



REFORMULACIÓN PLAN REGULADOR COMUNAL DE NAVIDAD

INFORME ETAPA 4

ANTEPROYECTO E INFORME AMBIENTAL

ESTUDIO DE RIESGOS

VERSIÓN 03

Junio 2026



ÍNDICE

CAPITULO I	ESTUDIO COMPLEMENTARIO RIESGO.....	3
I.1	INTRODUCCIÓN.....	3
I.2	DEFINICIÓN DE AMENAZAS Y ÁREAS DE RESTRICCIÓN.....	4
I.3	DIAGNÓSTICO A MACROESCALA DE LAS AMENAZAS PRESENTES EN EL TERRITORIO A PLANIFICAR.	9
II.-	METODOLOGÍA EMPLEADA	16
II.1	AMENAZA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI.....	17
II.2	AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA.....	22
II.3	AMENAZA DE INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES.....	27
II.4	ANTRÓPICA POR INCENDIOS FORESTALES	31
III.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36

CAPITULO I ESTUDIO COMPLEMENTARIO RIESGO

I.1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio analiza las principales amenazas existentes el área a planificar para el territorio que comprende el PRC de Navidad, desde un enfoque orientado a la prospección del riesgo de desastres, focalizado en la prevención de nuevos escenarios de riesgo, la reducción del riesgo existente y el fortalecimiento de la resiliencia a nivel territorial a partir del presente instrumento de planificación. Cabe recordar que en los últimos años se han hecho modificaciones a los marcos regulatorios que enmarcan el presente estudio: LGUC, OGUC, Ley 20.417, incorporando las directrices establecidas en la DDU 430 en relación a los Contenidos y Procedimientos para la Aplicación de la Evaluación Ambiental Estratégica en los Instrumentos de Planificación Territorial, los cuales incorporan los parámetros de riesgo en materia de planificación, ya sea como factores críticos de decisión, o como áreas a restringir dada la vulnerabilidad del territorio ante las diversas amenazas de origen geológico y antrópico.

Por otra parte, el dinamismo climático de la presente era y la aceleración del cambio climático en breves períodos de tiempo con consecuencias cada vez más desastrosas a nivel territorial, llevaron a la entrada en vigencia de la Ley 21.364 que crea una nueva institucionalidad, normas, políticas y planes en materia de gestión del riesgo de desastres a diferentes escalas desde lo comunal hasta lo nacional. Siendo estudios de este tipo, insumos fundamentales a la hora de elaborar los respectivos planes de reducción del riesgo, así como los planes de emergencia de acuerdo al tipo de amenaza¹. A la vez, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático estableció nuevos lineamientos en relación a la consideración de los eventos meteorológicos extremos como indicadores proyectivos de la ocurrencia futura de estos eventos², cambiando la noción de *mitigación* ante dichos eventos, por el de *adaptación* a la nueva dinámica, frecuencia y magnitud de estos fenómenos cada vez más frecuentes. Cabe resaltar, que en esta etapa del estudio se hace especial énfasis en la identificación de las amenazas existentes en el territorio comunal, con foco en aquellas áreas que ejercen una mayor presión sobre el territorio, alterando o acentuando con ello los factores subyacentes al riesgo.

Es así que, en base a estos nuevos parámetros metodológicos y conceptuales, se vuelve necesaria una evaluación del alcance de las amenazas naturales y antrópicas presentes en el territorio de la comuna de Navidad, a través de la identificación de Riesgos y Oportunidades en la toma de decisiones del modelo de desarrollo sustentable del territorio, incorporando las directrices antes señaladas. Por cuanto, y considerando los desafíos de este estudio ante el nuevo marco regulatorio, es probable que, si bien las amenazas no difieran sustancialmente en tipo en relación a la temporalidad de estudios anteriores, sí lo hagan en su intensidad; por lo que es importante no subestimar estos eventos extremos como hechos aislados, sino como precedentes de registros que irán generando nuevas tendencias.

A lo anterior, debe sumarse el hecho que el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007) definió que en el futuro se intensificará la aridez, el avance de la desertificación, así como un fenómeno de El Niño cada vez más intenso y recurrente. Dichas proyecciones, sumadas a acciones antrópicas locales, referidas a malas prácticas del uso de suelo, no sólo acelerarán la

¹ La ley 21.364 entra en vigencia en agosto del 2021 estableciendo el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, sustituyendo a la entonces ONEMI.

² Los análisis científicos también señalan una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años y se considera probable que las altas temperaturas, olas de calor y fuertes precipitaciones, continuarán siendo más frecuentes en el futuro, lo que puede ser desastroso para la humanidad (PNACC, 2015:9).

acción del cambio climático, sino que también desafiarán a las autoridades a reducir la vulnerabilidad ante sus efectos para disminuir los riesgos a los que se expone la población.

Al respecto, una proyección realizada por la Universidad de Chile sobre la base histórica de datos de entre 1961-1990, presenta dos escenarios temporales (período 2011-2030, y 2031-2050). En estos escenarios la subregión correspondiente a la zona centro incrementaría su temperatura entre 0.5 y 1.5°C, mientras que las precipitaciones disminuirían en un rango de entre 5 y 15% para el mediano plazo, cuya disminución inferior (5%) se daría en el mejor de los casos, tomando acciones inmediatas, mientras que la proyección de un 15% menos de precipitaciones (2011-2030) ocurriría en el peor de los escenarios.

Respecto a la variabilidad climática, Cepal (2012) proyecta un marcado aumento en la probabilidad de eventos de sequía, y para fines del siglo XXI se espera que este hecho ocurriera más de 10 veces en 30 años, lo que no sólo afecta las condiciones ambientales del territorio, sino que directamente al sector agrícola, considerando la existencia de zonas de secano sin acceso a riego tecnificado, viendo amenazada la soberanía alimentaria y la producción agrícola exportadora que se desarrolla en el territorio de estudio. Por otro lado, este incremento de la aumenta también la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, cada vez más frecuentes y de mayor magnitud sobre todo en las denominadas zonas de interfaz, fenómeno producido por la parcelación de sectores agrícolas en subdivisiones de 5000m², bajo el amparo de la ley 3.516, los que generan áreas de contacto, interfaz o intermix toda vez que urbanizan sectores rodeados de praderas naturales, plantaciones forestales o bosques nativos.

I.2 DEFINICIÓN DE AMENAZAS Y ÁREAS DE RESTRICCIÓN

Para la definición de las áreas de restricción del presente estudio, de acuerdo a las disposiciones del artículo 2.1.17 de la OGUC y a aquellas zonas no edificables (artículo 2.1.18) se establecieron parámetros a evaluar con objeto de identificar aquellas *amenazas de desastres naturales y antrópicas* que se presentan o son susceptibles de presentarse en el territorio a planificar, a partir de peligros geológicos o de actividades antrópicas que pueden ocasionar daños a la población y sus recursos (naturales y urbanos). Siendo dichas amenazas homologadas al concepto de *riesgos* definidos en esta ordenanza, aun cuando la definición del *riesgo* considera factores de susceptibilidad, exposición y vulnerabilidad que en el presente informe no serán abordados, considerando la escala y el fin para el cual el presente estudio es elaborado, vale decir, como un insumo para la toma de decisiones a nivel de planificación territorial de escala interprovincial, siendo deber de la planificación comunal estimar la vulnerabilidad y exposición de la población ante las amenazas aquí identificadas a nivel interprovincial.

Conforme a lo anterior, el marco conceptual que se trabajará en el presente estudio define el **Riesgo de desastre** como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o de índole antrópica potencialmente peligroso para la comunidad y susceptible de causar daño a las personas y a sus bienes, en un lugar y en un momento determinado. En su desarrollo intervienen y se cruzan 3 aspectos: la amenaza, la vulnerabilidad, la exposición y la resiliencia o capacidad de adaptación, conceptos que se describen a continuación.

- a) **La amenaza o peligro** es entendido como un fenómeno natural o antrópico, cuya dinámica puede desbordar sus umbrales más frecuentes de intensidad, magnitud y localización, pudiendo ocasionar daños a las personas y a sus bienes.
- b) **La vulnerabilidad**, se entiende principalmente en relación con las condiciones que presenta su población así como los bienes que pueden resultar afectados dentro del área de influencia de una zona de amenaza o peligro. Se vincula por lo tanto a la capacidad de

respuesta de las personas y construcciones humanas frente a la activación de una amenaza.

- c) **La exposición** radica en cuán expuestos se encuentran los elementos y población que conforman el ambiente sobre el que recae una o más amenazas, ya sea por cercanía a estas como por el impacto socio-económico que se deriva a partir de fenómenos extremos que se presentan como una amenaza.

Los Riesgos se entenderán, por tanto, como una función de las Amenazas, de las Vulnerabilidades del territorio y de su grado de exposición. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de asignar una calificación de carácter cualitativo, anticipando con ello las eventuales consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento. Ahora bien, cabe hacer el alcance de que las amenazas de origen natural son inevitables en ocurrencia, siendo el foco del presente estudio identificarlas, caracterizarlas y zonificarlas a objeto de mitigar sus consecuencias sobre las vidas y recursos en este caso urbanos, dado que se enmarca dentro de un PRC. Sin embargo, las acciones que se consideren para reducir la vulnerabilidad de la población y sus recursos, son los que disminuirán efectivamente el riesgo ante la ocurrencia de dichas amenazas.

De acuerdo con el D.S 9 D.O 13.04.2011 las áreas de Riesgo dentro de los planes reguladores se entenderán como **aquellos territorios en los cuales se limite determinado tipo de construcciones**. Estas áreas de riesgo se determinarán en base a cuatro características:

- Zonas inundables o potencialmente inundables (tsunamis, proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas o pantanos). Aquí aplica lo correspondiente a zonas inundables por proximidad de ríos y quebradas.
- Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
- Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Ahora bien, es importante identificar y clasificar el origen de los desastres naturales y antrópicos para una adecuada zonificación, considerando que la superposición de dos o más amenazas debe considerar criterios de limitación o restricción a la hora de planificar.

A continuación, en el siguiente cuadro se resume la homologación de las Áreas de Riesgo por eventos de desastres definidas por la OGUC, con las amenazas y peligros geológicos asociados a ellos.

Tabla 1. - Cuadro Áreas de riesgo en relación a la amenaza y factores detonantes.

ÁREAS DE RIESGO O.G.U.C		Amenaza	Factores Detonantes	Origen
Zonas inundables o potencialmente inundables	Maremotos o Tsunamis	Tsunami	Sismo	Geológico
	Proximidad a ríos, esteros, cauces o cursos de agua no canalizados	Inundación	Precipitaciones Intensas	Hidrometereológico (Climática)
	Proximidad a napa freática o pantanos	Anegamiento		

Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.	Remoción en masa (deslizamiento y caída de bloques, coladas de barro; aluviones)	Sismo Precipitaciones intensas	Geológico Hidrometeorológico (Climática)
Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas	Fallas geológicas	Sismo	Geológico
Zonas o terrenos con riesgos generados por actividad o intervención humana	Suelos contaminados	Sismos Precipitaciones intensas Vientos y ráfagas Altas temperaturas y baja humedad	Antrópico Hidrometeorológico (Climática)
	Pasivos Ambientales		
	Incendios Forestales		

Fuente: Elaboración propia

Como es posible observar, las amenazas que pueden suscitarse en el territorio de Navidad, tienen su origen en amenazas climáticas, geológicas o antrópicas. Sin duda alguna, que, bajo los parámetros establecidos en la Ley de Cambio Climático 21.455, el escenario climático de mediano plazo, debe ser considerado como un factor relevante en las políticas territoriales que inciden directamente sobre el desarrollo económico-productivo y territorial de la comuna. Por ello, se analizará brevemente la situación climática del territorio de Navidad, más allá de su límite urbano, a modo de contexto del análisis de las amenazas por riesgos de desastres propiamente tal.

A partir de la revisión de algunos planes sectoriales de adaptación al cambio climático, fue posible establecer que las amenazas climáticas más persistentes en la región de O'Higgins, y particularmente en los territorios de secano corresponden a las amenazas de sequía, temperaturas y precipitaciones extremas, las cuales generan diversas cadenas de impacto, una de ellas, a nivel físico, corresponde a las amenazas por inundación, erosión, remociones en masa, e incendios forestales; y por otra, a impactos de nivel productivo, de seguridad hídrica, seguridad alimentaria, y de salud.

A partir de este primer diagnóstico, se revisaron índices climáticos para cada una de estas amenazas en la plataforma ARClím, la cual territorializa índices a nivel comunal, contruidos a partir de la interpolación y proyección de datos históricos y futuros de estaciones meteorológicas. Es así como, para evaluar la sequía y las precipitaciones (relacionadas directamente con el balance hídrico), se consideró el dato histórico para el índice Standardized Precipitation Index, el SPI es un índice climático estandarizado que mide anomalías de precipitación, es decir, cuánto se aleja la lluvia observada de su comportamiento histórico normal, para un lugar y una escala temporal determinada.

Éste índice se complementó con el índice SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index) que corresponde a un índice estandarizado que combina precipitación y evapotranspiración potencial para medir el balance hídrico de un lugar en un determinado periodo de tiempo. Es decir: refleja si hay déficit o superávit de agua en comparación con la normal climatológica para ese lugar y ese tiempo acumulado, siendo un buen indicador para medir y vislumbrar el grado de sequía alcanzable en un territorio.

La evapotranspiración por su parte es la demanda atmosférica de agua: cuánta agua podría evaporarse y transpirarse si el agua no fuera limitante. Depende principalmente de temperatura, radiación, viento y humedad (no de cuánta lluvia haya).

En la misma sintonía se consideraron los índices de olas de calor y olas de frío compuestas³ para las temperaturas extremas, considerando que el impacto de un solo día de calor o frío extremo no llega a generar eventos desastrosos a lo largo de la cadena de impacto, sí en cambio episodios recurrentes o que perduran por 3 o más días, en los que además, la temperatura máxima y mínima se ubican bajo el percentil 10, en el caso de las olas de calor, y un percentil 90 en el caso de las olas de frío.

La ventaja de medir olas de calor compuesta, a diferencia de las no compuestas que registran los episodios de 3 o más días con temperatura sobre 30° para las olas de calor y bajo 0° en el caso de olas de frío, es que este indicador no mide intensidad puntual, sino que da cuenta de la frecuencia más la duración del episodio, la persistencia del fenómeno y la exposición territorial. Otra ventaja es que las olas de frío o calor compuestas consideran percentiles más que umbrales, lo que permite comprender si el calor o frío presentado durante 3 o más días, corresponde a un comportamiento histórico normal o efectivamente corresponde a tendencias anómalas dentro de su registro histórico.

A continuación, se muestra en una tabla resumen los resultados de dichos indicadores para la comuna de Navidad, y luego su interpretación climática correcta.

Tabla 2. Resultados de índices climáticos observados en la comuna de Navidad

Indicador	Valor	Interpretación
SPI anual	$Z \approx 0,0003$	Precipitación normal
SPEI	Negativo ($\approx -1,3$)	Déficit hídrico moderado
Ola de calor compuesta	33,56 días	Amenaza baja
Ola de frío compuesta	2,01 días	Amenaza baja
Evapotranspiración	2,5	Demanda evaporativa moderada

Fuente: elaboración propia a partir de sitio web ARCLim y SPEI

El valor del SPI anual para la comuna de Navidad es cercano a cero ($Z = 0,0003$), lo que indica condiciones de precipitación normales, sin evidencia de déficit ni exceso significativo respecto al promedio histórico.

Un valor de SPEI de $-1,3$ refleja condiciones de sequía moderada caracterizada por un déficit hídrico acumulado respecto al promedio histórico, lo que puede generar estrés en la vegetación

³ Ola de calor compuesta: se define como el número de días cuando la temperatura máxima (TX) y la Temperatura mínima (TN) están bajo el percentil 10 por al menos 3 días consecutivos. Mientras que la Ola de frío compuesta se define como el número de días cuando TX y TN superan el percentil 90 por al menos 3 días consecutivos.

y reducción de la disponibilidad de agua, con impactos significativos en el sector silvoagropecuario, disminución de la disponibilidad de recursos hídricos y aumento de la vulnerabilidad socioambiental, especialmente en territorios rurales y sistemas productivos dependientes de la precipitación.

Por su parte, el análisis conjunto de los índices SPI y SPEI muestra que, si bien la precipitación anual en la comuna de Navidad se mantiene cercana a su promedio histórico ($SPI \approx 0$), el balance hídrico presenta condiciones deficitarias asociadas al aumento de la evapotranspiración (SPEI negativo). Esto indica que el estrés hídrico observado responde principalmente a factores térmicos más que a una reducción significativa de las lluvias, configurando una amenaza climática de carácter gradual y no episódico.

