



INFORME ETAPA 3

ANTEPROYECTO

ESTUDIO PLAN REGULADOR COMUNAL SAN
RAFAEL

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS

VERSIÓN 02

Noviembre 2022



TABLA DE CONTENIDOS

I.-	INTRODUCCIÓN.....	5
I.1	DEFINICIONES.....	5
I.2	ÁREAS DE RIESGO	6
II.-	METODOLOGÍA.....	6
II.1	Amenaza de inundación por desborde de cauces.....	6
II.2	Amenaza de remoción en masa.	7
III.-	DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS Y VULNERABILIDAD.....	7
III.1	RIESGOS GEOLÓGICOS ESTRUCTURALES	8
III.2	RIESGOS GEOLÓGICOS POR REMOCIÓN EN MASA	9
III.3	RIESGOS HIDROLÓGICOS POR DESBORDES E INUNDACIÓN	12
III.4	RIESGOS HIDROLÓGICOS POR FLUJOS ALUVIONALES	16
IV.-	RIESGOS ANTROPICOS.....	16
IV.1	RIESGO DE INCENDIO	17
V.-	ZONAS NO EDIFICABLES.....	21
VI.-	CONCLUSIONES.....	23

ESTUDIO FUNDADO DE RIESGOS PARA LA COMUNA DE SAN RAFAEL

I.- INTRODUCCIÓN

El presente estudio, tiene por objeto determinar las amenazas de desastres al que eventualmente los habitantes de la comuna de San Rafael se encuentran expuestos, y acotar el área de restricción en su zona urbana, a partir de la presencia o manifestación de un evento que ponga en riesgo a la población comunal, ya sea por factores naturales o antrópicos. En virtud de esto, los instrumentos de planificación territorial deben tender a la reducción de los factores subyacentes del riesgo, conforme lo establecido en la Política Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastre, en el cual se indica que la planificación debe abordar los factores físicos, ambientales, económicos y sociales asociados a riesgos. Por tal motivo, el presente estudio pretende acotar la exposición al riesgo de desastres en la zona urbana y de extensión urbana de la comuna de San Rafael, conforme a lo establecido en el Artículo 2.1.17 de la OGUC, referente a las Áreas Restringidas al Desarrollo Urbano, por constituir un peligro potencial para los asentamientos humanos.

I.1 DEFINICIONES

Por áreas de riesgo se entenderán aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos. Dichas áreas de riesgo de desglosan en:

- Áreas Inundables o potencialmente Inundables.
- Áreas Propensas a Remoción en masa de aluviones o rodados.
- Áreas de Peligro por actividad volcánica
- Áreas de riesgos generados por la actividad o intervención humana.
- Zonas No edificables

Para la delimitación de las áreas descritas, primero es necesario definir el riesgo. Desde un punto de vista metodológico, el presente estudio entiende al riesgo como la probabilidad de ocurrencia en un lugar dado y en un momento determinado, 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. Intervienen en su desarrollo 2 aspectos distintos, la amenaza y la vulnerabilidad, los que se entienden como:

- 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 a población o bienes 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 construcciones humanas frente a la activación de una amenaza.

Los Riesgos son, por lo tanto, una función de las Amenazas y de las Vulnerabilidades del territorio. Evaluar el riesgo es relacionar las amenazas y las vulnerabilidades con el fin de asignar una calificación (cualitativa) anticipando con ello las eventuales consecuencias sociales, económicas y ambientales de un determinado evento.

I.2 ÁREAS DE RIESGO

De acuerdo al 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:

- a) 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.
- b) Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
- c) Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
- d) Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

II.- METODOLOGÍA

Los estudios realizados por instituciones especializadas en materias de peligros y riesgos de desastres como el SERNAGEOMIN, ONEMI, así como por el Estudio de Riesgos del PRI Talca, aportan una gran cantidad de antecedentes, criterios y evidencia para la determinación de zonas de restricción en el área urbana actual y la zona de extensión urbana proyectada. Por lo tanto, el presente estudio, más allá de describir y reiterar la misma información disponible, validó y extrapola los criterios definidos para la elaboración del PRI, pero acotados a la escala del área urbana del PRC de San Rafael (1:2.000), con objeto de dar coherencia a los estudios y zonificaciones elaboradas de forma jerárquica sobre el mismo espacio, salvo que entre ellos existieran conflictos metodológicos o de criterio.

Por tanto, parte de las aportaciones metodológicas que se realizaron en el presente estudio, consistieron en la elaboración de nuevos mapas temáticos considerados variables fundamentales para la determinación del riesgo conforme a la metodología del PRI. Este fue el caso del mapa de pendientes y erosión para las zonas urbanas de San Rafael y Alto Pangue, a partir de la restitución cartográfica con curvas de nivel cada 1 metro. Producto cartográfico que permitió delinear y redefinir la delimitación de las siguientes amenazas considerando los siguientes criterios:

II.1 Amenaza de inundación por desborde de cauces.

El área de inundación por desborde de cauces para el área urbana de la comuna de San Rafael, se redefinió a partir del área identificada por el estudio PRI Talca, considerando que, frente a un eventual desborde del cauce de los ríos o esteros presentes la comuna, el agua inundaría las zonas aledañas siempre y cuando exista una pendiente nula o negativa respecto a la cota del nivel del curso o cuerpo de agua respectivo. Por tanto, la línea de inundación coincide con la pendiente nula u horizontal de 0°- 2° más cercana al borde de los cursos de agua, y permanece cuando la pendiente contigua al cauce es de fuerte a escarpada con gradiente positiva, ya que esto es indicativo de que el curso de agua se encuentra encajonado, y su desborde es menos probable que en un cauce abierto y de escasa pendiente. Por otra parte, cuando existe presencia de más de un curso de agua en el área circundante, es decir, cuando además de un estero, confluyen canales u otros brazos del río, el área inundable es de mayor extensión, al confluir la masa de agua de los afluentes en la misma dirección.

Cabe recordar que, ante un evento de precipitaciones extremas, el desborde no sólo sucede por el aumento significativo del caudal y su baja capacidad de carga, sino también porque dichos cauces pueden encontrarse obstruidos por la presencia de microbasurales o desechos de los mismos terrenos agrícolas circundantes. Igualmente, cabe destacar que la capacidad de infiltración del agua que se desborde, dependerá del sustrato y uso de suelo. Por tanto, cabe considerar que ante un evento de desborde y/o anegamiento, las vías que están pavimentadas o asfaltadas, operan igualmente como corredores del agua, y son igualmente afectas a inundación si éstas se encuentran en pendiente nula u horizontal. Por el contrario, si junto a los bordes de ríos o esteros existe vegetación arbórea o terrenos agrícolas, la infiltración del agua será más rápida, y es probable que no alcance a llegar al límite aquí definido.

II.2 Amenaza de remoción en masa.

Para la amenaza de remoción en masa, la pendiente es un factor transversal y determinante en su ocurrencia. De esta forma, y considerando la misma clasificación de pendientes según umbrales morfodinámicos empleada en la amenaza de inundación, se consideró como amenaza de remoción la base del estudio PRI Talca, y se delimitó en el área urbana a partir de los 20° de pendiente, ya que en este gradiente la erosión de las laderas es intensa y se pueden manifestar eventos de movimientos en masa, tal como señala el cuadro Araya-Vergara y Borgel adjunto (Tabla 1). Sin embargo, en el área urbana del cual es foco este estudio, no se presentaban pendientes en esos rangos, salvo en las terrazas fluviales del lecho de los ríos y esteros que atraviesan el área urbana, pero en cuyo caso, no constituyen peligro de remoción en masa, sino más bien amenaza de flujos aluvionales, de los cuales, sin embargo, no existen registros.

Tabla 1. Rango de pendientes según umbrales morfodinámicos.

