

nes es tóxico, puede ser adsorbido por partículas de ceniza volcánica y caer posteriormente sobre el suelo: este flúor sobre partículas puede envenenar el ganado que se alimenta de pastos cubiertos de ceniza y también puede contaminar los suministros de agua potable.

- **Flujos y domos de lava:** la roca fundida (magma) que emerge y se derrama sobre la superficie de la tierra en una erupción se llama lava, y forma flujos de mayor o menor fluidez. Aquellos flujos más altos en sílice presentan mayor densidad y lentitud, y terminan formando montículos irregulares llamados domos de lava.
- **Flujos piroclásticos:** Las avalanchas de ceniza caliente, fragmentos de roca y gas pueden descender a alta velocidad por los flancos de un volcán durante las erupciones explosivas o ante el colapso de un domo. Estos flujos pueden alcanzar temperaturas de 900 °C y moverse a velocidades de 160 a 240 km/h, siguiendo el curso de la orografía y derribando y quemando todo en su camino.
- **Deslizamientos o derrumbes volcánicos:** son movimientos rápidos, pendiente abajo, de material rocoso, nieve y/o hielo, producidos como consecuencia de las erupciones, lluvias intensas o movimientos sísmicos de gran magnitud (terremotos). Los deslizamientos o avalanchas de escombros varían en tamaño, siendo propensos en volcanes con pendientes inclinadas.
- **Flujos Laháricos:** son flujos de lodo y/o escombros compuestos principalmente de materiales de los flancos de un volcán, que pueden descender torrencialmente por los valles, barrancos, quebradas y corrientes de agua recorriendo grandes distancias a velocidades de 32 a 65 km/h. Algunos lahares contienen una cantidad tan elevada de detritos, que parecen ríos rápidos de hormigón, inundando lejos de su fuente todo a su paso.

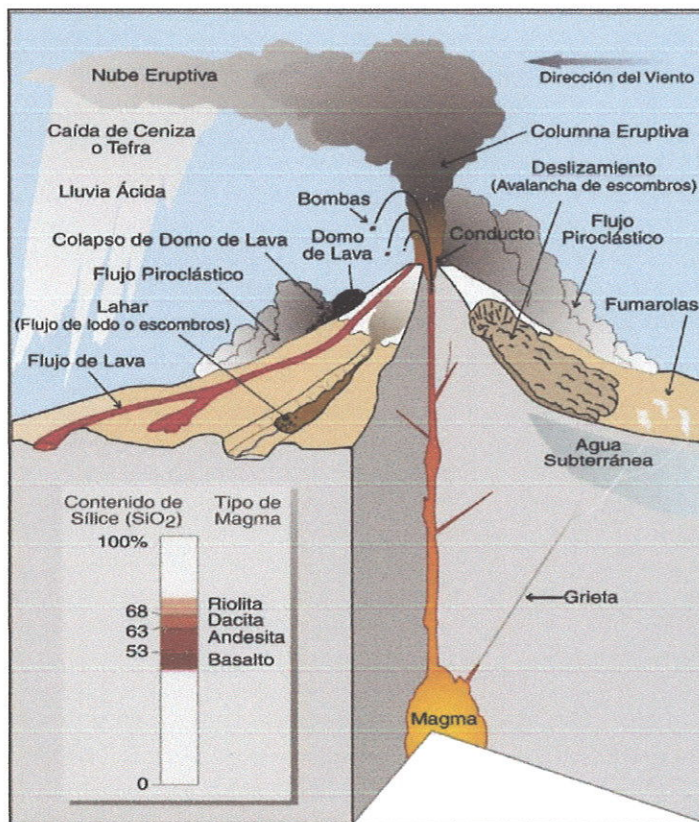


Imagen: Amenazas o Peligros Volcánicos. Fuente: USGS (2000).

En consecuencia, y a tenor de los antecedentes expuestos, se presenta a continuación el mapa preliminar de peligros volcánicos, y la síntesis de Amenazas naturales de origen volcánico que afectan al Área de Estudio:

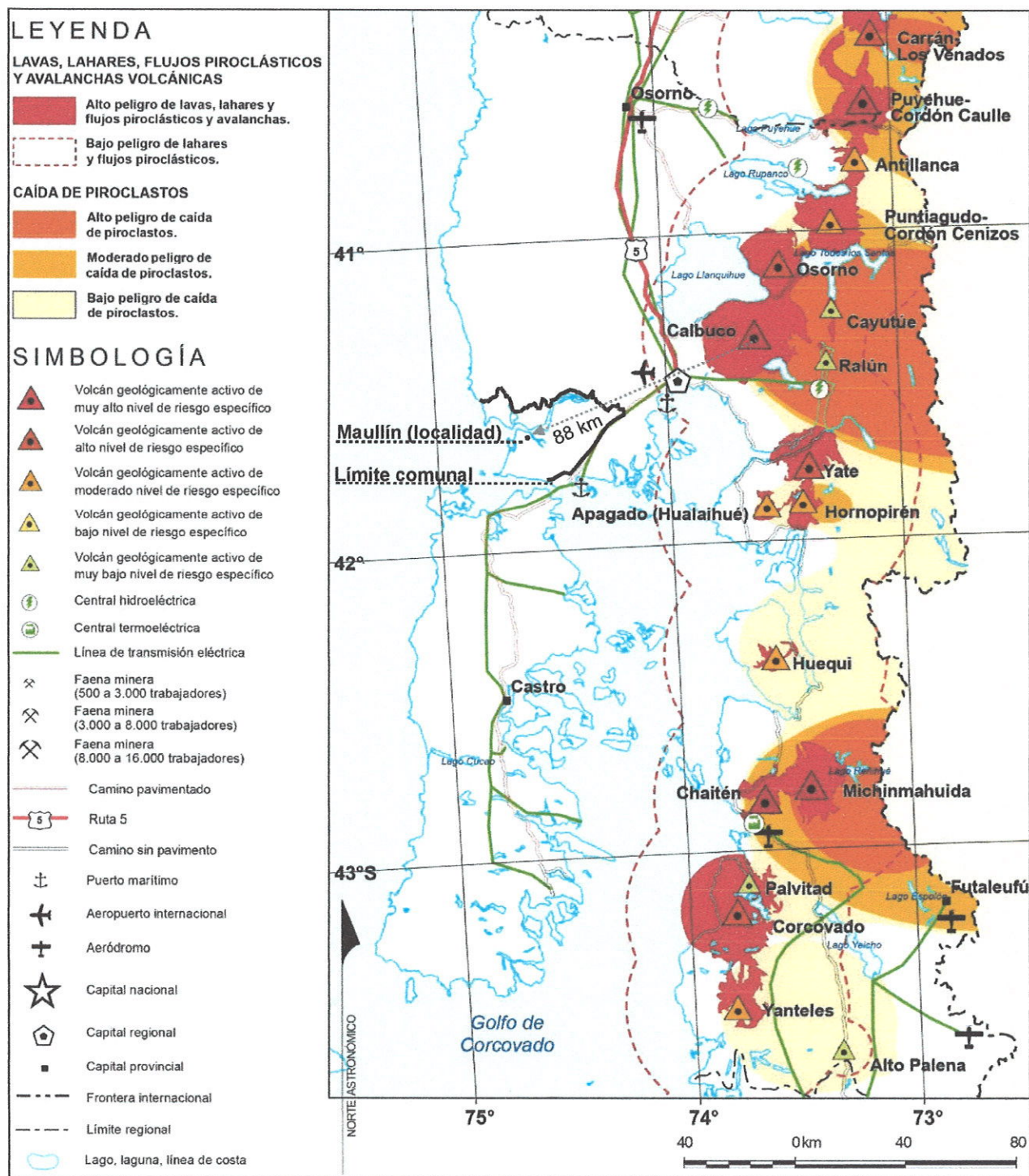


Imagen: Región de Los Lagos, Mapa de Peligros Volcánicos. Fuente: Carta Geológica Ambiental de Chile⁴².

⁴² SERNAGEOMIN, (2011).

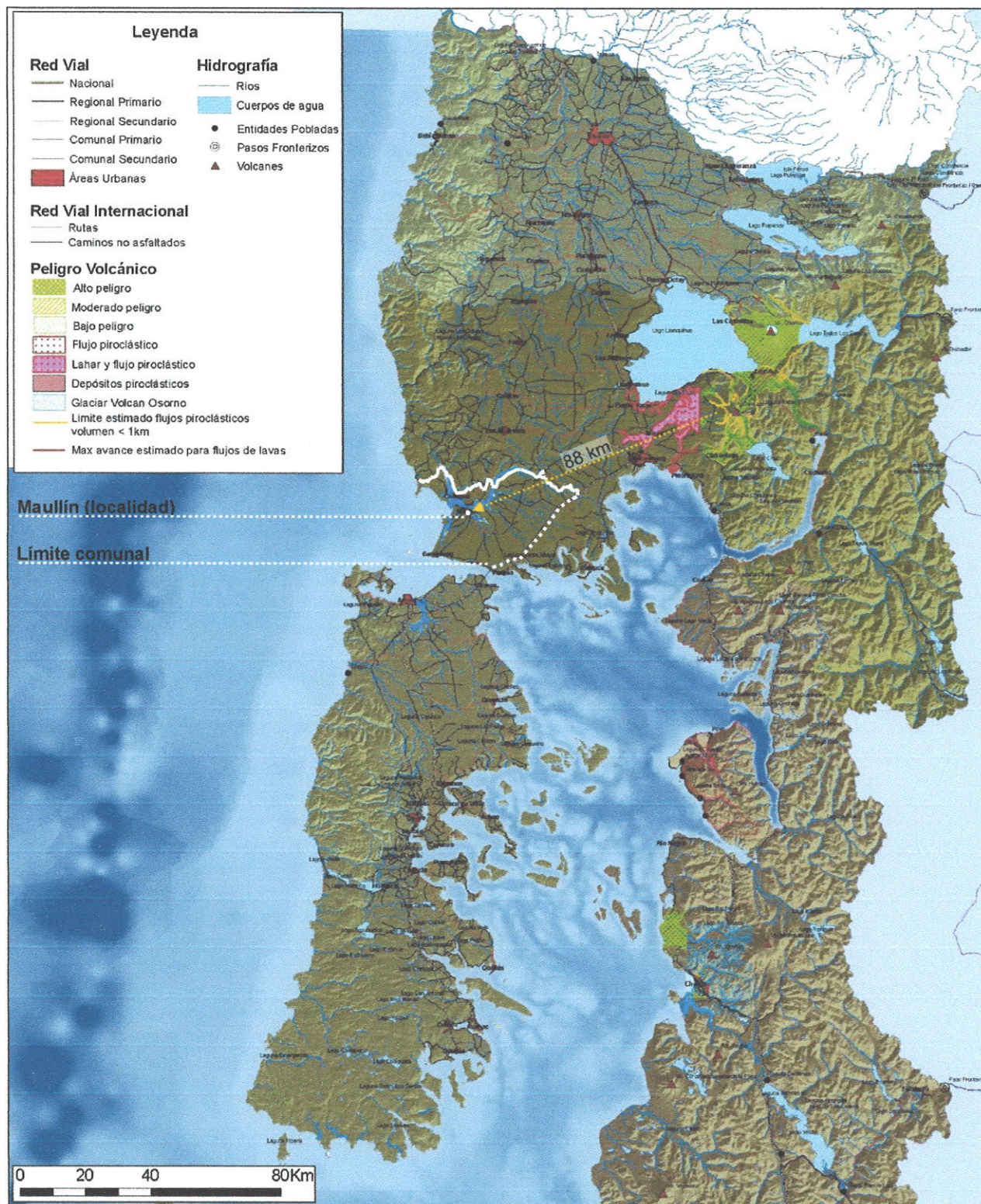


Imagen: Amenazas naturales origen volcánico próximas al Área de Estudio. Fuente: PROT Los Lagos⁴³.

⁴³ GORE DE LOS LAGOS, (2013).

3.6.1.2.1. Recurrencia Histórica.

De los 6 mencionados con actividad registrada, merecen especial atención dada su proximidad al Área de Estudio, los volcanes Calbuco, Yate, Chaitén, y un grupo volcánico que aun encontrándose administrativamente en la Reg. de Los Ríos, su actividad afecta también a la Reg. De Los Lagos (Puyehue-Cordón del Caulle). Sus principales características son:

- **Calbuco⁴⁴:** se emplaza al oeste de la traza principal de la Falla Liquiñe-Ofqui, sin estar claramente controlado por estructuras regionales. Debido a su composición andesítica predominante, las erupciones históricas revelan un comportamiento eruptivo violento (principalmente subpliniano), caracterizado por eyección de piroclastos de caída y de flujo, además de lavas, domos, espinas, oleadas por explosión lateral y lahares. Los principales peligros asociados al volcán son caída de piroclastos balísticos y de dispersión eólica (principalmente hacia el sector oriental), lavas (probablemente de longitud menor a 9 km), flujos piroclásticos de diversa magnitud, incluyendo aquellos generados por colapso o explosión lateral del domo, y lahares fríos y calientes.
Los flujos piroclásticos históricos han afectado principalmente a su sector noreste y en menor medida hacia el lago Chapo. Las áreas más proclives de ser afectadas por lahares son el abanico de Ensenada (N), el abanico del lago Chapo (SE) y el abanico de Correntoso (S). En su estado actual, el volcán Calbuco se encuentra con un comportamiento estable.
- **Yate⁴⁵:** pertenece a un segmento volcánico fuertemente controlado por la acción de la Falla Liquiñe-Ofqui. Sus productos corresponden a lavas, domos y depósitos de flujos piroclásticos, variando composicionalmente desde andesita a dacita. Este volcán no registra actividad eruptiva histórica. Sin embargo, existen registros históricos de una serie de eventos catastróficos, como avalanchas de detritos, aludes y crecidas de ríos en los siglos XIX y XX.
- **Chaitén⁴⁶:** está formado por una secuencia preglacial de lavas y brechas que forman una estructura caldérica en cuyo interior se había edificado un domo holoceno. La actividad eruptiva en los últimos 10 mil años, en cambio, incluye importantes eventos explosivos comparables o incluso superiores en magnitud a la última erupción del año 2008. En estos ciclos eruptivos se evacuó también magma riolítico, inusual en este sector de los Andes del Sur y profundamente contrastante con los productos generados por su vecino el volcán Michinmahuida.
- **Puyehue – Cordón Caulle:** entre los volcanes principales que forman este complejo, cuya arquitectura es la de un alineamiento de rumbo NW-SE, se encuentra la caldera Cordillera Nevada, el estratovolcán Puyehue y el volcán fisural Cordón Caulle.
Este complejo es el campo volcánico más voluminoso al sur de la región del Maule y alberga el segundo mayor campo geotérmico de los Andes del Sur. En conjunto, los productos volcánicos generados por este complejo cubren un amplio rango composicional desde basaltos a riolitas. Las erupciones más recientes, tanto del volcán Puyehue como del Cordón Caulle, cubren un rango más estrecho dominando riodacitas y riolitas.
En los últimos 100 años han ocurrido 3 erupciones importantes: 1921-22; 1960 y 2011-12; todas ellas en el Cordón Caulle. Destaca la ocurrida en 1960, iniciada a menos de 2 días del gran terremoto de Valdivia. En cada una de estas erupciones recientes se evacuó magma riodacítico con volumen cercano a 1 km³.