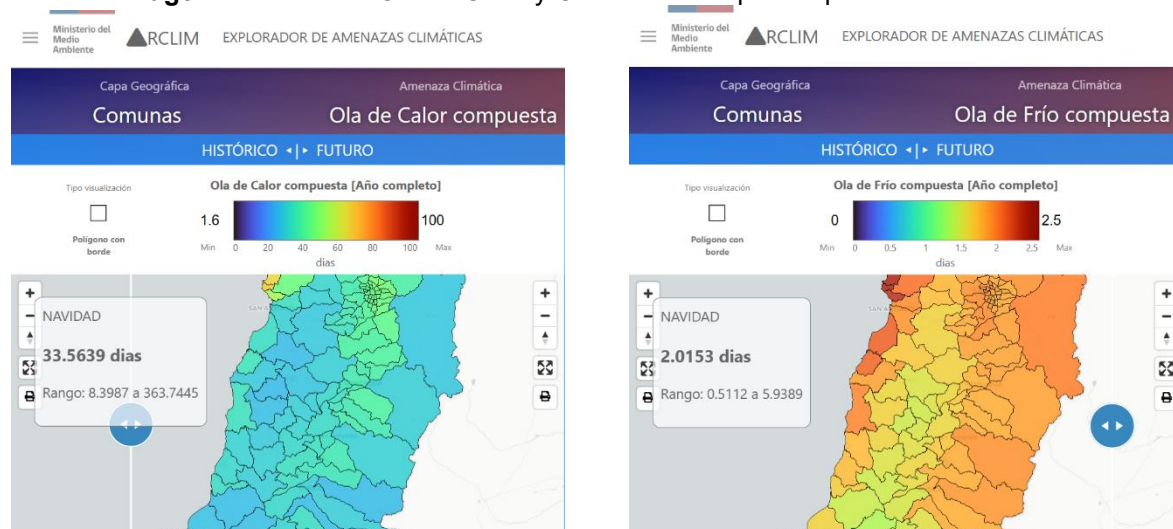
La evapotranspiración potencial anual en la comuna de Navidad presenta un valor aproximado de 2,5 situándose en un rango medio dentro de la variabilidad observada a escala nacional. Este valor indica una demanda evaporativa moderada, que contribuye al balance hídrico del territorio, sin constituir por sí sola una condición extrema.

El índice de 33,56 días para olas de calor compuesta, indica que en promedio anual, la comuna de Navidad presenta una exposición recurrente a eventos de ola de calor, evidenciando una condición de amenaza climática persistente más que un evento aislado. Sin embargo, en términos comparativos a escala nacional, este valor se sitúa en un nivel bajo de amenaza, lo que indica que, si bien el fenómeno está presente, no constituye una condición dominante del clima anual del territorio.

La comuna de Navidad presenta un promedio de 2,01 días anuales asociados a eventos de ola de frío compuesta, lo que indica una ocurrencia baja y episódica de este tipo de amenaza climática. En términos comparativos a escala nacional, este valor se sitúa en un rango bajo, reflejando que las olas de frío persistentes no constituyen una condición dominante del clima local.

En resumen, el estrés hídrico en Navidad (Sequía moderada) no se explica por una disminución extrema de precipitaciones ni por una demanda evaporativa extrema, sino por una combinación persistente de demanda térmica moderada y condiciones estructurales del territorio.

Imagen 1. Índices de Ola de Calor y Ola de frío compuesta para la comuna de Navidad.



Fuente: Sitio Web ARCLIM 2025. Explorador de Amenazas climáticas.

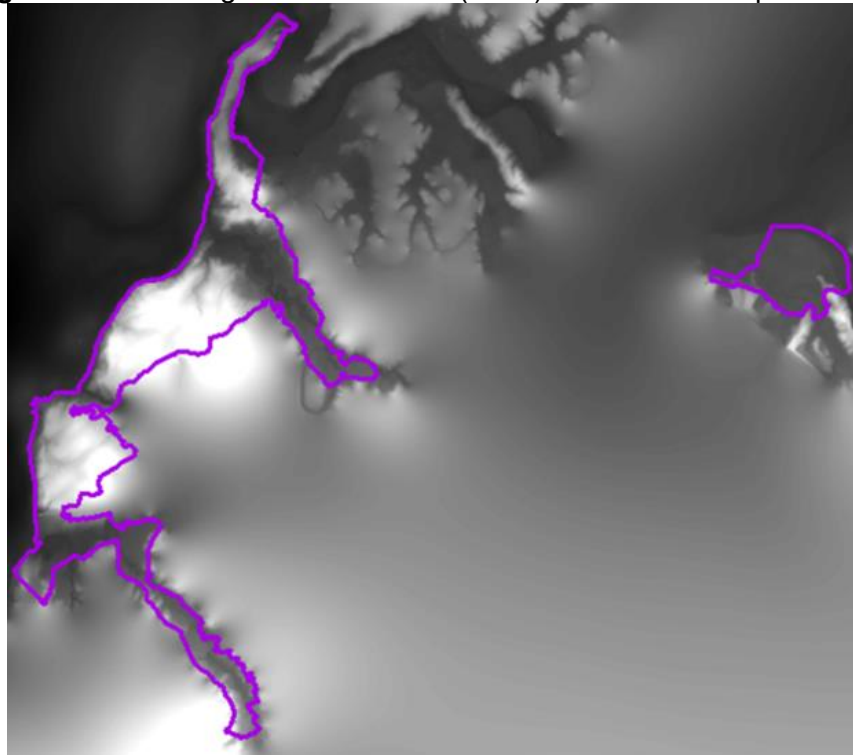
I.3 DIAGNÓSTICO A MACROESCALA DE LAS AMENAZAS PRESENTES EN EL TERRITORIO A PLANIFICAR.

Conforme a los estudios de riesgo que se han elaborado con antelación a la presente consultoría: Estudio Fundado de Riesgos para la comuna de Navidad 2012, Estudio de Riesgo de sismos y maremoto para comunas costeras de las regiones de O'Higgins y del Maule (PUC), al PRI Borde Costero, a otras fuentes secundarias revisadas, y al levantamiento en terreno realizado por la presente consultora, las principales amenazas de origen natural que se presentan en el territorio son las de remoción en masa, inundación por tsunami y por desborde de cauces, por su parte, los incendios forestales corresponden a la amenaza de origen antrópico más latente.

I.3.1.- DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA COMUNA DE NAVIDAD.

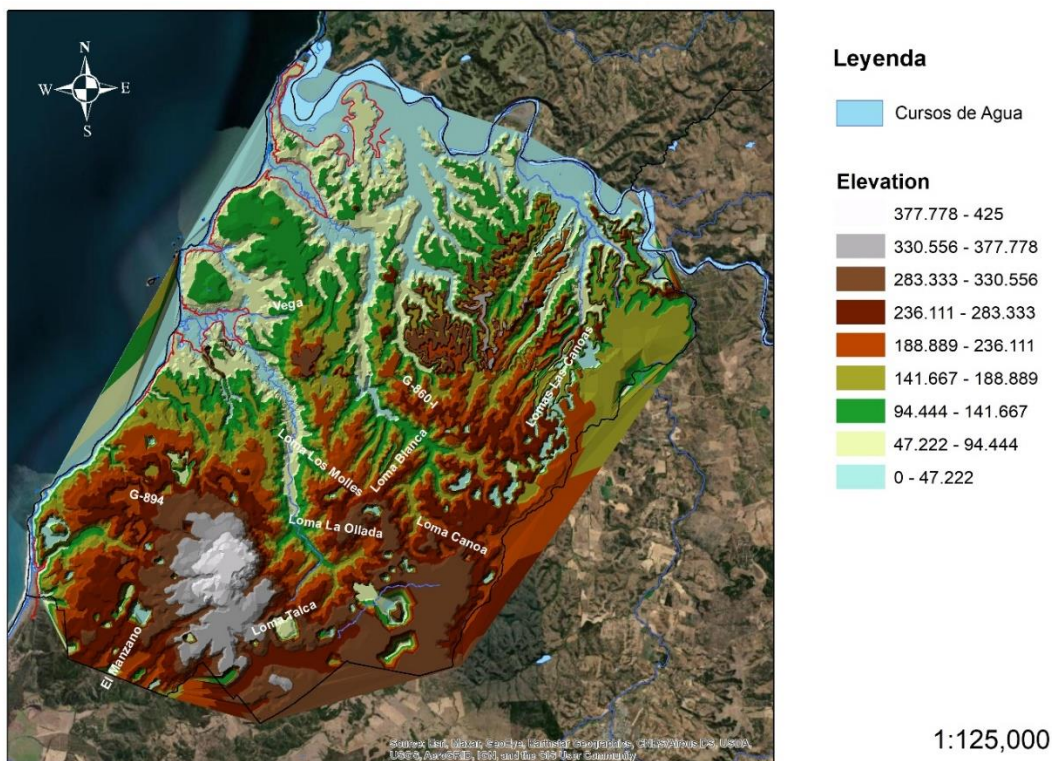
Las amenazas identificadas anteriormente, corresponden a la conjunción de las características geológicas y geográficas propias de una comuna que cuenta con una geografía con conjuga diversos elementos del paisaje como importante cuenca hidrográfica correspondiente a la cuenca del Río Rapel, la cual se ve impactada directamente por la presencia del Embalse y Central Rapel aguas arriba, a la predominancia de la Formación Navidad en la Cordillera de la Costa y valles interiores, cuyos suelos presentan una alta erosión y erodabilidad, y a la presencia de localidades costeras emplazadas tanto en la planicie litoral como en los acantilados costeros presentes en el borde costero, los que reciben los exutorios de los principales cursos y esteros que atraviesan la comuna, donde además existen depósitos de arenas que forman campos dunares activos, que intervienen los delta de las respectivas desembocaduras. Por otro lado, los usos de suelo de tipo plantaciones forestales, combinados con una vegetación de praderas, matorrales y especies propias del bosque esclerófilo y xerófito, condicionan al territorio ante la presencia de factores subyacentes al riesgo de incendios forestales.

Imagen 2. Modelo Digital de Elevación (DEM) del territorio de planificación.



Fuente: elaboración propia a partir de restitución.

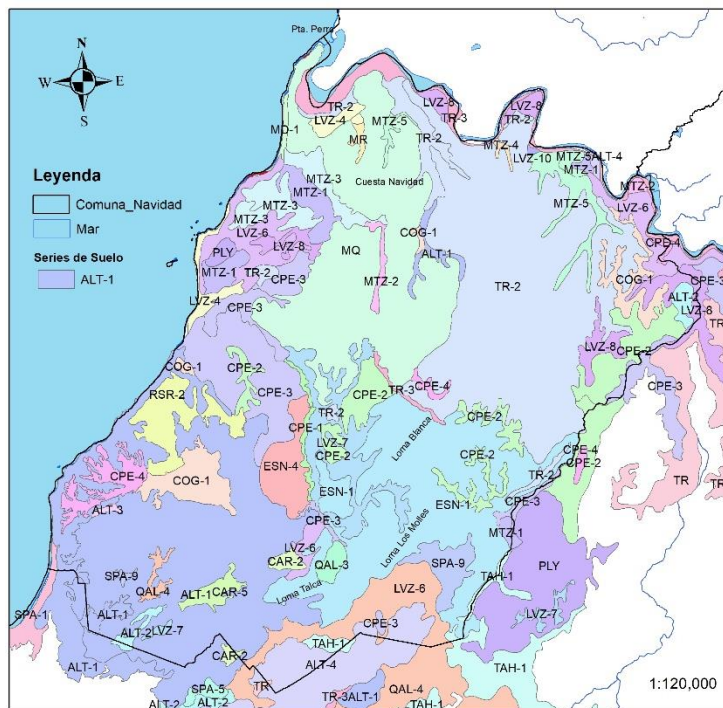
Imagen 3. Modelo de Elevación en metros (TIN) para la comuna de Navidad.



Fuente: elaboración propia a partir de restitución.

Imagen 3. Mapa Series de Suelo en la comuna de Navidad.

Foto 1: Perfil de suelo MTZ-5.



Fuente: elaboración propia, 2024.

Fuente: Arellano, 20 de septiembre 2023.

Respecto a su geología, ésta se caracteriza por la presencia de formaciones geológicas y la influencia directa de las fallas activas Pichilemu, Pichilemu-Vichuquén y la Falla Topocalma (Aaron et al, 2014) y Falla Puertecillo (Jara-Muñoz et al, 2015)⁴, las cuales si bien no atraviesan los límites administrativos del territorio comunal, son responsables de una alta sismicidad en la zona. De hecho, un desplazamiento de la Falla Pichilemu dio origen al evento sísmico de mayor magnitud acontecido el 27 de Febrero del 2010 (Mw=8.8), el cual dio origen a un tsunami que repercutió en casi todo el borde costero central y múltiples eventos de remoción en masa comunales de menor escala. Tal como se mencionó, a nivel geológico la Formación Navidad predomina en prácticamente todo el territorio comunal y está compuesta de areniscas, limolitas, conglomerados y coquinas. La característica distintiva más importante de esta formación es la predominancia de alternancias de areniscas y limolitas en capas de potencias que varían entre centímetros y metros. Las capas de areniscas presentan colores variables entre el ocre y el gris, mientras que el de las limolitas varía entre gris oscuro y blanquecino. La Formación presenta localmente abundantes fósiles de moluscos, foraminíferos, ostrácodos, corales, briozoos, equinodermos, cangrejos, peces y plantas. Con respecto a su expresión geomorfológica la Formación Navidad forma acantilados en la zona costera y relieves suaves en el interior, constituyendo los mejores afloramientos aquellos ubicados en el acantilado costero de La Boca, donde es posible observar el rumbo de la estratigrafía que evidencia los desplazamientos del conjunto de fallas ortogonales que atraviesan la región. De esta manera, la Formación Navidad aflora de manera continua entre Punta Toro y Boca Pupuya y al sur de esta última de manera discontinua hasta Punta Topocalma. Al norte de Punta Toro presenta escasos afloramientos entre San Antonio y Valparaíso⁵.

En la fotografía adjunta a continuación, se observa la totalidad de la columna del estratotipo de techo (Paraestratotipo) situado al norte del cerro Navidad (foto a). En este sector se pueden observar las formaciones Navidad, Licanheu y Rapel (foto b). En el sector denominado “la gruta” en la orilla sur del río Rapel a la altura de Licanheu, es posible observar el afloramiento de la formación del mismo nombre (foto2) mostrando una sucesión de areniscas y escasos conglomerados.

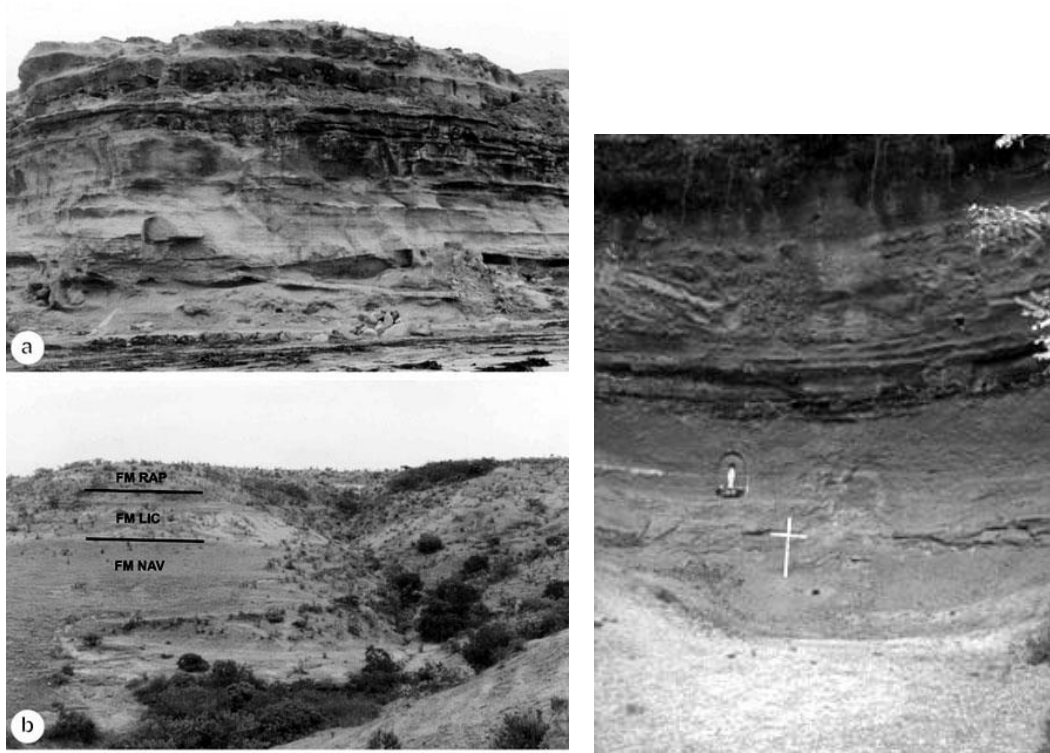
Foto a. Formación Navidad en Cerro Navidad

Foto b. Formaciones Rapel, Licanheu y Navidad

Foto 2. Formación Licanheu en sector la Gruta.

⁴ Constructing Forearc Architecture over Megathrust Seismic Cycles: Geological Snapshots from the Maule Earthquake Region, Chile. Aron et al, 2014. Geological Society of America Bulletin.

⁵ Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos mio-pliocenos del área de Navidad (33°00'-34°30'S), Chile central. Revista Geológica de Chile, 2006.