Pendiente (°)	Pendientes (%)	Concepto	Umbral Geomorfológico
0 - 2	0 - 4.5	Horizontal	Erosión nula a leve
2.1 - 5	4.6 - 11	Suave	Erosión débil, difusa. <i>Shett wash</i> . Inicio de regueras. Soliflucción fría
5.1 - 10	11.1 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio erosión lineal. Rill-wash o desarrollo de regueras.
10.1 - 20	22.1 - 44.5	Fuerte	Erosión intensa. Erosión lineal frecuente. Cárcava incipientes
20.1 - 30	44.6 - 67	Muy fuerte a Moderadamente Escarpada	Cárcavas frecuentes. Movimientos en masa. Reptación
30.1 - 45	67.1 - 100	Escarpada	Coluvionamiento. Soliflucción intensa
> 45	> 100	Muy Escarpada a Acantilada	Desprendimiento y derrumbes. Corredores de derrubios frecuentes

Fuente: elaboración propia en base a clasificación Araya-Vergara y Borgel 1972.

III.- DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS Y VULNERABILIDAD

Las características morfoclimáticas de la región del Maule su marco geológico estructural y la morfodinámica del territorio, así como el patrón de asentamiento de la población y actividades en la comuna de San Rafael, la hacen susceptible a la manifestación de algunas amenazas naturales y antrópicas, y las exime de otras. Estas amenazas, si bien son de baja intensidad, lo cierto es que afectan a una población, que tal como se describió en el

capítulo de descripción socio-demográfica, tiende a ser adulta, con una proyección de envejecimiento en el mediano plazo y con niveles de dependencia, las que reflejan que se trata de una población vulnerable, lo que a nivel de gestión del riesgo implica mayores desafíos.

III.1 RIESGOS GEOLÓGICOS ESTRUCTURALES

A nivel macro, la comuna de San Rafael se asienta sobre dos de las tres unidades geológicas que se corresponden y superponen con las unidades geomorfológicas presentes en el territorio (Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera de Los Andes). La primera de ellas, el suelo geológico Plt3 coincide con la extensión de la depresión intermedia, siendo la unidad geológica más extensa y que abarca mayor porción del territorio comunal. Dicha unidad, corresponde al período cuaternario de la era cenozoica, en la que se evidencian depósitos piroclásticos compuestos por secuencias volcánicas del pleistoceno, principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso.

La segunda unidad geológica, localizada al poniente del río Claro, corresponde al tipo de suelo geológico Ki2c del periodo cretácico de la era mesozoica, compuesta por secuencias sedimentarias y volcánicas continentales con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoítas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil. Y finalmente el suelo geológico Kia2, también de la era mesozoica y del período cretácico, compuesta por secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres características de la pre cordillera y Cordillera de la Costa.

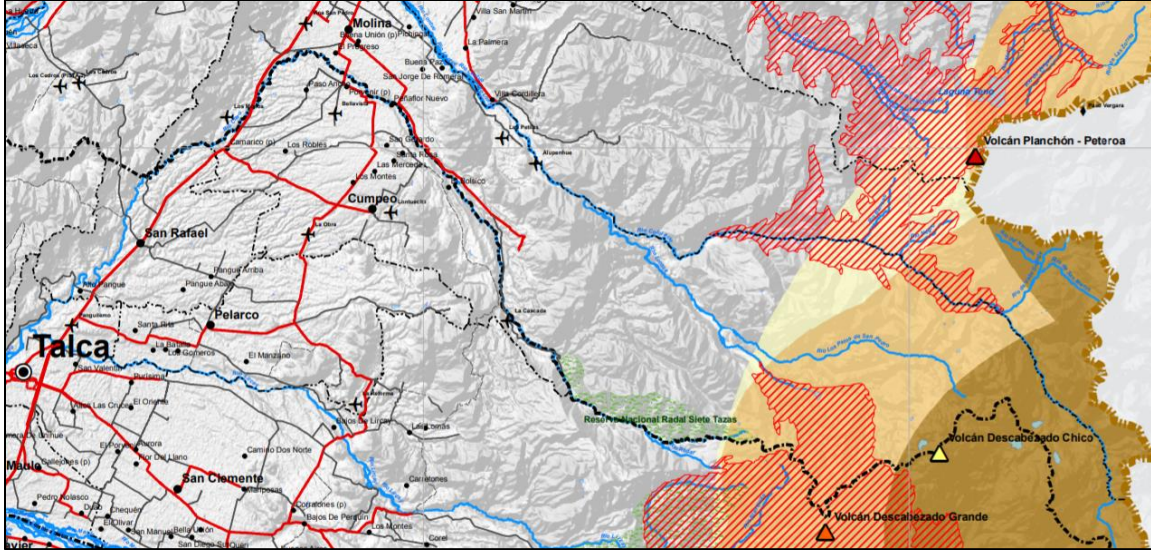
Esta composición de suelos geológicos, se deriva de la fuerte actividad volcánica presente en la zona cordillerana de la región, a partir de centros volcánicos como el complejo volcánico Laguna del Maule; complejo volcánico Cerro Azul-Quizapu y complejo Volcánico Descabezado Grande. Como antecedente adicional, posterior al sismo del 27F, el Sernageomin revisó un posible incremento de la actividad eruptiva de los volcanes Planchón-Peteroa, y del grupo Descabezados, entre otros en regiones aledañas.

A modo de antecedentes, es importante mencionar que el Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami elaborado por la ONEMI para Región del Maule (Provincias de Cauquenes, Curicó, Linares y Talca) descarta cualquier alcance de peligro de la actividad volcánica de cualquiera de estos centros volcánicos para la comuna de San Rafael, debido a su emplazamiento distante de la zona cordillerana oriente (Cordillera de Los Andes).

Sumado a esto, el informe de asistencia elaborado por el SERNAGEOMIN (2010), del que da cuenta el Estudio de riesgos del PRI Talca, se describen algunas amenazas de desastres suscitadas en la VII Región a partir del evento del 27 de febrero del 2010, el más grande registrado en la región cuya magnitud alcanzó los Mw=8.8. Entre tales amenazas se cuentan las de alerta de tsunami en las costas de la comuna de Vichuquén, posible activación de fallas geológicas en Parral, o remociones en masa en San Clemente, Curicó y Molina, y Licuefacción en las riberas del Río Claro (Cumpeo), pero no se registran peligros de este tipo para la comuna de San Rafael.

A nivel sísmico, los antecedentes aportados por registros del SERNAGEOMIN y la ONEMI en cuanto a intensidad y daños ocasionados como efecto de los mismos, dan cuenta de que, si bien la actividad sísmica no constituye un peligro en sí, y su ocurrencia es impredecible, aunque frecuente, el manejo y gestión que se pueda hacer de la población ante episodios de movimientos telúricos de gran o mediana intensidad, son determinantes para así evitar riesgos o peligros de otros tipos.

Figura 1. Extracto de acercamiento del Mapa de Riesgo Regional Peligro Volcánico y Tsunami Región del Maule, en latitud que abarca a la comuna de San Rafael.



Fuente: ONEMI, 2015.

La actividad volcánica-tectónica presente en la zona, además de la presencia de fallas geológicas extensionales como la de Pichilemu, y El Yolki en la región del Maule, no dejan de mantener alerta a la población sobre probables eventos futuros de sismos de mediana a mayor intensidad, dados los registros históricos que se tienen del territorio regional, como el terremoto del 27 de febrero del 2010, cuyo impacto desencadenó amenazas de tipo geológica de gran escala como el tsunami que impactó a prácticamente todo el borde costero de ésta y otras regiones. Así como también se podrían desencadenar amenazas en menor escala, tales como licuefacción o remoción en masa en los sectores de altas pendientes y mayor vulnerabilidad al riesgo.

