, llevan años soportando malos olores e inundaciones en los patios de las casas, debido a que las aguas servidas se devuelven a sus hogares por problemas de alcantarillado.

Cabe señalar, que al parecer esta situación desaparecerá en un tiempo más, pues el intendente Montes hace unos días puso la primera piedra del Proyecto de saneamiento sanitario, el cual contempla el mejoramiento y ampliación de esta planta de tratamiento de aguas servidas y un colector en calle Antonio Varas, todo por un monto de inversión sobre los 600 millones de pesos”.

Figura 25. Calles céntricas de Puerto Varas Inundadas



Fuente: <http://www.soychile.cl/Puerto-montt/Sociedad/2014/06/02/>

De los eventos registrados anteriormente, llama la atención el ocurrido durante el año 2014, donde la cantidad de precipitaciones registradas actúan como agente detonante del proceso de inundaciones.

Aunque no es posible determinar un umbral de precipitaciones sobre el cual se pueda establecer la susceptibilidad de riesgo por inundación (ya que para ello concurren además

¹⁶ <http://www.biobiochile.cl/2012/06/21/comuna-de-puerto-varas-denuncia-malos-olores-e-inundaciones-a-raiz-de-problemas-en-alcantarillado.>

una serie de factores, por ejemplo, topografía, acciones antrópicas, profundidad de los acuíferos, capacidad de infiltración del suelo, entre otras), se realiza una revisión histórica de información de precipitaciones disponible.

Dicha información, permite entender las condiciones sobre las cuales se ha gatillado el evento identificados precedentemente. Para ello, se ha recopilado información referente a los montos de precipitaciones medias mensuales, disponible en la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras públicas¹⁷, en las estaciones meteorológicas identificadas en las cercanías de la comuna de Puerto Varas, pues en la comuna no se encontraron estaciones vigentes. Por tal motivo se muestran los antecedentes de las Estaciones Frutillar en comuna de Frutillar, Lago Chapo y Puerto Montt, en la comuna de Puerto Montt.

Cuadro 8. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015

Estación Meteorológica Lago Chapo

Mes/Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	255,5	47,4	90,2	96,7	198,3	173,5	233,2	73	170,4	35
Febrero	92,4	109,1	66,5	151,8	138,5	63,7	327,9	158,9	111,1	34
Marzo	238	97,3	106,5	124,1	107,2	216,7	67,4	134,1	217,9	99,8
Abril	264,6	294,9	214,2	223,8	205,4	291,6	194,6	256,2	256,5	204,1
Mayo	338,9	146,8	412,9	370,6	186,7	191,7	375,3	431	265,7	360,2
Junio	535,6	284,2	340	363,5	408,7	399,1	507,5	485,5	468,4	
Julio	500,8	411,5	557,7	264,4	315,4	454,8	256,2	303	339,8	
Agosto	313,5	231,7	519,4	565,7	386,7	433,4	238,5	426,4	286,4	
Septiembre	255,9	294,8	70,9	127,7	125,8	360,9	193,8	308,3	351,5	
octubre	308,1	330,1	148,7	314,7	185,4	99,9	107,6	123,4	192,7	
Noviembre	149,8	115	191,5	340,1	224,7	206,4	92,7	172,3	165,4	
Diciembre	298	143,7	54,2	301,2	185,4	92,7	396,5	110,9	105,6	
Total	3.551,10	2.506,50	2.772,70	3.244,30	2.668,20	2.984,40	2.991,20	2.983,00	2.931,40	733,10

Fuente: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Cuadro 9. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015

Estación Meteorológica Puerto Montt

Mes/Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	204	35,8	39,9	38,3	112,4	144,4	92,1	48,9	114,3	13,5
Febrero	92,9	58,9	43,5	131,7	91	61,4	193,3	151	86,1	22,5
Marzo	177,7	69	61,4	80,8	109,5	229,5	44,1	129,9	143,2	60,9
Abril	265,3	152,3	184,7	144,9	85	158,1	99,8	157	148,3	110,3
Mayo	220,4	92,5	431	255,5	136,3	153,5	308,1	296,6	226,1	241,8
Junio	453	132,5	251	202,4	262,2	242,5	306,7	297,3	253,4	174,5
Julio	391,6	213,9	379,4	96	167,1	306,7	206,6	209,4	257,5	296,2
Agosto	196,1	147,9	273,9	281,7	213,2	270,9	236,5	299,4	143,6	254
Septiembre	167,4	151,2	57,4	47,7	101,7	216,9	114,2	113,2	184,2	75,8