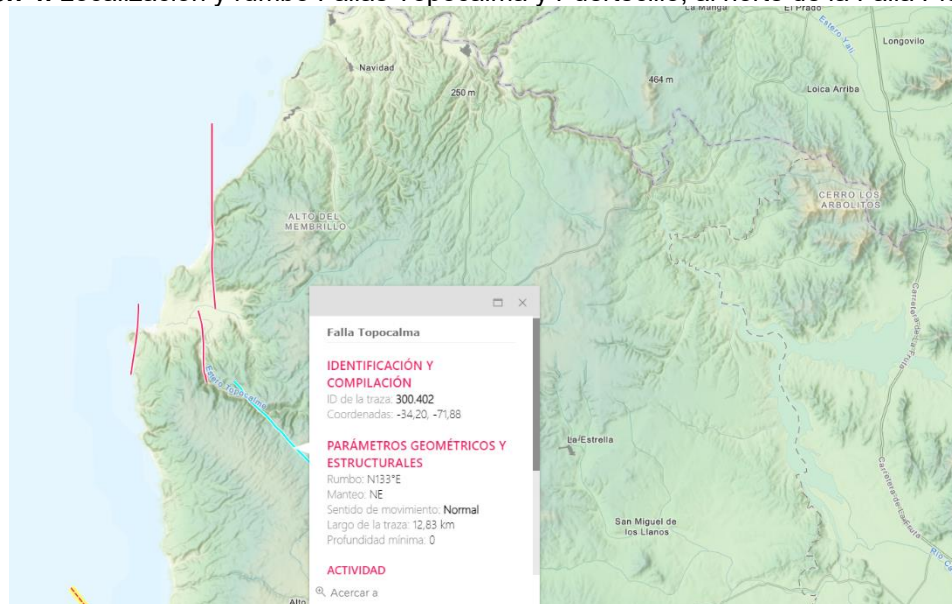
Fuente: Revista Geológica de Chile, V.33, 2006.

Foto 3. Evidencia de la Falla Topocalma sobre la Formación Navidad.



Fuente: Aron et al, 2015.

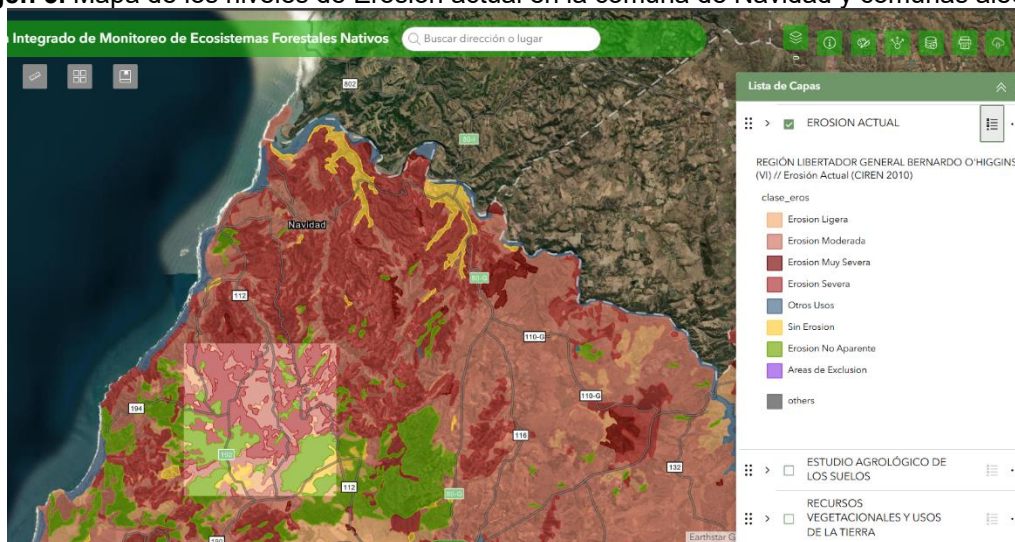
Imagen 4. Localización y rumbo Fallas Topocalma y Puertecillo, al norte de la Falla Pichilemu.



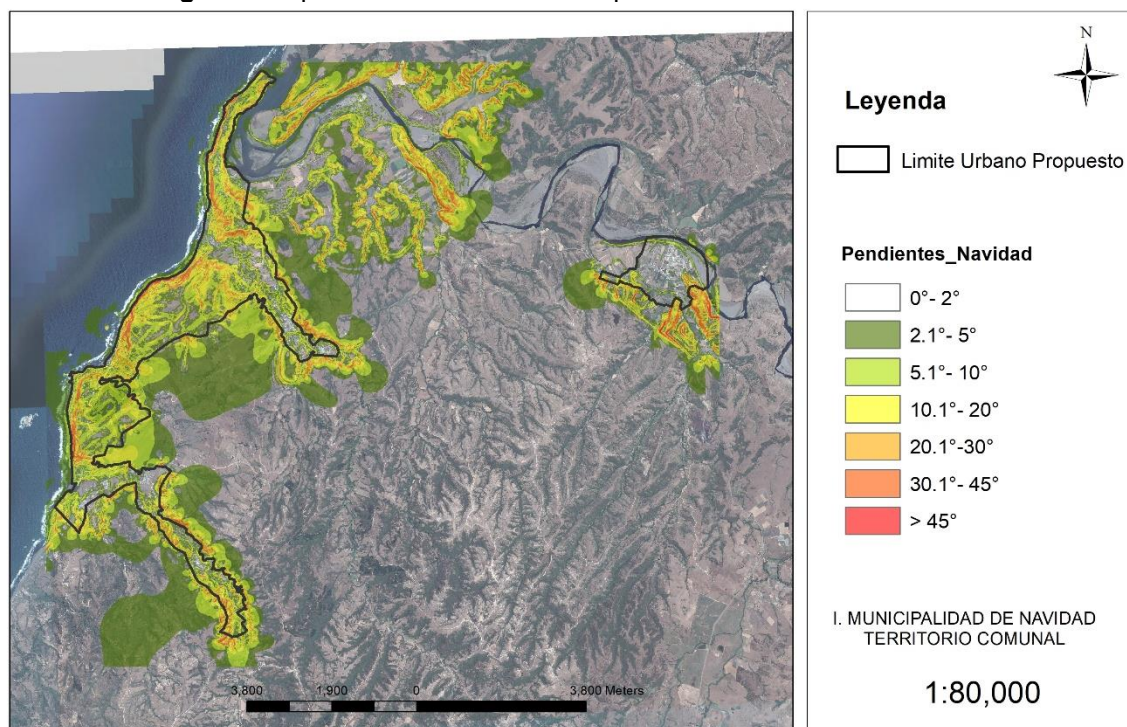
Fuente: www.fallasactivas.cl

La presencia de las formaciones anteriormente descritas, y el tipo de material sedimentario poco consolidado conformado principalmente por areniscas y suelos arcillozos, sumado a los vientos de dirección este, generan una constante erosión en la topografía costera y de valles interiores, tal como lo muestran los mapas a continuación.

Imagen 5. Mapa de los niveles de Erosión actual en la comuna de Navidad y comunas aledañas.



Fuente: SIMEF, 2025.

Imagen 6. Mapa de Pendientes área de planificación comuna de Navidad

Fuente: elaboración propia a partir de restitución.

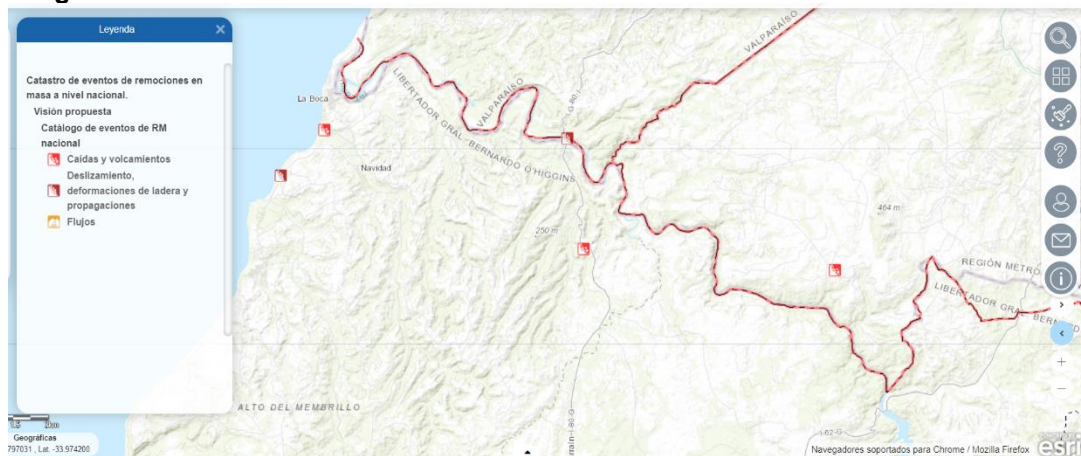
Por otra parte, las pendientes sobre 20 grados de acuerdo al umbral morfodinámico desarrollado por Araya-Vergara y Börgel (1972) generan erosiones de niveles muy fuertes, lo que da origen a movimientos en masa conforme se activan los factores detonantes como la deforestación, la intervención de laderas para apertura de caminos o loteos, precipitaciones extremas o sismos de mayor intensidad, los que producen como consecuencia remociones en masa de tipo húmeda como los flujos aluvionales, los cuales parten originándose como regueras y cárcavas que al crecer, terminan generando deslizamientos y flujos, así como remociones en masa de tipo seca, tal como los eventos de remoción en masa registrados por SERNAGEOMIN a partir del sismo del 27 de Febrero del 2010 (8.8 Mw) , los cuales se describen a continuación:

- Remociones en masa en la ladera norte del río Rapel a causa de una geología con sedimentos poco consolidados, arcillizados y sin litificación de la Formación Navidad, que no ofrece sustento favorable para el puente dado un movimiento sísmico de gran intensidad. Las malas condiciones geotécnicas y la pendiente abrupta, favorece el desarrollo de remociones en masa el talud de la ribera norte del río Rapel.
- Remociones en masa por sismos de réplica (Mw6,9, 6,7 y 6,0) en la carretera que une Navidad con Litueche (G-80-I) y (G-878) que cubrieron parcialmente la calzada, proceso de deslizamiento observado en la ribera sur del río Rapel. Además, se observaron los remanentes de numerosas remociones en masa del corte del camino producidas el 27 de febrero con fracturamiento (diaclasamiento) multidireccional que produjo bloques de 10 a 50 cm de diámetro. Asimismo, los cortes de taludes de los caminos resultaron muy abruptos para esa calidad de sedimentos.
- Remociones en masa en el Sector Las Brisas, se presentaron cortes del camino paralelo al acantilado costero y deformación leve del pavimento. El suelo se desarrolla sobre la misma unidad geológica anteriormente mencionada, siendo éste el motivo de la

desestabilización sumado a que los cortes de taludes de los caminos resultaron muy abruptos para esa calidad de sedimentos.

- Remoción en masa del talud de 25°, en el camino de entrada norte de la Playa de Matanzas. El material deslizado presentó un desnivel de 35 m y un ancho del cono de 60 m, lo cual produjo un corte del camino tras el sismo principal. Bajo esta remoción hay casas, principalmente de veraneo; existe agrietamiento del terraplén del camino sobre ellas.

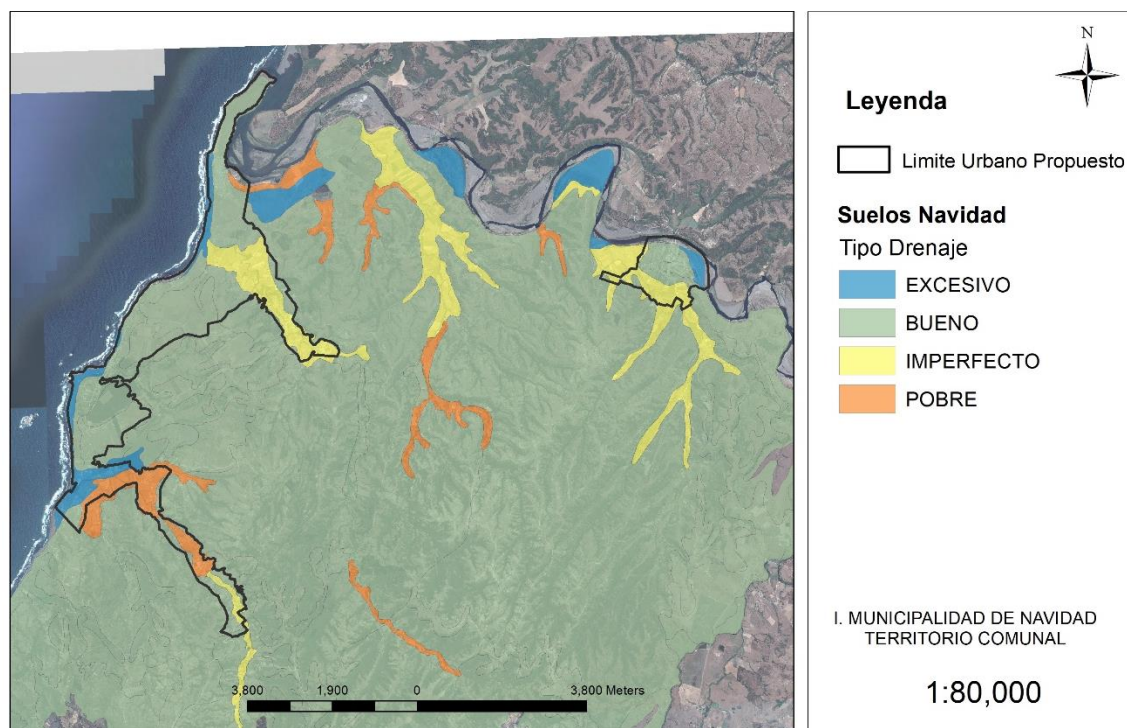
Imagen 7. Catastro de Remociones en Masa a causa del Sismo del 27 F del 2010.



Fuente: Portal Geominbeta, SERNAGEOMIN 2024.

Un factor importante para el análisis y el desarrollo del análisis multicriterio de las amenazas de inundación y remoción en masa, corresponde a las características de los suelos existentes en la comuna de Navidad, los que son valorizados y ponderados para luego ser parte de una batería de factores condicionantes que dan origen a los modelos de susceptibilidad. Dentro de estas características, uno de los factores que más peso considera es el drenaje, debido a que un drenaje pobre o imperfecto, va a generar saturación rápida del suelo, y con ello, anegamiento o inundación; mientras que por otra parte, un suelo saturado en pendiente sobre los 20° puede generar eventos de remoción en masa, conforme al tipo de sustrato y cobertura vegetal que presente una ladera, terraza o escarpe.

Imagen 8. Mapa de los Tipos de Drenajes de suelo para el área de planificación de la comuna de Navidad.



Fuente: Elaboración propia en base a cartografía de suelos CIREN.

II.- METODOLOGÍA EMPLEADA

Considerando que el presente estudio tiene por premisa y finalidad actualizar el estudio de riesgos de la comuna de Navidad, en el marco de las Modificaciones al PRC de Navidad, conforme a los lineamientos establecidos por la DDU 510 o también denominada “Guía Metodológica para la elaboración de Estudios de Riesgos en IPT” de MINVU, y a lo establecido en el artículo 2.1.17 de la OGUC, el presente estudio se elaboró empleando una metodología semi-cuantitativa, mediante el análisis multicriterio de diversas variables de tipo físicas, las cuales se valorizaron y ponderaron de acuerdo a los parámetros establecidos en la referida Guía o DDU 510, pero adaptándose en base al criterio heurístico de la consultora, basada no sólo en la data entregada por la información cartográfica y estadística disponible, sino que también en base a la información recopilada y observada en terreno. Es así como, a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM) de terreno con píxeles cada 5 metros, y curvas de nivel cada 2 mts, se estimaron variables base como pendiente, erosión, dirección y acumulación de flujos, que luego fueron procesadas y ponderadas con variables cartográficas de tipo físico en formato vectorial (suelos, vegetación, drenaje, geología, cauces) procesadas en el programa ArcGis 10.8, todo lo cual dio origen a los modelos de Remoción en Masa, Inundación e Incendios Forestales que se presentan a continuación.

Cabe destacar que la presente actualización, consideró la inclusión de nuevas capas cartográficas, así como nuevos criterios de valoración y ponderación distintos al modelo realizado por la PUC, incluyendo bases de datos más actualizadas y completas, como el catastro de Bosque Nativo de CONAF 2013, asignándole una valoración y ponderación a más categorías dentro de capa vegetación (presencia, tipo y densidad). En la misma línea, se empleó la base cartográfica de CIREN que describe los tipos de suelo presentes en la región de Ohiggins, con desagregación de sus características edafológicas y pedológicas, lo cual permitió tener un detalle

más profundo y una mayor escala de ponderaciones con 5 niveles de susceptibilidad para cada amenaza.

Para velar por la coherencia del modelo con la realidad territorial se consideraron puntos de control en las diferentes localidades, a través de las cuales se pudo validar un modelo u otro.