En síntesis, la coincidencia entre el tipo de suelo volcánico y la unidad geomorfológica de la depresión intermedia, sumado al emplazamiento de la comuna en el epicentro de dicha unidad, hacen que, a pesar de los registros y evidencia de movimientos telúricos a partir de las fallas geológicas y complejos volcánicos antes mencionados, ésta amenaza no constituya un peligro por sí mismo, ya que mantiene una distancia considerable de la zona costera de subducción de las placas tectónicas, a la vez que se mantiene fuera del alcance del peligro volcánico que se manifiesta regionalmente hacia la zona cordillerana de Los Andes. Eximiéndose, por tanto, del peligro de amenaza directa de inundación por tsunami y por actividad volcánica. Por tanto, este tipo de riesgo no llevará zonificación al interior del área urbana ni a escala comunal, al no encontrarse afecto a los peligros directos de ambos tipos de amenaza.

III.2 RIESGOS GEOLÓGICOS POR REMOCIÓN EN MASA

La remoción en masa es un fenómeno de movimiento de materiales aguas debajo de una ladera, siendo la pendiente y morfología de la ladera, la calidad del material y la presencia de agentes que contribuyen (como las precipitaciones), la sismicidad o la acción del hombre, los principales factores para desencadenar el fenómeno. Los materiales movilizados pueden ser suelos, regolitos, estructuras rocosas o una combinación de ambos.

Las amenazas por fenómenos de remoción en masa incluyen los deslizamientos y derrumbes; estos se presentan en general como fenómenos puntuales, sin una frecuencia definida. Los factores más relevantes corresponden a suelos poco cohesionados, pendientes fuertes (el valor mínimo descrito son 25% de pendiente) y degradación de la cobertura vegetal. Estos factores en presencia de lluvias intensas o fenómenos sísmicos relevantes, desencadenan finalmente el deslizamiento o el fenómeno de remoción en masa en su acepción más general, es decir, el movimiento rápido en el sentido de la pendiente de una masa de materiales de granulometría diversa.

A nivel geomorfológico, la depresión central, principal unidad geomorfológica presente en la comuna, así como en toda su extensión regional, corresponde a una cuenca rellena por depósitos aluviales, fluviales y volcánicos (principalmente cenizas), cuyas edades van desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, que en algunos sectores superan los 500 m de espesor de acuerdo a datos geofísicos. Sobresalen esporádicamente algunas cumbres de “cerros islas” con alturas entre 300 y 400 m.s.n.m. En general, la depresión central presenta pendientes muy bajas, que aumentan levemente al acercarse hacia los cerros de la cordillera de la costa y cordillera principal, debido a la influencia de los abanicos aluviales que se generan a la salida de quebradas y valles de ambas cordilleras.

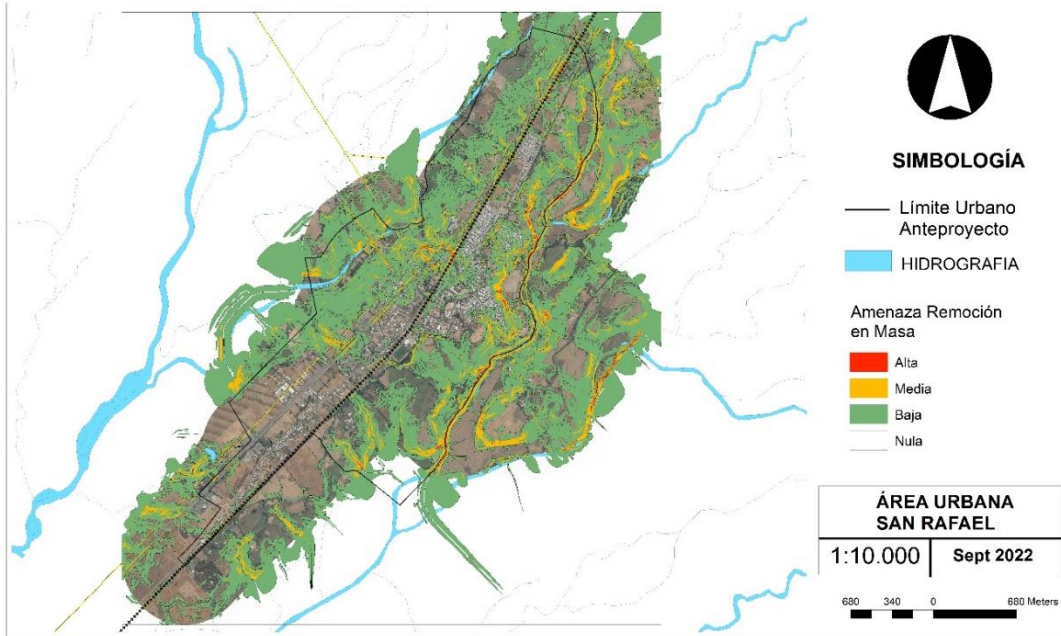
La comuna de San Rafael, debido a su emplazamiento preferente en la depresión intermedia y una porción menor de su territorio comunal en la Cordillera de la Costa, presenta bajas pendientes en casi toda la extensión de su territorio, y más particularmente en la zona urbana que considera Alto Pangue y San Rafael, en donde coexiste el uso residencial con el uso agrícola, dada la alta calidad y permeabilidad de sus suelos. El área urbana de la comuna de San Rafael, actualmente no presenta ninguna amenaza del tipo remoción, y los pocos focos de pendientes abruptas (color naranja y rojo) al noreste del límite urbano (línea negra), no recaen sobre ningún asentamiento.

Figura 2. Acercamiento de Amenaza por Remoción en Masa sector NE de San Rafael



En los mapas adjuntos, las líneas de pendiente fuerte corresponden al cauce mismo del río, o a zonas de corredores arbóreos junto a éstos, y no así a pendientes de cerros o desniveles abruptos que puedan desencadenar en remoción, ya que tal como se mencionó anteriormente, la principal característica del área urbana de San Rafael (incluyendo Alto Pangue) es su topografía de planicie que la vuelve óptima tanto para asentamientos humanos, como para el desarrollo de terrenos agrícolas.

Figura 3. Mapa de Amenaza por Remoción en Masa en el área urbana de San Rafael



Fuente: elaboración propia, 2021.

Figura 4. Mapa de Amenaza por Remoción en Masa en el área urbana de Alto Pangue, comuna de San Rafael.