⁴⁴ SERNAGEOMIN (2015).

⁴⁵ SERNAGEOMIN (2015).

⁴⁶ SERNAGEOMIN (2015).

Los eventos principales de estos volcanes y que se cuenta con registro histórico, son los que se detallan en la siguiente tabla:

De esta manera, el 20% de la Reg. de Los Lagos presenta peligro volcánico, dada su proximidad a algún volcán activo⁴⁷: siendo el volcán Calbuco el más activo y próximo

(88 km) al Área de Estudio (localidad de Mauñín), según indica el Mapa de Peligros Volcánicos de la página n°32, la localidad se encuentra fuera del área de bajo peligro de lahares y flujos piroclásticos, quedando su peligro volcánico sujeto a las nubes eruptivas que dependen de la dirección del viento.

NOMBRE VOLCÁN	AÑO ERUPCIÓN
Huequi y Calbuco	1893
Yate	1896
Puyehue	1921 y 1922
Puntiagudo	1930
Puyehue	1960
Puyehue	2011

Tabla: Registro Histórico erupciones volcánicas. Fuente: Memoria Chilena, 2016.

3.6.2. Fenómenos Exógenos.

Los fenómenos exógenos ocurren en el exterior de la Tierra, sobre la superficie terrestre, y en su desarrollo la atmosfera puede operar como agente detonante o cuanto menos condicionante. Sus grandes manifestaciones son las inundaciones y los movimientos en masa.

3.6.2.1. Inundación.

Una inundación corresponde a aquel proceso en el que un rápido ascenso del nivel del agua termina generando el cubrimiento inusual de superficies de terreno normalmente no sumergidas.

Su denominación específica se establece según los siguientes criterios⁴⁸:

- Según lugar geográfico donde se produce: **terrestre**, interiores o de tierra adentro (inland) vs **litoral o costera** (objeto de otro artículo en este mismo monográfico); urbanas vs rurales.
- Según causa general que la detona: **natural** vs **antrópica**; **inducida**, **agravada**, **acelerada**...
- Según tipo de agua que la produce: **marina** vs **agua dulce**.
- Según origen/tipología de las precipitaciones⁴⁹: **frontal**, **convectiva** (trombas), **orográfica**...
- Según época o estación del año en que se produce: **estival**, **otoñal**, **invernal**, **monzónica**...
- Según relación o no con la red de drenaje: **riada** o **arriadas** (se asocian a ríos, arroyos y torrentes) vs **arreica** (sin vinculación con redes fluviales); **fluvial** (asociadas a ríos), **torrencial** o **torrentes** (asociadas a torrenteras y barrancos) y **ramblazo** (en ramblas y riveras).

Asimismo, pueden originarse por diversos factores, tales como lluvias intensas durante épocas concretas o temporales, por colapso o desbordamiento de represas y canales, por marejadas en zonas costeras, por afloramiento de aguas subterráneas en zonas pantanosas, o por efecto de movimientos sísmicos submarinos de gran magnitud (maremotos o tsunamis).

⁴⁷ MORENO, (2011).

⁴⁸ DIEZ, et al (2008).

⁴⁹ CAMARASA, (2002).

En el Área de Estudio, y dados los antecedentes presentados, las causas más habituales de inundación son dos: (1) los movimientos sísmicos submarinos que dan origen a la conformación de tsunamis o maremotos y por tanto a procesos de inundación litoral, y (2) los sistemas frontales sucesivos e intensos, que afectan principalmente a la zona centro-sur del territorio con períodos lluviosos entre seis y ocho meses al año, por cuanto desencadenan un conjunto de procesos asociados tales como desbordes de cauces y sus consecuentes inundaciones, anegamientos especialmente en zonas de bajas pendientes y deslizamientos, aluviones y avalanchas de nieve en la zona cordillerana⁵⁰.

3.6.2.1.1. Inundación litoral por maremoto o tsunami.

Un maremoto o tsunami corresponde a una serie de olas largas generadas en el océano que se propagan a gran velocidad en todas las direcciones desde su punto de origen, por un disturbio sísmico submarino (terremoto, erupción volcánica, caída de meteoritos, etc.) que impulsa y desplaza verticalmente la columna de agua. Estas olas al aproximarse a la costa (litoral costero), sufren alteraciones y deformaciones en su velocidad y altura, alcanzando grandes proporciones, por lo que descargan su energía con un gran poder destructor.⁵¹

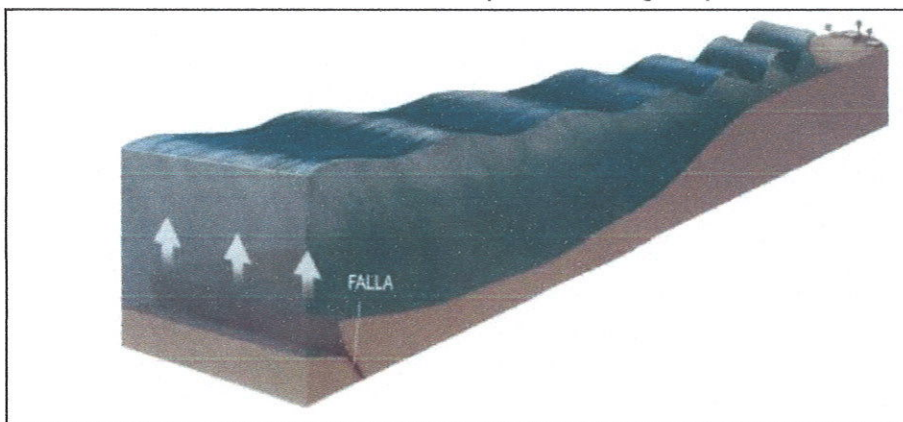


Imagen: Generación/Propagación de las Ondas de Tsunami por actividad tectónica.

Los maremotos o tsunamis se clasifican, en el lugar de arribo a la costa, según la distancia (o el tiempo de viaje) desde su lugar de origen, en⁵³:

- **Tsunamis locales:** cuando el lugar de arribo en la costa está cercano o dentro de la zona de generación del tsunami, o a menos de una hora de tiempo de viaje desde su origen.

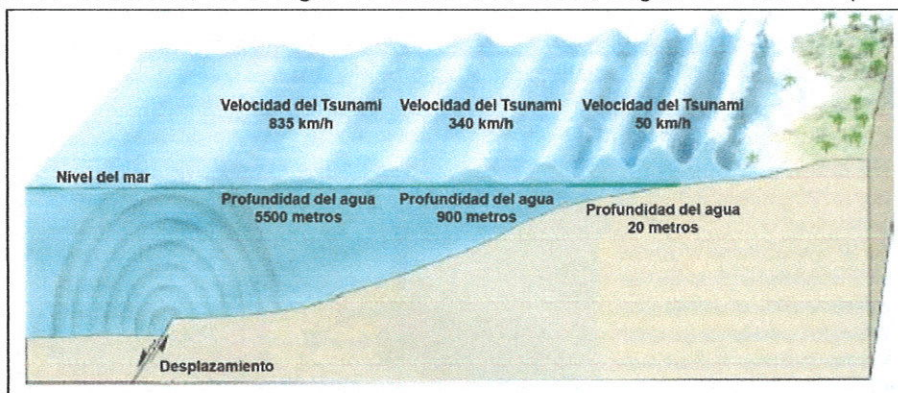


Imagen: Características físicas de las ondas de Tsunami. Fuente: SHOA (2016)⁵².

⁵⁰ UNESCO, (2010).

⁵¹ ONEMI, (2016).

⁵² SNAM CHILE, (2016).

⁵³ SNAM CHILE, (2016).

- **Tsunamis regionales:** cuando el lugar de arribo en la costa está a no más de 1000 km. de la zona de generación o a pocas horas de tiempo de viaje desde la zona de origen.
- **Tsunamis lejanos:** cuando el lugar de arribo está en costas extremo-opuestas a través del Océano Pacífico, a más de 1.000 km. de distancia de la zona de generación y a aproximadamente medio día o más de tiempo de viaje del tsunami, desde esa zona.

En la zonificación de procesos de inundación litoral por maremoto en el Área de Estudio, cabe considerar insumos de información:

- Zonificación Regional de Amenaza natural por Tsunami⁵⁴
- Carta de Inundación por Tsunami para Maullín⁵⁵
- "Definición de Área de Peligro de Tsunami diferenciado en Maullín, X Región, Chile"⁵⁶

De esta manera, en la zonificación regional Maullín y Ancud aparecen destacadas como muestra la siguiente imagen:

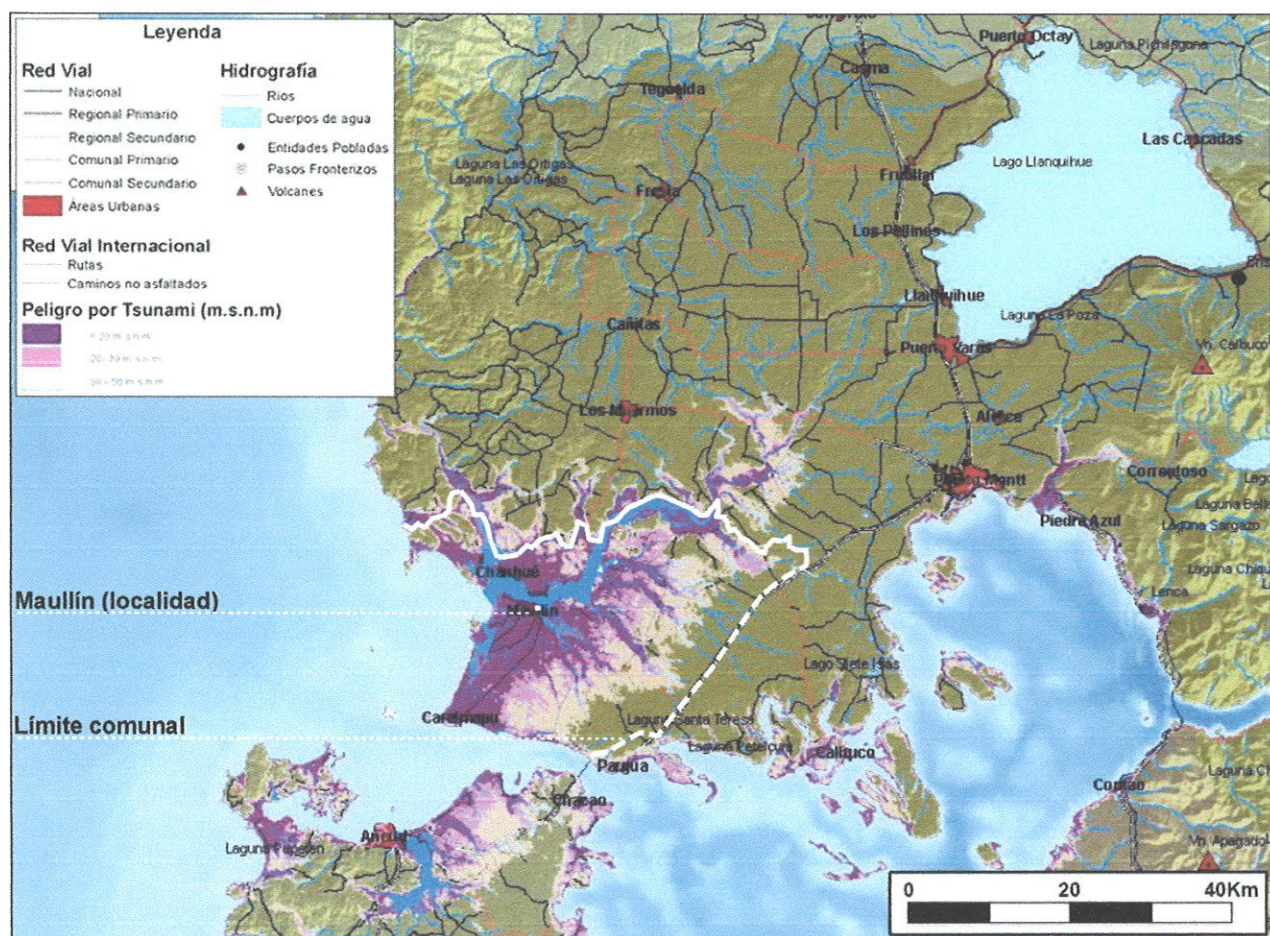


Imagen: Amenazas naturales, origen Tsunami, próximas al Área de Estudio. **Fuente:** PROT Los Lagos⁵⁷.

⁵⁴ GORE DE LOS LAGOS, (2013).

⁵⁵ SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA (SHOA) DE CHILE, (2006).

⁵⁶ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

⁵⁷ GORE DE LOS LAGOS, (2013).