II.1 AMENAZA DE INUNDACIÓN POR TSUNAMI

Después del Terremoto del 27 de febrero del 2010, la amenaza de inundación por tsunami es uno de los mayores riesgos latentes que preocupan y ocupan la gestión de reducción del riesgo en Chile. En atención a la nueva Ley 21.364 que establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastre y el Decreto S N°86 de 2023 del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, y considerando lo indico en DDU 537 el organismo técnico encargado de la elaboración del mapa de amenaza por tsunami, traducido en Cartas de Inundación, es el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Sin embargo, este organismo Organismo Técnico para el Monitoreo de Amenazas (OTMA) aún no publica la Carta de Inundación para el área del borde costero de la comuna de Navidad, por lo que se tomará como base, el estudio de la PUC sobre Sismos y Maremotos para las comunas costeras realizado el 2010, que corresponde a un estudio acotado por las diferentes localidades costeras habitadas de la comuna de Navidad, que es el insumo más reciente y a la escala que corresponde a una PRC.

Este estudio, modeló un escenario en base a la magnitud del sismo 27F (8.8 Mw), ya que constituía precisamente el peor escenario posible creíble para las costas de ambas regiones, considerando su magnitud, su extensión y los graves daños ocasionados. La modelación considera generación, propagación y cálculo de altura del tsunami antes de arribar a la costa y permite identificar las áreas amenazadas relacionando la altura máxima del tsunami con la topografía, estableciendo niveles de peligrosidad diferenciados a partir de la profundidad de inundación sobre el terreno. Es por este motivo, que el presente estudio validará los resultados de la modelación y zonificación del estudio realizado por la PUC, no volviéndose necesaria una nueva modelación tsunamigénica, siendo un insumo fiable y consistente con los objetivos que persigue el presente estudio. A continuación, se detallará la amenaza por tsunami de acuerdo a cada localidad urbana.

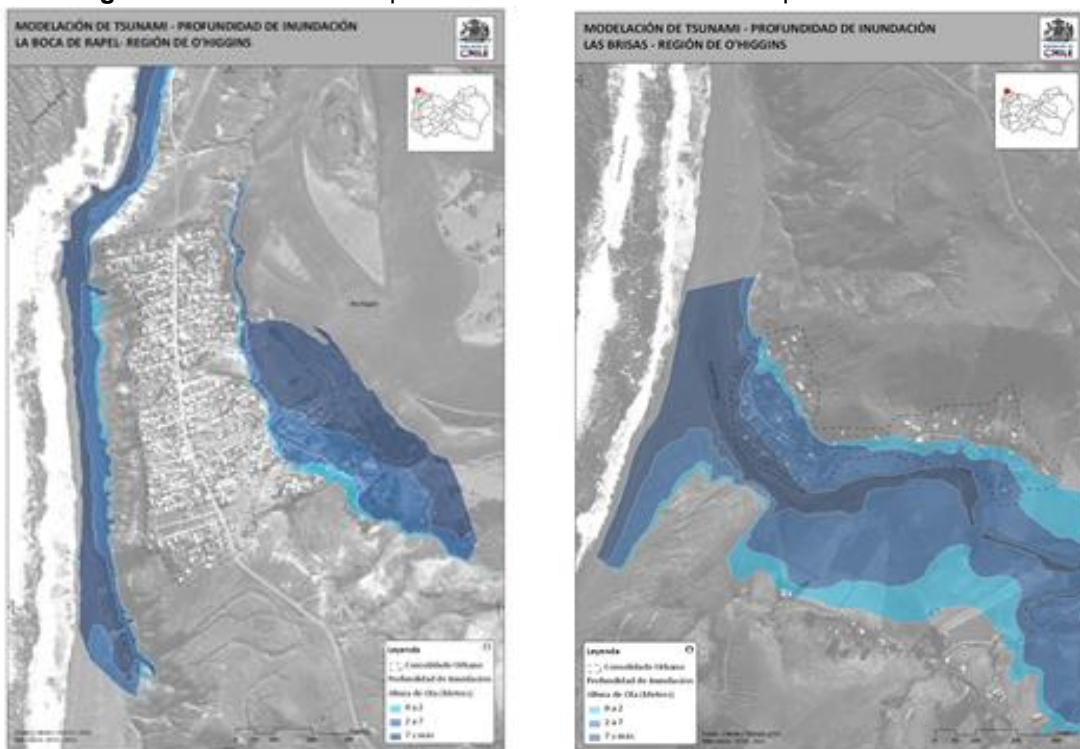
II.1.1.- Amenaza de inundación por tsunami según profundidad de la ola en metros.

La Boca de Rapel: De acuerdo al levantamiento en terreno realizado por SERNAGEOMIN el 2010, en este sector se desarrolló un tsunami menor sobre la playa (50-70m); sin embargo, este penetró directamente aguas arriba por la desembocadura del río Rapel, a lo menos 5 km por su cauce. Se detectaron evidencias de hasta 1,5 a 2 m de inundación por el tsunami de la rivera izquierda de éste, con restos de fauna marina muerta y restos de plantas acuáticas.

En el caso de la Boca, dado que existe un farellón o acantilado costero, la exposición al riesgo de las viviendas que se emplazan sobre el acantilado es prácticamente nula. Sin embargo, por la ladera este de esta formación, correspondiente a la desembocadura del río Rapel, existe riesgo de inundación por penetración de la ola del tsunami que cubre una zona más extensa, debido a que la pendiente en dicho sector considera una planicie tipo terraza, que actualmente se encuentra habitada en su mayor parte por pescadores y residenetes antiguos, así como también existe infraestructura crítica, como es el Estadio de La Boca de Rapel.

Imagen 9 a la izquierda. Mapa de la Modelación de Tsunami para el sector de la Boca de Rapel.

Imagen 10 a la derecha. Mapa de la Modelación de Tsunami para el sector de Las Brisas.



Fuente imágenes: Estudio de Riesgos por Sismos y Maremotos, PUC 2010.

La cartografía desarrollada por el estudio de la PUC, indica la profundidad de la ola, marcando los niveles de amenaza alta para aquella área cubierta por la ola de 7 mts y más, amenaza media para el área que abarca la ola de 2 a 7 mts, y amenaza baja para una altura de ola de 2 mts, que corresponde al color calipso que se encuentra más tierra adentro.

Sector Las Brisas: en esta localidad se detectaron evidencias de un tsunami menor sobre la playa (<50 m de ingreso); sin embargo, este penetró directamente hacia el estero cortando la barra de dunas que delimitaba la laguna longitudinal preexistente, y fluyó aguas arriba, encauzado por el estero, por ~1.900 m, hasta el sector denominado “El Badén”. Actualmente este sector se encuentra habitado en todo el borde del estero Navidad, existiendo hasta servicios en lo que sería actualmente una zona de riesgo alto por inundación tanto de tsunami como por crecida del estero mismo.

La existencia de una duna transversal a la desembocadura, aumenta el riesgo para quienes se encuentran habitando el área sobre la curva antes de la desembocadura del Estero Navidad, ya que un eventual tsunami podría arrastrar todo este material arenoso y depositarlo sobre las viviendas que se encuentran en riesgo alto. De igual forma, al entrar río arriba la ola, ésta puede ir depositando material que modifique el cauce y por tanto, la batimetría del estero, aumentando con ello la probabilidad de inundación por desborde de cauces.

Sector Matanzas: en este sector el tsunami se presentó con lóbulos definidos y penetró por sectores que muestran depresiones de las barras de dunas que existen a lo largo de la playa. El “espumón” de la ola fue moderadamente destructivo y alcanzó hasta 2 m en lóbulos de más de 120 m de ancho y de hasta 70 m de penetración sobre la línea de alta marea. Por el estero

ubicado en la parte sur de este balneario, se introdujo alrededor de 150 m, con una ola de hasta 1,5 a 2 m de altura⁶.

El sector de la playa de Matanzas es uno de los más expuestos a nivel comunal, dado que corresponde a una bahía abierta, y que, a diferencia de los balnearios anteriores carece de acantilado o de un campo dunar como barrera protectora frente a una inminente ola de mayores proporciones, es además, donde se ubica una mayor cantidad de viviendas y servicios de tipo turístico bajo la cota de línea segura (30 msnm). Esta área se ve afectada además por la presencia de una desembocadura que llevaría los efectos de la ola río arriba por el Estero Matanzas, impactando sobre una mayor exposición del territorio.

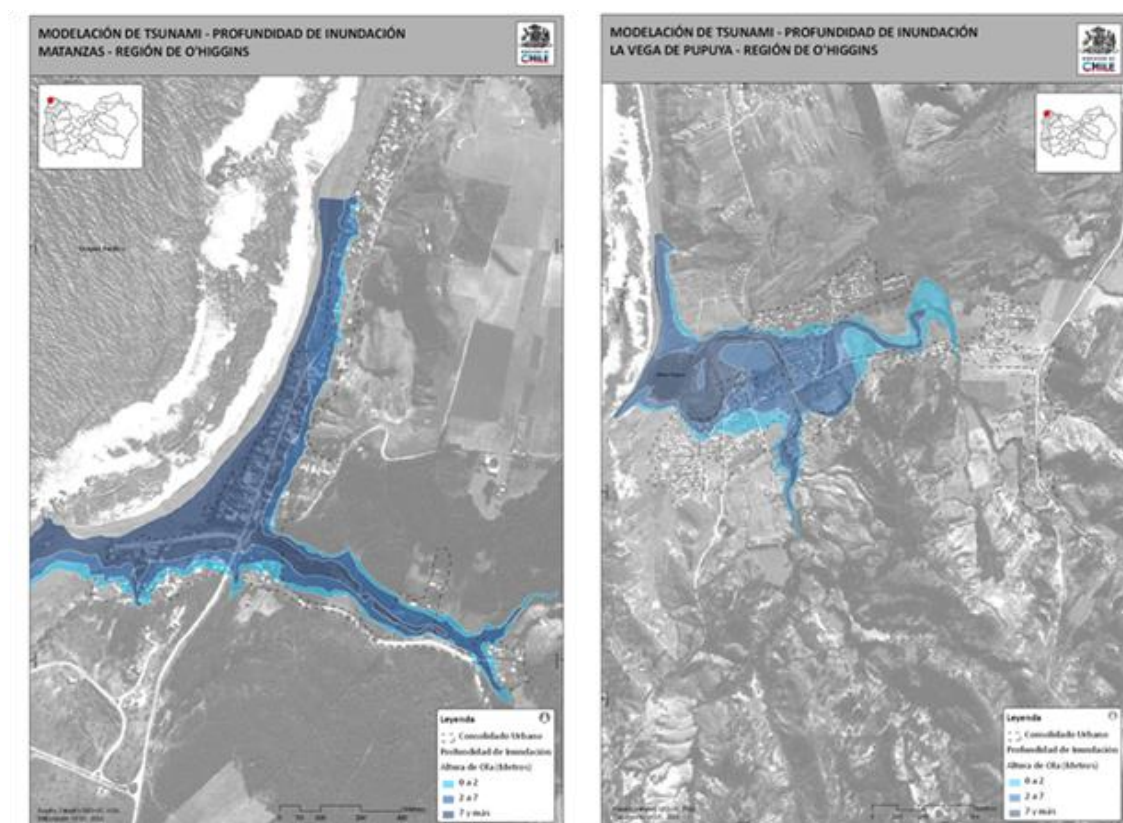
Sector La Vega de Pupuya: Este sector es, junto con Matanzas otro de los sectores que se vería mayormente afectado por la amenaza de tsunami en cuanto a extensión del área afectada, ya que es uno de los sectores urbanos que más ha crecido espontáneamente. Y si bien, cuenta con un pequeño acantilado y campo dunar que lo protege de la amenaza directa, el problema es que en la ribera norte de la desembocadura del Estero Pupuya, se ha ido poblando *sobre* el campo dunar, existiendo actualmente loteos de vivienda formales, e informales (existe una toma en el área de amenaza), en donde confluyen proyectos habitacionales precarios, con aquellos que presentan una alta plusvalía en cuanto a materialidad.

El problema de esta situación de crecimiento espontáneo es que esta zona corresponde a un delta (existe un humedal homónimo) por lo que ante un eventual tsunami, el mar ingresaría aguas arriba del estero Pupuya, abarcando completamente el sector del humedal que lo rodea, y prácticamente todo el territorio emplazado sobre la pendiente nula y suave, que es donde actualmente ya existen viviendas instaladas.

⁶ EFECTOS GEOLÓGICOS DEL SISMO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010: OBSERVACIONES DE REMOCIONES EN MASA Y DEPÓSITOS DE TSUNAMIS EN LA COMUNA DE NAVIDAD, VI REGIÓN DE O'HIGGINS. (INF-O'Higgins- 01) SERNAGEOMIN, Marzo 2010.

Imagen 11 a la izquierda. Mapa de la Modelación de Tsunami para el sector Matanzas.

Imagen 12 a la derecha. Mapa de la Modelación de Tsunami para el sector de la Vega de Pupuya.



Fuente: Estudio de Riesgos por Sismos y Maremotos, PUC 2010.



Foto 4. Desembocadura La Vega de Pupuya, con su campo dunar habitado por viviendas particulares y la intervención de un proyecto habitacional que incluye urbanización.

Fuente: la autora, Septiembre 2023.

para determinar la amenaza de tsunami, sí lo hizo para la amenaza de inundación por desborde de cauces, coincidiendo en el área expuesta a la amenaza, dado que las condiciones geográficas son las mismas para ambas amenazas: pendiente nula a suave propias de un delta o exutorio de un curso de agua en el mar, por lo que el análisis se centró en la exposición al riesgo de su población.

Después del Tsunami del 2010 hubo otro factor detonante en la expansión y crecimiento del borde costero de la región de Ohiggins, el denominado “efecto pandemia” creó una presión inmobiliaria

en sectores rurales o urbanos aún no poblados, sobre los cuales se comenzaron a construir viviendas o segundas residencias bajo el formato de “parcelaciones de agardo”, es decir, predios de 5000m². Esto debido a que una parte de la población de las ciudades emplazadas en la depresión intermedia, se desplazó a residir durante el período de confinamiento al borde costero del litoral de la región de Ohiggins⁷, haciendo que aumentara el número de personas como de viviendas que se encuentran afectas a este tipo de peligro al localizarse bajo la cota de inundación calificada como de riesgo alto y medio. Si bien esta migración fue temporal, lo que no fue temporal fue la compra y venta de loteos o parcelaciones en zonas de expansión urbana e interfaz urbano-rural, aumentando la exposición de su población no sólo al riesgo de tsunami, sino que a todas aquellas amenazas que tienen como foco o localización principal las área antemencionadas.

Foto 5. Zona inundable por tsunami y marejada en ladera poniente del acantilado costero en el sector de La Boca.

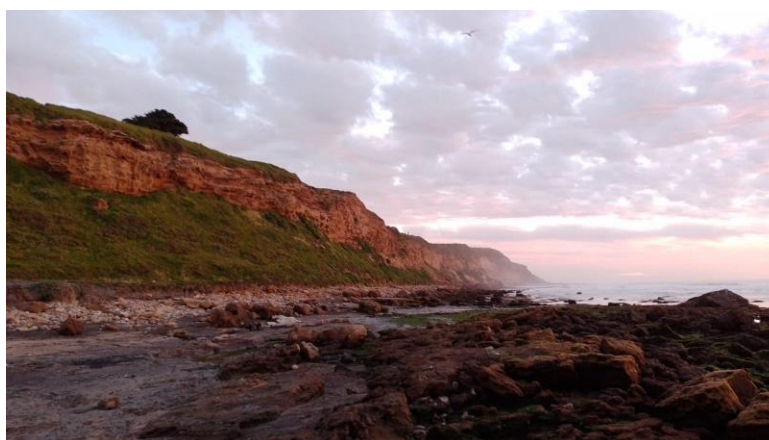


Foto 6. Zona inundable por tsunami y desborde de cauce en ladera oriente de la desembocadura del río Rapel en La boca, foto tomada desde sector Mirador.



Fuente: Arellano, 20 Sept 2023.

⁷ Este fenómeno no fue propio sólo de esta región, sin embargo, dada la cercanía a la Región Metropolitana, así como a las ciudades de Rancagua y San Fernando, la región de Ohiggins junto con el litoral de la V Región, sufrieron un impacto mayor al de otros bordes costeros cuyas capitales regionales concentran una menor población.