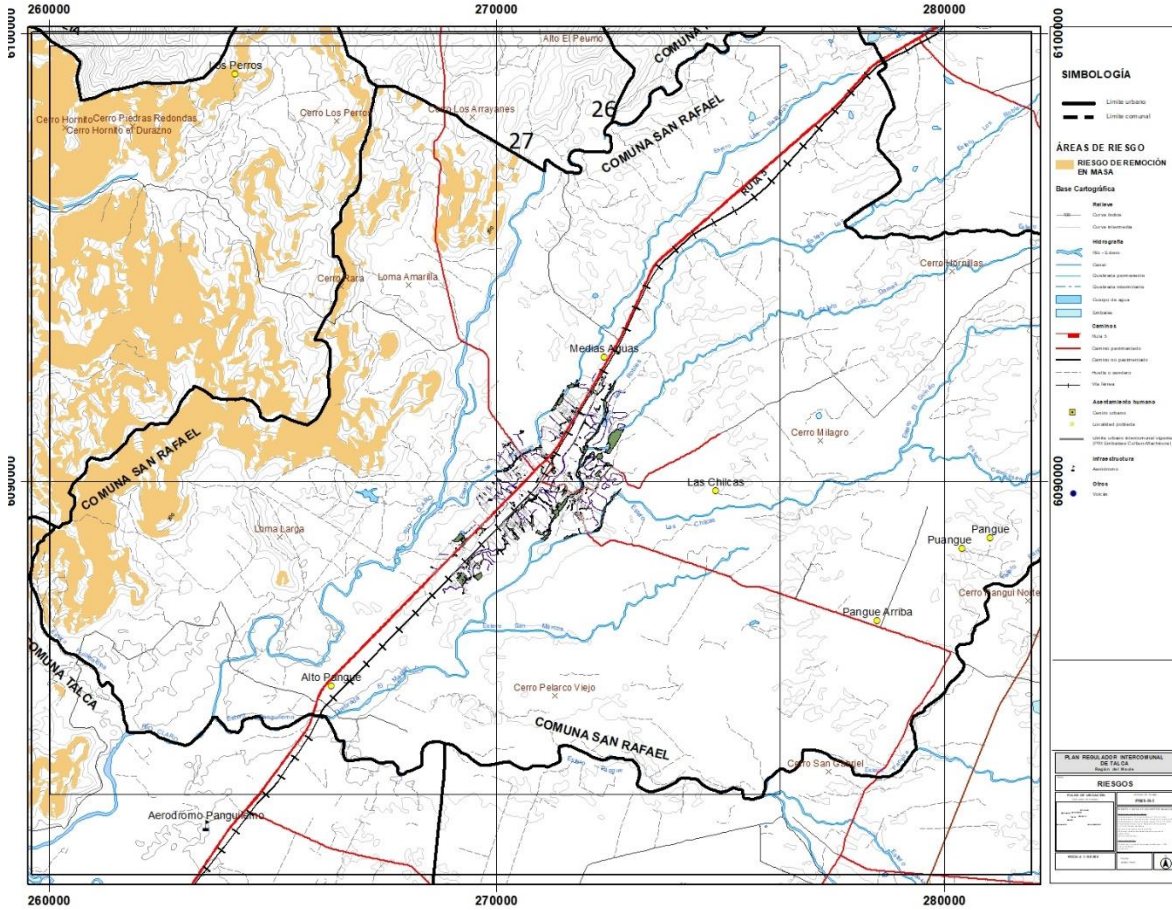


Fuente: elaboración propia, 2021.

A nivel microzonal, de acuerdo a la clasificación de Araya-Vergara y Borgel (1972) para pendientes según umbrales morfodinámicos, en el área urbana actual de la comuna, el 52% del territorio corresponde a pendientes inferiores a 5 grados, es decir, pendientes suaves y nulas, y sólo en algunos sectores de los esteros Los Robles, Las Pataguas y Las Chilcas que atraviesan la zona urbana en toda su extensión, su cauce presenta pequeños escarpes junto al lecho del río. Estos escarpes ribereños se encuentran cubiertos de vegetación arbórea en casi toda su extensión, lo que disminuye considerablemente la amenaza de remoción. Sin embargo, aparece latente en la zona poniente del río Claro, sobre lo que corresponde a la unidad geomorfológica de Cordillera de la Costa, que es el límite natural

de la comuna hacia el poniente. Esta amenaza, sin embargo, sólo abarca una pequeña porción del territorio y en una zona rural fuera del área de extensión urbana.

Figura 5. Mapa Área de Riesgo de Remoción en Masa comuna de San Rafael Estudio PRI Talca.



Fuente: Estudio de Riesgos PRI Talca, SEREMI MINVU Región del Maule 2019.

Es importante señalar que, si bien la condición de bajas pendientes en su área urbana reduce las amenazas antes mencionadas, por otro lado, aumenta las probabilidades de inundación por desborde de cauces, así como la propagación de amenazas antrópicas como son los incendios, los cuales serán analizados en detalle.

III.3 RIESGOS HIDROLÓGICOS POR DESBORDES E INUNDACIÓN

Desde el punto de vista hidrogeológico, la cuenca del río Claro que abarca toda la extensión del territorio comunal, ha sido paulatinamente rellena con sedimentos provenientes del vulcanismo, la acción fluvial y los procesos glaciares que en algunos sectores supera los 500m de espesor. En general, la comuna se emplaza sobre una planicie suavemente ondulada, aunque en algunos sectores es completamente plana tal como lo mostró el mapa de pendientes en el apartado anterior; la ondulación va aumentando al acercarse a las unidades de la Cordillera de la Costa y de Los Andes por la influencia de los abanicos aluviales.

Se presentan pequeñas terrazas fluviales de poca profundidad, producto de suaves escarpes relacionados con la erosión de los cursos de agua que cruzan la unidad en sentido oriente-poniente, dentro de los que se resaltan por su relación con el territorio comunal: Río Maule, Río Lircay, Estero Las Pataguas, Estero Los Robles, Estero las Chilcas, Estero San Marcos y El Río Claro, este último como principal afluente de la cuenca. Estos cursos de agua y sus afluentes modelan el paisaje con terrazas labradas en depósitos sedimentarios lo cual genera una fértil cuenca agrícola.

A nivel comunal, San Rafael fracciona su importancia hidrogeológica en dos zonas extremas delimitadas por el Río Claro. Al oriente de este curso de agua que atraviesa transversalmente al territorio, su capacidad litológica presenta un acuífero con un tipo de permeabilidad y porosidad alta, con depósitos rocosos no consolidados principalmente de origen sedimentario fluviales, glaciales, aluviales, lacustres y eólicos que permiten un adecuado drenaje de las aguas superficiales. Mientras que, hacia el poniente de la comuna, el acuífero con suelos de tipo arcilloso presenta una permeabilidad muy baja, lo que lo vuelve susceptible a inundaciones y anegamientos desde este lado del río.

Si bien la existencia de suelos agrícolas y de importancia hidrogeológica de alta permeabilidad en el lado oriente del río Claro, tiende a disminuir y prácticamente anular el anegamiento de las zonas urbanas contiguas; las bajas pendientes de los lechos fluviales, la jerarquía de los cursos de agua que atraviesan el área urbana de la comuna, y el contexto hidrodinámico con afluentes que nacen en la zona de pre cordillera, vuelven latente la amenaza de inundación por desborde de cauces, en determinadas áreas al interior de la ZEU.

La vulnerabilidad ante la ocurrencia de la amenaza de inundación por desborde de cauces, y de anegamiento, conjuga los efectos de la localización de su área urbana junto a las terrazas fluviales que conforman la cuenca, cuyos cursos de agua son de tipo perenne, por cuanto, ante la ocurrencia de eventos extremos como precipitaciones intensas y concentradas en breves períodos de tiempo, las viviendas localizadas junto o cercanas a los cauces de baja profundidad, y que además se ubican en los niveles de pendiente nula u horizontal, son las que podrían verse afectas a este tipo de riesgo.

Los factores antes mencionados, resultan ponderadores del riesgo que de acuerdo a la metodología de Brignardello, dan más valor a la probabilidad de inundaciones.

Tabla 2. Valoración de las variables de riesgo por inundaciones

Jerarquía Drenaje	Nivel De Riesgo	Valor	Ponderador
Río	Muy Alto	4	0,1
Quebrada Principal	Bajo	2	0,1
Quebrada Secundaria	Bajo	2	0,1
Lago o Laguna	Nulo	0	0,1
Embalse	Nulo	0	0,1
Pendiente	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
0 a 2	Alto	4	0,4
2 a 5	Bajo	3	0,4
5 a 10	Muy Bajo	1	0,4
Más de 10	Nulo	0	0,4
Contexto Hidrodinámico	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
Cursos de Agua con nacientes sobre los 3000 msnm	Moderado	2	0,2
Cursos de Agua con nacientes entre 2000 y 3000	Alto	3	0,2
Cursos de Agua con nacientes bajo los 2000 msnm	Bajo	1	0,2
Drenaje o permeabilidad Suelo	Nivel de Riesgo	Valor	Ponderador
Excesivo	Nulo	0	0,3
Bueno	Bajo	1	0,3
Imperfecto	Moderado	2	0,3
Moderado	Moderado	2	0,3
Pobre	Alto	3	0,3
Muy Pobre	Muy Alto	4	0,3