Asimismo, la Carta de Inundación por Tsunami⁵⁸, formulada en base al tsunami de 1837, plantea como cota de inundación +8.0m, zonificada de la siguiente manera:

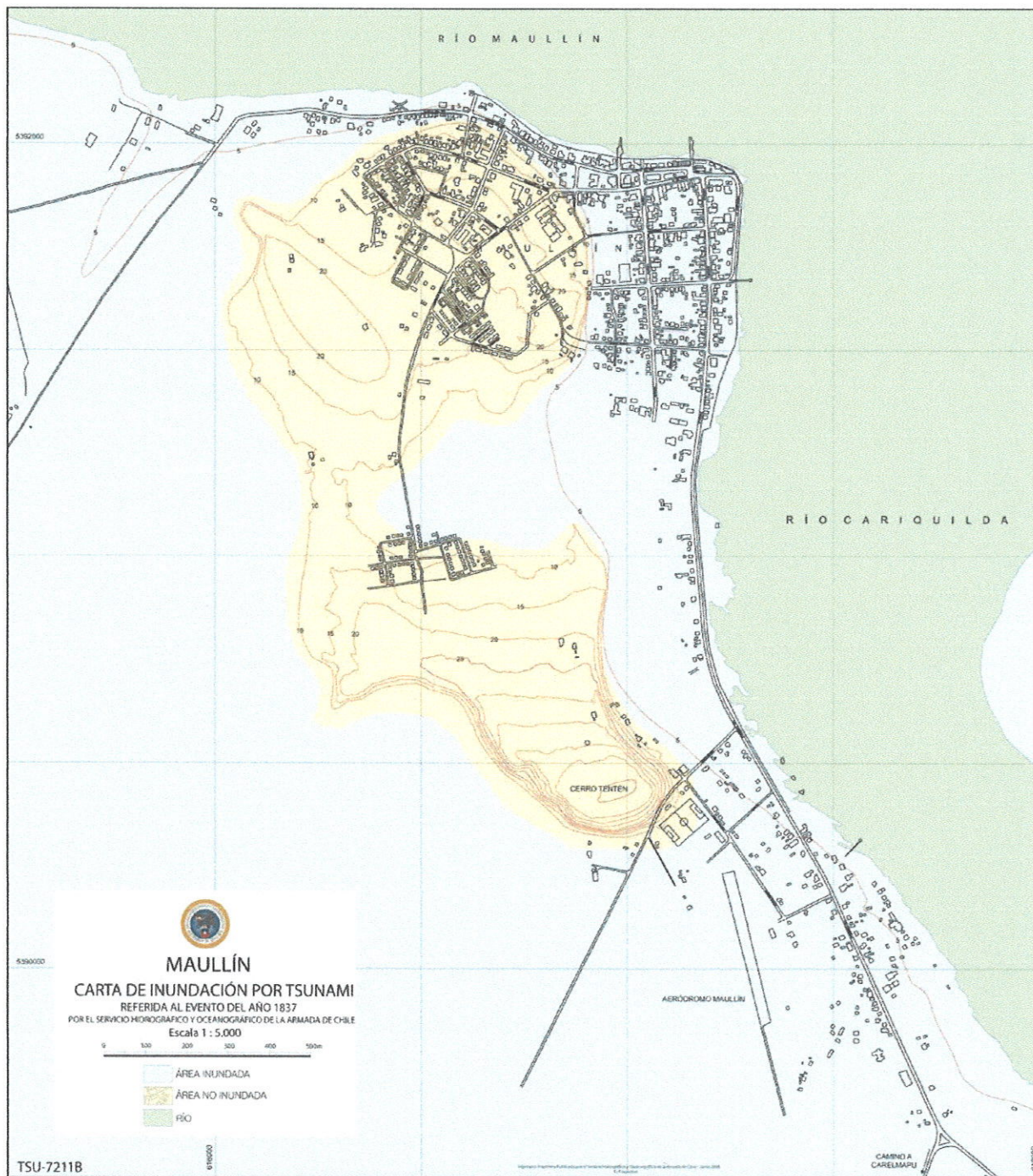


Imagen: Maullín, Carta de Inundación por Tsunami. Fuente: SHOA de Chile (2006).

Y en tercer lugar cabe destacar el estudio “Definición de Área de Peligro de Tsunami diferenciado en Maullín, X Región, Chile”, encargado en 2013 por la I. Municipalidad de Maullín, al geógrafo Marcelo Lagos. A continuación se recoge los principales resultados de dicho estudio:

⁵⁸ SERVICIO HIDROGRÁFICO Y OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA (SHOA) DE CHILE, (2006).

➤ Terremotos generadores de tsunami en el centro-sur de Chile:

"El centro-sur de Chile registra en su historia escrita un pasado de terremotos. Los eventos de 1575, 1737, 1837 y 1960 lo confirman⁵⁹. Su recurrencia promedio se estimaba en 128 años⁶⁰... Sin embargo, el terremoto gigante de 1960 alcanzó una magnitud de 9.5, lo que llamó la atención de los especialistas, debido a que la velocidad de las placas y el tiempo transcurrido desde el terremoto anterior (1837), no calzaban con el deslizamiento observado y por tanto la magnitud registrada por el gigante.... Este enigma se mantuvo por décadas y fue resuelto por Cisternas et al. (2005), quienes utilizando evidencias históricas y geológicas de los últimos dos mil años, plantean que el real antecesor del terremoto de 1960 fue el evento de 1575. Proponiendo que el periodo de recurrencia de terremotos gigantes es de al menos 285 años".

"De este modo, en el centro-sur de Chile, existirían dos escenarios capaces de generar tsunamis, terremotos grandes, como los eventos de 1737 Y 1837, con tiempos de recurrencia superiores a los cien años, y terremotos gigantes como el de 1960, con tiempos de recurrencia cercanos a los 300 años. Si nos concentramos en los tiempos de recurrencia hoy, un terremoto como el de 1837 debería ser el escenario más probable a repetirse en la región; sin embargo, el tsunami que generó este evento fue mucho menor en comparación con el producido en 1960⁶¹".

➤ Antecedentes del tsunami de 1960 y 1837 en Maullín:

"Maullín fue uno de los principales asentamientos costeros afectados por el tsunami de 1960. Las máximas olas observadas alcanzaron en la costa alturas cercanas a los 10 metros... Las pérdidas materiales [y de vidas humanas] fueron cuantiosas".

"Maullín se localiza en la mitad de la zona de ruptura generada por el terremoto gigante de 1960, por lo que el tsunami afectó con gran poder sus costas".

"Antecedentes precisos sobre las áreas inundadas en Maullín son escasos".

➤ Modelación de tsunamis:

"Considerando que en Maullín, existirían dos escenarios capaces de generar tsunamis, se seleccionó un evento probable que sería un tsunami que podría manifestarse en el corto o mediano plazo de acuerdo a probabilidad de recurrencia [similar al tsunami de 1837], y un peor escenario, que sería un tsunami de gran impacto [similar al tsunami de 1960]".

➤ Selección del escenario de peligro de tsunami para Maullín:

"Se definió y validó el peligro de tsunami en Maullín como un escenario compuesto. Es decir, se combina la inundación del tsunami de 1837 y la del gran tsunami de 1960. Ambos representan un evento probable y un peor escenario. Los sectores costeros inundados por ambos escenarios, se consideran de mayor peligrosidad. Sin embargo, para el estudio de peligrosidad por tsunami, el evento de 1960 es el escenario rector".

"Para la modelación definitiva del tsunami de 1960, de los once modelos de falla evaluados, se seleccionó el modelo fuente propuesto por Barrientos & Ward (1990), esto debido a que fue: I. el que presentó el mejor ajuste con los datos observados de altura de ola identificadas por Sievers et al. (1963); II. similitud con la deformación de terreno de la condición inicial del tsunami descrita por Plafker & Savage (1970); III. similitud con el límite de inundación en Maullín des-

⁵⁹ LOMNITZ, (1970); LOCKRIDGE, (1985).

⁶⁰ NISHENKO, (1985).

⁶¹ LOCKRIDGE, (1985).

crito por Atwaler el al. (1999); y IV. la inundación máxima modelada en Mauullín, cubre la localización de los depósitos de tsunami de 1960, utilizados como indicadores de validación”.

“La Figura... muestra la reconstrucción de escenarios de peligro de tsunami para el curso inferior del estuario del Río Mauullín... Un tsunami como el de 1837 concentrará su impacto en la costa expuesta a la Bahía de Mauullín, inundando principalmente el sector habitado de San Pedro Nolasco y las costas de Pangal. En tanto, el sector de Quenuir bajo, si bien es inundado completamente, su población es muy escasa... A diferencia, un tsunami como el ocurrido en 1960, afectará a la mayoría de los asentamientos costeros del curso inferior del estuario, concentrando sus mayores amplitudes de ola en las costas expuestas al Océano Pacífico. Para ambos escenarios. El principal asentamiento urbano del estuario, -el pueblo de Mauullín-, no es afectado de forma importante”.

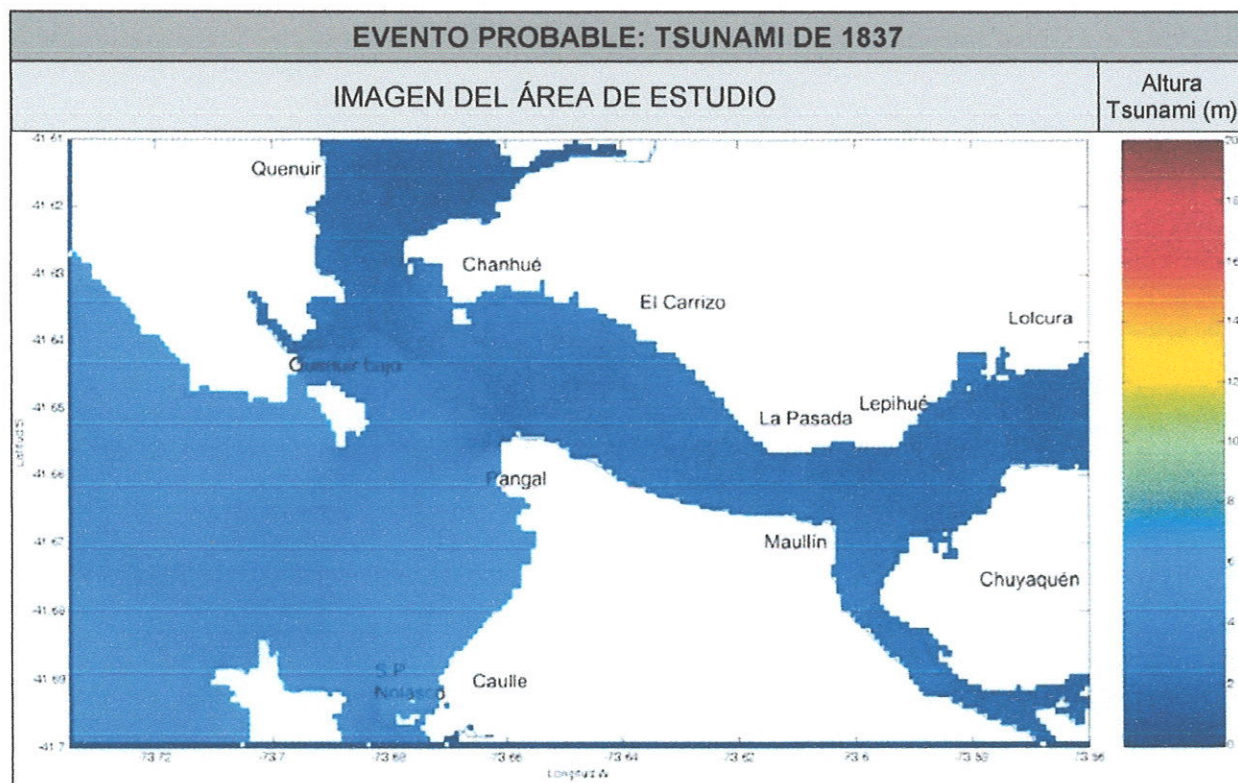


Imagen: Escenarios de Peligro de tsunami para Mauullín. Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS (2013) .

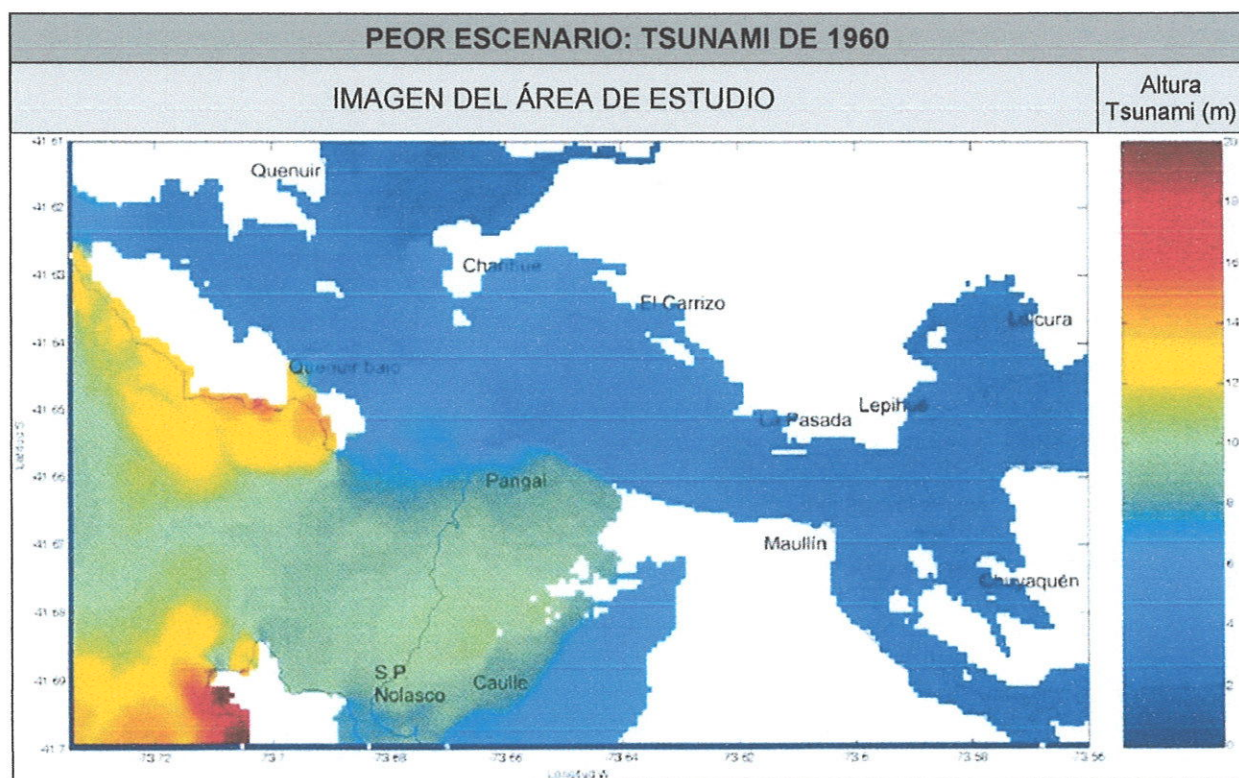


Imagen: Escenarios de Peligro de tsunami para Maullín. **Fuente:** I.M.MAULLÍN-LAGOS (2013)⁶².