II.2 AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

Tal como se describió en el apartado de descripción geológica y geomorfológica, las características y condiciones naturales del territorio, tales como las formaciones sedimentarias que abarcan gran parte del territorio comunal, así como las abruptas pendientes propias de la cordillera de la costa, sumada a la presencia de dunas y suelos de mal drenaje, son condiciones propicias para el desarrollo de eventos de remoción en masa. La amenaza de remoción en masa suele sucitarse, ya sea por acción de actividad sísmica, que en la región es constante debido a la presencia de fallas continentales como submarinas activas, así como por la saturación de Tal como se describió en el apartado de descripción geológica y geomorfológica, las características y condiciones naturales del territorio, tales como las formaciones sedimentarias que abarcan gran parte del territorio comunal, así como las abruptas pendientes propias de la cordillera de la costa, sumada a la presencia de dunas y suelos de mal drenaje, son condiciones propicias para el desarrollo de eventos de remoción en masa. La amenaza de remoción en masa suele sucitarse, ya sea por acción de actividad sísmica, que en la región es constante debido a la presencia de fallas continentales como submarinas activas, así como por la saturación de suelos de mal drenaje, los cuales, ante la ocurrencia de precipitaciones intensas o extremas en un espacio temporal breve, se saturan y colapsan, y si a esta condición se suma el efecto de gravedad por pendiente, entonces se desencadenan movimientos o deslizamientos de tierra por gravedad, las cuales corresponden a una de las clasificaciones por remociones en masa.

Por otro lado, estos factores naturales condicionantes, se ven potenciados aún más con acciones antrópicas como la intervención de laderas para apertura de caminos privados o red vial pública, las cuales atraviesan e intervienen las quebradas, así como por el avance cada vez más rápido de regueras y cárcavas, generadas por la erosión del escurrimiento superficial de las precipitaciones en suelos de mal drenaje, lo que aumenta la probabilidad de ocurrencia de este tipo de eventos.

De esta manera, factores como la densidad y tipo de vegetación, la geología, las pendientes de laderas y quebradas, así como todas las características edafológicas del suelo (estructura, textura, erosión, drenaje y saturación) permiten identificar aquellas zonas más susceptibles de presentar amenazas por este tipo de eventos, ante la presencia de factores desencadenantes como los antes mencionados.

El modelo de remoción en masa consideró 3 variables determinantes para su desencadenamiento, las cuales se activan a través de factores detonantes como un terremoto o sismo de alta intensidad, o a través de precipitaciones extremas que saturan los suelos de drenaje pobre y permeabilidad lenta, generando un mayor peso en el estrato suelo, el que puede ceder cuando existen condiciones de pendientes fuertes. Los factores condicionantes considerados a partir de la información cartográfica disponible para Navidad, fueron:

Edafología: considerando el tipo o serie de suelo, que a su vez está compuesta de subvariables como la textura, profundidad, erosión, pendiente, permeabilidad y drenaje del suelo.

Pendiente: considera los procesos evolutivos de erosión en base umbrales morfodinámicos a partir de los grados de pendiente.

Vegetación: considera criterios de tipo y densidad de vegetación, toda vez que éstos permiten enraizar el sustrato suelo, restándole acción a la erosión o a los deslizamientos por gravedad.

Tabla 3. Ponderaciones y valoraciones modelo de Remoción en Masa

Ponderación Edafología 25%	Ponderación Pendiente 50%	Ponderación Vegetación 25%
Valoración	Valoración	Valoración
No Suelos = 0	Pendiente entre 0 a 5° = 1	Plantación de Bosque Adulta = 1
Terraza aluvial valle costero = 1	Pendiente entre 5.1° a 10° = 2	Plantación Joven o Recién Cosechada = 2
Asociación Lo Vasquez = 2	Pendiente entre 10.1° y 20° = 3	Bosque Nativo Renoval Abierto = 3
Asociación Matanza (terrazas marinas) = 3	Pendiente entre 20.1° y 30° = 4	Praderas Anuales y Matorral = 4
Suelos Misceláneos = 4	Pendiente sobre 30° = 5	Playas, ríos, terrenos agrícolas = 0

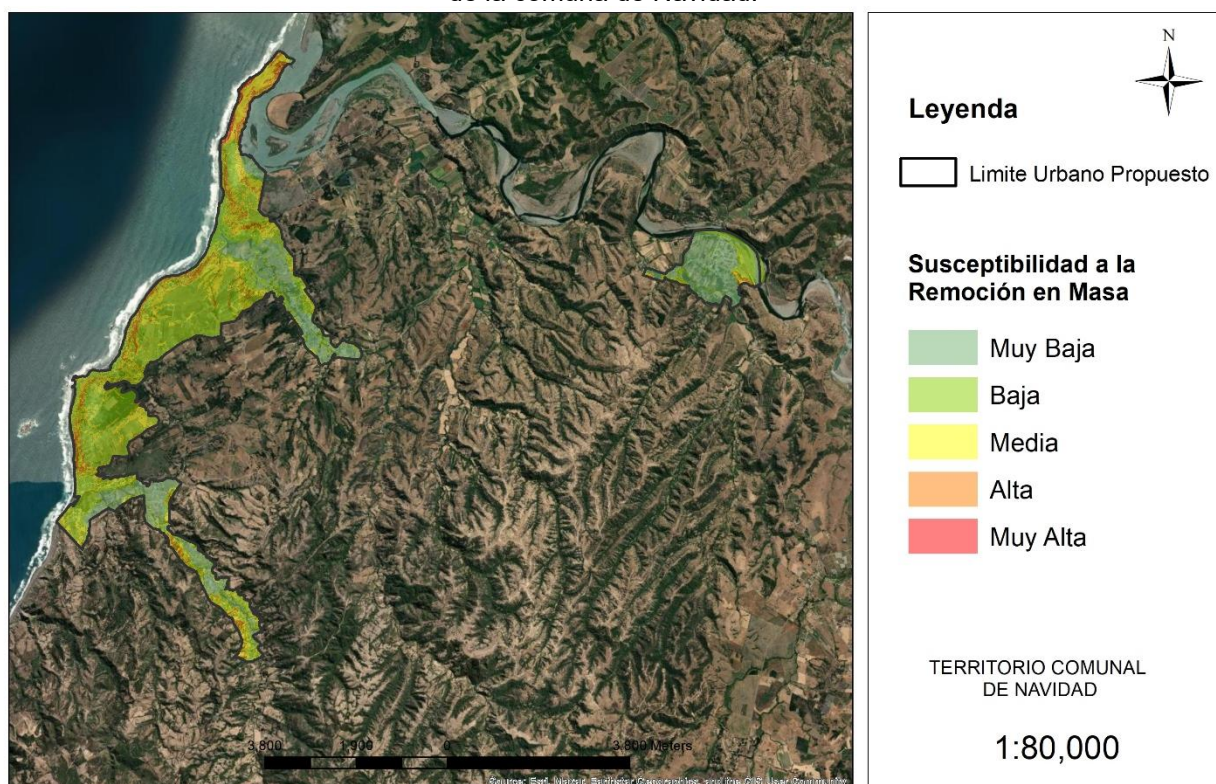
Fuente: elaboración propia, 2025.

De esta manera, poniendo foco en las áreas urbanas de planificación, se llegó a la identificación de las siguientes zonas con amenaza por remoción en masa:

Sector La Boca - Las Brisas: En el sector de La Boca predomina el nivel medio para la remoción en masa, ya que, el afloramiento de la Formación Navidad en forma de acantilado costero, genera pendientes abruptas que junto a la abrasión marina y acción eólica que erosionan esta formación, favorecen las condiciones para el desprendimiento y deslizamiento del material sedimentario. En el sector de La Boca, cabe destacar que sin embargo, lo que queda clasificado como amenaza de remoción en masa de nivel bajo (terrazza nororiental de la desembocadura de La Boca), corresponde a un área donde la amenaza de inundación es alta. Por lo que no está exenta de amenaza, y un evento de inundación, como el acontecido en septiembre de este año, sería un detonante de la amenaza de remoción en masa de tipo húmeda. Por otro lado, es en el sector de Las Brisas donde se presenta el nivel de amenaza por remoción en masa alto, aunque en menor extensión, específicamente en el campo dunario al norponiente de la desembocadura del Estero Navidad, que presenta una mayor pendiente, y sobre todo porque se emplaza sobre las series de suelo Asociación Matanzas y Serie Lo Vásquez, los cuales presentan una saturación de suelo que si bien es baja, da un mayor peso a esta variable.

Sector Matanzas: En este sector la presencia de la Asociación Matanzas además de la pendiente del escarpe de menor altura son determinantes en la consideración del nivel medio de la remoción en masa. Por otro lado, no hay que olvidar que, al igual que en el sector de Las Brisas, la desembocadura del Estero Matanzas constituye siempre un curso de probables eventos de microremociones, a partir de la formación de regueras y cárcavas aun en laderas de baja altura. Cárcavas cuya cabecera tiende a crecer de manera regresiva, lo que en el mediano plazo genera microdesprendimientos del terreno, ensanchando los cauces y depositando dicho material en el fondo de los cursos de agua; material que posteriormente puede ser arrastrado en un evento de desborde de cauce o aluvionamiento.

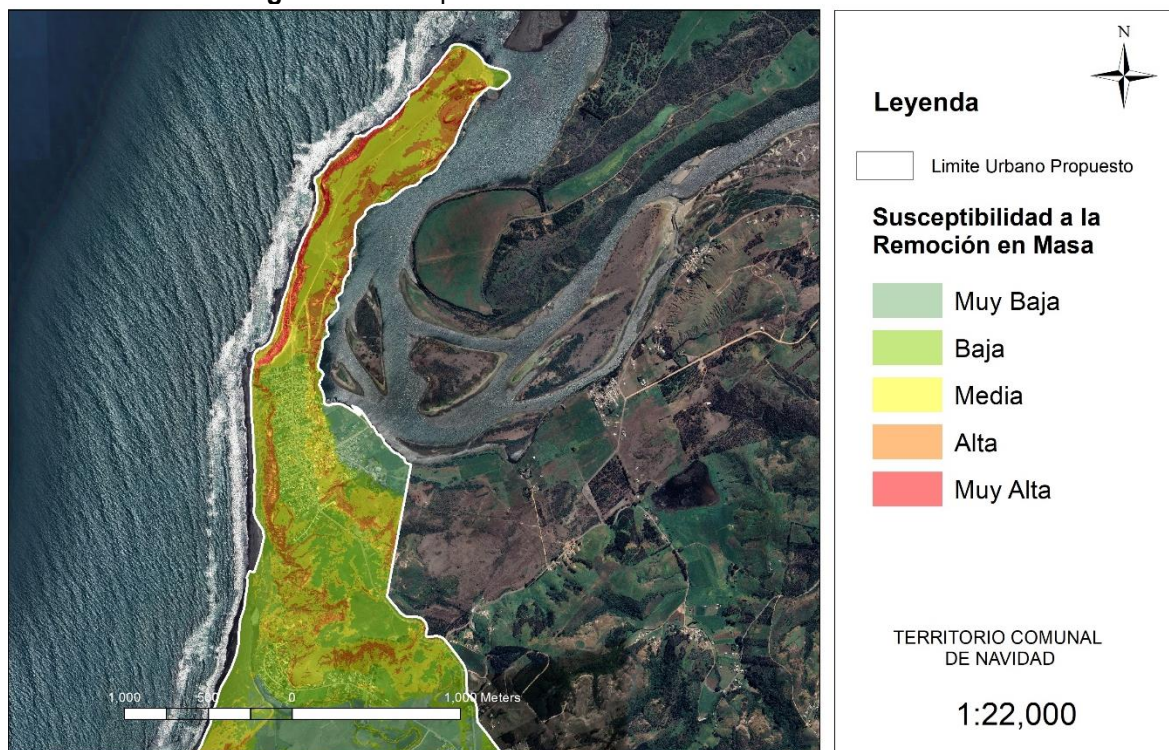
Imagen 13. Mapa de susceptibilidad para la amenaza de Remoción en Masa en el área de planificación de la comuna de Navidad.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

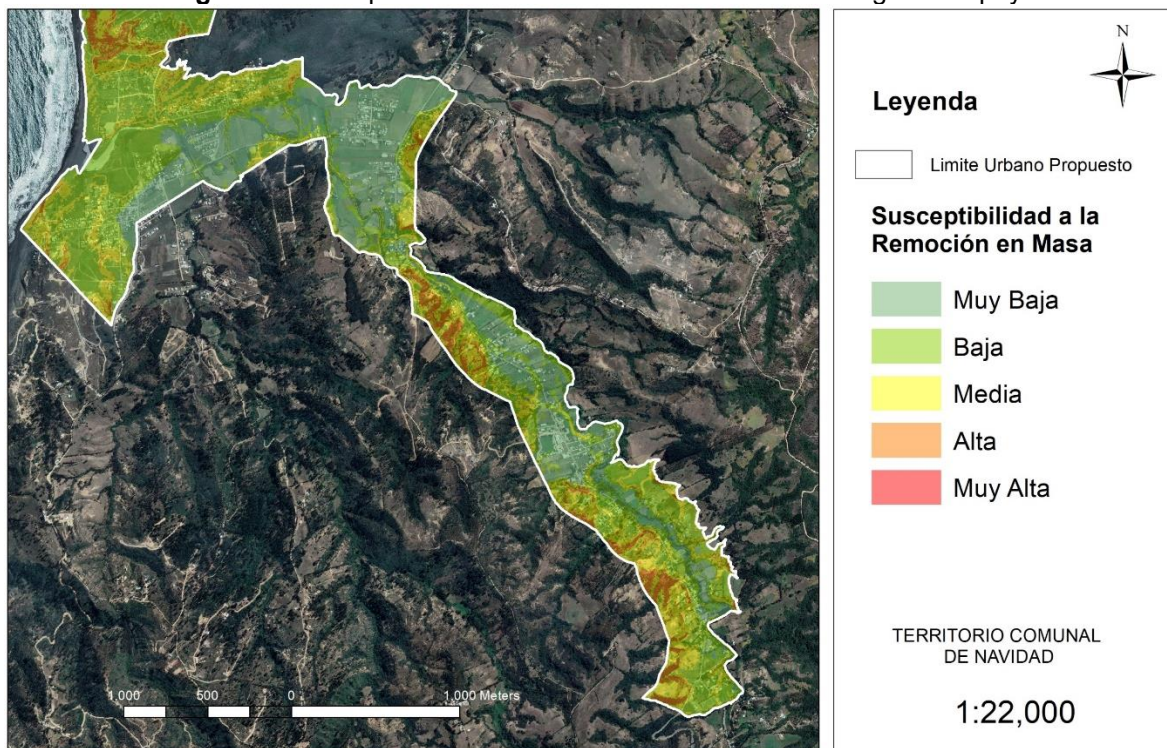
Sector La Vega de Pupuya: Si bien el sector de la Vega de Pupuya presenta una pendiente nula u horizontal en su área mayormente poblada, el hecho de que la serie de suelo Asociación Curanipe cubra una parte importante de esta localidad, genera una condición de suelo de mal drenaje y muy rápida saturación, favoreciendo la aparición de regueras o de microdesprendimientos en pendientes altas como en el fondo de valle o zona de contacto entre las laderas de los cerros y la terraza fluvial, las que tarde o temprano, producto de la saturación de agua terminan desprendiéndose a modo de socavones o deslizamientos de tierra. De igual forma, la urbanización espontánea sobre las dunas, aumenta la exposición al riesgo múltiple, toda vez que construir sobre dunas costeras no sólo expone a sus habitantes (permanentes o temporales) al peligro de licuefacción, sino que éstas se emplazan en zonas afectas a la amenaza alta por tsunamis, y, a la misma vez, a la amenaza de inundación por desborde de cauces, toda vez que son parte del delta de la desembocadura del Estero Pupuya, pudiendo desencadenar a su vez de remociones en masa tipo “socavones” debido a la constante agua.

Imagen 14. Susceptibilidad Remoción en Masa Sector La Boca.