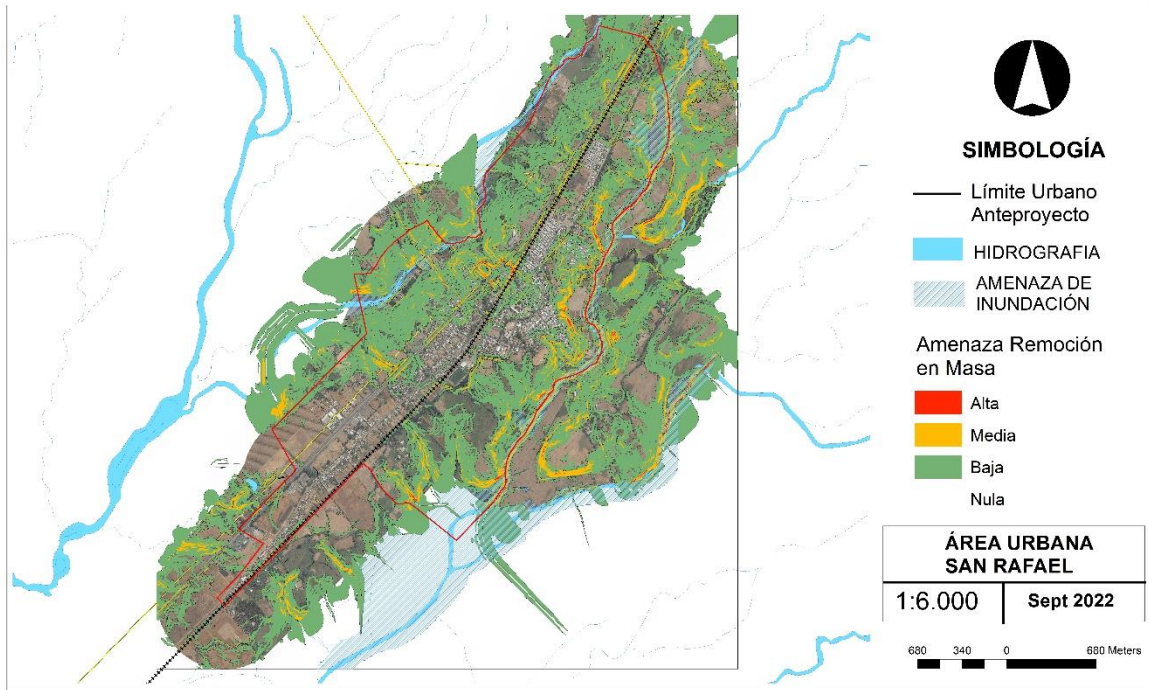
Fuente: Luigi Andre Brignardello en base a Araya y Borgel (1976), Andrade y Castro (1981), Hauser (1993) y Jaque (1995)

Cauces naturales

A partir del mapa de amenaza de inundación por desborde de cauces, es posible observar que las áreas definidas y acotadas como inundables, bordean el límite urbano propuesto, presentándose como un límite natural entre el crecimiento de la ciudad y el desarrollo de actividades rurales. Si bien el área inundable corresponde a una faja que bordea todos los cursos de agua presentes, esta área es variable por cuanto existen sectores del lecho del río más o menos profundos, lo que incide en la expansión de la masa de agua una vez desbordada, a lo que se suma la poca o nula pendiente de la morfología contigua a los cursos que atraviesan la zona urbana. La delimitación del área inundable al interior del área urbana, se realizó a partir del polígono de inundación determinado en el PRI, pero trabajado a una escala de 1:2000, permitiendo mayor nivel de exactitud de esta franja, pero que a su vez calza fuera del área urbana con el polígono del PRI Talca.

Cabe mencionar que en el tramo norponiente de la amenaza de inundación, se superpone además la línea de alta tensión proyectada paralela a la línea férrea, por cuanto es un área donde existen restricciones de no edificación. Dentro de los antecedentes recopilados a partir de eventos meteorológicos extremos reportados por la ONEMI, se ha dado cuenta del desborde de canales alimentados por los esteros antes mencionados, ya que debido a su bajo encausamiento y muchas veces, irrumpidos por material de origen humano (desechos, basura, matorral suelto) tienden al desborde, tal como ocurrió en el sector Bajo La Peña de la comuna durante el sistema frontal acontecido en junio del 2015 en toda la Región del Maule, dejando 2 viviendas anegadas que afectaron a 6 habitantes (ONEMI, 2015).

Figura 6. Mapa Amenaza de Inundación en la zona urbana de la comuna de San Rafael.



Fuente: elaboración propia sobre base PRI Talca y restitución del área urbana 2021.

Figura 7. Mapa Amenaza de Inundación en la zona urbana de la comuna de San Rafael.



Fuente: elaboración propia sobre base PRI Talca y restitución del área urbana 2021.

Cauces artificiales

Existe registro de desborde del Canal San Rafael a la altura del puente que cruza la avenida del mismo nombre a causa de su obstrucción, inundando la calle Dino Balboni y sitios

aledaños, viéndose igualmente amenazada la población Patria Nueva, ya que las aguas de rebalse son conducidas por canaletas hacia el canal que cruza la Avda. Cementerio.

Cabe destacar que, si bien existen registros de desbordes de canales de regadío al interior del límite urbano, éstos desbordes se originan tanto por un mayor aporte y carga de aguas lluvias, como por la obstrucción con residuos de tipo orgánico y antrópico sobre la vía, correspondiendo a la respectiva asociación de canalistas su adecuada instalación, mantención y prevención respecto a probables episodios, ya que los canales son por definición de origen antrópico, y su desborde si bien puede deberse -en parte- al aumento del caudal del curso de agua desde donde se realiza la toma de agua, en el caso de San Rafael dichos eventos suelen darse por obstrucciones en la vía misma del caudal; siendo deber del administrador del territorio por donde cruzan dichos canales, fiscalizar y gestionar su adecuada mantención.

III.4 RIESGOS HIDROLÓGICOS POR FLUJOS ALUVIONALES

Tal como da cuenta el estudio PRI de la provincia, existen numerosos estudios y antecedentes como los propinados por Hauser (1985), que plantea una evidente relación entre la generación de aluviones en la zona central con precipitaciones anormalmente intensas (más de 60 mm/24 horas en períodos invernales), situación que se tiende a suscitar cada vez con más frecuencia ante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos producto del cambio climático.

Cabe recordar que el Río Claro, así como los esteros que conforman la red hídrica comunal, son de origen pluvial, por cuanto su caudal depende directamente de la alimentación por lluvias estacionales, y, ante las crecidas anormales o eventos meteorológicos extremos, su caudal se ve igualmente alterado. De la misma forma, y si bien la pendiente del territorio comunal tiende a ser baja, el material fluvial predominante es de tipo sedimentario, el cual, junto a los rodados aluviales, pueden volverse una amenaza como son los flujos de detritos o aluvionales, sin embargo, no se registra peligro de este tipo de amenaza al interior del área urbana de la comuna.

Es importante señalar que eventos de precipitaciones anormales llevan consigo también un aumento de la escorrentía superficial, que incrementa la erosión del suelo suelto, elemento importante en la generación de flujos. Por otra parte, las vías asfaltadas que se ubican junto a los principales cauces de los esteros antes mencionados son igualmente conductores de la escorrentía superficial, sea ésta de agua o de lodo, ya que impermeabiliza el sustrato, y por tanto, el agua o lodo tiende a escurrir en la misma dirección que estas vías, pendiente abajo. Tal como muestra el mapa adjunto y como se mencionó anteriormente, el material y formación de suelo predominante a nivel del área de estudio, es material sedimentario de tipo fluvial hacia el oriente, y sedimentario volcánico hacia el poniente. Es también importante señalar que la ocurrencia de flujos en áreas urbanas se debe a que el material movilizado se satura en agua por causas humanas (ruptura de cañerías, obstrucción de canales, entre otros).