➤ Determinación de parámetros hidrodinámicos de la inundación producida por tsunami:

“Mediante modelación numérica se determinaron parámetros hidrodinámicos de la inundación producida por un tsunami similar al de 1960 utilizando los parámetros fuente propuestos por Barrientos & Ward (1990). Después de cuatro horas de simulación se calculó la máxima profundidad de la inundación y la máxima velocidad de la corriente en superficie”.

➤ Profundidad de la inundación máxima por tsunami en Maullín:

“...las mayores profundidades de inundación se manifiestan en la costa y riberas de ríos, disminuyendo gradualmente su amplitud a medida que la inundación penetra hacia zonas interiores. En las costas de Pangal las profundidades de inundación alcanzan alturas cercanas a los 10m; en el sector habitado de San Pedro Nolasco entre 4 y 5 m; y en Caulle en promedio 4 m”.

“El nuevo poblado de Quenuir, creado después del tsunami de 1960, no se ve afectado por la inundación. En cambio, su antigua localización (Quenuir bajo). presenta profundidades de inundación cercanas a los 4 m. Las costas de Chanhue, El Carrizo y La Pasada, presentan alturas de inundación sobre los 5 m... El sector de Lepihué, es inundado con alturas de ola inferiores a los 2 m. En tanto, la localidad de Lolcura, no es afectada por la inundación”.

“Los sectores bajos de Chuyaquén son inundados en su gran mayoría, alcanzando profundidades de inundación en las zonas ribereñas cercanas a los 4 m, disminuyendo a 2 m promedio hacia el interior. En la ribera opuesta, el poblado de Maullín, presenta una máxima profundidad de inundación cercana a los 5 m, concentrados... en su ribera expuesta al Río Maullín”.

⁶² I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

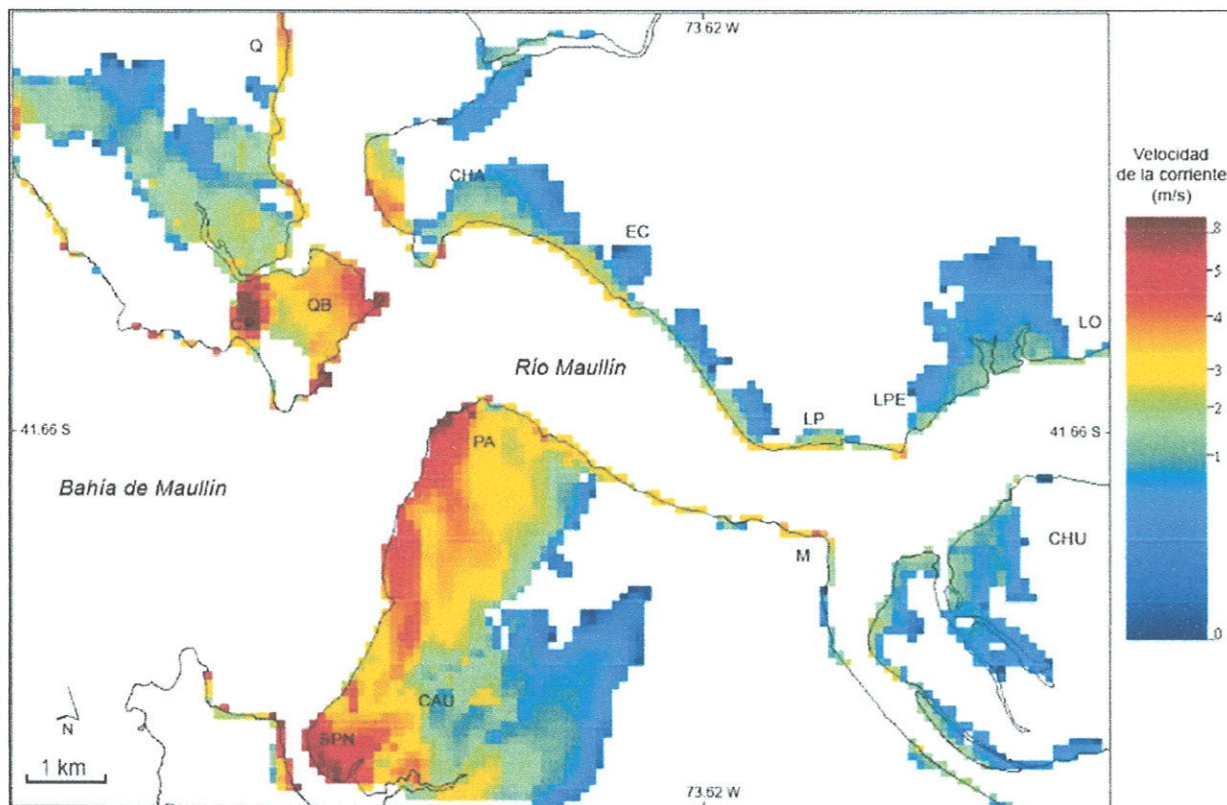


Imagen: Profundidad de la inundación máxima por tsunami en Maullín. **Fuente:** I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁶³.

➤ Velocidad de la corriente máxima por tsunami en Maullín:

“Respecto la velocidad de la corriente... Al igual que la profundidad de la inundación, las mayores velocidades se concentran en la costa y riberas de ríos, disminuyendo su velocidad a medida que la inundación penetra hacia zonas interiores. De los sectores habitados más expuestos, destacan las velocidades máximas concentradas en San Pedro Nolasco, que fluctúan entre 5 y 6 m/s; rango altamente destructivo de acuerdo a Koshimura & Yanagisawa (2007). La costa de Pangal, por su posición frente a la Bahía de Maullín, concentra el principal impacto de la inundación, lo que se traduce en velocidades superiores a 5 m/s. En Cauque las velocidades fluctúan entre 2 y 3 m/s; Quenuir bajo, presenta velocidades superiores a 3.5 m/s; Chahué, El Carrizo, La Pasada y Lepihué concentran en sus riberas al Río Maullín, velocidades superiores a 3 m/s. Lo mismo ocurre en las partes bajas de Chuyaquén. Las zonas inundadas en el pueblo de Maullín, presentan velocidades superiores a los 3.5 m/s”.

⁶³ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

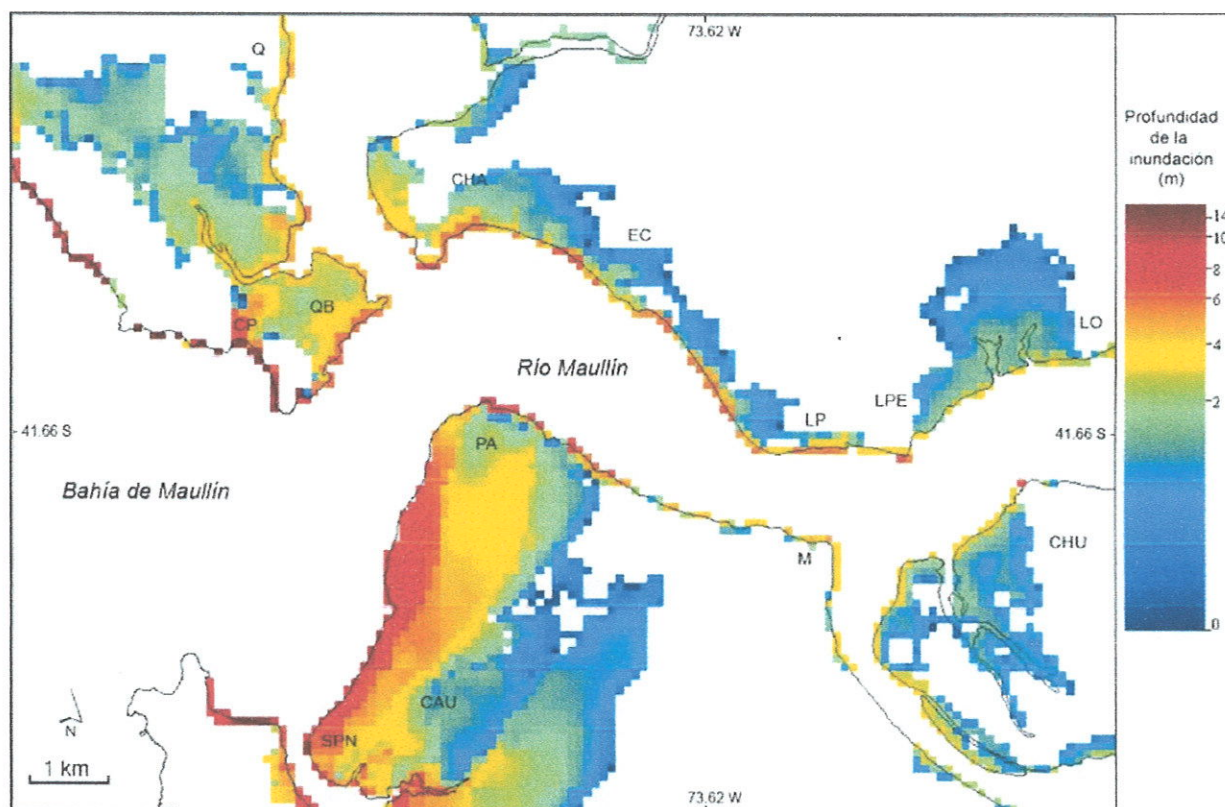


Imagen: Velocidad de la corriente máxima por tsunami en Mauullín. **Fuente:** I.M.MAULLÍN-LAGOS (2013) (2013)⁶⁴.

➤ Amenaza (o peligro) de tsunami diferenciado:

“La integración de las máximas profundidades de inundación y velocidades de la corriente, obtenidas mediante la modelación del tsunami de 1960, permitió espacializar la amenaza de un gran tsunami en el estuario del Río Mauullín”.

“En el estuario del Río Mauullín. los sectores más peligrosos o dónde la amenaza es muy alta, corresponden a San Pedro Nolasco (Amortajado), las costas de Pangal, Caleta Pichicuyen y Quenuir bajo. De estos sectores destaca San Pedro Nolasco (Amortajado), por ser el que concentra el mayor número de viviendas y una escuela de educación básica”.

“En la ribera norte del Río Mauullín. la amenaza es alta, principalmente en su borde costero, involucrando los sectores de Chanhué, El Carrizo y La Pasada. Se debe considerar, que en este sector es dónde se localiza y concentra el mayor porcentaje de población pobre”.

“El poblado de Quenuir presenta amenaza puntual muy alta, en el sector de acantilados frente al Río Quenuir, lugar actualmente no habitado. Lolcura, al igual que las partes altas de Chuyaquén y Mauullín no se encuentran directamente amenazados”.

“En tanto, las partes bajas de Lepihué, Chuyaquén y los sectores interiores de Chanhué, presentan amenaza media a baja. Por último, los sectores localizados en zonas de amenaza muy baja, son lugares donde es altamente probable que llegue la inundación, sin embargo, su profundidad y velocidad de la corriente, son incapaces de generar daños significativos”.

⁶⁴ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

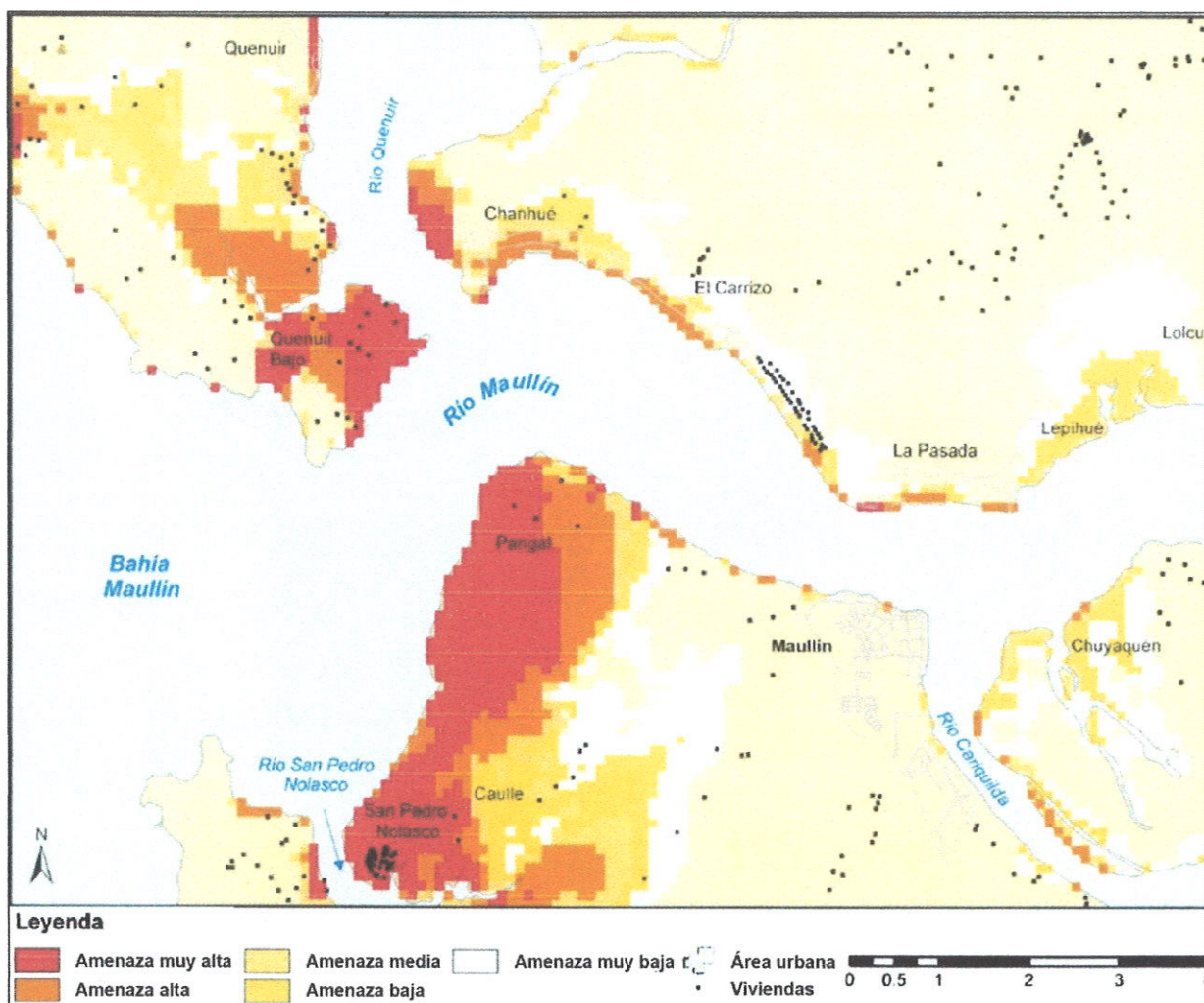


Imagen: Peligro de Tsunami diferenciado en el curso inferior del Río Maullín. Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS (2013)⁶⁵.