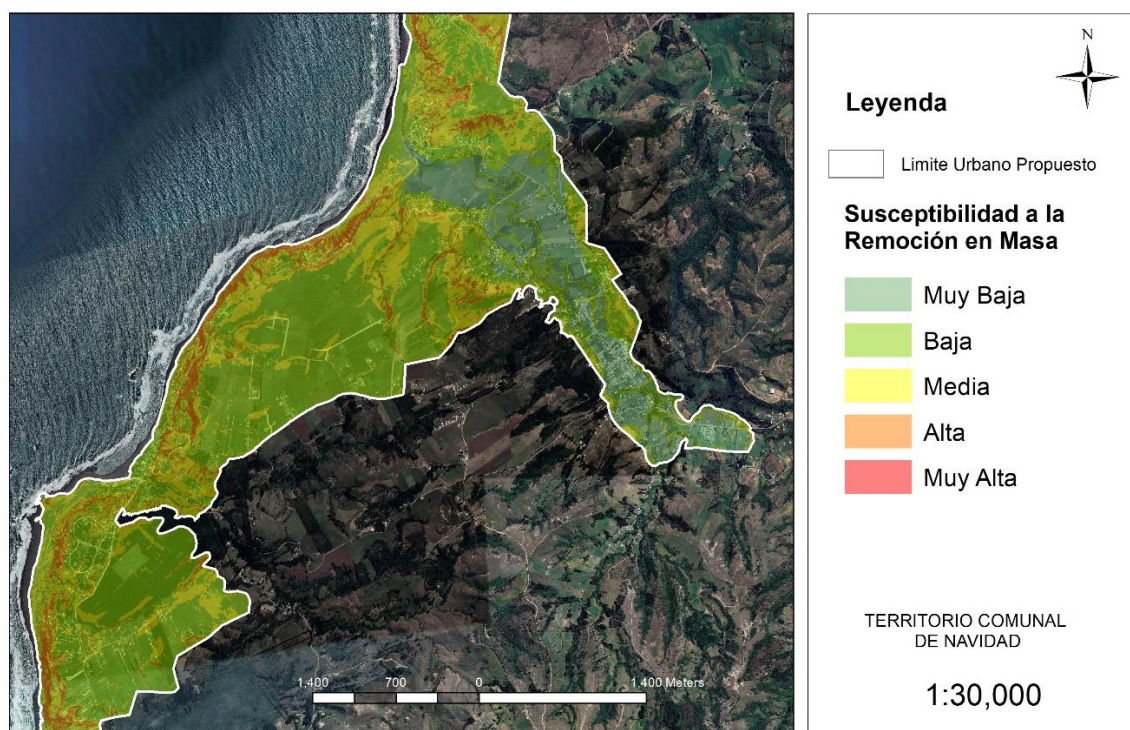
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 15. Susceptibilidad Remoción en Masa Sector La Vega de Pupuya



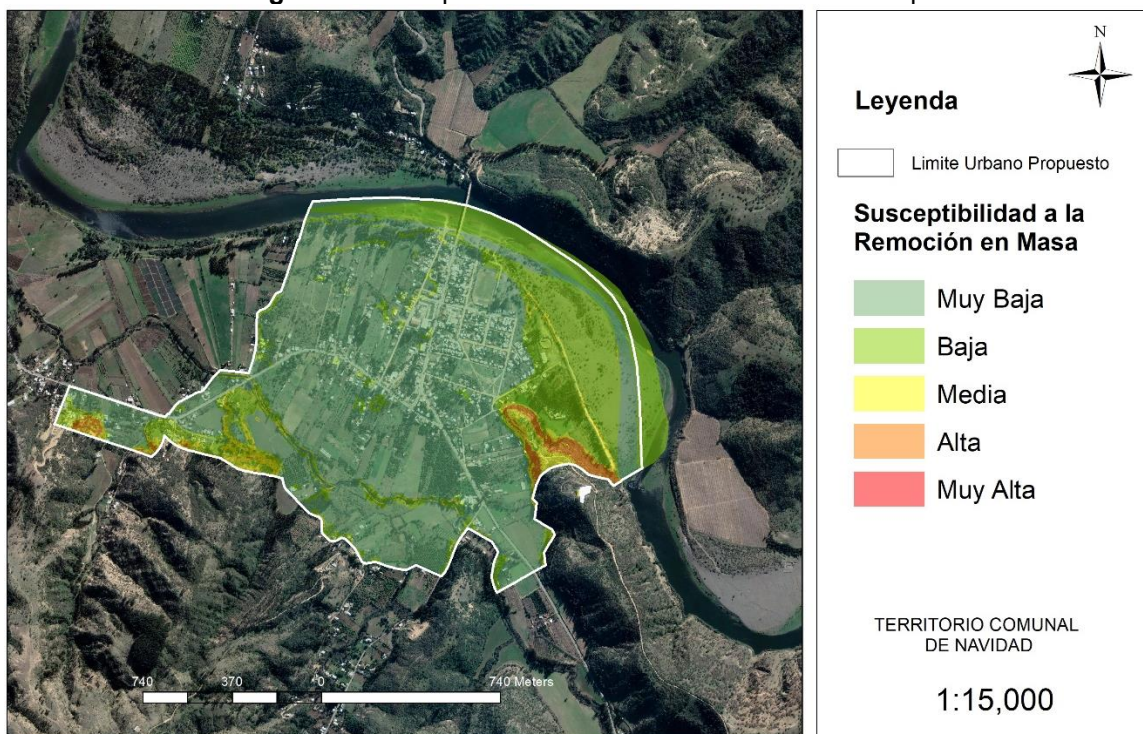
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 16. Susceptibilidad a Remoción en Masa Sector Las Brisas-Matanza-Centinela.



Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 17. Susceptibilidad Remoción en Masa Sector Rapel.



Fuente: elaboración propia, 2025.

II.3 AMENAZA DE INUNDACIÓN POR DESBORDE DE CAUCES

Para la amenaza de inundación por desborde de cauces, se empleó un modelo mixto para el análisis multicriterio, partiendo desde un análisis ráster del modelo DEM con pixel cada 5m. A partir del DEM, se calcularon las superficies hidrológicas necesarias para identificar zonas de concentración de flujo y derivar cauces potenciales lo que permitió calcular la dirección y acumulación de los flujos de agua de las microcuencas de cada curso de agua, que a su vez fueron jerarquizados conforme su importancia hidrológica (ríos, esteros, quebradas), lo que permitió establecer categorías en base al caudal que cada curso puede aportar (aún sin la determinación exacta de su caudal al no contar con estaciones fluviométricas), y por tanto, la magnitud de su crecida, e impacto ante un eventual desborde. A los mismos, se les asignó un buffer desde el eje de su cauce hacia un área de influencia al desborde inmediata. En los casos de junta de esteros en ríos o de quebradas en esteros, el modelo resolvió los solapes asignando la mayor jerarquía.

Una vez que se tuvo esta información, el modelo ráster se convirtió a una capa vectorial, sobre la que se cruzaron las otras variables vectoriales detalladas en la tabla adjunta a continuación, dando como resultado una capa vectorial única para el análisis de inundación a escala urbana 1:2.000, con influencia de cauces, pendiente y drenaje integrados y ponderados. Finalmente, este modelo fue limitado a las curvas de nivel que, conforme al modelo inundación por tsunami de la PUC, se consideró área inundable. Con esto el modelo de buffers simétrico, se integró al modelo de inundación por curvas de nivel asumiendo la cota 10 msnm como la cota máxima inundable, para reducir errores en áreas con pendiente o escarpe, lo que derivó en una mejor coherencia topográfica, a diferencia de aquellas zonas de baja o nula pendiente, en donde el modelo de buffers o áreas de influencia del desborde se ve mejor reflejado al asumir simetría topográfica.

Tabla 4. Ponderaciones factores condicionantes modelo de Inundación

Ponderación Drenaje: 50%	Ponderación Pendiente: 30%
Valores	Valores
Muy Pobre = 4	Pendiente entre 0 a 5° = 5
Pobre = 3	Pendiente entre 5.1° a 10° = 4
Lento = 2	Pendiente entre 10.1° y 20° = 3
Bueno = 1	Pendiente entre 20.1° y 30° = 2
Excelente = 0	Pendiente sobre 30° = 1
Ponderación Distancia Cursos de Agua 20%	Ponderación Distancia Cursos de Agua 20%
Valoración Río Principal (Jerarquía 1)	Valoración Esteros (Jerarquía 2)
Buffer 0–30 m → 3 (Alta influencia de inundación)	Buffer 0 - 25 m → 3 (Alta influencia de inundación)
Buffer >30–80 m → 2 (Influencia media)	Buffer 25 - 60 m → 2 (Influencia Media)
Buffer >80–150 m → 1 (Influencia baja)	Buffer 60 - 100 m → 1 (Influencia Baja)
Buffer >150 m → 0 (Fuera de zona de influencia principal)	Buffer > 100 m → 0 (Fuera de zona de influencia)

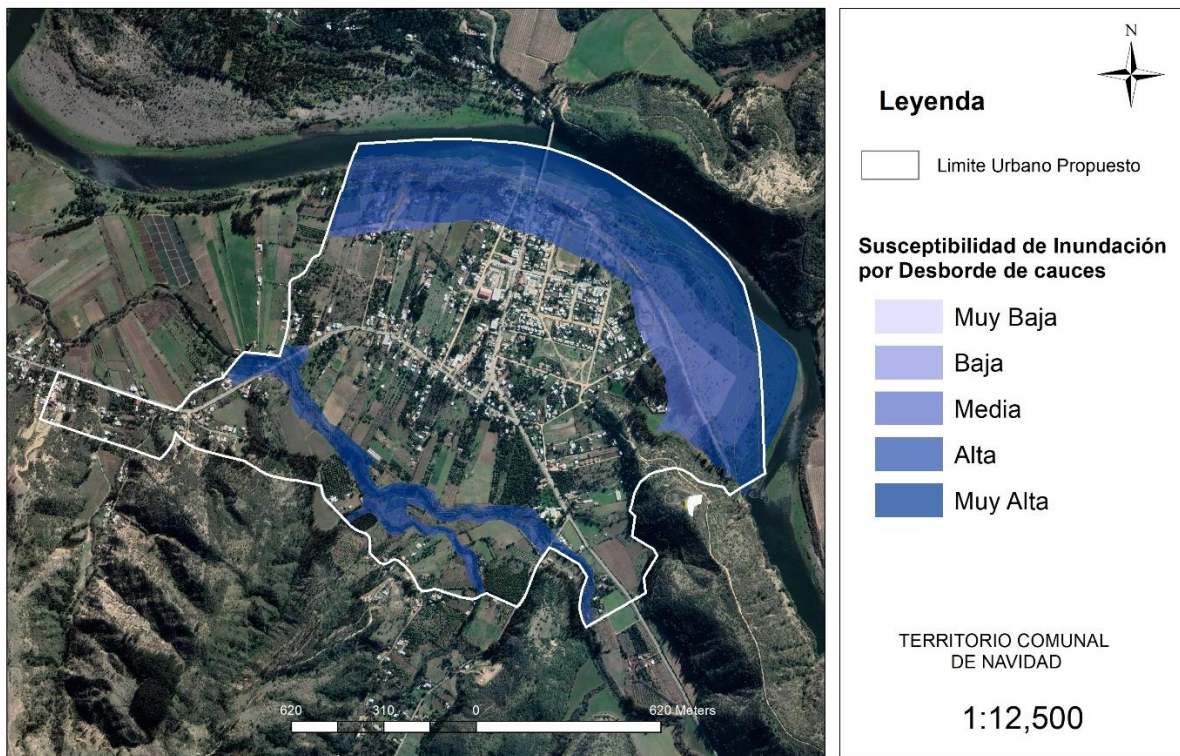
Fuente: Elaboración propia, 2025.

A partir del resultado de esta modelación hidráulica, es posible observar que, en el caso del área urbana de Rapel de Navidad, la amenaza de inundación por desborde del Río Rapel, se presenta en la terraza fluvial más inmediata, que actualmente se encuentra urbanizada parcialmente en sentido oriente, en donde el área de inundación más probable hacia el sur se presenta hasta la altura del Estadio, y en su extremo oriente en el sector de El Monasterio, donde actualmente existe un enrocado construido para mitigar las crecidas repentinas del río. En antecedentes entregados por el municipio, se ha constatado que dicho enrocado no ha sido suficiente ante las crecidas del caudal de vaciado del Embalse Rapel, dado que existe un punto de fuga en este sector, que permite el paso del flujo hasta topar con el cerro.

Por otra parte, el estero Rapel que cruza el área poblada de oriente a poniente, si bien no registra eventos de desborde frecuentes, no deja de estar afecto a esta amenaza en caso de que susciten precipitaciones extremas en un breve período de tiempo, considerando que si bien nace en una microcuenca de alimentación pluvial, éste recibe tributación del Estero Risco Colorado y Quebrada la Aguada alcanzando el nivel de pendiente más baja justo en el área urbana.

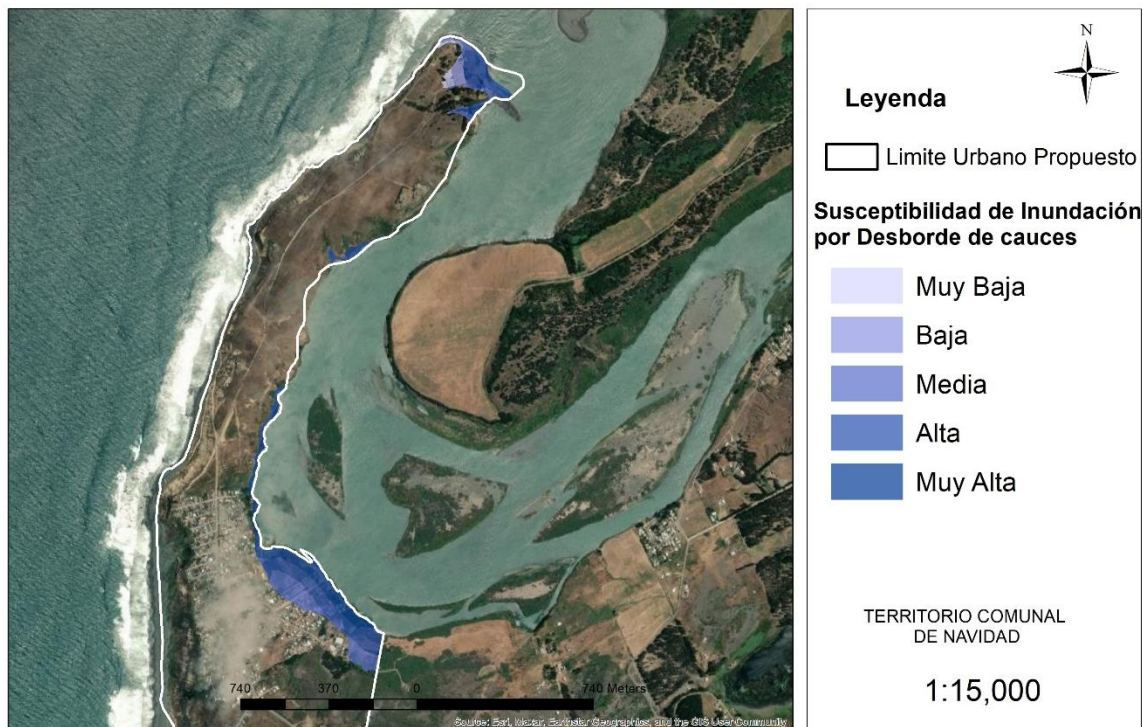
Por otro lado, el Río Rapel a la altura del poblado de La Boca, presenta una amenaza real de inundación en la cara externa del meandro que se forma justo antes de la desembocadura, ya que, tal como es posible observar, los asentamientos que ahí se emplazan lo hacen sobre el área correspondiente al borde externo del meandro cuyo cauce toma de forma natural, cuando sube su caudal, siendo claramente un área que se mantendrá en amenaza y en exposición de no restringirla o incorporar obras que mitiguen o desvíen el impacto de sus crecidas.

Imagen 19. Mapa de susceptibilidad para la amenaza de Inundación por desborde de cauces en Rapel de Navidad.



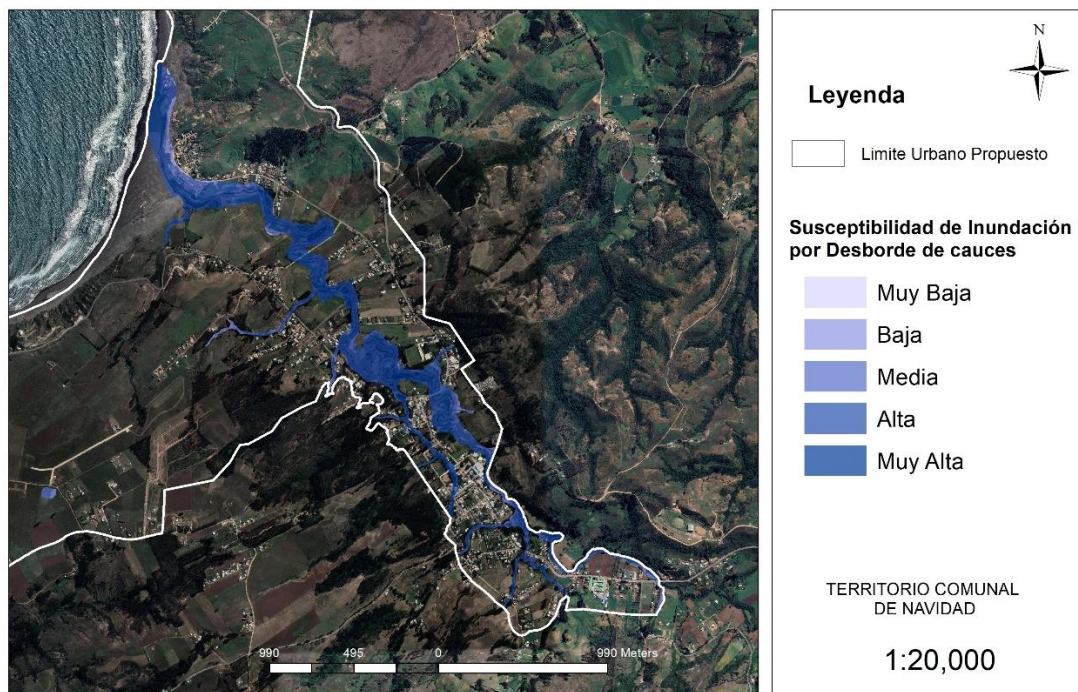
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 20. Mapa de susceptibilidad para la amenaza de Inundación por desborde de cauces en La Boca, desembocadura Río Rapel.