¹⁷ <http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=d508beb3a88f43d28c17a8ec9fac5ef0>

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

octubre	207,9	208,5	72,9	152,8	155,4	83,9	76,3	34,5	123,6	79,3
Noviembre	81,2	55,7	143,6	182,2	118	153,7	44,6	110,6	77,1	108,8
Diciembre	280,2	88,7	33,5	128,8	77,1	38	272,3	51,1	54,7	90,2
Total	2.737,70	1.406,90	1.972,20	1.742,80	1.628,90	2.059,50	1.994,60	1.898,90	1.812,10	1.527,80

Fuente: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Cuadro 10. Precipitaciones Medias Mensuales (mm) Año 2006 – 2015

Estación Meteorológica Frutillar

Mes/Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Enero	135	7,1	37	23,5	65	57,5	86,5	21,5	62,5	6,5
Febrero	43,5	27,5	16,1	134	35,1	30,5	105	86	59,5	18
Marzo	98,5	29	25	49,5	51,5	147,5	41	56,5	92,5	20
Abril	183,5	157	64		83,1	197,4	61,5	148	95,5	120,5
Mayo	126	96	297,5	259,5	58,7	118	261,5	216,5	268	289
Junio	305,8	122,5	162,5	177,6	219	177,8	227,5	242,6	367,2	157,5
Julio	306,2	174	389,5	118,5	136	264	158	145,5	241,5	318
Agosto	249,5	153,1	215,5	311,5	194,8	229,4	178,5	224	151	249
Septiembre	128,5	86	51,5	76,5	63,6	177,5	73,8	166	143,5	70
octubre	155,5	104	56	177,5	96,2	31,5	38	42	69,5	58,5
Noviembre	36,5	35,8	78,5	117	90	52	25,5	75,5	57,8	58,5
Diciembre	137,5	30,5	24	81,5	45,1	17	199,4	37	24	52
Total	1.906,00	1.022,50	1.417,10	1.526,60	1.138,10	1.500,10	1.456,20	1.461,10	1.632,50	1.417,50

Fuente: Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

El objetivo de esta recopilación de información no es establecer umbrales, sino dar cuenta de antecedentes cuantitativos referidos a los montos de precipitaciones registradas al momento de producirse el evento. Particularmente el de junio del 2014.

Dichos antecedentes, contribuyen junto a los elementos de caracterización territorial, definir áreas con mayor o menor grado de susceptibilidad de ser afectada por este tipo de riesgo, diferenciando aquellas que se producen por condiciones topográficas (anegamiento) o por desborde de cauce.

Los cuadros anteriores, muestran el comportamiento de las precipitaciones mensuales en las estaciones consideradas, para los años 2006 al 2015. En ellos se observa, que que el comportamiento de las precipitaciones medias mensuales (y por extensión anuales) presenta una marcada estacionalidad, concentrándose principalmente en los meses de junio y julio.

V.2.2 Zonificación de áreas susceptibles de inundación

De un modo general, el territorio comunal presenta ciertos sectores con susceptibilidad de inundación, estos son

- Sector poniente, áreas colindantes al río Maullín, donde su curso es sinuoso y transita por terrenos de baja pendiente que no supera el 10%, en un lecho ancho, que puede ser sobrepasado cuando las precipitaciones se incrementan.
- Sector Oriente, áreas colindantes a los ríos Blanco, Tepú y Petrohué principalmente, en el sector de Ensenada y Petrohué, área de baja pendiente y que posee la particularidad de ser altamente influenciados por: posibles erupciones volcánicas (volcanes Calbuco y Osorno) produciendo flujos laharicos (erupción de abril 2015),