➤ Zonas de seguridad:

“Para identificar zonas de seguridad en caso de tsunamis. se analizaron los siguientes factores: localización en zona costera; la distancia a sitio seguro; la pendiente del terreno; la altitud y la densidad de habitantes”.

“El factor localización en zona costera... integra los resultados de la modelación del alcance máximo en superficie de los tsunamis de 1837 y 1960. Se clasificó en cuatro niveles... Donde el menor grado de exposición corresponde a localizarse en la zona de seguridad, y el máximo grado de exposición, coincide con el área de inundación estimada para un tsunami probable y un tsunami excepcional (peor escenario)”.

“Considerando su localización, los sectores de San Pedro Nolasco (Amortajado), la costa de Pangal, Caleta Pichicuyen y Quenuir bajo, son los lugares que poseen la mayor exposición. En menor grado, la ribera norte del Río Maullín también presenta una elevada exposición, concentrada específicamente en su borde costero, involucrando a Chanhue, El Carrizo, La Pasada y Lepihue”.

⁶⁵ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

“En Caulle, sectores poblados interiores de Chanhué y El Carrizo, la exposición por localización es media, considerando que se emplazan en áreas que fueron inundadas por el tsunami de 1960, pero no se encuentran en el área inundable de un evento probable como el de 1837. Lo mismo ocurre con las áreas interiores bajas de Chuyaquén”.

“En tanto, asentamientos como Lolcura y Maullín, se localizan principalmente en áreas cercanas a zonas de seguridad, que no han sido afectadas de forma importante por tsunamis como los ocurridos en 1960 y 1837, por lo que su exposición en función de su localización es menor. Por último, el poblado de Quenuir y las partes altas de Chuyaquén corresponden a zonas seguras”.

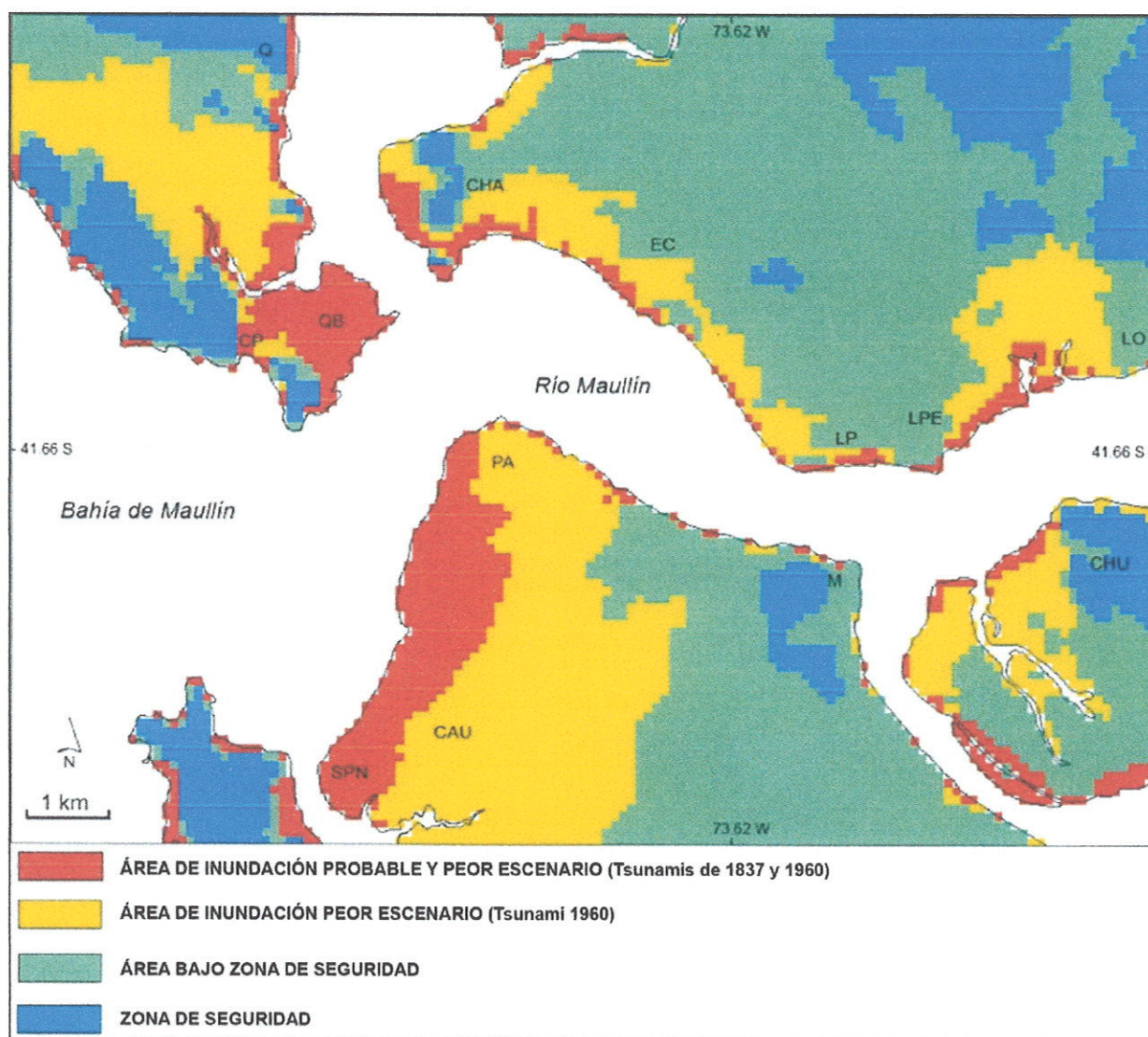


Imagen: localización en zona costera en función de la amenaza de tsunami y zonas de seguridad.

Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁶⁶.

“El factor distancia a sitio seguro, también permite identificar los sectores más expuestos ante la llegada de un tsunami. La condición de estuario, -con ríos tributarios- se transforma en barreras naturales para el escape a zona segura. Por ejemplo, se observa que el sector más expuesto,

⁶⁶ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

bajo la óptica de este criterio, corresponde a San Pedro Nolasco (Amortajado), si bien sus viviendas se encuentran aproximadamente a un kilómetro del sector de seguridad (El Morro Amortajado), el río que los separa no les permite acceder a él. La Figura 16 muestra una vista desde el Sector San Pedro Nolasco (Amortajado) al sitio seguro "Morro Amortajado", quedando en evidencia las dificultades para llegar a él. En consecuencia, para los habitantes de este sector, más Caulle y Pangal la altitud segura más cercana corresponde al Cerro Tentén".

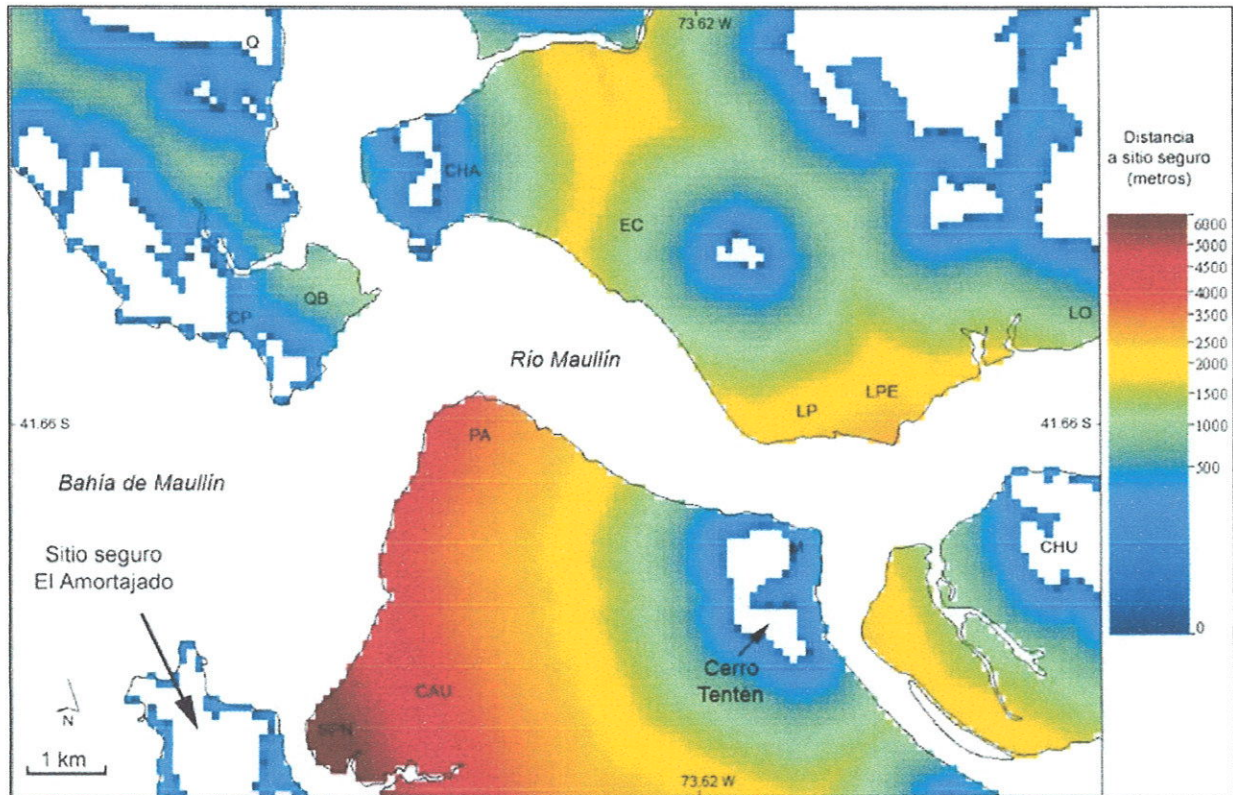


Imagen: Distancia a sitio seguro ante la amenaza de tsunami. **Fuente:** I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁶⁷.

“La espacialización de la pendiente del terreno, deja en evidencia el predominio de las planicies de Maullín, destacando en ellas, sólo las crestas de las antiguas playas. Aproximadamente, el 80% del área de estudio, se encuentra bajo los 5° de pendiente y el 50% bajo los 2.5°”.

“Es importante destacar, que las bajas pendientes tienen un doble efecto en el caso de un tsunami. Por una parte, facilitan el escape a zonas de seguridad, pero por otra, permiten que un tsunami, rápidamente penetre en zonas interiores de baja altitud”.

⁶⁷ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

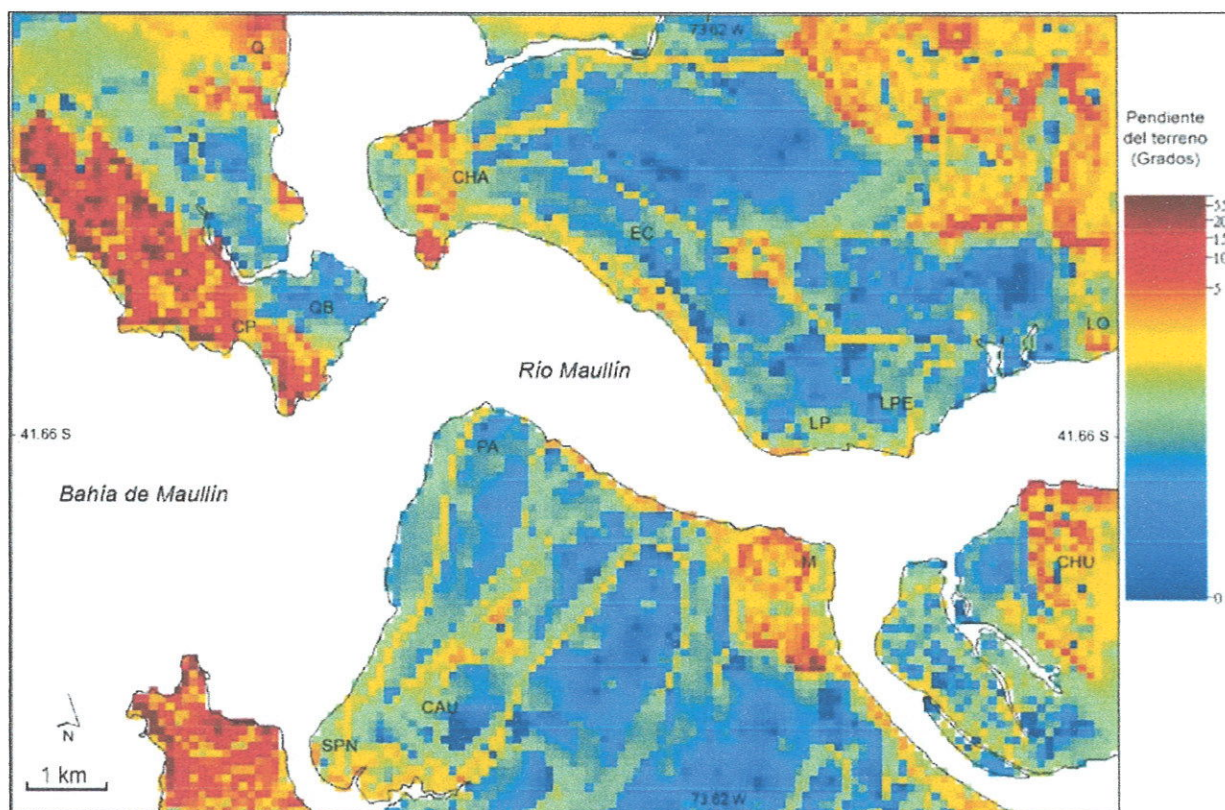


Imagen: Pendiente del terreno. Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁶⁸.