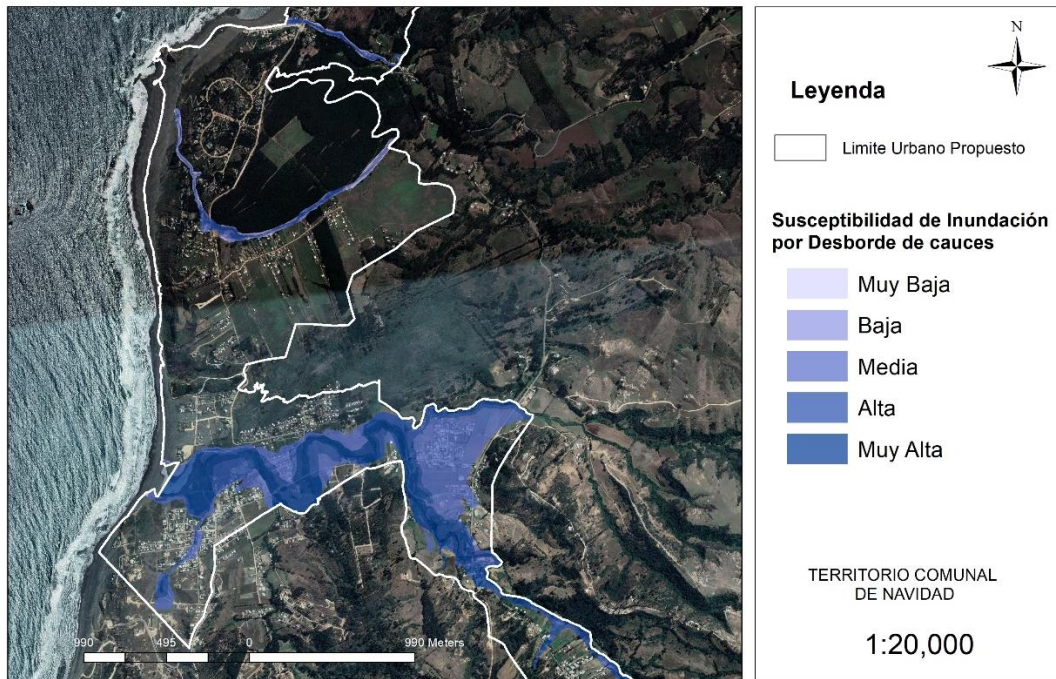
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 21. Mapa de susceptibilidad para la amenaza de Inundación por desborde de cauces en sector Las Brisas y Navidad urbano.



Fuente: elaboración propia, 2025.

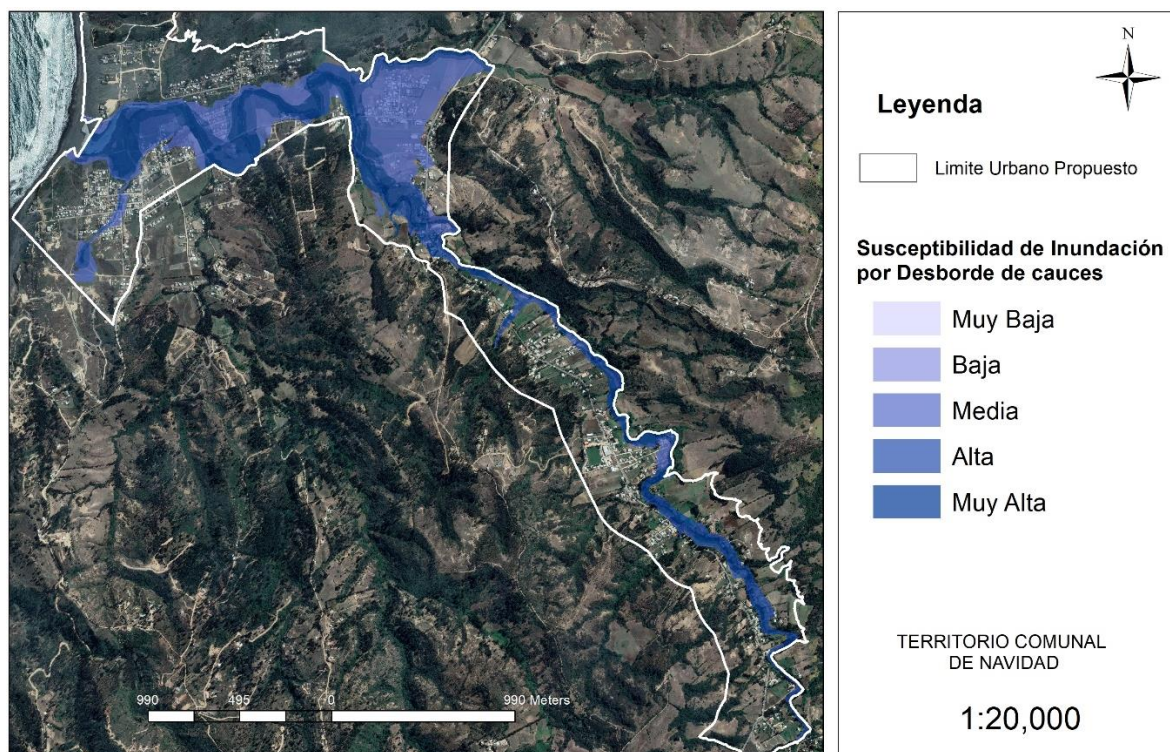
Imagen 22. Mapa de susceptibilidad para la amenaza de Inundación por desborde de cauces en Matanzas, Lagunillas y La Vega de Pupuya.



Fuente: elaboración propia, 2025.

En el caso del sector Navidad urbano y Las Brisas, la amenaza persiste toda vez que existe el Estero Navidad, con un caudal fluctuante, que ha presentado episodios de desborde llegando a inundar la terraza inmediata, donde se emplazan viviendas y algunas dependencias municipales que han resultado inundadas, tal como ocurrió en Junio del 2023, donde el Estero Navidad se desbordó llegando a inundar el patio adyacente a este cauce, hasta la profundidad del anfiteatro municipal, en donde debido al desnivel de pendiente que existe, ésta no logra expandirse más. El sector de la desembocadura, en las Brisas, existe un mayor peligro dada su condición de exutorio o desembocadura, en donde persiste un humedal. Recordemos que todos exutorios de cursos de agua que desembocan en el mar, poseen un área de afectación bidireccional, es decir, que pueden verse inundados tanto por el avance de un tsunami como por el desborde del estero, cuando su caudal se incrementa, y junto con ello la velocidad de saturación.

Imagen 23. Mapa de susceptibilidad amenaza de Inundación por desborde de cauces en el Estero Pupuya, sector La Vega, el Llano y Pupuya.



Fuente: elaboración propia, 2025.

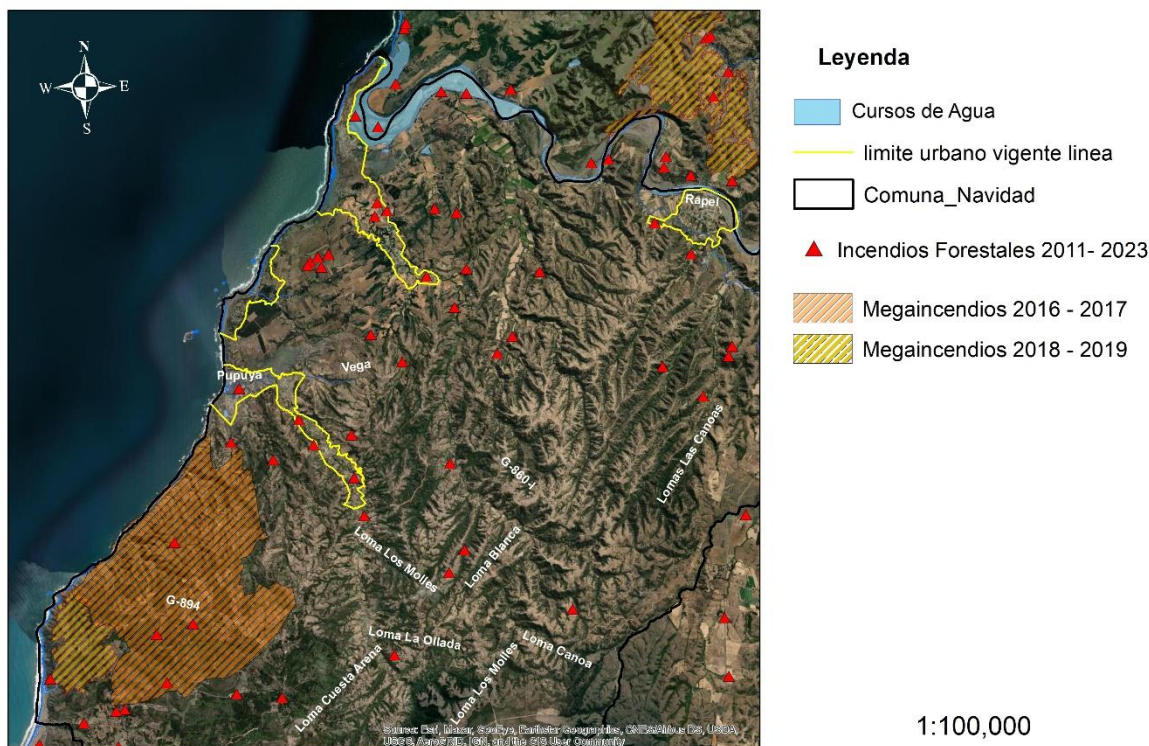
En el sector de Matanzas, el Estero homónimo que baja por la quebrada Matanzas y su buffer o área de influencia inmediata se consideran una amenaza, ya que si bien, es un estero de caudal menor, de activarse este cauce, las viviendas que se ubican en la terraza inmediata en la zona de más baja pendiente junto a la desembocadura se ven expuestas al riesgo de inundación. Lo mismo ocurre en la quebrada que borde el sector de Lagunillas, cuyas quebradas sobre el acantilado costero tienden a activarse buscando salida por las calles y caminos que se han abierto en las laderas abruptas antes de su contacto con el área de dunas y areniscas propias de la línea de playa. Finalmente, el área que concentra una mayor extensión de amenaza, y junto con ello de exposición al riesgo, es la desembocadura del Estero Pupuya en el sector de La Vega de Pupuya, ya que en este sector se presentan dos factores condicionantes: la baja pendiente, propia de una desembocadura, y un mal drenaje del sustrato de suelo superficial. Por lo que esta amenaza se extiende desde la línea de playa, aguas arriba hasta el sector el Llano, para continuar estero arriba en la angosta terraza fluvial que se ubica junto a los cerros, cuyas quebradas intermitentes, tributan al estero Pupuya y se aposan sobre las pendientes bajas.

II.4 ANTRÓPICA POR INCENDIOS FORESTALES

Respecto a la Amenaza de Incendios, la data de la última docena de años (2011-2023) nos muestra la ocurrencia de varios siniestros de forma puntual, exactamente 84 eventos. Donde la gran parte se han suscitado en los dos últimos períodos estivales (2021-2022) y (2022-2023), alcanzando la cifra de 40 incendios en sólo 2 años. Es decir, el 48% de los incendios ocurridos durante los últimos 12 años en la comuna de Navidad, se concentraron en los dos últimos años.

El total de superficie afectada por estos siniestros en esta docena de años es de 3.560 hectáreas consumidas por el fuego. De ellas, 2.954 há correspondían a vegetación natural, y dentro de esta, el 69% correspondía a matorral. Mientras que 544 há. de la superficie total afectada, tuvo como fuente combustible plantaciones forestales (principalmente Pino insigne) y unas residuales 53 há de superficie agrícola y de desechos.

Imagen 24. Incendios forestales período 2011-2023 y Megaincendios Forestales en la Comuna de Navidad.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos SIMEF- CONAF, 2024.

Las variables empleadas en el modelo realizado, responden por una parte, a factores naturales de la amenaza, tales como la vegetación, la pendiente y al epicentro mismo del origen del fuego representado por un buffer de 200 mts; por otra parte, se incluyeron variables que consideran tres elementos urbanos: la interfaz urbano-forestal, es decir la zona de costacto entre el área poblada consolidada y la vegetación inmediatamente circundante; las vialidades o caminos principales y secundarios, a los cuales se les asignó un buffer de influencia de 150 mts por lado, debido a que la estadística de CONAF de origen de los incendios que han ocurrido en la comuna, señala que éstos se han suscitado junto a los principales caminos dado el alto flujo de personas y vehículos que circulan y botan desechos que luego se convierten en material combustible; y finalmente la subdivisión predial, éste último factor considerado como un elemento prospectivo, dado que en las subdivisiones prediales más pequeñas, la densidad de viviendas tiende a ser mayor, es decir, las viviendas o construcciones están en más juntas, mientras que las subdivisiones de mayor superficie, menguan el impacto de un incendio estructural o forestal al conservar cierta distancia. En el mapa adjunto las zonas que no presentan algún grado de susceptibilidad a incendios forestales corresponden a las áreas urbanas o pobladas consolidadas, dentro de las cuales se generan incendios estructurales, no forestales, por ello, el área de interfaz fue representada como un buffer hacia fuera de esta área consolidada, y por tanto, carece de categorización, es decir permanece sin color, al igual que aquellas quebradas acantiladas que bordean la línea de costa.

El modelo recién descrito fue categorizado y ponderado tal como se detalla en el siguiente cuadro a continuación.

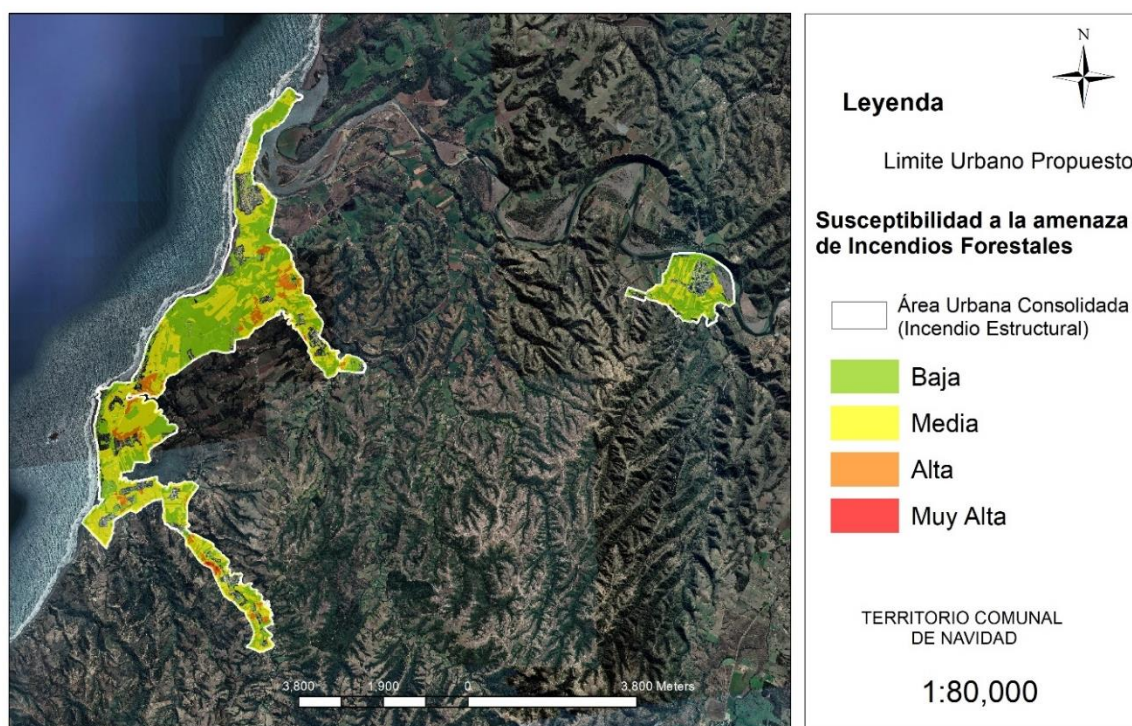
Tabla 5. Modelo multicriterio para la Susceptibilidad a Incendios Forestales en Navidad.

Variable Ponderada	Categorías y Valorización
Vegetación (60%)	Plantación de Bosque Adulta = 4 Plantación Joven o Recién Cosechada = 3 Bosque Nativo Renoval Abierto = 2 Praderas Anuales y Matorral= 1 Terrenos agrícolas = 0
Pendiente (15%)	Pendiente entre 0 a 5° = 1 Pendiente entre 5.1° a 10° = 2 Pendiente entre 10.1° y 20° = 3 Pendiente entre 20.1° y 30° = 4 Pendiente sobre 30° = 5
Origen incendio forestal (50%)	Buffer 250 mts
Zona de interfaz urbano-forestal (25%)	Menos de 100 mts = 3 (Buffer 100 m) 101 a 300 mts =2 (Buffer 200 m) 301 a 800 mts = 1 (Buffer 500 m)
Tamaño Predial (35%)	0 a 0.5 hás = 3 0.51 a 2.0 hás = 2 2.1 o + hás = 1
Buffer Red Vial (15%)	Buffer 150 mts = 1

Fuente: elaboración propia de la autora, 2025.