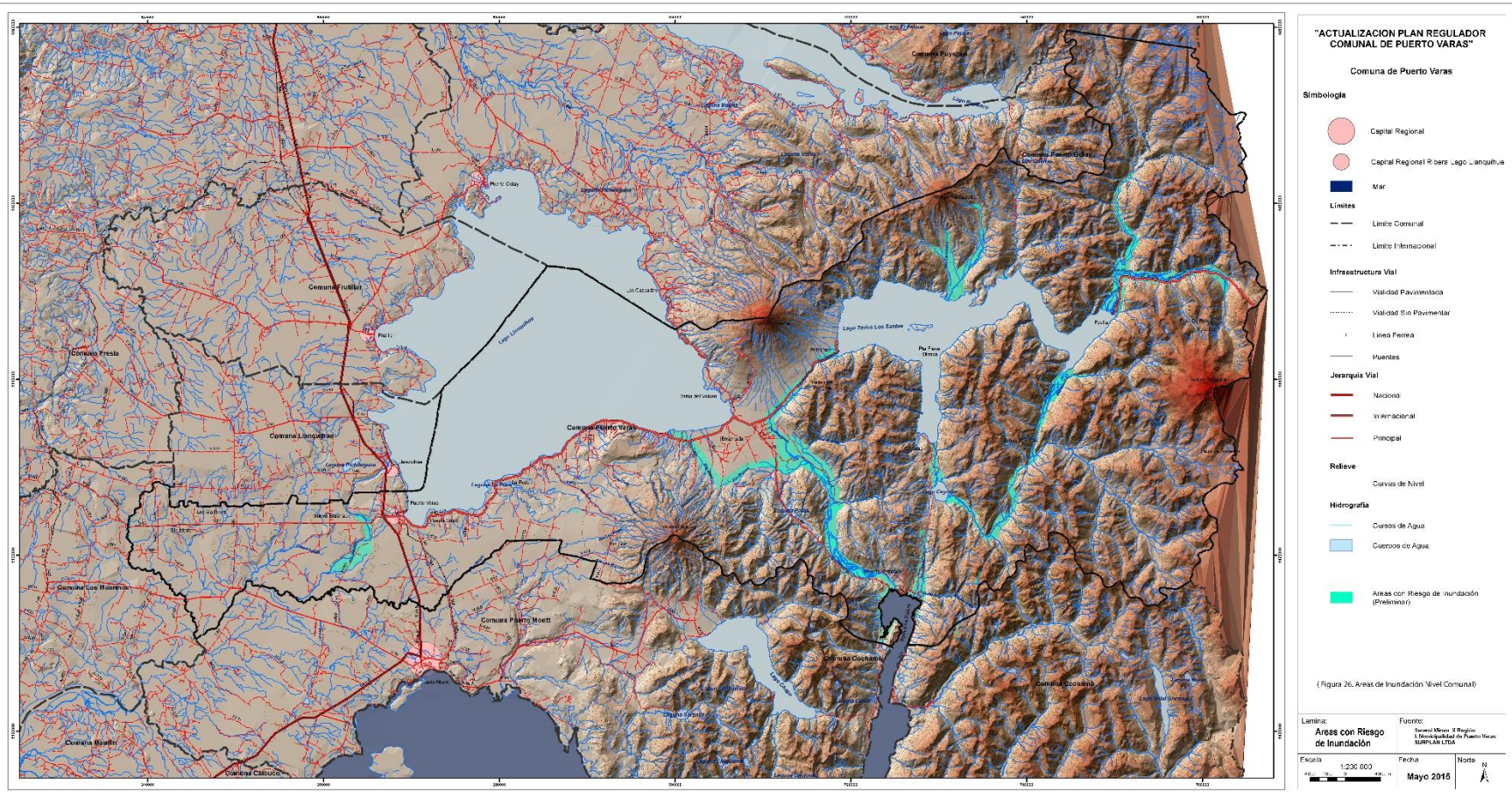
aumentos imprevistos en las precipitaciones, derretimiento de nieves, entre otros aspectos.

- Las restantes áreas susceptibles de inundadas corresponden a las cajas de los ríos en sus cursos superiores e inferiores, pero que, considerando la topografía del área, se limitan a las cajas de los ríos Petrohué, en su curso final, río Cayutue y río Blanco.

Los sectores indicados se grafican en la siguiente figura.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

Figura 26. Áreas de Inundación Nivel comunal



Fuente: Elaboración Propia (Ver lámina en Anexo)

A partir de los antecedentes expuestos y aquellos vertidos en el capítulo de caracterización territorial de la memoria explicativa, se ha generado un mapa de susceptibilidad de inundación, para la localidad incluida en el proceso de planificación, Puerto Varas.