“El factor altitud, permite observar que cerca del 70% del área de estudio, se encuentra bajo la cota de seguridad de 10 metros, localizándose la mayoría de los sectores habitados, bajo la cota 5 metros. Este hecho, incrementa sustancialmente el grado de exposición ante la presencia de un tsunami... Particularmente, en zonas de baja altitud, como Maullín, se incrementan los niveles de riesgo”.

⁶⁸ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

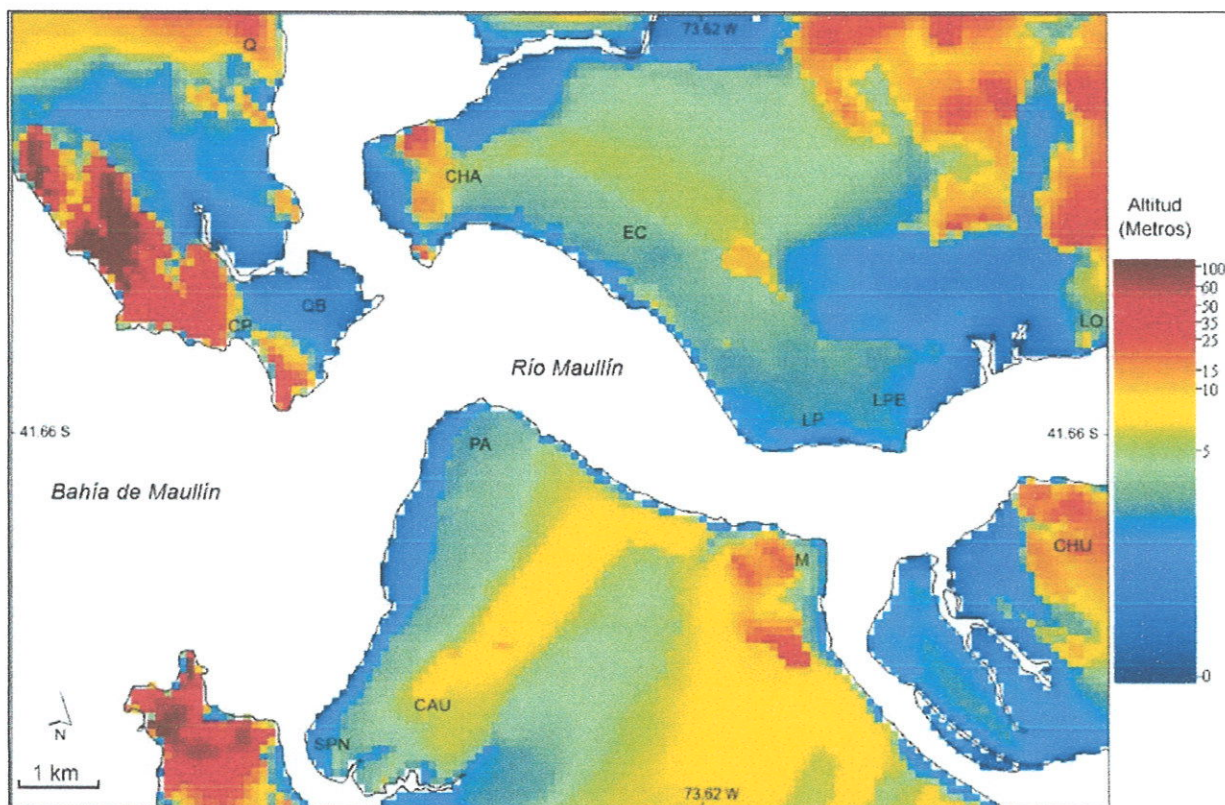


Imagen: Altitud del terreno. Fuente: I.M. MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁶⁹.

“Los pueblos de Maullín y Quenuir presentan las mayores densidades de habitantes, destacando Maullín por la concentración de mayor población. Las áreas costeras bajas, se caracterizan por su alta exposición a tsunami, como el poblamiento de la ribera norte del Río Maullín, involucrando a los sectores de Chanhué, El Carrizo, La Pasada y Lepihué”.

“Se destaca el poblamiento en San Pedro Nolasco (Amortajado), debido a que su emplazamiento coincide con las mayores velocidades de la corriente en caso de tsunami; profundidades de inundación superiores a los cuatro metros; y su localización en un área distante de un sitio seguro”.

⁶⁹ I.M. MAULLÍN-LAGOS, (2013).

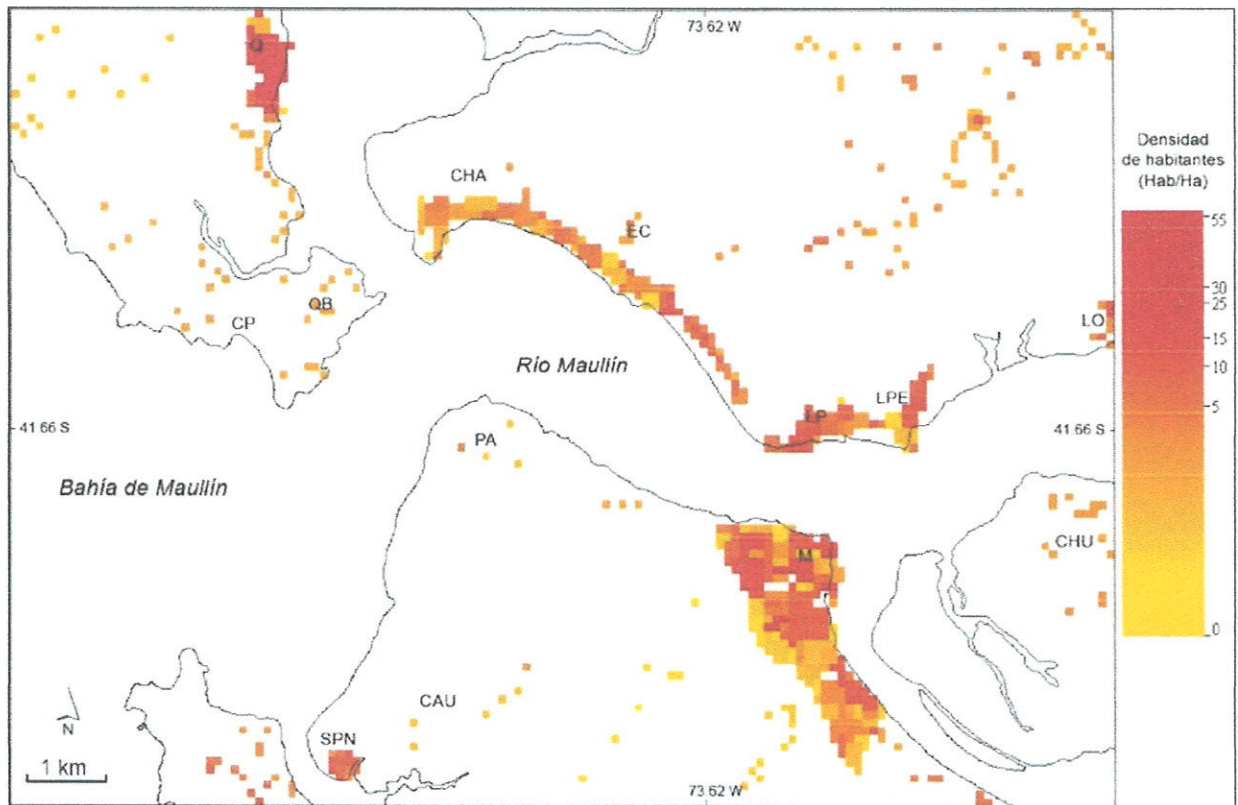


Imagen: Densidad de habitantes (Censo año 2002). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷⁰.

➤ Exposición ante la amenaza de tsunami:

“El análisis integrado de los factores localización en zona costera, distancia a sitio seguro, pendiente del terreno, altitud y densidad de habitantes, permite identificar los lugares más expuestos en el curso inferior del estuario del Río Maullín”.

“Debido a las características particulares del área de estudio, la exposición a tsunamis en general es media a alta. La razón se explica principalmente por su carácter de estuario, de topografía plana y bajas altitudes. Donde las zonas de seguridad, con altitudes superiores a 10m son escasas y distantes para gran parte de la población”.

“La exposición más alta, afecta a los sectores de San Pedro Nolasco (Amortajado), Caulle, Pangal, El Carrizo, parte de La Pasada y Lepihué. Las marismas de Chuyaquén, también se incluyen en esta categoría. A diferencia, en las zonas de exposición baja y muy baja, tenemos al poblado de Maullín; las partes altas de Chuyaquén; los territorios al interior de Loicura y el Carrizo, Quenuir y el sector el Morro Amortajado”.

➤ Síntesis de Zonificación:

A continuación se presentan los mapas de zonificación de velocidad, profundidad y amenaza, considerando tanto el ámbito del estuario del río Maullín como el ámbito local de Maullín:

⁷⁰ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- [illegible]

⁷¹ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- Área de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín):



Imagen: Área de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷².

⁷² I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- Velocidad de Inundación por Tsunami (estuario del río Maullín):

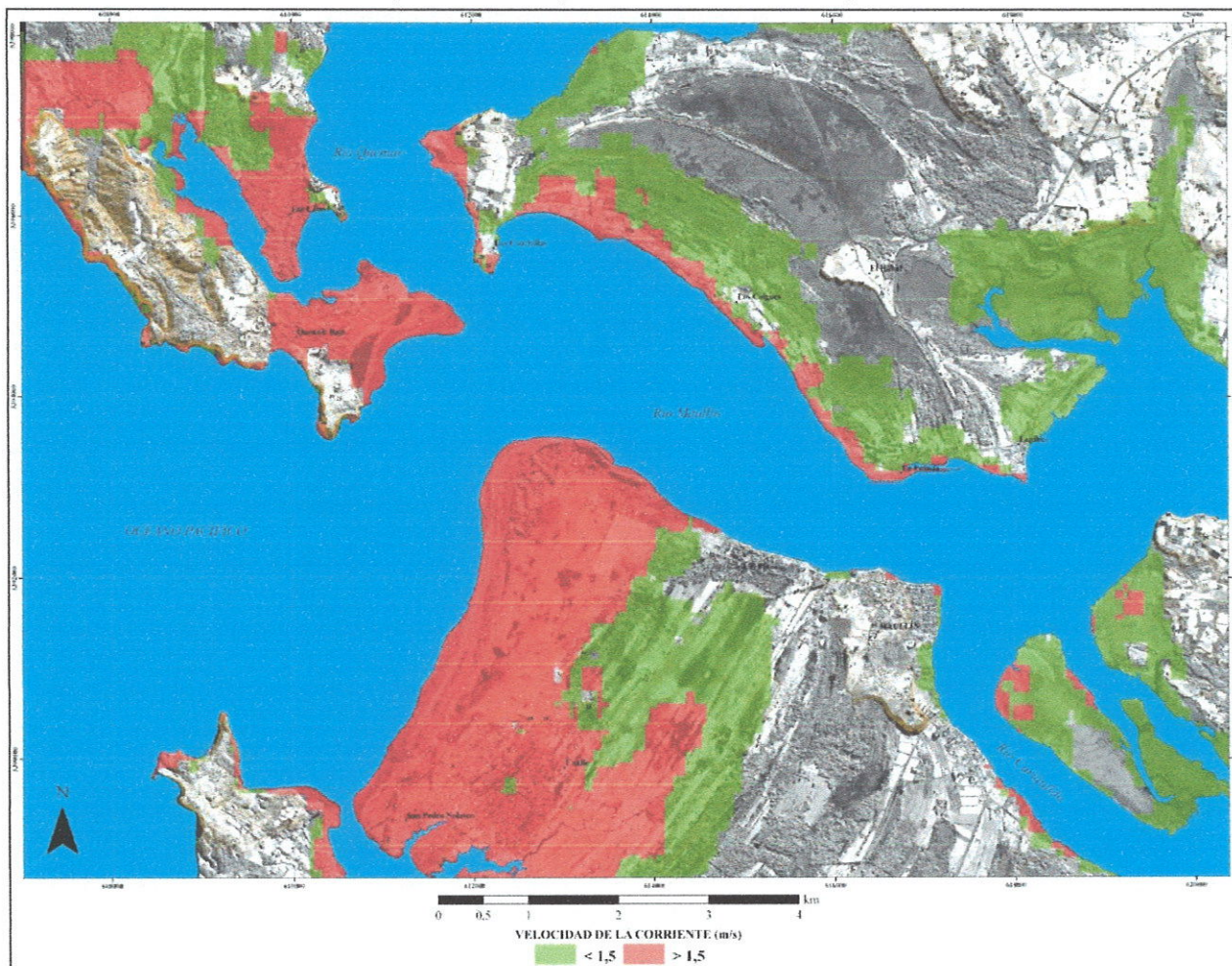


Imagen: Velocidad de Inundación por Tsunami (estuario del río Maullín). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷³.