IV.- RIESGOS DE ORIGEN ANTRÓPICO

De acuerdo a estudios del clima y eventos extremos del departamento de Geofísica de la Universidad de Chile para el 2019, la mega sequía en Chile central cumple una década y el 2019 termina como uno de los tres años más secos en 100 años. Los déficits de lluvias alcanzaron entre el 70%-80% entre Coquimbo y Maule, deteriorado severamente la

vegetación, disminuyendo los volúmenes en embalses naturales y artificiales, registrando problemas en el suministro de agua potable rural y varias regiones han declarado emergencia agrícola.

La sequía extrema del 2019 ha ocurrido pese a las condiciones de El Niño moderado, pero son consistentes con la superposición de los efectos del cambio climático y el calentamiento del océano Pacífico suroccidental. Las secuencias de varios días con temperaturas extremas sobre los 33°C en los valles interiores de Chile central han producido un nuevo récord para los meses de noviembre y diciembre. Lamentablemente, muchas de estas olas de calor han venido acompañadas de incendios forestales de consideración.

Esta última amenaza se vuelve latente en algunos sectores de la comuna, toda vez que existe presencia de bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* – *Lithrea caustica* en la zona poniente sobre lo que corresponde a la cordillera de la costa, y a algunos paños de matorral bajo presentes en algunos sectores del área urbana, las que, debido a las condiciones climáticas estacionarias y tendencia cada vez más latente a la ocurrencia de temperaturas extremas, tienden a acentuar los períodos de sequía, y con ello, la proliferación de vegetación y material ignífero durante los meses estivales y de sequías prolongadas.

IV.1 RIESGO DE INCENDIO

El peligro de incendios forestales se identifica con las condiciones ambientales que permitirán que se inicie y propague el fuego ocasionado por alguien. La principal condición ambiental es la presencia de vegetación que pueda arder, o sea el combustible. Otras condiciones ambientales que determinan el peligro de incendios forestales son las condiciones meteorológicas y la topografía. Para determinar el grado de peligro de incendios forestales, se combinan factores ambientales (fijos y variables), que determinan la probabilidad de inicio de incendios forestales y el posterior comportamiento del fuego. Existen tres tipos de incendios forestales: Superficial, Subterráneo y Aéreo, de acuerdo al estrato horizontal de la cobertura vegetal que está siendo afectado por la propagación del fuego (Plan protección contra incendios forestales comuna de San Fernando, 2016-2018, CONAF).

A decir de Julio (1998). La pendiente es el factor topográfico de mayor importancia en el comportamiento del fuego. Esta variable influye en el desarrollo de la columna de convección porque mientras más inclinada es la ladera, será mayor la velocidad de propagación del fuego que asciende por ella. El mapa de pendientes elaborado para la zona urbana, da cuenta de pendientes de baja altura, las que ayudarían a evitar una propagación rápida del fuego. Junto con esto, los eventos registrados al interior y cercanos al límite urbano se han suscitado en áreas cercanas a cursos de agua, algo recurrente en época estival, a causa de la instalación de campings o de actividades recreativas que se desarrollan junto a esteros y ríos (CONAF, 2015-2017). Sin embargo, no es sólo la actividad antrópica la causante de dichos siniestros, sino también los factores subyacentes al riesgo como la presencia de pastizal o matorral arbustivo en algunas secciones al interior del área urbana, faenas de tipo agrícola, y quema de desechos. También la presencia de caminos interiores de terracería que favorecen el tránsito de personas por sectores donde se conjugan todos los factores detonantes de la amenaza de incendio aumentan el riesgo de la población a sufrir eventos catastróficos en caso de incendio.

Conforme a los registros espacializados de los eventos ocurridos entre el 2015 y el 2017 en temporada estival, 52 incendios tuvieron curso en la comuna de San Rafael. De ellos el

59% tuvo como causa generadora el tránsito de personas y vehículos por caminos primarios y secundarios, y en el 85% de estos siniestros el material combustible fue el pastizal.

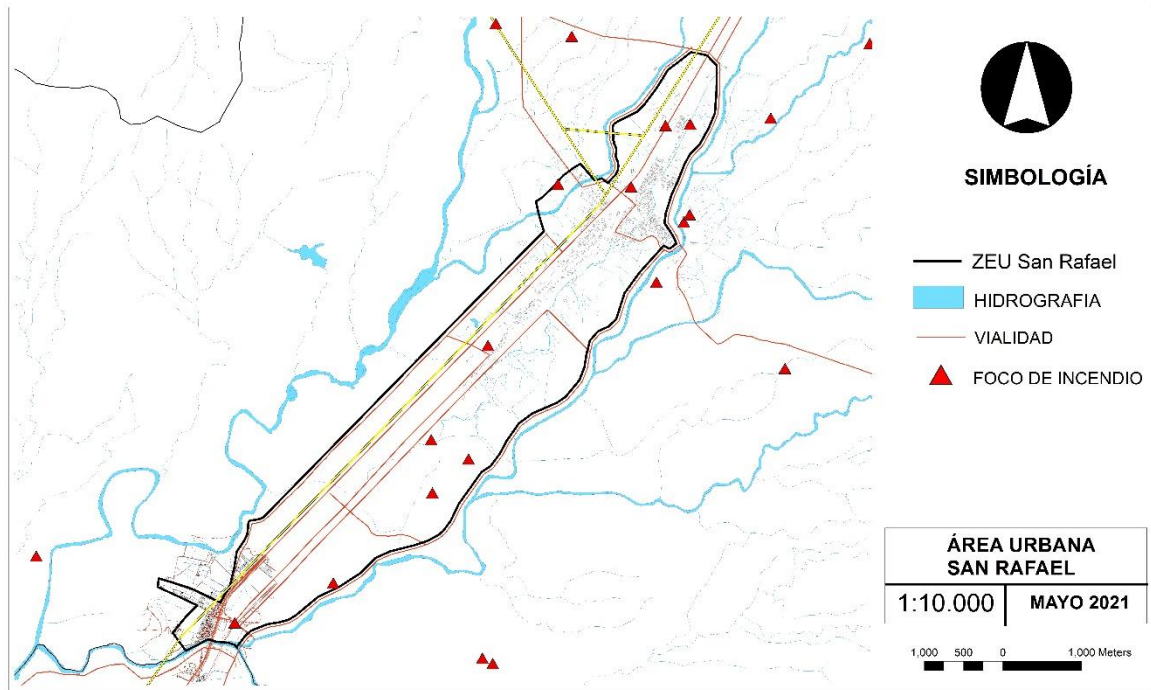
El mapa a continuación da cuenta de los eventos de incendios que ocurrieron entre el 2015 y 2017, años en que se suscitaron mega incendios a lo largo de prácticamente toda la zona centro y sur del país. Como es posible observar, tanto al interior del área urbana, así como en el borde de la zona de extensión urbana se han registrado algunos focos de incendio. Aunque la tendencia ha sido más bien la ocurrencia en caminos secundarios y sitios no habitados, lo cierto es que, a nivel rural la frecuencia de siniestros de este tipo son más recurrentes, siendo por tanto, mayormente riesgoso para la población rural que orbita en torno al área urbana. Por otro lado, cabe considerar que la mayor parte de la superficie comunal (95%) se encuentra inserta en la clasificación Terrenos Agrícolas y Pradera-Matorral, lo cual lo vuelve susceptible a incendios temporales en épocas estivales o de sequía.

Tabla3. Principales causas y superficies comprometidas de los incendios del 2015-2017 para la comuna de San Rafael.