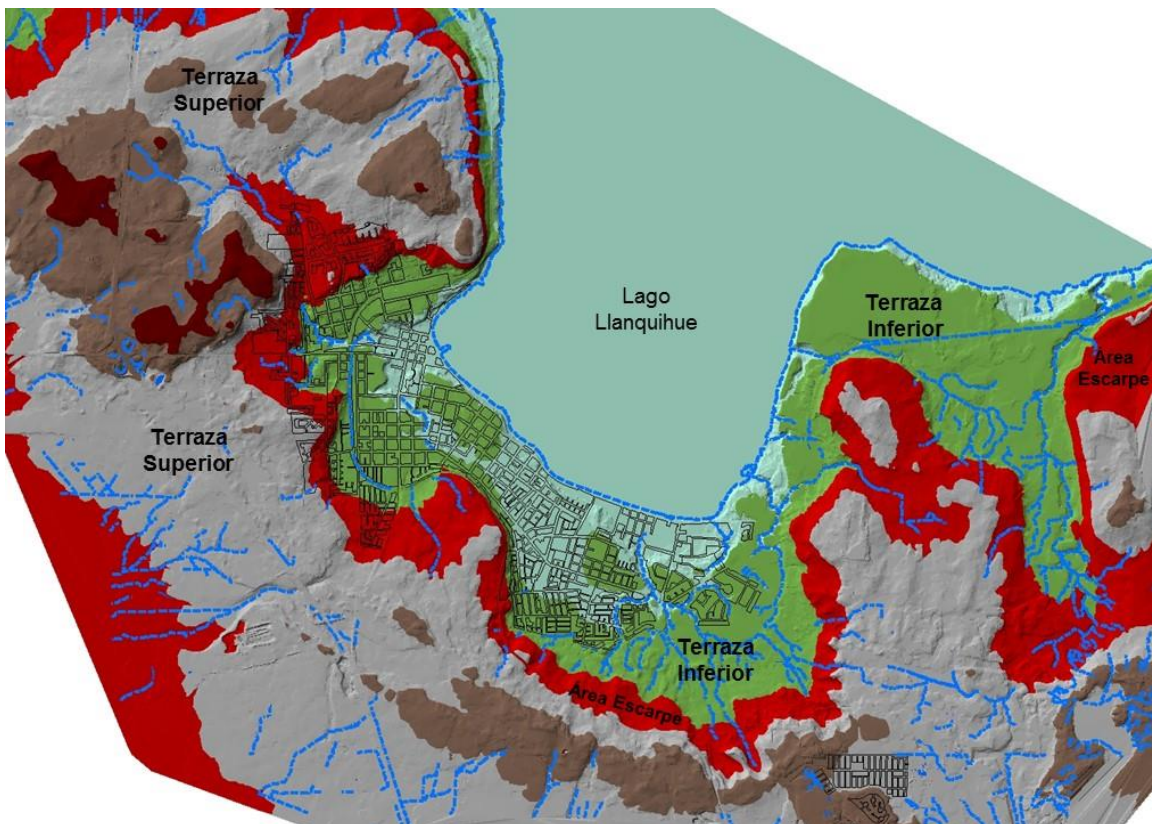
Se ha considerado la susceptibilidad de riesgo de inundación referida a desborde de cauce, anegamiento e inundación del borde lacustre.

Puerto Varas

La ciudad se emplaza sobre un área de terrazas lacustre del Lago Llanquihue que miran hacia el norte, en términos generales la topografía del terreno es más bien plana, diferenciándose dos niveles, el primero en las inmediaciones del lago, donde se ubica el centro histórico y las primeras áreas de crecimiento de la ciudad, cuya elevación varía entre los 50 y 90 m.s.n.m. La segunda sección o terraza superior, se ubica sobre el nivel del trazado de la línea férrea, área que ha acogido el proceso de expansión urbana reciente, cuya elevación varía entre los 110 y 130 m.s.n.m. Ambas terrazas, se encuentra separadas por un escarpe de unos 20 metros de altura que cruza la ciudad en toda su extensión y cuyo ancho es variable.

A continuación, se muestra un modelo de elevación de terreno elaborado en Arcgis 10.1, el cual da cuenta de la situación mencionada (en color rojo) recientemente.

Figura 27. Modelo de Elevación del Área Urbana de Puerto Varas



Nota: en la periferia de la figura, el color rojo obedece a falta de información, siendo válida como representación de área de escarpe, la indicada con letras.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de curvas de nivel bases.