⁷³ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- Velocidad de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín):

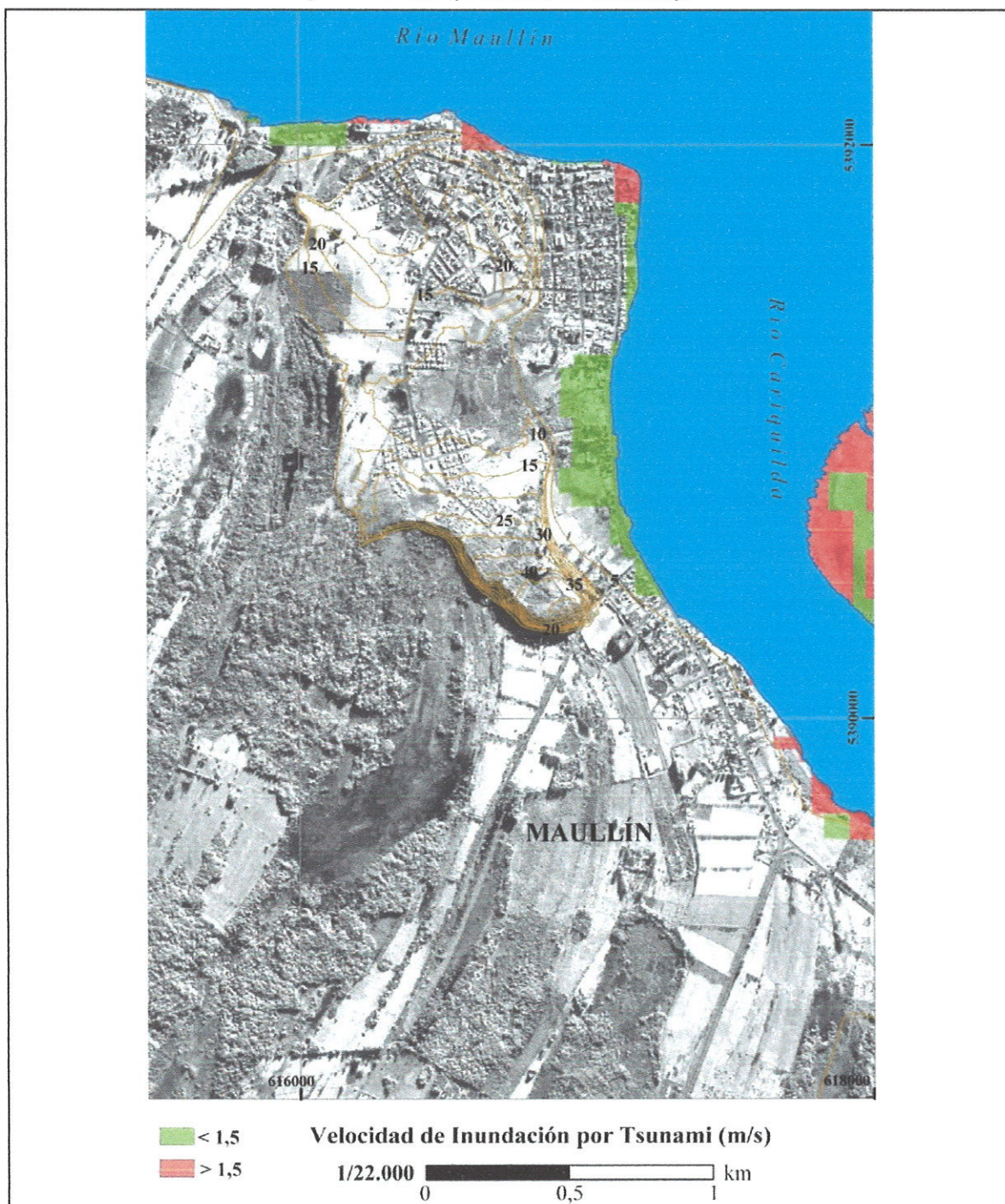


Imagen: Velocidad de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷⁴.

⁷⁴ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- Profundidad de Inundación por Tsunami (estuario del río de Mauullín):

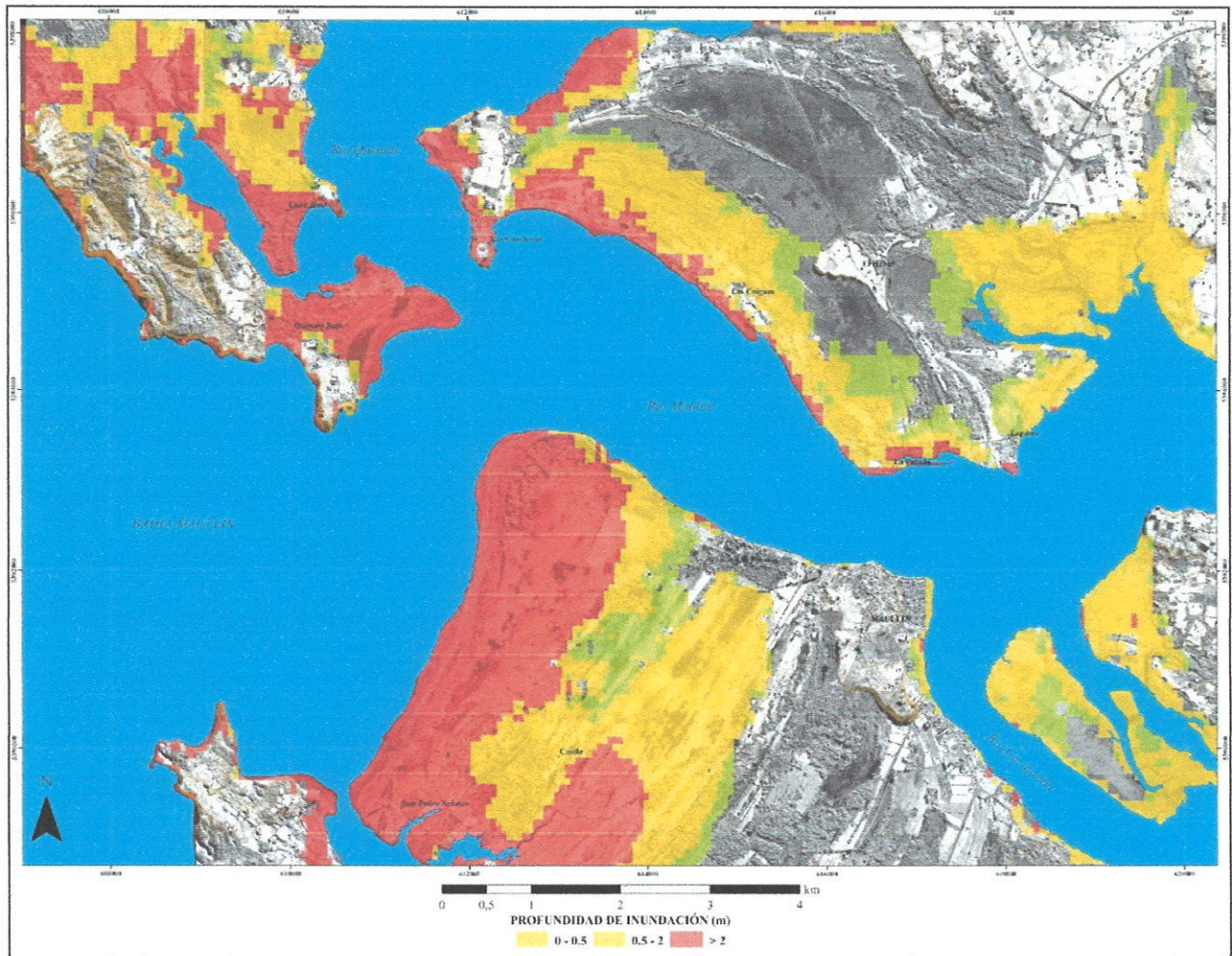


Imagen: Profundidad de Inundación por Tsunami (estuario del río de Mauullín). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷⁵.

⁷⁵ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

- Profundidad de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín):

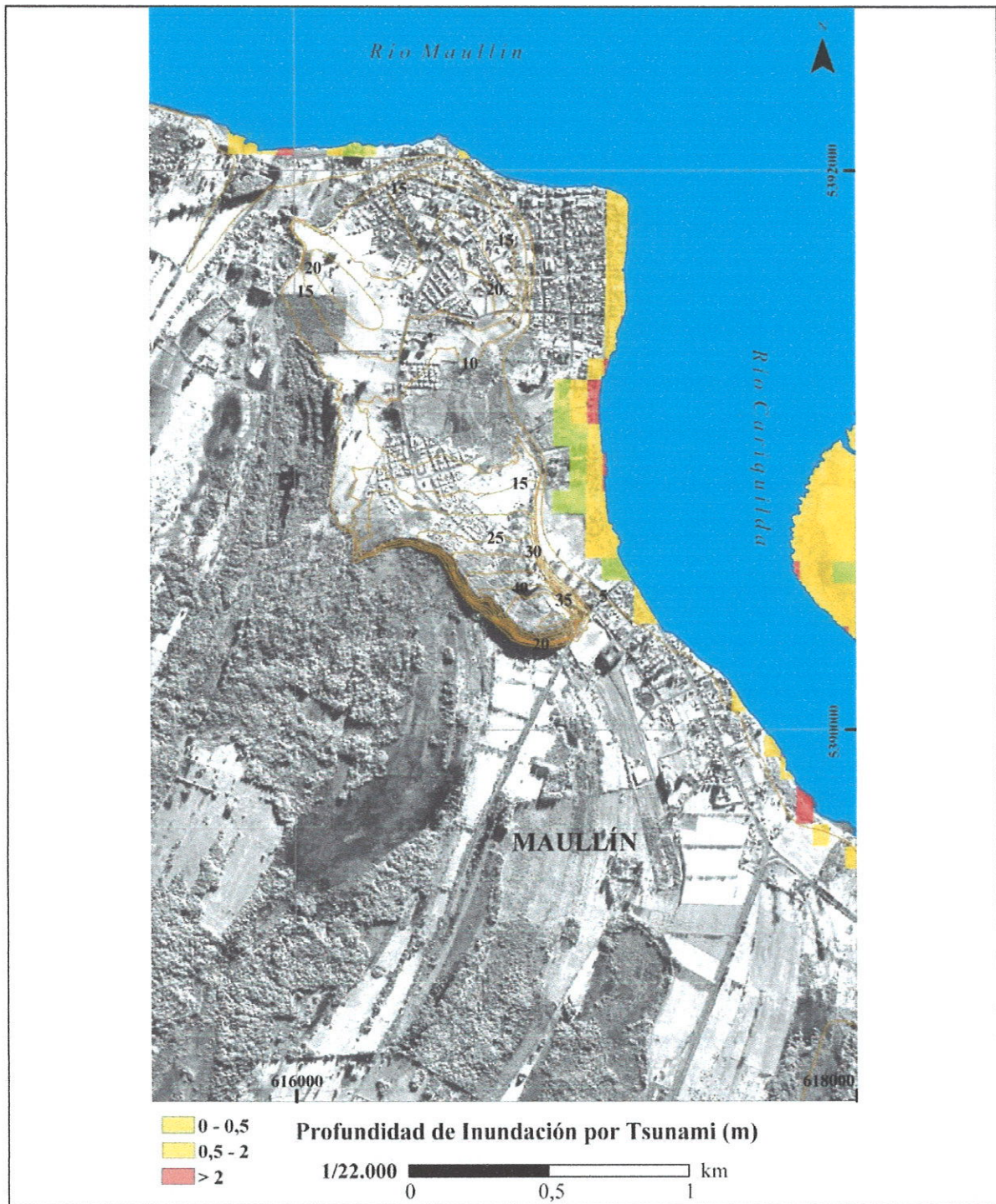


Imagen: Profundidad de Inundación por Tsunami (localidad de Maullín). Fuente: I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013)⁷⁶.

⁷⁶ I.M.MAULLÍN-LAGOS, (2013).

Por último, cabe mencionar con respecto a la "Distancia a sitio seguro ante la amenaza de tsunami" que refiere el estudio anterior, que la ONEMI a través del Plan de Protección Civil ante Tsunami propone para la localidad de Maullín los siguientes puntos de encuentro (zonas seguras):

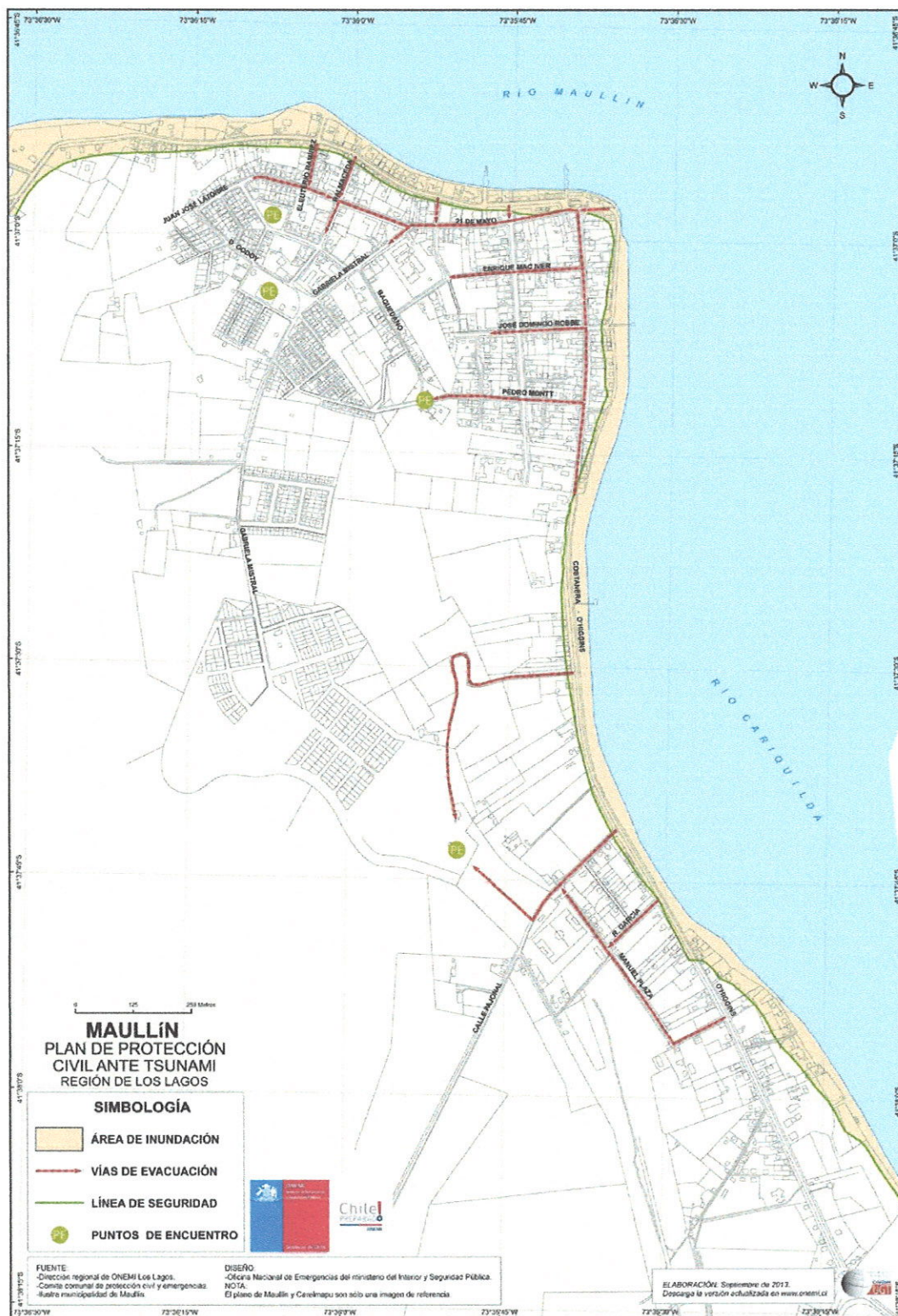


Imagen: Plan de Protección Civil ante Tsunami. Fuente: ONEMI (2013).