Causa Generadora	Superficie comprometida (há)	Superficie Pastizal/Matorral combustionada (há)	% Pastizal/matorral respecto del total
Tránsito de Personas	296	236	79.7
Actividades Recreativas	24.2	21.1	87.2
Faenas Agrícolas y Pecuarias	14.4	11.7	81.3
Faenas Forestales	1.3	1	76.9
Quema de desechos	2.5	2.5	100.0
Otras	222.7	150	67.4
TOTAL	561.1	422.3	75.3

Fuente: Elaboración propia en base a registros CONAF 2015-2017.

Figura 8. Focos de Incendio en los eventos ocurridos entre 2015 y 2017 en el área urbana de la comuna de San Rafael.

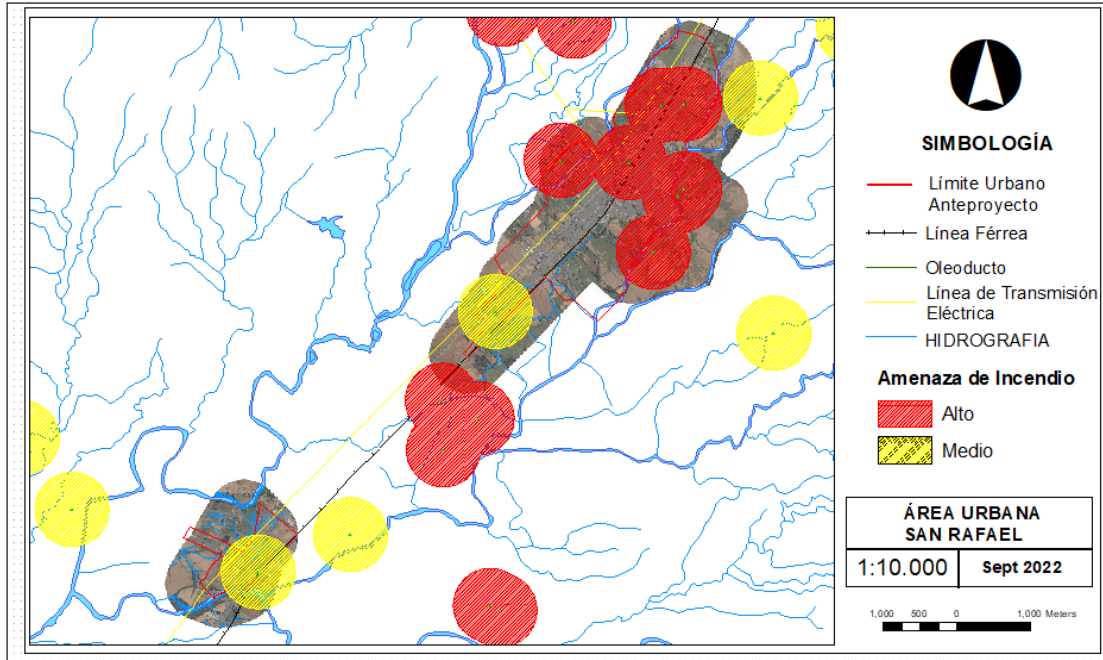


Fuente: Elaboración propia en base a shapfiles IDE, 2015-2017.

Conforme a la estadística y localización de estos registros, fue posible establecer criterios de asignación de riesgo de incendio para el área urbana. De esta manera, en aquellos lugares en donde se registraba más de un incendio, ya fuese durante el mismo año o en temporadas sucesivas, el riesgo asignado es Alto, ya que el criterio aplicado es que si un evento ocurre más de una vez en la misma área (para lo cual se estableció un área de influencia de 500 mts a partir del foco registrado), es porque persisten los factores subyacentes al riesgo de incendio independiente de la causa por la que se generó dicho evento. Ahora bien, si existe registro de un incendio de forma aislada, pero éste intersecta con caminos principales y secundarios de vialidad y además con algún curso de agua dentro de su área de influencia, entonces dicha área tendrá un riesgo Medio, bajo el criterio de que las condiciones de la amenaza por factores naturales del riesgo están presentes, y bastará sólo un factor antrópico para que pueda suscitarse un incendio.

Finalmente se asignó como de riesgo Bajo, aquellos eventos aislados que en su buffer o área de influencia intersectan sólo con caminos y/o senderos, o sólo con cursos de agua. Ya que aun cuando puedan haberse registrado incendios en zonas cercanas a cursos de agua, si éstas no poseen una fácil accesibilidad para la llegada del factor antrópico, el riesgo es menor a que si se conjugan ambas (cursos de agua y caminos por donde acceder a dichas zonas). En síntesis, es el factor de ocurrencia el que más pondera, y a partir de él se establecieron los distintos niveles de riesgos.

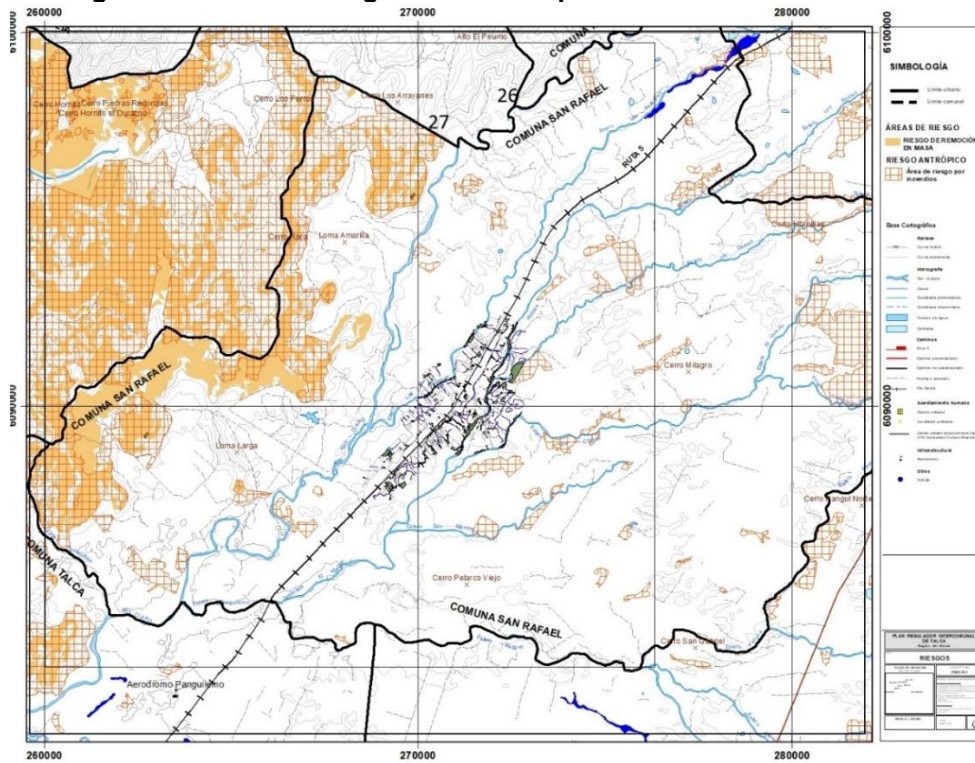
Figura 9. Área de Riesgo de Incendio para el área urbana de la comuna de San Rafael y Alto Pangué.



Fuente: elaboración propia sobre registros CONAF 2015-2017.

Como es posible observar en la figura anterior, la amenaza de incendio en las áreas urbanas de San Rafael y Alto Pangué es latente en sus niveles Alto y Medio, ya que los registros de eventos anteriores, dan cuenta de la existencia de varios focos ocurridos al interior de ambas urbes en los eventos de mega incendios acontecidos en el período estival entre el 2015 y 2017. Es por ello que la gestión en la prevención de incendios forestales es fundamental en la administración del territorio urbano. De igual forma, esta amenaza se hace extensible a todo el territorio comunal (Figura 10).

Figura 10. Área de Riesgo de Incendio para la comuna de San Rafael



Fuente: Informe de Riesgos Estudio PRI de Talca 2019.