La figura siguiente, refleja desde otra perspectiva los desniveles que presentan ambas terrazas.

Figura 28. Terraza Lacustre Inferior



Fuente: SURPLAN – H. Cáceres, abril 2015.

Por otra parte, sobre el modelo de elevación se ha superpuesto la red Hidrográfica de la ciudad, observándose que estas corresponden a cursos de poco desarrollo, de origen netamente pluvial, los cuales nacen en diversos sectores de la terraza superior y desembocan en el lago Llanquihue.

La diferencia de nivel que se produce entre ambas terrazas, trae consigo que dichos cursos transiten por quebradas disectadas cubiertas de vegetación, particularmente donde la configuración del terreno propicia un rápido tránsito de las aguas que escurren por ellas.

Con estos antecedentes a la vista, se ha elaborado el mapa de susceptibilidad que se muestra en la figura siguiente.

Figura 29. Mapa de Susceptibilidad de Inundación – Puerto Varas



Fuente: Elaboración Propia (Ver lámina en Anexo)

V.3 ÁREAS BAJO SUSCEPTIBILIDAD DE REMOCIÓN EN MASA.

V.3.1 Análisis histórico

Con el propósito de reunir información de eventos de remoción en masa ocurridos en el territorio en estudio, se ha recurrido al informe: “Primer Catastro Nacional de desastres Naturales¹⁸”, elaborado por SERNAGEOMIN, que entrega información sistematizada para cada una de las regiones del País entre los años 1980 y 2015.

En él se encontraron los siguientes antecedentes.

- 7 de mayo de 1995: A causa de la caída de 192 milímetros de agua en menos de 48 horas, y la acumulación de sedimentos en un alcantarillado, colapsa un terraplén ubicado en el km 8 de la ruta internacional 225, que une Ensenada con Puerto Varas, en la región de Los Lagos. La remoción en masa deja un socavón de 15 metros de profundidad, donde caen 6 vehículos que transitaban de noche a cerca de 100 kilómetros por hora. Mueren 27 personas y sólo sobrevive una, en lo que se conoce como “la tragedia del estero Minte”.
- 8 de mayo de 2013: Deslizamiento de terreno en la costanera de Puerto Varas.
- 2 de junio de 2013: Flujo de detritos en Sierra Santo Domingo, Petrohué, comuna de Puerto Varas.
- 10 de junio de 2014: Remoción en masa en el sector de La Quebrada, comuna de Puerto Varas¹⁹.
- 2 de junio de 2015: Deslizamiento en sector de Saltos de Petrohue, comuna de Puerto Varas, destruye 4 viviendas y motiva la evacuación de 8 familias.

Entre estos eventos, sólo el ocurrido el 8 de mayo del 2013 se ubica en la localidad de Puerto Varas.

V.3.2 Riesgo de Remoción en Masa Nivel Comunal

El riesgo de remoción en masa se asocia, entre otros aspectos, a áreas de altas pendientes en conjunto con suelos frágiles por su estructura estratificada y falta de cubierta vegetal. Está muy presente en las zonas cordillerana y precordillerana de la comuna. Los detonantes del fenómeno y factores coadyuvantes son los movimientos sísmicos, factores volcánicos y altas y sostenidas lluvias, como se dan en la región (2.000 mm a 4.000 mm anuales). La tala de bosques y arbustos deja el suelo vulnerable a la erosión causada por agentes meteorizantes como son el agua y el viento, resultando en suelos proclives al deslizamiento masivo.

Esta situación sólo está muy presente en las laderas cordilleranas, especialmente en el entorno del lago Todos los Santos (ver lámina de pendientes en expediente adjunto).

Las altas pendientes de ese sector mayoritariamente alcanzan entre un 25,1 a 45% y, en menor medida, entre un 45,1 a 65% (ver lámina de pendientes).

¹⁸ <http://www.sernageomin.cl/pdf/presentaciones-geo/Primer-Catastro-Nacional-Desastres-Naturales.pdf>

¹⁹ En anexo 1, se presentan los antecedentes de dicho evento elaborado por SERNAGEOMIN.