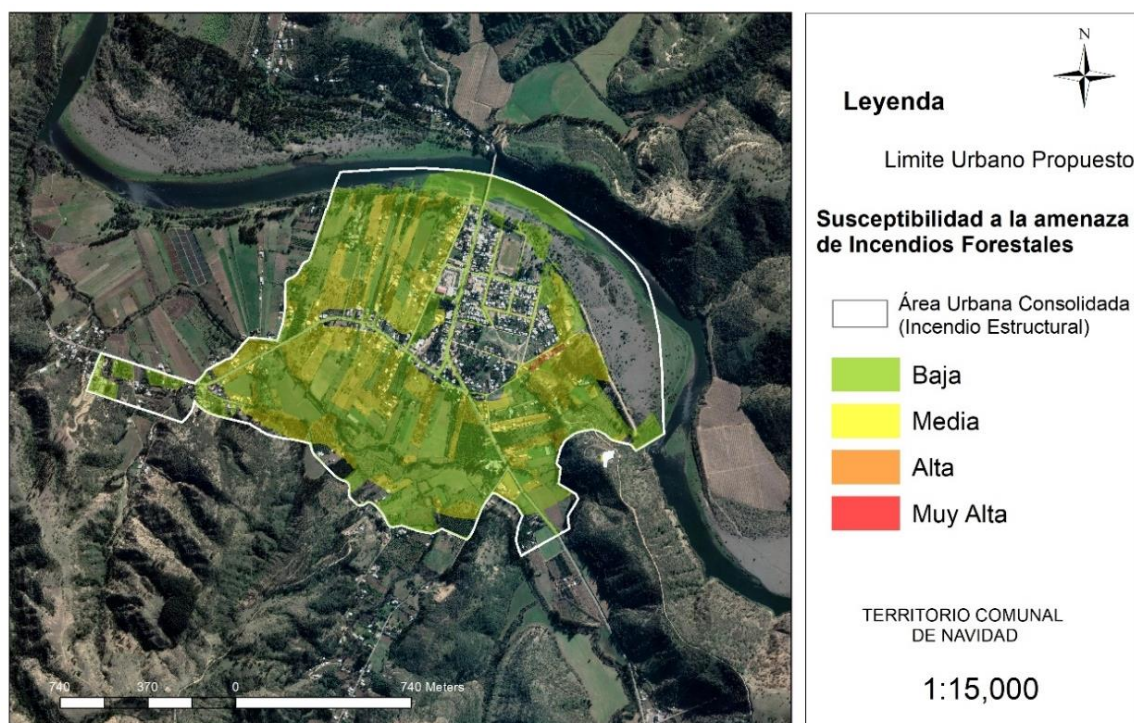
Respecto a los incendios de mayor magnitud que se han generado en la comuna de Navidad, éstos se concentraron igualmente en el período estival de los años 2017 y 2019, consumiendo el 82% de la superficie total afectada de los últimos 12 años (2.915 há). Estos megaincendios se desarrollaron en el borde costero entre Punta Barranca y Pupuya, a la altura de la ruta G-894, tal como lo muestra el mapa adjunto. Respecto a la causa que originó dichos megaincendios, en ambos casos correspondió a corte de cable ya sea por caída de tendido eléctrico, como por accidente no determinado. Es decir, en ambos casos, el origen se gestó por la falta de mantención y precaución de las medidas de seguridad necesarias por parte de la institución o empresa responsable, pudiendo ser prevenidos. Mientras que los eventos puntuales se suscitaron principalmente por el uso de fuego de transeúntes en caminos principales y secundarios, así como por quemas legales e ilegales de desechos de faenas agrícolas que se descontrolaron. De ahí la importancia de contar con ordenanzas municipales y regionales respecto a los períodos, condiciones y prohibiciones de esta práctica.

Imagen 25. Mapa de Susceptibilidad por Incendios Forestales para la comuna de Navidad.



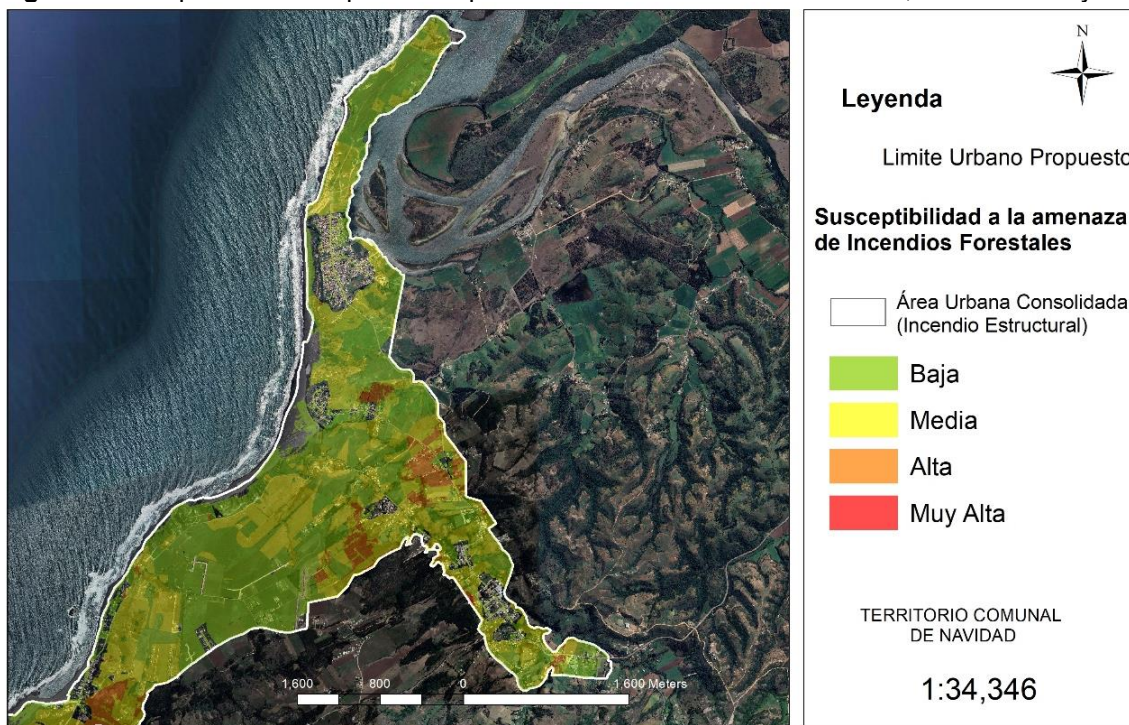
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 26. Mapa de Susceptibilidad por Incendios Forestales para el sector Rapel urbano.



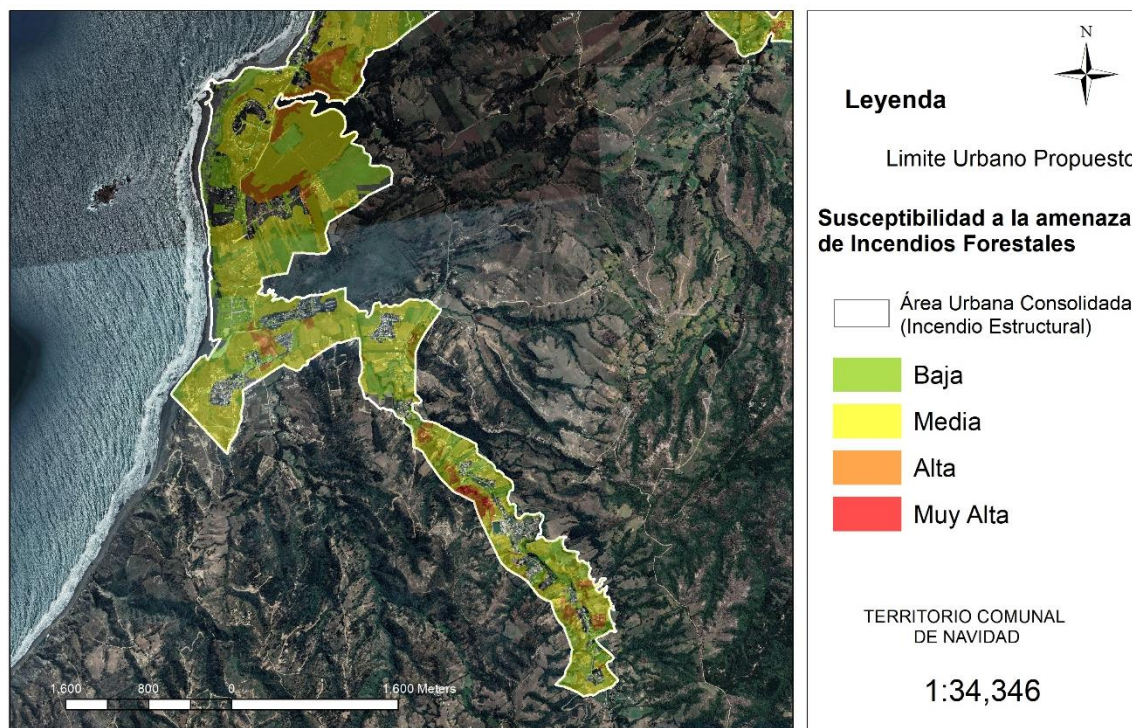
Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 27. Mapa de Susceptibilidad por Incendios Forestales La Boca, Las Brisas y Centinela.



Fuente: elaboración propia, 2025.

Imagen 28. Mapa de Susceptibilidad por Incendios Forestales r Matanzas, Lagunilla y La Vega de Pupuya.



Fuente: elaboración propia, 2025.

III.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las amenazas presentes en el territorio suelen estar subestimadas ante los factores climáticos desencadenantes cada vez más frecuentes, tales como las precipitaciones extremas en períodos cortos, las que generan crecidas de cauces igualmente extremas, siendo la amenaza de inundación por desborde de ríos y cauces una de las más latentes, dado que todas las zonas urbanas de la comuna se emplazan junto a cursos de agua o cercanos a los estuarios, lo que aumenta su exposición a dos tipos de inundación: por desborde de cauces y por tsunami.

Cabe considerar que amenaza de inundación por precipitaciones, es a su vez desencadenante de otras amenazas de tipo geológico como son las remociones en masa, considerando que gran parte de la comuna presenta suelos de mal drenaje y de mediana a rápida saturación. Por otro lado, la cercanía a fallas activas como la Falla de Pichilemu y la Falla de Topocalma, ambas responsables de sismos frecuentes y, en menor frecuencia de sismos de mediana a gran intensidad, son detonantes a su vez de la amenaza de inundación por Tsunami. Por tanto, cabe tener en consideración esta situación de riesgos acumulados ante un factor desencadenante cada vez más común, como lo son las precipitaciones extremas.

Por otro lado, a nivel de remoción en masa es importante resaltar que lo que comúnmente se conoce como aluvión, corresponde a remociones en masa de tipo húmeda producto del aumento exponencial del caudal de los ríos y esteros, siendo mucho más evidente en el río Rapel, debido a la fuerza de su caudal una vez que recibe el flujo del Embalse Rapel (llegando a 7.000 m³/s), toda vez que la fuerza del agua va arrastrando sedimentos y el material que se ha depositado en el fondo del cauce (material coluvial y aluvial como rodados, anastomosis y restos orgánicos de vegetación ribereña), aportan el material sólido necesario para que se desencadene un aluvión. Por tanto, siguiendo la línea del riesgo acumulado o amenaza múltiple (Sismo-Tsunami, Inundación-Remoción) se debe tener en cuenta la existencia de esta vinculación entre las amenazas presentes, ya que es común que se subestime este tipo de remoción (húmeda) al asumir que solamente la gravedad o pendiente es el único factor detonante, y, si bien es una de las variables con mayor ponderación en la modelación del riesgo, la geología de base así como las características del suelo, inciden mayormente, incluso en áreas de bajas pendientes, como ocurre en el caso de la Vega de Pupuya.

En la misma línea, no hay que olvidar que la frecuencia de la sismicidad en el territorio, es otro factor desencadenante de las remociones en masa, por lo que la ocupación de los campos dunares con fines residenciales no puede continuar expandiéndose. Por otra parte, asumiendo la existencia actual de viviendas bajo áreas de riesgo, se debe al menos tratar de mitigar los efectos de estas amenazas múltiples en dichos territorios, no con la intención de fomentar una mayor ocupación, sino porque la tendencia natural de ocupación de la población en torno a los campos dunares, estuarios de ríos y esteros, y junto al borde costero en general, es una realidad que los administradores del territorio deben asumir y generar acciones estratégicas para reducir o al menos mitigar la exposición.

Por otro lado, el fenómeno de parcelización por efectos de pandemia y expansión urbana espontánea sobre espacios afectos al riesgo como las dunas, borderío, desembocaduras y quebradas, por ejemplo, son desafíos que la administración territorial debe normar, toda vez que la población que compra y luego habita lugares de alto atractivo paisajístico, suelen ser espacios de amenazas de nivel medio o alto, cuya intervención para fines de urbanización, incrementan el riesgo desencadenado por la latencia de amenazas como remoción e inundación.

Finalmente, la cada vez mayor frecuencia de incendios forestales, debe ser prevenida y mitigada normativa y socialmente, toda vez que un incendio de mayores magnitudes no sólo afecta

directamente la actividad productiva de comuna con vocación agrícola, sino que también los atractivos turísticos de la comuna, y la calidad de vida de sus habitantes en múltiples aspectos.

Recomendaciones

En consecuencia, y, en línea con lo establecido en la Guía metodológica para la elaboración de estudios de riesgo de los planes reguladores de nivel comunal e intercomunal del MINVU (2023), en relación a los niveles de riesgo, se recomienda:

Para los niveles de riesgo Alto y Muy Alto, se aplique la norma urbanística considerando medidas de restricción a fin de reducir la exposición, controlar y mitigar los posibles impactos generados por eventos de desastres sobre la población. De igual forma, se sugiere que el riesgo Muy Alto se considere preferentemente prohibitivo a todas las actividades de uso, ocupación y edificación permanente. No obstante, ambos niveles podrán hacer uso del artículo 2.1.17 de la OGUC, para presentar estudios fundados en el caso de solicitar permiso de edificación. Dicho estudio fundado sin embargo, debe definir y explicitar las obras, medidas y acciones de mitigación a incorporar.

Con respecto al riesgo Moderado o Medio, junto con los niveles más bajos, estos se consideran Riesgo Admisible, y por tanto, acá la norma debiese apuntar a condicionar, y compatibilizar usos y ocupaciones, ya que, si bien existe una posibilidad de peligro o riesgo, ésta es menor frecuencia o con una intensidad de daño menor a la de los niveles más extremos. Conforme lo señala la misma guía citada: “En el caso del nivel de riesgo moderado, si bien siempre deberá graficarse como área de riesgo (polígono correspondiente a la norma urbanística del art. 2.1.17. OGUC) no les será obligatorio a los proyectos que se solicite emplazar en dichas áreas, los estudios fundados y acciones u obras de mitigación, conforme lo defina el plan regulador”.

Dicha sugerencia, se establece debido a que en algunos territorios el nivel medio alcanza grandes extensiones, incluso por sobre el área consolidada, como ocurre en el caso del área de inundación de El Llano en Pupuya, o en Rapel de Navidad, que al poseer una pendiente baja a nula, el modelo de amenaza lo tiende a calificar en nivel medio, aún cuando los demás factores condicionantes sean residuales. Por ello, la implicancia de solicitar estudios fundados de riesgo, que son de costo de quien solicita el permiso, genera un sesgo en el que sólo quienes pueden costear dicho estudio, podrán por tanto construir o ampliar, en desmedro de quienes no tienen los recursos para ello. Y, considerando que un nivel medio se interpreta como una posibilidad de peligro no tan recurrente, o de intensidades que no logran causar daños mayores, la solicitud o no de este recurso, debe hacerse criteriosamente por parte de la DOM o la SECPLAC del municipio, considerando el acabado conocimiento del territorio, que complementará los criterios establecidos en el presente estudio.

Imagen 29. Criterios normativos según niveles de riesgo

	RIESGO			RIESGO ADMISIBLE		
	MUY ALTO RIESGO		ALTO RIESGO	MODERADO RIESGO		BAJO RIESGO
	PROHIBIR	RESTRINGIR	CONTROLAR	CONDICIONAR	HABILITAR	COMPATIBILIZAR
INTENSIDAD DE USO • uso de suelo	Prohibición de usos permanentes Sin recintos habitables	Autorización parcial de usos Se prohíben todos los equipamientos críticos	Autorización con mitigación Se restringen los equipamientos críticos	Autorización de usos condicionados	Habilitación general de usos	Compatibilidad de usos
INTENSIDAD DE OCUPACIÓN • densidad • clasificación vía subdivisión	Prohibición de ocupación permanente de personas Carácter transitorio	Muy baja intensidad de ocupación	Ocupación con mitigación	Ocupación condicionada	Media intensidad de ocupación	Mayor intensidad de ocupación
INTENSIDAD DE EDIFICACIÓN • ocupación de suelo • constructibilidad	Prohibición de edificaciones con usos permanentes	Muy baja intensidad edificatoria	Edificación con mitigación	Edificación condicionada	Media intensidad de edificación	Mayor intensidad de edificación

Fuente: Guía Metodológica MINVU 2024.