V.- ZONAS NO EDIFICABLES

De conformidad a lo establecido en el inciso primero del artículo 60 de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, el Plan Regulador señalará los terrenos que por su especial naturaleza y ubicación no sean edificables, aceptándose en ellas sólo la ubicación de actividades transitorias. En armonía con lo antes expresado, el artículo 2.1.17. de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, dispone que las zonas no edificables corresponden a aquellas franjas o radios de protección de obras de infraestructura peligrosa, tales como aeropuertos, helipuertos, torres de alta tensión, embalses, acueductos, oleoductos, gasoductos, u otras similares, establecidas por el ordenamiento jurídico vigente (DDU 440, MINVU 2020).

Conforme a lo anterior, en el área de estudio se reconocen las siguientes zonas:

- Fajas no edificables bajo los tendidos eléctricos, de acuerdo con el artículo 56 del D.F.L. N° 1 de Minería, de 1982, y en los artículos 108° al 111° del Reglamento SEC: NSEG 5En.71, “Instalaciones de Corrientes Fuertes”.

En este caso, la comuna de San Rafael, cuenta con trazados de línea de alta tensión que cruzan todo el territorio comunal de oriente a poniente, y de norte a sur, atravesando inclusive el área urbana en toda su extensión de forma paralela a la línea férrea.

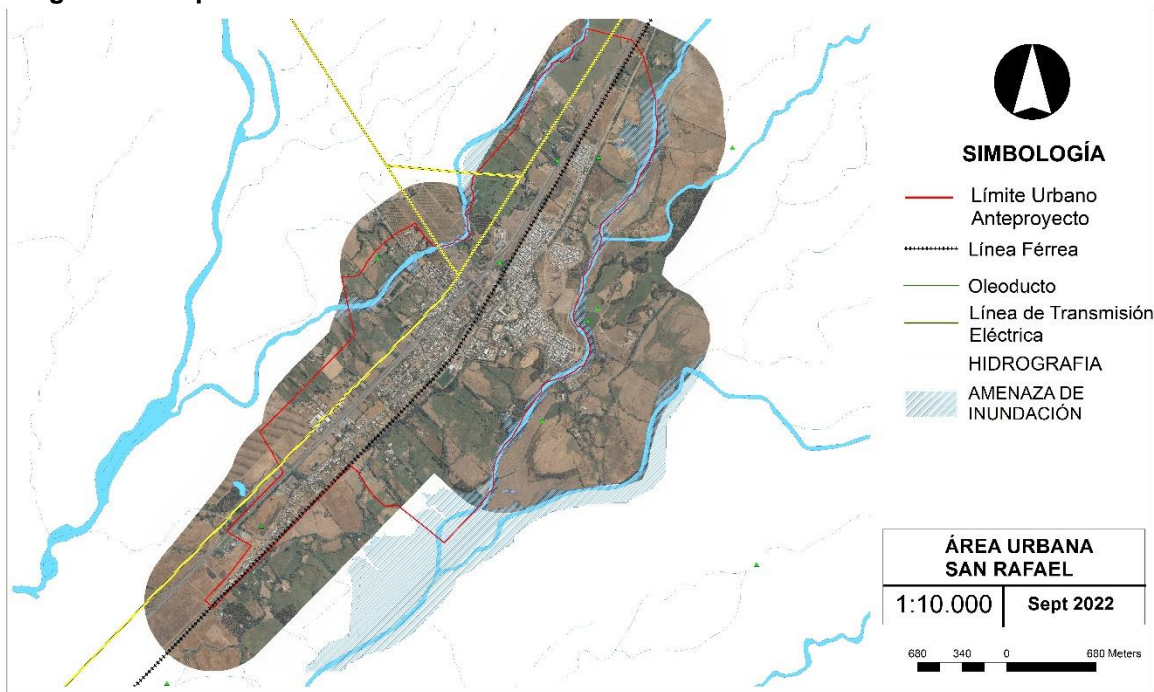
- Fajas senderos de inspección de los canales de riego o acueductos fijados en el Código de Aguas, D.F.L. N°.1.302, de 1990.
- Fajas de terrenos adyacentes a trazados de ferrocarriles, según lo previsto en la Ley General de Ferrocarriles, D.S. N° 1.157, del Ministerio de Fomento, de 1931.

La comuna de San Rafael ha desarrollado su trama urbana alrededor de la línea férrea, uniendo las dos zonas urbanas aquí analizadas: Alto Pangue con San Rafael, por tanto, su presencia no es menor, y por tanto, cabría resguardar la faja de restricción ante un eventual crecimiento urbano, dado que éste no solo constituye un riesgo antrópico por motivos viales, sino que también se vuelve una amenaza para peligro de incendios, toda vez que su franja no se encuentre delimitada o protegida de forma física.

- Resguardo de las infraestructuras energéticas de oleoductos, gasoductos, poliductos, según lo normado por el D.S. N° 160 de 2008 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, D.O. del 7 de Julio de 2009, que aprobó el Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al público de combustibles líquidos derivados del petróleo.

A nivel interregional existe un oleoducto que atraviesa la región completa desde norte a sur, pasando apenas por un pequeño tramo del extremo poniente del límite comunal de San Rafael, en su límite con la comuna de Río Claro. Si bien este queda fuera del área de estudio, lo cierto es que atraviesa una parte mínima del territorio comunal y cabe hacer resguardo de dicho tramo.

Figura 11. Mapa de Zonas no edificables en el área urbana de la comuna de San Rafael.



Fuente: elaboración propia a partir del Estudio de Riesgos del PRI Talca, 2019.

VI.- CONCLUSIONES

La particular localización de la comuna de San Rafael en plena depresión central y en una zona donde intersectan ríos, quebradas y esteros a baja pendiente, exime al territorio de algunos riesgos comunes a todo el resto del país como suelen ser el riesgo por actividad volcánica, al quedar fuera del área de peligro. De igual forma, y debido a la baja pendiente que se da en el territorio general, disminuye la susceptibilidad del riesgo de remoción en masa y flujos aluvionales. Por otro lado, la alta permeabilidad e importancia hidrogeológica del territorio oriente de la comuna permite de igual forma aminorar el riesgo de anegamiento en prácticamente toda la comuna, salvo en un tramo paralelo a la ruta 5 hacia el límite norte de la comuna. De modo general, es posible observar que, en la ZEU de San Rafael y alrededores, sólo se presentan dos amenazas probables: la amenaza de inundación por desborde de cauces y la amenaza de incendios, mientras que, a escala comunal, se suma la amenaza de remoción en masa en el límite poniente de la comuna, en apenas una pequeña porción del territorio comunal correspondiente a la Cordillera de La Costa.

De estas 3 amenazas latentes para la comuna, las de mayor alerta para el área urbana, son la amenaza de incendio y de inundación por desborde de cauces, en las que aparte del riesgo de pérdida de vidas y daños materiales que puedan sufrir sus habitantes, se suman la pérdida de cultivos considerando que el 60% del territorio comunal está destinado a cultivos agrícolas, por lo que si bien la amenaza puede presentarse directa o indirectamente sólo sobre un tramo de la urbe, o sobre alguna población en particular, ambos eventos constituyen igualmente una amenaza para los recursos de su población, la que dicho sea de paso, es principalmente población adulta con un marcado patrón hacia el envejecimiento en el mediano plazo.

Finalmente, no es menos importante destacar que el lado poniente del río Claro, presenta características hidrogeológicas que vuelven el suelo mayormente impermeable, por cuanto, es sumamente importante restringir el crecimiento urbano hacia esa dirección, ya que, aun cuando existan suelos de pendiente horizontal (0-2°) y éstos sean idóneos para el desarrollo de futuros proyectos habitacionales, así como de otras actividades antrópicas, lo cierto es que esta área de la comuna, se verá tarde o temprano afecta a inundaciones y anegamientos.