Cuadro 11. Rangos de pendientes y procesos asociados

Pendiente	Característica	Procesos Asociados
0% - 10%	De muy plano a plano	Erosión difusa progresiva en función del aumento de inclinación. La erosión es casi nula.
10% - 15%	Plano a moderadamente inclinado	Límite entre la erosión difusa, a partir de este rango se generan regueras y cárcavas.
15% - 25%	Moderadamente inclinado a fuertemente inclinado	Erosión intensa. Cárcavas incipientes. Peligro de remoción en masa.
25% - 45%	Fuerte a moderadamente escarpada	Cárcavas fuertes, movimiento en masa, reptación.
45% - 65%	Escarpada	Peligro de movimiento en masa.
65% - más	Muy escarpada a acantilada	Desprendimientos y derrumbes

Fuente: Adaptación propia en base a Araya – Borgel (1972); Andrade – Castro (1981) y Mesina (2003)

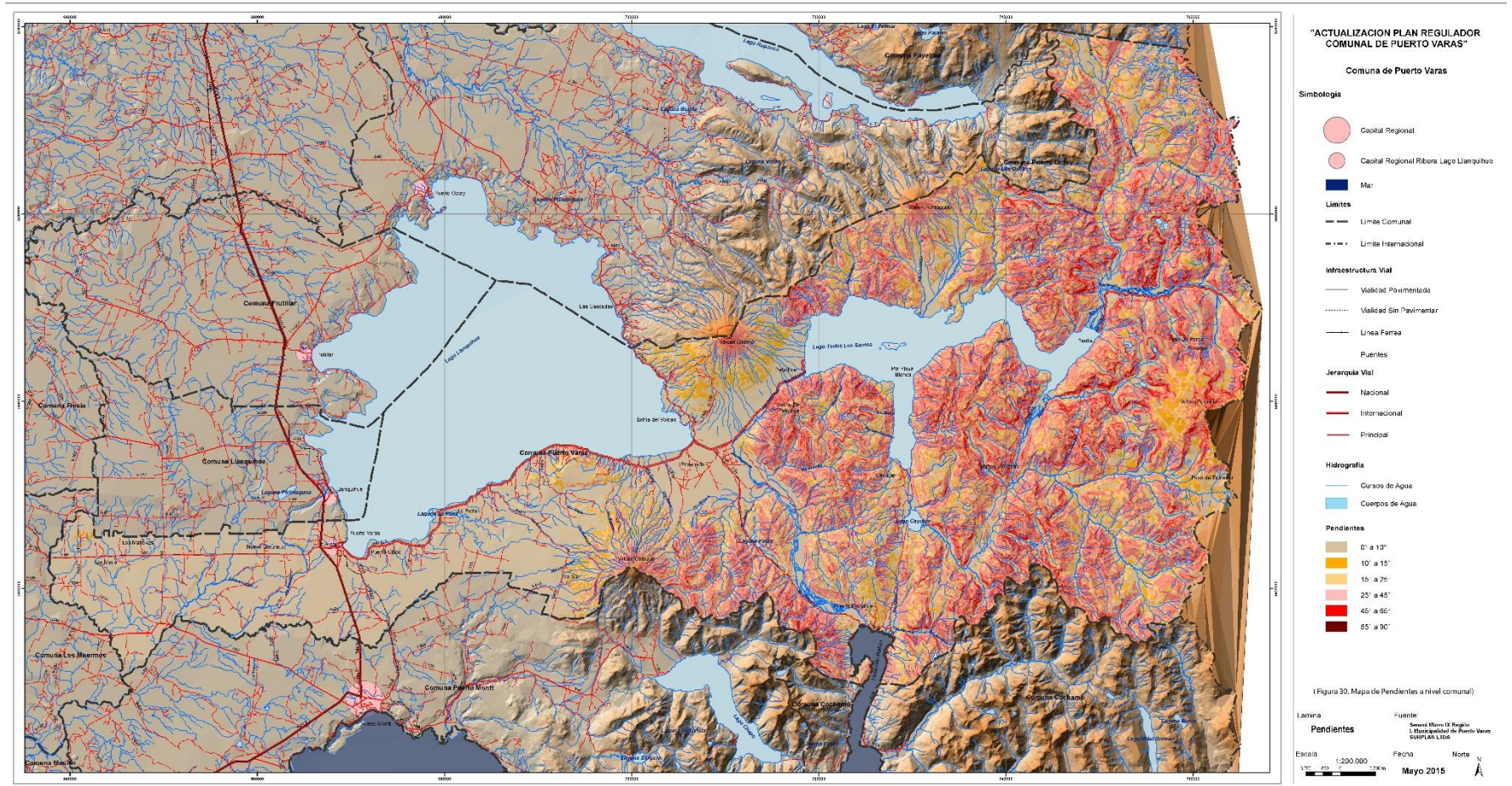
Sin embargo, el riesgo de remoción en masa disminuye al existir una alta cobertura vegetal, que se encuentra a resguardo dentro de los límites de las áreas silvestres protegidas que posee la comuna.