A. Recurrencia Histórica.

Además de los episodios recogidos en el estudio anterior, en la caracterización del Área destacan diversos episodios sísmicos que originaron tsunamis. Su registro histórico es el siguiente:

FECHA	UBICACIÓN (Región)	MAGNITUD SISMO (Richter)	GRADO m TSUNAMI	OBSERVACIONES
1562	Biobío	8.3	3	Terremoto originado en Arauco y Concepción. El posterior Tsunami afectó a 1200 km de la costa pacífico.
1570	Biobío	8.3	3	Terremoto originado en Concepción, con 140 km de largo de dislocación. El posterior tsunami tuvo 4 m de run-up en La Concepción.
1575	Los Ríos	8.3	3	Terremoto originado en Valdivia, con una longitud de ruptura próxima a 550 km. El posterior tsunami tuvo 4 m de run-up en Corral.
1633	Los Lagos		0	Originado en las proximidades de Carelmapu (Mauullín). El posterior tsunami se sintió en la Región como un "Tsunami pequeño" ⁷⁷ .
1657	Biobío	8.0	3	Terremoto originado en Concepción, con 120 km de largo de dislocación. El tsunami posterior tuvo 4 m de run-up en La Concepción.
1730	Valparaíso	8.8	4	Terremoto originado en Valparaíso, con 600 km de largo de dislocación. El tsunami posterior tuvo 16 m de run-up en La Concepción.
1737	Los Ríos	7.5	1	Terremoto originado en las cercanías de Valdivia. El tsunami posterior se llegó a sentir en Castro.
1751	Biobío	8.0	3	Terremoto originado en Concepción, con 260 km de largo de dislocación. El tsunami posterior tuvo 3.5 m de run-up en La Concepción.
1835	Biobío	8.2	3	Terremoto originado en Concepción, con 210 km de largo de dislocación. El tsunami posterior tuvo 13 m de run-up en Isla Quiriquina (Bahía de Concepción), y alcanzó las costas de Chiloé.
1837	Los Ríos	8.5	3	Terremoto originado en Valdivia. El tsunami posterior tuvo 2 m de run-up en Ancud.
1868	Tarapacá	8.5	4	Terremoto originado frente a las costas de Tacna (Perú). El tsunami posterior llegó a ocasionar intensas marejadas en la isla de Chiloé.
1877	Tarapacá	8.3	4	Terremoto originado en Iquique, con 420 km de largo de dislocación. El tsunami posterior llegó a ocasionar intensas marejadas en la isla de Chiloé.
1927	Aisén	7.1	1	Terremoto originado en las cercanías de Puerto Aysén. El posterior tsunami se sintió en la Región como un "Tsunami mediano" ⁷⁸ .

⁷⁷ LORCA, et al, (1994).

⁷⁸ LORCA, et al, (1994).

FECHA	UBICACIÓN (Región)	MAGNITUD SISMO (Richter)	GRADO m TSUNAMI	OBSERVACIONES
1960	Los Ríos	9.5	4	Terremoto originado en las cercanías de Valdivia, con 950 km de largo de dislocación. El posterior tsunami tuvo 16m de run-up en Ancud.

Tabla: Registro de Inundaciones litorales por maremoto o tsunami.

Fuente: Elaboración propia a partir de LOCKRIDGE, (1985); MONGE, (1993); LORCA, et al, (1994).

3.6.2.1.2. Inundación por desbordes o próximas a napas freáticas.

El presente Estudio denomina “inundación por desbordes o anegamiento” a aquel proceso que constituye una amenaza hidrometeorológica para el Área de Estudio, siendo fundamentalmente originada por los sistemas frontales sucesivos e intensos que afectan a la zona centro-sur del territorio chileno con períodos lluviosos entre 6 y 8 meses al año, por cuanto desencadenan un conjunto de procesos asociados como desbordes de cauces y sus consecuentes inundaciones, anegamientos especialmente en zonas de bajas pendientes, y deslizamientos, aluviones y avalanchas de nieve en la zona cordillerana⁷⁹.

En términos geomorfológicos, la definición de las áreas de inundación por desbordes se realiza a partir de las denominadas “llanuras de inundación”, es decir, de aquellas áreas adyacentes a los cursos de agua sujetas a inundaciones recurrentes, y que suponen, por tanto, un peligro para el desarrollo de las actividades humanas si la vulnerabilidad de éstas excede un nivel aceptable.

Debido a su naturaleza siempre cambiante, y considerando que estadísticamente los ríos igualan o exceden la inundación media anual cada 2,33 años⁸⁰, las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo de aquellas áreas donde se realizan actividades humanas o ser afectadas por él.⁸¹

Asimismo, para la caracterización de estas áreas, se debe analizar igualmente tanto la topografía del terreno como su geomorfología, tipo y calidad de suelos, y la hidrología local -todo ello analizado previamente-. Siendo así, los dos tipos de inundaciones terrestres más frecuentes son:

- por desborde de cauces: se produce al superarse el confinamiento lateral o capacidad de porteo del cauce generalmente debido a precipitaciones intensas y/o prolongadas en el tiempo. Las zonas que presentan condiciones propicias para este proceso, se asocian principalmente, a las terrazas más bajas de los ríos.
- por acumulación de aguas lluvias en zonas llanas o anegamiento: se produce en periodos de lluvias intensas, tanto en zonas de bajo relieve o depresiones, como en niveles freáticos someros y/o suelos de baja permeabilidad. Estas características, propician condiciones de escaso drenaje en los terrenos, y afectan principalmente, al desarrollo de labores agropecuarias, construcciones industriales, viviendas y obras públicas, como caminos.

⁷⁹ UNESCO, (2010).

⁸⁰ LEOPOLD, et al., (1964).

⁸¹ OAS: Organización de los Estados Americanos, (1993).

De esta manera se presenta imagen representativa de los sectores urbanos de la localidad de Mauilín donde se producen este tipo de fenómenos:

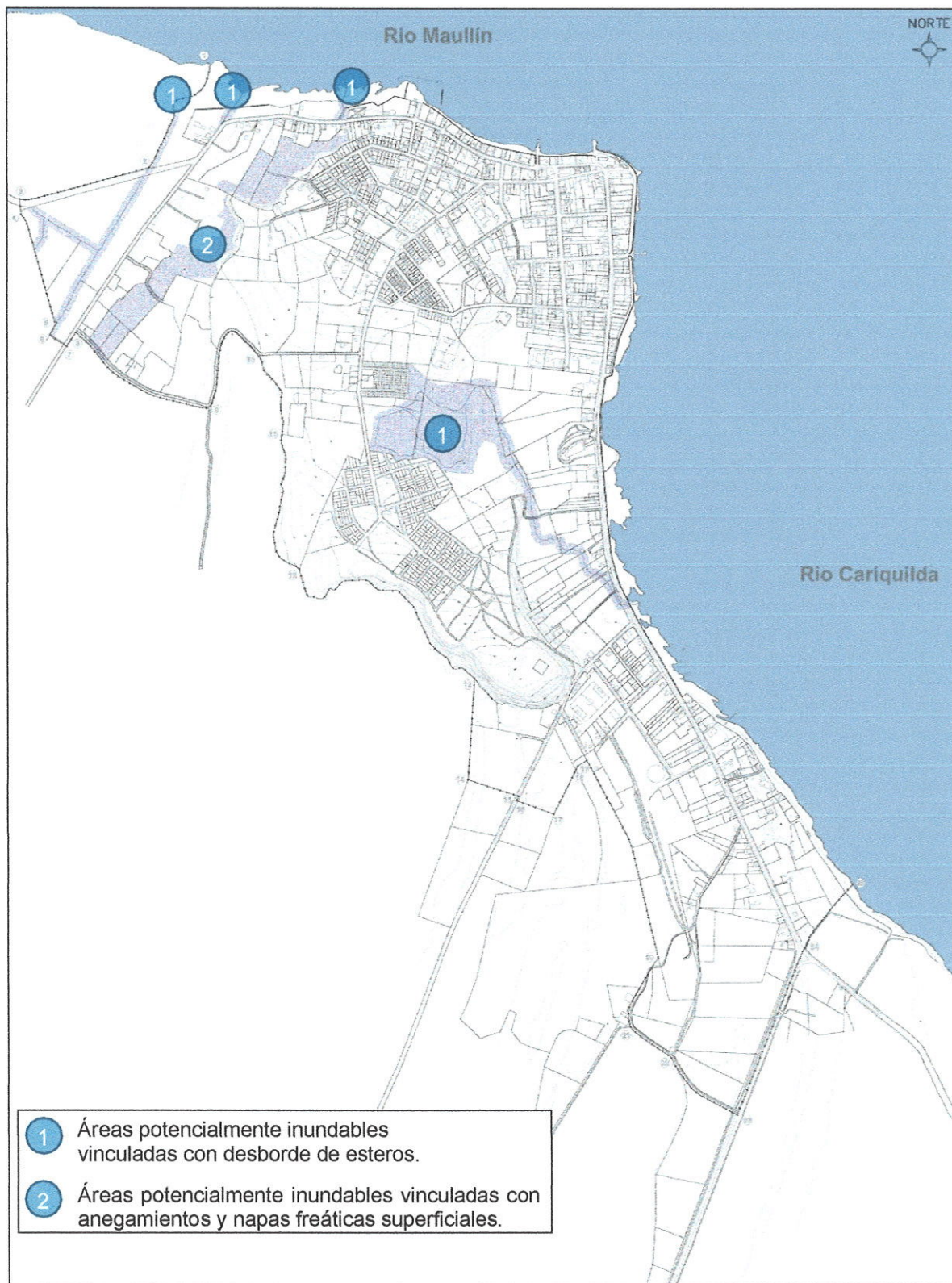


Imagen: Localidad de Mauilín, LU vigente y principales esteros (2016). Fuente: Elaboración propia.

A. Recurrencia Histórica.

Así pues, definidas las causas y los tipos de inundaciones más frecuentes en el Área de Estudio, y a pesar de no disponer de un registro local de inundaciones, se presenta a continuación un registro de algunos de los eventos, susceptibles de producir inundaciones, registrados en lugares aledaños al Área de Estudio:

FECHA	UBICACIÓN	OBSERVACIONES
1893 (enero)	Puerto Montt	"Los aguaceros que se produjeron en enero de 1983 en la zona de Puerto Montt, causaron estragos en la ciudad y dejaron intransitables los caminos, en gran parte de la provincia" (Urrutia y Lanza, 1993).
1921 (mayo)	Illapel a Ancud	Se cortaron los puentes sobre los ríos Teno, Rauco, Ñuble, Huilleuco en La Frontera, Pangui cerca de Talca y el que cruzaba Petorca en Chincolco, con el consecuente corte de los caminos en esas zonas (Urrutia y Lanza, 1993).
1922 (agosto)	Concepción a Chiloé	Temporales en los meses de junio, julio y agosto. Resultaron muchas personas muertas, daños en las viviendas, en la agricultura y decenas de damnificados. Se cortaron los servicios telefónicos, telegráficos y se produjeron brotes epidémicos. (ONEMI, 2001)
1929 (agosto)	Antofagasta a Puerto Montt	Intenso temporal que provocó el anegamiento en los sectores bajos de la mayoría de las ciudades y la caída de postes y árboles. (ONEMI, 2001)
1932 (abril)	Zona Sur	Intenso temporal que interrumpió las vías de ferrocarril a la altura de Osorno, La Unión y Puerto Montt (Urrutia y Lanza, 1993), y provocó el desborde de diversos esteros dejando aisladas a pequeñas localidades. (ONEMI, 2001)
1934 (mayo y junio)	Copiapó a Magallanes	Sucesivos sistemas frontales dejaron cerca de catorce muertos, más de 30 heridos, pérdidas de animales, miles de damnificados, daños por varios millones de pesos en caminos destruidos, puentes deteriorados, y vías férreas interrumpidas por deslizamientos de tierra. (ONEMI, 2001)
1949 (mayo)	Concepción a Aysén	Un intenso temporal de viento y lluvia, dejó 12 muertos, y destruyó puentes y caminos, inundó poblaciones, desbordó ríos y lagos, y dejó decenas de ciudades y pueblos aislados y cientos de damnificados. (ONEMI, 2001)
1950 (junio)	Concepción a Puerto Montt	Intensas lluvias produjeron el desborde de ríos y la inundación de calles y casas. (ONEMI, 2001)
1951 (mayo)	Concepción a Puerto Montt	Sistema frontal con intensas lluvias ininterrumpidas que produjeron inundaciones, voladuras de techos, y caída de árboles y postes. (ONEMI, 2001)
1958 (mayo)	Concepción a Chiloé	Intenso temporal que provocó el desborde de ríos y esteros, anegando campos y pueblos. (ONEMI, 2001)
1961 (junio)	Valparaíso a Ancud	Intenso temporal en el que resultaron dañadas numerosas viviendas, caminos y vías férreas. (ONEMI, 2001)
1965 (agosto)	Atacama a Aysén	Temporal de viento y lluvia que afectó desde Atacama a Aysén. Resultaron dañados: viviendas, obras públicas, agricultura, electrificación y bosques. Sucesivos sistemas frontales dejaron alrededor de un centenar de muertos, quince mil damnificados, puentes cortados, carreteras interrumpidas, derrumbes en los cerros, grupos aislados sin víveres, barcos hundidos. Se Zona decretó de Catástrofe desde Atacama. (ONEMI, 2001)
1969 (junio)	Los Vilos a Puerto Montt	Intenso temporal que ocasionó serios daños en construcciones, caminos, puentes y embarcaciones. Hubo cientos de damnificados. (ONEMI, 2001)
1970 (julio)	Illapel a Puerto Montt	Sistema frontal que muertos, y damnificados, desborde de ríos, y derrumbe de construcciones. (ONEMI, 2001)