Por tanto, las áreas más susceptibles a remoción en masa corresponden a aquellos sectores de altas pendientes donde no existe cobertura vegetal. Tal situación se presenta con mayor grado de importancia en los faldeos de los volcanes Osorno y Calbuco.

La siguiente figura, muestra las pendientes a nivel comunal.

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

Figura 30. Mapa de Pendientes a nivel comunal



Fuente: Elaboración Propia (Ver lámina en Anexo)

Tal como se señaló con anterioridad, la ciudad de Puerto Varas se desarrolla sobre dos terrazas lacustres, cuya diferencia de nivel varia entorno a los 20 metros (ver figura 26).

En tanto, la terraza superior se caracteriza por Rocas Q1g1, del tipo sedimentarias del Pleistoceno-Holoceno: Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacialacustre, diamictos de bloques y matriz de limo/arcilla, gravas, arenas y limos. Lóbulos morrénicos en el frente de los lagos proglaciales abanicos fluvioglaciales frontales ovares en las riberas de lagos o cursos fluviales, asociados a las principales glaciaciones del pleistoceno donde son indiferenciados o relativos a las glaciaciones Llanquihue.

A fin de graficar la situación del territorio en relación a las pendientes (principal variable en los procesos de remoción en masa), se ha elaborado la siguiente figura para la localidad y cuya segmentación corresponde al cuadro 11 .



Figura 32. Mapa de Pendientes – Puerto Varas



Fuente: Elaboración Propia (Ver lámina en Anexo)

En la figura anterior se observa que la ciudad se emplaza mayoritariamente sobre terrenos que no superan el 10% de pendientes, es decir en terrenos de muy plano a plano, y donde los procesos de erosión son casi nulos.

Algunos sectores de pendientes mayores se encuentran confinados al escarpe ilustrado en la figura 26 y a las principales quebradas existentes en la ciudad, las cuales cuentan con una profusa masa vegetal, que actúa como agente sostenedor del suelo.

A partir de la figura anterior, se puede señalar que la ciudad de Puerto Varas no presenta susceptibilidad de riesgo de remoción en masa, a excepción de las áreas de escarpe, las cuales pueden presentar desprendimientos, **por tanto, toda la zona de escarpe queda confinada como un área de susceptibilidad de remoción en masa por desprendimiento.** Ver Figura 33.

Figura 33. Mapa de Susceptibilidad de remoción en masa – Puerto Varas



Fuente: Elaboración Propia (Ver lámina en Anexo)

VI Conclusiones y Recomendaciones

El cuadro siguiente, muestra un resumen de los riesgos identificados y zonificados en la localidad bajo análisis, de acuerdo a lo establecido en 2.1.17 de la OGUC. Posteriormente, se realiza una pequeña indicación referida a las características de los riesgos encontrados.

Cuadro 12. Resumen de riesgos identificados y zonificados por localidad

Localidad	Riesgo identificado y zonificado			
	Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica	Zonas inundables o potencialmente inundables		Zonas propensas a avalanchas
		Desborde de cauce	Anegamiento	Remoción en masa
Puerto Varas		x	x	x

Fuente: Elaboración propia a partir de análisis realizado.

Ciudad de Puerto Varas

- **Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica**, constituye un área que eventualmente podría verse afectada por algún evento eruptivo, sea del volcán Calbuco u Osorno, principalmente por la caída de cenizas finas, dependiendo de la dirección del viento. Situación que también podría ser originada en otro volcán, tal como ocurrió con la erupción del volcán Chaitén, cuyas cenizas alcanzaron la ciudad y otras áreas ubicadas al norte de esta ciudad.

En concreto, la ciudad se encuentra fuera de las zonas de peligro de ser afectadas por actividad volcánica o ríos de lava. Ello se avala en los mapas de peligros volcánicos elaborados por SERNAGEOMIN para los volcanes Calbuco y Osorno.

- **Zonas inundables o potencialmente inundables**, estos están asociados a los principales cursos existentes en el área y los cuales fueron descritos en detalle en la memoria explicativa. Su gran particularidad, está referida a su régimen exclusivamente pluvial, pues nacen en las partes altas de la ciudad, en la cima de los depósitos morrénicos, por tanto, no reciben aportes y/o caudales provenientes de otros cursos mayores, restringiendo así la posibilidad de deshielos y arrastre de material, por ejemplo. Además, son de tránsito corto, no recorren más de 3 kilómetros, desde su nacimiento hasta desembocar en el lago Llanquihue.

Esta situación característica, junto a la profundidad de las quebradas, conforma un sistema de drenaje estable, con escasas posibilidades transportar grandes caudales. Por tanto, las situaciones de desborde de los cauces están asociadas a las áreas de inundación en las inmediaciones de los márgenes del mismo y particularmente en aquellos sectores donde la pendiente del terreno es menor al 5%.

- **Zonas propensas a avalanchas**, la susceptibilidad de este riesgo se concentra mayoritariamente en zonas de altas pendientes, particularmente asociado a las disectadas quebradas existentes en la ciudad y señaladas con anterioridad. Asimismo, es posible que ciertos sectores del eskarpe que separa la terraza superior de la inferior, se puedan producir algunos desprendimientos de terreno.

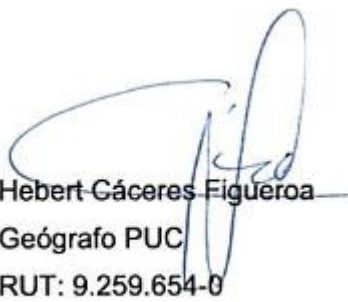
Recomendaciones para el riesgo identificado en la localidad de Puerto Varas

Cuadro 13. Síntesis y recomendaciones

Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica	Zonas inundables o potencialmente inundables		Zonas propensas a avalanchas
	Desborde de cauce	Anegamiento	Remoción en masa
No presenta riesgo.	Los sectores con susceptibilidad de inundación asociados a quebradas que llegan hasta el Lago Llanquihue, se puedan habilitar para la conformación de una red de senderos y áreas verdes que presten servicios recreativos a la comunidad local y visitantes. Junto a ello, se recomienda en aquellas zonas donde estos cauces principales ya se internan en el tejido urbano realizar un control permanente del escurrimiento de las aguas. Además de elaborar un plan maestro de aguas lluvias para la ciudad.	En estas áreas se recomienda la creación de un parque o área verde.	Restringir usos urbanos que demanden construcciones permanentes e impliquen alojamientos, ya que estas zonas constituyen parte de los valores ambientales que posee la ciudad.
Esta localidad no presenta restricciones desde el punto de vista de riesgos para usos urbanos.			

PLAN REGULADOR COMUNAL DE PUERTO VARAS

Recomendaciones Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica	Recomendaciones Zonas inundables o potencialmente inundables		Recomendaciones Zonas propensas a avalanchas (Remoción en masa)
	Desborde de cauce	Anegamiento	
Diseñar un plan de emergencias y evacuación ante un evento de actividad volcánica. Aumentar la oferta vial al interior de la localidad, así como también mejorar su diseño para procesos de evacuación. Controlar la subdivisión predial, por ejemplo 2.500 o 5.000 mt², conforme a lo expresado en el 2.1.20 de la OGUC. Los equipamientos de comercio asociados a la actividad turística, deberán contar con estacionamientos suficientes como para sus usuarios. No permitir, la instalación de actividades productivas de carácter molesto y peligroso en la localidad.	Ocupar las áreas de desborde de cauce, principalmente de aquellos que llegan en superficie al lago Llanquihue con senderos de paseo entre la ruta CH 225 y el lago.	En estas áreas la creación de parques o áreas verdes temáticas, asociadas a la vegetación existente y actividad volcánica, permitiría poner en valor las condiciones ambientales existentes en la zona.	No extender el área urbana hacia los sectores en dirección al volcán Calbuco. A objeto de evitar, la desforestación de las laderas, ya que dicho proceso entregaría condiciones para el desencadenamiento de procesos erosivos y la consecuente posibilidad de que ocurran procesos de remoción.


 Hebert Gáceres Figueroa
 Geógrafo PUC
 RUT: 9.259.654-0
 Autor del Estudio